

Industrielle Ökologie

Theoretische Annäherung an ein Konzept nachhaltiger Produktionsweisen

Von der Fakultät für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines
Doktors der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften (Dr. rer. pol.)
genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von

Joa Bauer

aus Esslingen am Neckar

Hauptberichter: Prof. Dr. Ortwin Renn

Mitberichter: Prof. Dr. Dietfried Günter Liesegang

Tag der mündlichen Prüfung: 03. März 2008

Institut für Volkswirtschaftslehre und Recht der Universität Stuttgart

2008

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	ii
Abkürzungsverzeichnis	viii
Abbildungsverzeichnis	xi
Zusammenfassung	xii
Abstract.....	xv
Vorwort.....	1
1. Einleitung	2
1.1 Forschungsfragen	2
1.2 Forschungsansatz.....	7
1.2.1 Zur Begründung einer Arbeit über ökologische Nachhaltigkeit	7
1.2.2 Annahme: Umweltkrise trotz partieller positiver Entwicklungen.....	9
1.2.3 Ausgangslage systemisch betrachtet	10
1.2.4 Forschungsperspektive Nachhaltigkeitsforschung	12
1.2.5 Beteiligte Wissenschaftsbereiche	13
1.2.5.1 Relevante Wissenschaftsbereiche.....	13
1.2.5.2 Auswahl der Wissenschaftsbereiche	15
1.2.6 Komplexität und deren Deutung.....	18
1.2.7 Einfluss von Menschen- und Naturbildern auf die Nachhaltigkeitsdiskussion.....	23
1.2.8 Warum die Konzentration auf Stoff- und Energieströme?.....	25
1.2.9 Verbindende Elemente: Systemtheorie und Thermodynamik.....	26
1.2.9.1 Exkurs I: Systemtheorie	26
1.2.9.2 Exkurs II: Thermodynamik/Entropie.....	36
1.3 Zum Stand der Forschung über Industrielle Ökologie	39
1.4 Vorgehen und Aufbau	42
1.4.1 Inter- bzw. Transdisziplinarität.....	42
1.4.2 Vorsichtiger Holismus.....	45
1.4.3 Subjektivität.....	46
2. Nachhaltigkeit als gesellschaftliches Leitbild	48
2.1 Der Nachhaltigkeitsdiskurs	48

2.2	Die drei Säulen der Nachhaltigkeit.....	51
2.2.1	Ökonomie	52
2.2.2	Was sagt die Ökologie zum Begriff Nachhaltigkeit?	55
2.2.3	Die Frage nach der sozialen Nachhaltigkeit/Gerechtigkeit	58
2.2.4	Zusammenfassend	60
2.3	Wege zur Nachhaltigkeit (Strategien)	61
2.3.1	Suffizienzstrategie	61
2.3.2	Effizienzstrategie	63
2.3.3	Konsistenzstrategie	64
2.3.4	Resilienz, Adaptionsfähigkeit und Transformabilität.....	64
2.3.5	Das Zusammenspiel der Strategien Suffizienz, Effizienz und Konsistenz	68
2.4	Ist nachhaltige Entwicklung in diesem Sinne umsetzbar?	72
2.4.1	Operationalisierung	74
2.4.2	„Messung“ von Nachhaltigkeit.....	75
3.	Natur als Vorbild?	78
3.1	Was ist Natur?	78
3.1.1	Begriffsklärung	79
3.1.2	Bewusstwerdung der Vorstellungen von Natur.....	80
3.2	Annäherung an ein geeignetes Naturbild	82
3.2.1	Ökonomische Naturverständnisse	83
3.2.2	Ökologische Naturverständnisse	85
3.2.3	Soziologische und gesellschaftswissenschaftliche Naturverständnisse	86
3.3	Orientierung – Natur als Vorbild.....	88
4.	Ökologie als Leitwissenschaft für eine IÖ	91
4.1	Grundprinzipien der theoretischen Ökologie	93
4.1.1	Speziell für diese Arbeit bedeutsame Begriffe der Ökologie.....	95
4.1.2	Interspezifische Wechselwirkungen – Strategien in der Natur	97
4.1.2.1	Konkurrenz	97
4.1.2.2	Symbiose	98
4.1.3	Ökologie und Evolution	99
4.2	Organisationsebenen der lebendigen Natur – Ökosysteme	101
4.2.1	Begriff Ökosystem.....	102

4.2.1.1	Offenheit der Systeme	104
4.2.1.2	Mittelfristige Systemeigenschaften	105
4.2.2	Funktionelle Organismengruppen im Ökosystem	107
4.2.3	Energetische und stoffflussorientierte Ökosystemeigenschaften	110
4.2.3.1	Nahrungsnetze	111
4.2.3.2	Stoffströme bzw. Stoffkreisläufe	113
4.2.4	Dynamik in Ökosystemen	117
4.2.4.1	Thermodynamik der Ökosysteme.....	119
4.2.4.2	Stabilität und Gleichgewichte in Ökosystemen.....	121
4.2.4.3	Artenvielfalt bzw. Diversität und Stabilität.....	124
4.3	Exkurs III: System Erde – Gaia-Hypothese und Gaia-Theorie	128
4.3.1	Die Erde als übergreifendes Ökosystem.....	130
4.3.2	Systemzusammenhänge weiter gedacht	132
4.3.3	Elemente der organismischen Betrachtung der Erde.....	135
4.3.3.1	Organisierte Stoff-, Energie- und Informationsflüsse	135
4.3.3.2	Energieversorgung.....	138
4.3.3.3	Gaia-Hypothese oder Gaia-Theorie?.....	141
4.3.4	Das geobiophysikalische System Erde und der anthropogene Einfluss	142
4.3.5	Abbildung in geobiophysikalischen Modellen	145
4.3.6	Übertragbarkeit ökologischer Prinzipien auf anthropogene Systeme (Technosphäre)	147
5.	Humanökologie und angrenzende Wissenschaftsgebiete.....	149
5.1	Logisches Bindeglied Humanökologie(n).....	150
5.1.1	Grundpositionen der Humanökologie	154
5.1.2	Humanökologische Folgerungen für die IÖ	155
5.1.3	Zu entwirrende Begriffsverwirrungen Natur – Umwelt.....	157
5.1.4	Bezugsobjekt „Umwelt“ als relevante Natur.....	158
5.2	Historische Humanökologie – Umweltgeschichte	160
5.2.1	Vielfalt und Einfalt	164
5.2.2	Verlinkung – Menschliche Eingriffe in den Naturhaushalt.....	167
5.3	Bestimmungselemente für einen Beschreibungsrahmen anthropogener Ökosysteme	170

5.3.1	Rückkopplung zwischen natürlichem und anthropogenem System.....	173
5.3.2	Der anthropogene industrielle Metabolismus (deskriptive IÖ)	177
5.3.2.1	Energieinduzierter Metabolismus.....	179
5.3.2.2	Rohstoffinduzierter Metabolismus	181
5.3.2.3	Produktionsinduzierter Metabolismus.....	185
5.3.2.4	Sozio-kulturelle Perspektive.....	186
5.3.2.5	Derzeitige Produktionsbedingungen.....	188
5.4	Wirkungen des anthropogenen Metabolismus auf die Natur	192
5.4.1	Rohstoffverknappung	194
5.4.2	Degradation von Ökosystemen.....	197
5.4.3	Globalisierung und Umweltveränderungen.....	199
5.5	Steuerungsansätze für Humanökologische Systeme	201
5.5.1	Ökologische Bedeutung und politische Bedeutungen sind vernetzt	202
5.5.2	Adaptionsfähigkeit kultureller Systeme	205
5.5.3	Physische Gesamtrechnung (PIOT) und gesamtwirtschaftliche Stoffströme	207
6.	Ökologische Ökonomik – Umwelt- und Ressourcenökonomik.....	211
6.1	Ökonomische Theorie und die natürliche Umwelt.....	213
6.1.1	Neoklassische ressourcenökonomische Ansätze – erschöpfliche Ressourcen	215
6.1.2	Ressourcenökonomische Ansätze – regenerative Ressourcen	218
6.1.2.1	Spezialfall Boden bzw. Fläche	220
6.1.2.2	Fläche und Energie	221
6.1.3	Umweltökonomische Ansätze	222
6.2	Polarisierung Umweltökonomik/Ökologische Ökonomik	225
6.2.1	Gegenentwurf aus der Ökologischen Ökonomik: Steady state economy.....	228
6.2.2	Unterschiedliche Nachhaltigkeitsbegriffe?.....	231
6.2.3	Erweiterungen in der Ökologischen Ökonomik gegenüber der Umwelt- und	
	Ressourcenökonomik	232
6.2.3.1	Der Kern des Wirtschaftens mit knappen Ressourcen – Einführung der	
	Thermodynamik	236
6.2.3.2	Irreversibilität in der Zeit.....	240
6.2.3.3	Wirtschaften und Irreversibilität.....	243

6.2.4	Implikationen für die Ökonomik	246
6.2.4.1	Thermodynamik und ökonomisches Kalkül.....	246
6.2.4.2	Was trägt die Ökologische Ökonomik zur Fragestellung bei?.....	249
6.3	Inhaltliche Annäherung von IÖ und ÖÖ	255
6.3.1	Evolutionäre Imperative?	255
6.3.2	Mess-Werkzeuge	257
6.3.2.1	Die „Bewertung“ der Natur	257
6.3.2.2	Der ökologische Fußabdruck.....	262
6.3.2.3	MIPS	264
7.	Industrielle Ökologie – ein Idealszenario.....	266
7.1	Industrielle Ökologie – Versuch einer Definition	266
7.2	Grundlagen für ein Ideal-Szenario Industrieller Ökologie.....	280
7.2.1	Exkurs IV: Berücksichtigung der Energie-Stofffluss-Dualität.....	281
7.2.1.1	Energie im industriellen Produktionssystem	281
7.2.1.2	Verflechtung von Stoff- und Energieflüssen.....	283
7.2.2	Energieversorgung einer Industriellen Ökologie.....	293
7.2.2.1	Nachhaltige Energieversorgung	295
7.2.2.2	Leitplanken	297
7.2.2.3	Ungelöste Probleme?.....	298
7.2.2.4	Formen der Energiegewinnung für eine Industrielle Ökologie.....	299
7.2.2.5	Ökonomische Aspekte einer nachhaltigen Energieversorgung.....	302
7.2.3	Der Abfall-Begriff und das Recycling	304
7.2.3.1	Abfall.....	304
7.2.3.2	Recycling.....	305
7.2.3.3	Recycling und Energie.....	310
7.2.4	Die Bedeutung von Technologie bei Nachhaltigkeitsinnovationen	313
7.3	Ideal-Szenario – Erste Schritte	319
7.3.1	Isomorphismen	321
7.3.2	Strukturelle Ableitungen aus der Ökosystemtheorie.....	324
7.3.3	Unterschiede und Übertragung.....	326
7.3.4	Allgemeine Prinzipien für eine Industrielle Ökologie.....	330
7.3.4.1	IÖ – ökologische Prinzipien	330

7.3.4.2	Perspektiven der Mensch-Technik-Natur-Interaktion	333
7.3.4.3	Unternehmerische Perspektive und darüber hinaus (Mikro-Ebene).....	334
7.3.4.4	Kreislaufwirtschaft als übergeordnete Perspektive	338
7.3.4.5	Faktor X – Ressourceneffizienz als übergeordnete Perspektive	340
7.4	IÖ – konzeptionell	344
7.4.1	Betrachtungsebenen.....	344
7.4.2	Umgestaltung des industriellen Systems	345
7.5	Elemente und Instrumente einer Industriellen Ökologie.....	347
7.5.1	Cleaner Production (CP) und Pollution Prevention (P2).....	348
7.5.2	Eco-Industrial Parks (EIPs)	350
7.5.2.1	Vernetzung von EIPs	366
7.5.2.2	Hindernisse und Einschränkungen	369
7.5.3	Operationale Aspekte in EIPs und öko-industrieller Entwicklung.....	372
7.5.3.1	EIPs in der Praxis	388
7.5.3.2	Potenzielle Wirkungen von EIPs.....	392
7.5.4	Produkte als Organismen einer Industriellen Ökologie.....	394
7.5.5	Alternative Rohstoffe und neue Materialien	402
7.6	Werkzeuge – Umsetzung einer Industriellen Ökologie.....	406
7.6.1	Stoffstrommanagement.....	406
7.6.1.1	Managementtools	407
7.6.1.2	Material Flow Accounts/Materialflussanalysen (MFA), Substance Flow Analysis/Stoffflussanalysen (SFA).....	408
7.6.1.3	LCA/LZA	417
7.6.1.4	Spezifische Managementanforderungen.....	423
8.	Schlussbetrachtung	428
	Literaturverzeichnis	433
	Lebenslauf	xvii
	Erklärung	xviii

Abkürzungsverzeichnis

BaT	Best available Technology
BCSD-GM	Business Council for Sustainable Development – Gulf of Mexico
BLfU	Bayerisches Landesamt für Umweltschutz
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BML	Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie
BMZ	Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung
BNE	Bruttonationaleinkommen
CHE	Centre for Human Ecology, Edinburgh
CID	Centre for International Development at Harvard University
CIRP	College International pour la Recherche en productique, Paris
CP	Cleaner Production
CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, Australia
DfD	Design for Disassembly
DfE	Design for Environment
DfS	Design for Sustainability
DIW	Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung, Berlin
DNK	Deutsches Nationales Komitee des Weltenergiesrates
DUX	Deutscher Umwelt Index
EAC	Environmental Advisory Council
EBM	Environmentally Benign Manufacturing
EFA	Effizienz-Agentur NRW
EIN	Eco-Industrial Network
EIP	Eco-Industrial Park
EJ	EtaJoule (physikalische Energieeinheit)
EKC	Ecological Kuznets Curve
EPA	United States Environmental Protection Agency

GMI	Greener Management International (Journal)
ICS	International Council for Science
IE	Industrial Ecology
IEA	International Energy Agency, Paris
IER	Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung der Uni Stuttgart
IHDP	International Humans Dimension Programme
IÖ	Industrielle Ökologie
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IS	Industrial Symbiosis / Industrielle Symbiose
ISO	International Organization of Standardization
ISOE	Institut für sozial-ökologische Forschung, Frankfurt
IUGR	Integrierte Umweltökonomische Gesamtrechnung
IUWA	Institut für Umwelt und Wirtschaftsanalysen, Heidelberg
IW	Institut der Deutschen Wirtschaft, Köln
IWH	Institut für Wirtschaftsforschung, Halle
IWT	Institut für Wissenschafts- und Technikforschung Universität Bielefeld
KLW	Kreislaufwirtschaft
kWh	Kilowattstunde (Energieeinheit)
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
LCA	Life Cycle Assessment/Analysis - Lebenszyklusanalyse
MEA	Millennium Ecosystem Assessment
MIOT	Monetäre Input-Output-Tabelle
MIPS	<i>Material-Input pro Einheit Service</i>
MPS	Münchner Projektgruppe für Sozialforschung e. V.
MWV	Mineralölwirtschaftsverband e. V.
NGO	Non Governmental Organisation
NRTEE	National Round Table on the Environment and the Economy, Ottawa
OCEES	Oxford Centre for the Environment, Ethics & Society
P2	Pollution Prevention
PERC	Property & Environment Research Center, Bozeman/Montana
PIOT	Physische Input-Output-Tabelle

PNAS	Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America
REA-Gips	Gips aus Rauchgasentschwefelungsanlagen
REN21	Renewable Energy Policy Network for the 21st Century, Washington DC
RFF	Resources for the Future - Washington
SERI	Sustainable Europe Research Institute
SKE	Steinkohle Einheiten
SRU	Rat von Sachverständigen für Umweltfragen
StaLa BW	Statistisches Landesamt Baden Württemberg
TAB	Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag
TW	TerraWatt (physikalische Leistungseinheit)
TWa	TerraWatt-Jahr (physikalische Energieeinheit – 1 TWa = 31,5 EJ)
UBA	Umweltbundesamt
UFZ	Umweltforschungszentrum Leipzig-Halle GmbH
UGR	Umweltökonomische Gesamtrechnung
UMS	Umwelt-Management System
UNIDO	United Nations Industrial Development Organization, Vienna
Unw	Ulmer Initiativkreis nachhaltige Wirtschaftsentwicklung
VGR	Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung
VÖÖ	Vereinigung für Ökologische Ökonomie
WBGU	Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen
WCED	World Commission on Environment and Development
WEC	World Energy Council
WTEC	World Technology Division of the International Technology Research Institute, Baltimore
WZB	Wissenschaftszentrum Berlin
ZEIP	Zero-Emission Industrial Park
ZIOT	Zeitliche Input-Output-Tabelle

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Design der Fragestellung.....	20
Abbildung 2: Struktur-Muster-Dualismus; nach Zeibig (2004), S. 45.....	33
Abbildung 3: Entwicklungskegel der Nachhaltigkeitsstrategien; eigene Darstellung ...	70
Abbildung 4: Strahlungsbilanz; Quelle: nach Steinborn (2000), S. 17.....	139
Abbildung 5: humanökologisches Dreieck; nach Steiner (2003), S. 51.....	174
Abbildung 6: rohstoffliche Effizienzhierarchie; eigene Darstellung.....	184
Abbildung 7: Hubbert Peak für Erdöl und Gas; Quelle: ASPO (Hrsg. 2006), S. 2	197
Abbildung 8: Bifurkation	203
Abbildung 9: Materialbilanz; nach Majer (1998), S. 140 und Fleig (Hrsg. 2000), S. 10	209
Abbildung 10: thermodynamische Zusammenhänge	238
Abbildung 11: evolutionäre Entwicklung der Ökonomie; eigene Darstellung	246
Abbildung 12: räumliche Ebenen der Industriellen Ökologie; nach Harris und Pritchard (2004), S. 91	278
Abbildung 13: Energie-Stofffluss-Dualität; eigene Darstellung	286
Abbildung 14: Systemische Sicht der Elemente einer Industriellen Ökologie	330
Abbildung 15: Entwicklungspfade der Industriellen Ökologie; in Anlehnung an Cohen- Rosenthal (2003), S. 21	352
Abbildung 16: vernetzte Netzwerke; in Anlehnung an Sterr(2003), S. 286.....	369
Abbildung 17: Determinantenstruktur interindustrieller Netzwerke; in Anlehnung an Wallner (1998), S. 100	380

Zusammenfassung

„Es gibt kein richtiges Leben im Falschen“

Theodor W. Adorno

Diese Arbeit rezipiert den Begriff der „Industriellen Ökologie“ (IÖ) von einer transdisziplinären theoretischen Warte aus. Explizit geprägt und verwendet wird dieser Begriff seit gut einem Jahrzehnt vor allem im angloamerikanischen Sprachraum als „industrial ecology“ (IE). Dahinter verbergen sich zwei Hauptströmungen, die im IÖ-Konzept ein gemeinsames Grundkonzept nachhaltiger Produktionsweisen ergeben. Der deskriptive Ansatz der IÖ versucht anhand beschreibender Methoden einen nahezu naturwissenschaftlichen Zugang zu den Stoff- und Energieströmen industrieller Produktionsweisen zu legen (Industrieller Metabolismus), der normative Ansatz geht vom Leitbild der „Nachhaltigen Entwicklung“ aus präskriptiv an eine erwünschte industrielle Produktion heran und leitet Szenarien für nachhaltige Produktionssysteme ab, wobei auch die Perspektive nachhaltiger Produkte und Dienstleistungen berücksichtigt wird. Grundlegende Metapher für das präskriptive Szenario ist die „Natur als Vorbild“ für das anthropogene Produktions- und Konsumsystem. Als sozio-ökologisches Axiom steht die Annahme dazwischen, dass die derzeitigen Formen industrieller Produktion nicht nachhaltig sind, woraus die derzeitige ökologische Krise resultiert. Von diesen Standpunkten ausgehend wird anhand eines transdisziplinären Ansatzes eine theoretische Grundlegung des Begriffes der IÖ vorgenommen und es wird überprüft, inwiefern theoretische Implikationen, lebensweltliche Phänomene und Umsetzungsstrategien der IÖ tatsächlich einen tragfähigen Beitrag zu einer Nachhaltigen Entwicklung leisten können. Die angestrebte holistische Sichtweise erfordert dabei einen theoretischen Ansatz, der die Fragestellung in seiner gesamten Breite abzudecken vermag. Hierzu wird zuerst die Metapher „Natur als Vorbild“ für industrielles Wirtschaften auf ihre Aussagefähigkeit überprüft und ein vielfältiges Naturbild entwickelt, aus dem sich Implikationen für diese Vorbildfunktion ableiten lassen, die zur Leitlinie für die vorliegende Arbeit werden. Daraus ergibt sich das weitere Vorgehen, anhand der Naturwissenschaft Ökologie grundlegende Prinzipien der Natur aufzufinden, die sich als Übertragungsmuster für eine anthropogene Indus-

trielle Ökologie eignen. Als gemeinsames Raster werden hierfür die Meta-Prinzipien der Systemtheorie und Thermodynamik als grundlegende Prämissenlieferanten herangezogen.

In der Ökologie lassen sich typische Muster und „Erfolgsfaktoren“ ausmachen, die für die langfristige Entwicklung von Leben auf der Erde bestimmend sind. Dazu gehört die Ausgestaltung dissipativer Strukturen, die sich mit ihrer Umwelt in einem nachhaltigen Fließgleichgewicht fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht halten können, in sogenannter Homöostase. Dieses Fließgleichgewicht äußert sich in Mustern, die anhand der Ökosystemtheorie analysiert werden. Daraus ergeben sich Kriterien wie Kreislauf-führung von Stoffen, zunehmende Diversität in Ökosystemen, rekursive Wirkungen mit negativen Rückkopplungen, Nischenbildung mit zunehmender Effizienz der Ressourcennutzung, vollkommene Basierung auf Solarenergie, Symbiose und Resilienz, um eine Auswahl zu nennen. In so genannten Nahrungsnetzen werden die Ausprägungen dieser Kriterien anhand ihrer Stoff- und Energieflüsse abgebildet. In der Gaia-Theorie zeigt sich darüber hinaus, wie komplex diese Metabolismen verflochten sind und dass sich nur anhand einer holistischen Sichtweise die ökologischen Wirkungen industriellen Produzierens abschätzen lassen. Da sich zeigt, dass der vorwiegend industriell induzierte anthropogene Metabolismus neben seiner rekursiven Verflechtung mit den natürlichen Systemen stark kulturell determiniert ist, wird die Humanökologie als verbindendes wissenschaftliches Untersuchungsinstrument herangezogen, das zeigt, wie stark natürliche, ökologische, kulturelle, ökonomische und technologische Entwicklungen zusammenhängen. Nur vor diesem Hintergrundwissen kann eine IÖ zielführend entwickelt und gestaltet werden. Es zeigt sich, dass in den holarchischen Beziehungsgeflechten der Gesellschaft-Umwelt-Interaktion, manifestiert im jeweiligen Metabolismus, selbstorganisatorische Prinzipien und Prozesse auftreten, die aufeinander abgestimmt werden müssen, wenn eine Nachhaltige Entwicklung (in Form der IÖ) angestoßen werden soll. Das Verhalten der dahinter ablaufenden Prozesse ist nicht prognostizierbar und zeigt bifurkative Phänomene, wenn bestimmte Schwellenwerte überschritten werden. Es wird konstatiert, dass der derzeitige anthropogene Metabolismus nicht nachhaltig (also nicht ohne sehr wahrscheinliche Bifurkationen) aufrecht erhalten werden kann. Darüber hinaus wird nachgewiesen, dass sich diese Prozesse nicht auf das ökologische System beschränken, sondern sowohl das gesellschaftliche als auch das ökonomische System

betreffen. Der anfangs betonte ökologische Impetus der IÖ wird zu einer sozio-ökonomischen Notwendigkeit und damit zu einem Instrument der Umsetzung einer Nachhaltigen Entwicklung. Die ökonomische Theorie, insbesondere verkörpert in der Umwelt- und Ressourcenökonomik und in der Ökologischen Ökonomik, liefert dafür weitere Argumente. Wirtschaften ist in seiner grundsätzlichen Funktion darauf ausgelegt, begrenzt vorhandene Ressourcen (hier: Arbeit, Kapital **und Natur**) effektiv und effizient zur Generierung von Nutzen zu verwenden. Die damit verbundenen Implikationen fügen zu den ökologischen Argumenten für eine IÖ die ökonomische Dimension hinzu. Produzieren ohne natürliche Ressourcen ist nur theoretisch möglich, reales Wirtschaften muss unter den Prämissen lebensweltlicher Phänomene wie bestands- oder stromknapper Ressourcen unter Berücksichtigung der Gesetze der Thermodynamik aufrecht erhalten werden können. Es wird gezeigt, dass dies in Form einer IÖ möglich ist, die eine wesentliche Prämisse akzeptiert: Die Stoff-Energie-Dualität. Darunter ist zu verstehen, dass jeglicher Metabolismus auf die Zuführung von Energie angewiesen ist. Diese Energie ist langfristig beschränkt auf die Flussgröße Solarenergie. Es kann nur eine begrenzte Menge an Stoffen und Materie langfristig in einer Ökonomie zirkulieren. Diesen Restriktionen versucht die normative IÖ gerecht zu werden, indem die Prinzipien der Natur auch für das Produktionssystem übernommen werden: solare Energieversorgung, Kreislaufführung, Symbiosen und Diversität der regionalen Ansätze. Die hierfür (theoretisch) entwickelten Konzepte der Industriellen Symbiosen, Eco-Industrial Parks, Zero-Emission, Kreislaufwirtschaft, produkt-integrierter Umweltschutz und die dafür entwickelten Management-Tools lassen sich zwar bereits zu einem bunten Strauß von Umsetzungsstrategien zusammenflechten, in der Lebenswelt sind diese Konzepte jedoch erst in rudimentären Ansätzen angekommen. Diese „strategische Lücke“ zwischen theoretischem Anspruch der IÖ und der Wirklichkeit industrieller Produktion sollte durch weitere, sowohl theoretische als auch praktisch orientierte Forschungsanstrengungen geschlossen werden. Die derzeitige Form des industriellen Metabolismus kann nicht nachhaltig aufrecht erhalten werden, die derzeitige Form menschlichen Wohlstands auch nicht – somit ist realistisch davon auszugehen, dass an den scheinbar unrealistischen (theoretischen) Forderungen einer IÖ kein Weg vorbei führt.

Abstract

This thesis analyses the concept of “Industrial Ecology” (IE) from a transdisciplinary viewpoint. IE has been widely discussed for the last 15 years, especially in Anglo-American literature. Two main approaches can be identified within the IE concept for sustainable production: (1) the descriptive approach examines the metabolism of industrial production; (2) the prescriptive approach starts at the concept of “sustainable development” and develops scenarios for sustainable production systems and sustainable products. Nature as a model for industrial production is the basic metaphor for the latter. Between the two approaches lies the socio-ecological axiom of the non-sustainability of current methods of production. This leads to the transdisciplinary approach to build a theoretical framework for IE. The question of interest is, how theoretical implications, empirical phenomena and eco-industrial strategies fit together to reach sustainability. This requires a holistic view. First, the “nature as a model for industrial production” metaphor is examined regarding its ability to deliver a blueprint for IE. Out of the science of ecology basic principles of nature can be derived, which are used as patterns for an anthropogenic IE. Meta-sciences in this context are systems theory and thermodynamics. Ecological patterns are interpreted as success factors for sustainable production. Special Emphasis is on the development of dissipative structures far away from a thermodynamic equilibrium. They are in a stable flow-equilibrium with their environment,. These patterns are described and analysed by ecosystem theory. Criteria are material cycles, growing diversity in ecosystems, interdependent relations with negative feedbacks, development of niches with increasing efficiency of resource usage, symbiotic relations and resilience, all of which are fuelled by solar energy alone. These criteria are represented in so-called food webs by their material and energy flows. Gaia theory additionally shows, how complex these webs are from a global perspective and that the ecological effects of the industrial metabolism can only be understood in a holistic view. But the industrial metabolism is also strongly determined by economical and social aspects therefore the science of human-ecology is introduced in order to show, how natural, ecological, cultural, economical and technological development influence each other. This background-knowledge then allows the sustainable develop-

ment of an IE in a theoretical and practical manner. It is shown, that in the holarchic relations of the interaction between society and environment, manifested in the anthropogenic metabolism, principles of self-organisation appear, that can be used to control eco-industrial development. The behaviour of the underlying processes isn't foreseeable and shows bifurcative elements, if specific thresholds (attractors) are crossed. The actual anthropogenic (industrial) metabolism appears to be on the way to cause such a bifurcation; it is unsustainable. Such socio-ecological bifurcation can't be reduced on the ecological effects. They also cause societal and economic damages. The ecological impetus is becoming a socio-economic necessity for survival and thus an instrument for the application of sustainable development. Economic theory, especially represented by environmental- and resource economics and ecological economics delivers additional arguments. Economic actions in principle are oriented at the efficient and effective use of resources (here: labour, capital **and nature**) in order to produce human welfare. This point (with its implications) adds some economic arguments to the ecological necessity for an IE. Production of goods needs to be run under the implications of phenomena like the natural limits of flows and stocks of different resources and the laws of thermodynamics. It is shown, that this is only possible in a manner that accepts the fact of "material-flow-energy-duality": Each metabolism needs energy. The only sustainable kind of energy is solar energy, and thus only a limited amount of material can be used and circulated in a (spaceship) economy. The normative approach of IE respects these restrictions by transmitting the principles of nature to the production systems: solar energy, recycling, symbioses and diversity of regional approaches. In this context, the following theoretical instruments are developed and their application discussed: Industrial symbiosis, Eco-Industrial Parks, Zero-Emission, circular flow economy and integrated product policy. Together with recently developed management tools for environmental and sustainability management, the instruments of IE seem to be a viable strategy to foster sustainable development. But in practice the theoretical concepts appear to work only in a very reduced manner. This strategic gap between theory and the reality of industrial production should be closed by an eco-industrial development, which must be based on further research in the topic of IE. The present ways of production and consumption with its metabolisms aren't sustainable, so future development needs the successful application of an IE.

Vorwort

In meiner langjährigen wissenschaftlichen Tätigkeit im Bereich der Nachhaltigkeitsforschung beim Ulmer Initiativkreis nachhaltige Wirtschaftsentwicklung und an der Universität Stuttgart am Institut für Volkswirtschaftslehre und Recht in der Abteilung für Umwelt und Innovationsforschung durfte ich Aspekte der nachhaltigen Entwicklung aus unterschiedlicher Blickrichtung und unter sehr vielfältigen Fragestellungen bearbeiten¹. Die Vielfalt der Fragestellungen zum Einen und die Vielfältigkeit meiner anderweitigen Interessen haben wohl mit dazu beigetragen, dass ich mit der Abfassung meiner Dissertationsschrift nicht wirklich zu den schnellsten Doktoranden zähle². Aber Nachhaltigkeit hat ja immer auch etwas mit Zeitdimensionen und der Integration unterschiedlicher Tempi zu tun. Ich hoffe, man merkt dieser Arbeit an, dass es mir zeitweilig sehr viel Freude bereitet hat, mich mit den Gedanken anderer Menschen vertraut zu machen und mich damit auseinander zu setzen, auch wenn es Zeiten gab, in denen das zähe Ringen um Erkenntnis meine Tage dominiert hat und ich mich fragen musste, ob ich jemals zu einem Ergebnis kommen würde. Umso froher bin ich, dass ich mit den Forschungsprojekten „INNET“ und „Regionales Stoffstrommanagement“ und am IVR Impulse für die vorliegende Dissertationsschrift bekommen habe. Ohne die Erfahrungen aus diesen Projekten und am Lehrstuhl wäre es vielleicht nie zu dieser Schrift gekommen. Und diejenigen, denen ich zu besonderem Dank verpflichtet bin, haben mit diesen Projekten und der dortigen Arbeitsatmosphäre zu tun. Ihr fühlt euch hoffentlich angesprochen, ohne dass ich euch namentlich nenne. Namentlich danke ich Herrn Prof. Dr. Renn und Herrn Prof. Dr. Liesegang, dass sie nach dem Tod von Herrn Prof. Dr. Majer meine Betreuung übernommen und die vorliegende Dissertation evaluiert haben. Besonders danke ich noch Karin für ihre Geduld mit mir und beim Korrekturlesen.

¹ Vgl. u.a. die Forschungsberichte Majer, Bauer, Leipert, u.a. (1996) und Majer, Bauer, Hettmer, u.a. (1999)

² mein ursprünglicher Doktorvater, Prof. Dr. Helge Majer hätte ein Lied davon singen können, ist mir aber, statt zu singen, mit geduldiger Strenge zur Seite gestanden (ich glaube auch, er konnte besser Klavier spielen als singen...) – ihm gebührt mein besonderer Dank, denn sonst würde ich wohl noch heute in der vielfältigen Literatur lesen, die noch nicht Eingang in das angehängte Literaturverzeichnis gefunden hat...ich konnte also in einem mir gemäßen Tempo am Thema arbeiten und hoffe, das Ergebnis rechtfertigt die zeitweilige Aufgabe manch anderer Hobbys, die ich nun natürlich wieder aufnehmen werde

1. Einleitung

1.1 FORSCHUNGSFRAGEN

Inhalt dieser Arbeit soll die systematische theoretische Auseinandersetzung mit dem relativ jungen Ansatz der „Industriellen Ökologie“ (IÖ) sein.³ Als Begriff hat sich diese Forschungsrichtung im deutschsprachigen Raum noch nicht signifikant entwickelt, sondern speist sich in erster Linie aus der Diskussion im anglo-amerikanischen Sprachraum, wo der Ansatz als eigene akademische Disziplin betrachtet wird.⁴ Die strukturierte Auseinandersetzung mit dem Thema hat in den USA Anfang der 1990er Jahre begonnen.⁵ Aber auch dort mangelt es an einer strukturierten theoretischen Grundlegung, die den Ansatz in der Vielfalt umweltökonomischer Ansätze verortet.⁶ Es handelt sich um einen sehr breit angelegten vorsorglichen Ansatz, unter dessen Schirm eine Vielzahl von Wegen und Methoden für die Umsetzung nachhaltiger Produktionsweisen Platz finden.⁷ IÖ hat sich in diesem Zusammenhang stark operational ausgerichtet, die theoretische Fundierung wurde weniger betont.⁸ Vielmehr wurden kategorisierbare Betrachtungsebenen häufig in dem Bemühen vermischt, globale, regionale, lokale und einzelbetriebliche Probleme abzudecken. Grundlage für die IÖ ist der Versuch, Prozesse der industriellen Produktion in einem ganzheitlichen Ansatz in Analogie zum natürlichen System zu untersuchen und auf Basis dieser Erkenntnisse nachhaltig zu gestalten.⁹ Als grundlegende theoretische Bausteine werden hierfür Öko-

³ Erstmals wurde der Begriff „Industrial Ecology“ von Frosch und Gallopoulos in einem Aufsatz in *Scientific American* im Jahre 1989 verwendet, Vgl. Frosch und Gallopoulos (1989), S. 144; zuvor gab es jedoch bereits entsprechende Forschungstendenzen in Bezug auf industriellen Metabolismus, die zumindest inhaltlich die neue Begriffsbildung und das Forschungsfeld der IÖ vorbereiteten, der genannte Artikel wird jedoch im allgemeinen als eine Art Initialzündung für die Begründung der neuen Forschungsrichtung angesehen; Vgl. Ehrenfeld (2002), S. 1 und Erkman (2002a), S. 34

⁴ Vgl. Morton, Simon und Stirrat (2002), S. 167; Im deutschsprachigen Raum hat sich der Begriff der Kreislaufwirtschaft als ähnliche Metapher etabliert, wird jedoch nicht in der fachlichen Breite diskutiert wie im englischsprachigen Raum die Industrial Ecology, weshalb hier die Übertragung des Begriffes angemessen erscheint.

⁵ Vgl. Chertow (1999), S. 3

⁶ Vgl. Peck (2002a), S. 2

⁷ Vgl. O'Rourke, Conelly und Koshland (1996), S. 90

⁸ Vgl. Weisz (2001), S. 17

⁹ Vgl. Windsperger (2003), S. 15

logie, Humanökologie, Chemie, Umweltwissenschaften, Ingenieurwissenschaften und Ökonomik angesehen.¹⁰ Diese sollen in der vorliegenden Arbeit zumindest teilweise auf ihre theoretische Relevanz und Aussagekraft hin untersucht werden. Bei der IÖ handelt es sich um einen vielversprechenden Ansatz, der durch eine eigene Begriffsbildung gewürdigt zu werden verdient. Daher erscheint eine systematische Übertragung in den deutschen Sprachraum nebst einer theoretischen Fundierung äußerst dringend, obwohl die praktische Umsetzung vielerorts bereits angestrebt und projektmäßig versucht wird.¹¹ Diese Übertragung soll hiermit vorgenommen werden, was die eigentlichen Forschungsfragen aufwirft. Die Grundfrage lautet, mit welchem Sachverhalten eine industrialisierte Gesellschaft beim Versuch, eine IÖ tatsächlich umzusetzen, konfrontiert sein wird (deskriptiv) und wie eine solche Art und Weise industrieller Produktion beschaffen sein sollte (normativ).¹² Mit der IÖ soll ein exportfähiges Szenario entwickelt werden (z. B. als Entwicklungsmodell für Schwellenländer), da gerade in den Entwicklungsländern großer Nachholbedarf in der wirtschaftlichen Entwicklung gesehen wird und aufgeholt werden soll, ohne zu große ökologische Verwerfungen auszulösen.¹³ Die Problemorientierung an nachhaltigen bzw. ökologisch verträglichen industriellen Produktionsweisen ist sicher nicht neu. Die Historie reicht bis in die 70er Jahre zurück.¹⁴ In jüngerer Zeit hat eine Weiterentwicklung stattgefunden. Jahn¹⁵ fokussiert die Problemorientierung auf „nachhaltige Produktionsweisen“ (bzw. Produktionsweisen als solche im Allgemeinen), die natürlich-technische Wirkungszusammenhänge in das Nachhaltigkeitsprinzip einzubetten versuchen. Sterr (2003) beleuchtet die „Industrielle Stoffkreislaufwirtschaft im regionalen Kontext“ und Wemhoff (2002) stellt ein Modell für ökologieorientierte Reduktionswirtschaft auf, um nur zwei Beispiele aus der jüngeren deutschsprachigen Vergangenheit zu nennen. Huber (1999) findet dafür den Begriff der „Grundstoffindustrie rückwärts“.¹⁶ Die vorliegende Arbeit versucht, sich in diesen Kontext einzureihen und einige Aspekte hinzuzufügen,

¹⁰ Vgl. Frio (1998), S. 1

¹¹ Gute Praxis basiert jedoch grundsätzlich auf guter Theorie, wie ich in Gesprächen mit Prof. Dr. Helge Majer gelernt habe.

¹² Vgl. Socolow (1994), S. 3; Eine explizite Unterscheidung zwischen der deskriptiven Bedeutung (IÖ) und der normativen Zuschreibung (nachhaltige IÖ) wird im Weiteren nicht vorgenommen, die jeweilige Bedeutung ergibt sich implizit aus dem semantischen Zusammenhang.

¹³ Vgl. Kituyi (2004), S. 232 und Chiu und Yong (2004), S. 1038

¹⁴ Vgl. Kay (2002), S. 73 und O'Rourke, Conelly und Koshland (1996), S. 92

¹⁵ Vgl. Jahn (2001), S. 4ff

¹⁶ Vgl. Huber (1999), S: 4

die das Gesamtbild nachhaltiger Produktionsweisen zu einem holistischen Ansatz abrunden, wie es das Konzept der Industriellen Ökologie vorsieht.¹⁷ Die grundlegende Prämisse dabei ist, dass viele der bislang so erfolgreichen ökonomisch-technologischen Denk- und Wirtschaftsweisen vollkommen neu überdacht bzw. reflektiert werden müssen,¹⁸ wenn man zu einer Industriellen Ökologie, ökologischen Ökonomie - oder wie auch immer man es nennen mag – kommen möchte.¹⁹

Einige grundlegende Prämissen, die die Fragestellung beeinflussen, sind:

Akteursorientierung:

Die pro-aktive Gestaltbarkeit des Produktionssektors ist möglich. Mit den Akteuren (Firmen, Mitarbeiter, Verwaltung, Verbände, Gesetzgeber) werden alle relevanten Stakeholder in die für die „sozial-ökologische Transformation“ notwendige Strukturentwicklung eingebunden.²⁰ Eine zielgruppenspezifische Differenzierung von Lösungsalternativen ist möglich und umsetzbar.

Integrationsprozesse auf unterschiedlichen Ebenen:

Soziale Integration, technische Integration sowie die kognitive Integration (auf Seiten der Forschung und auf Seiten der lebensweltlichen Akteure) können bereichsübergreifend gewährleistet werden und sind erwünscht.

Selbstreflexivität:

Die Wissenschaft (oder der Wissenschaftler, die Wissenschaftlerin) ist sich der Rolle der Wissenschaft für die zukünftige Entwicklung der Gesellschaft bewusst und übernimmt die gesellschaftliche Verantwortung für wissenschaftliche Ergebnisse, indem sowohl die Ergebnisse als auch die potenziellen Folgen vorbehaltlos kommuniziert und in der Forschung berücksichtigt werden.²¹

¹⁷ Die damit verbundene Gefahr des einfachen Eklektizismus (alter Wein in neuen Schläuchen) ist durchaus gegeben und wird weiter unten mit dem Ansatz des „kritischen Eklektizismus“ (ein neuer Jahrgang aus den alten Reben) relativiert.

¹⁸ Vgl. Hawken (1996), S. 17

¹⁹ Vgl. Lerch/Nutzinger (1996), S. 45

²⁰ Vgl. Hummel und Kluge (2004), S. 98; Unter sozial-ökologischer Transformation seien Prozesse zu verstehen, die Strukturveränderungen in der Gesellschafts-Umwelt-Interaktion in Richtung nachhaltiger Entwicklung bewirken – im Weiteren wird dafür einfach der Begriff Transformation verwendet.

²¹ Vgl. Ausubel (2001), S. 2

Die wissenschaftliche Untersuchung solcher komplexen Phänomene der materiell-energetischen Interaktion zwischen Gesellschaft und Natur erfordert Methoden, die diesen Fragestellungen und den zu Grunde gelegten Prämissen angemessen sind.²² So ist es notwendig, einem klassischen wissenschaftlichen Schema folgend, die Fragestellungen beschreibend, erklärend und auf die Gestaltung der untersuchten Sachverhalte hin zu bearbeiten.²³ Dies wirft (unter anderen) folgende Fragen auf:

- Welche grundsätzlichen Erkenntnisse zu natürlichen Stoffaustauschprozessen liegen vor?
- Welche Bedeutung haben diese Erkenntnisse für die Ökonomie?
- Können diese Erkenntnisse miteinander verbunden werden und damit operative Gestaltungshinweise für nachhaltige Wirtschaftsweisen im weitesten Sinne abgeleitet werden?
- Konkreter: Wie sollte bei aktuell gegebenem Wissensstand die industrielle Güterproduktion ausgestaltet werden, um dem (normativen) Prinzip der Nachhaltigkeit entsprechen zu können?

Diese Fragen orientieren sich konkret an dem durch die Güterproduktion einer Gesellschaft ausgelösten Metabolismus.²⁴ Ist ein solcher objektorientierter Ansatz aber nicht längst überholt? Kennen wir nicht die unbefriedigende Lösungskompetenz der bislang vorwiegend praktizierten Versuche, die industrielle Durchflusswirtschaft weniger umweltschädlich zu gestalten?²⁵ Seien dies nun der Einsatz neuer Rohstoffe, Effizienzsteigerungen, End-of-pipe-Technologien oder ökologisches Design. Letztendlich geht es auch in diesen Ansätzen nur darum, nutzenstiftende Produkte nach herkömmlichem Muster herzustellen, ohne zu hinterfragen, ob der Nutzen nicht auch

²² Folgendes Komplexitätsverständnis soll dieser Arbeit zu Grunde gelegt werden: komplexe Systeme befinden sich in einem strukturell vielfältigen Zustand zwischen Ordnung und Unordnung (Chaos) und sind durch eine große Anzahl über verschiedene Ebenen interdependente und holarchisch verbundene Elemente ausgezeichnet, die das System fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht aufrecht erhalten; typische Eigenschaften sind Selbstorganisation (Autopoiese), Dynamik und Emergenz (neue, nicht durch die Einzelelemente konstituierbare Eigenschaften treten auf); Vgl. Berkhoff, Kastens und Newig (2004), S. 101f und Christen (2002), S. 69

²³ Vgl. Isenmann (2003), S. 164ff

²⁴ Die physischen (materiellen und energetischen) Dimensionen der Austauschbeziehungen des sozio-ökonomischen Systems mit der Natur werden hier als Metabolismus verstanden; Vgl. Krausmann, Schandl und Schulz (2003), S: 6

²⁵ Vgl. Kopfmüller (1995), S. 110

unabhängig von Ressourcen bindendem Besitzstreben auf ganz andere Art und Weise erbracht werden kann. Solche nutzenorientierten Ansätze, die auch gerne mit dem – ähnlich wie Nachhaltigkeit – inflationär auftretenden Begriff der Dienstleistungsgesellschaft umschrieben werden, sind durchaus notwendige Ansätze, die einen wichtigen Beitrag zur Umgestaltung industrieller Gesellschaften in Richtung Nachhaltigkeit erbringen können. Es darf dabei aber nicht vergessen werden, dass auch Dienstleistungen auf eine gegebene materielle Infrastruktur und verwendbare Produkte angewiesen sind, die durch industrielle Produktionsprozesse erzeugt werden (müssen). Das heißt, dass ein gewisses Maß an materieller Güterproduktion für die Aufrechterhaltung eines bestimmten Wohlfahrtsniveaus nicht durch immaterielle Güter ersetzbar ist. Gerade das Beispiel der gerne als „beinahe stofflos“ bezeichneten Informationsgesellschaft zeigt dies deutlich. Die dafür nötige datentechnische Infrastruktur in Form von Rechnern, Kabeln und Speichermedien ist für den extrem hohen Stoffumsatz bei der Herstellung und für die schwierige Rückführung in den Stoffkreislauf bekannt.²⁶ Und damit steht wieder die Ausgangsfragestellung im Fokus:

Wie können die auch bei Ausreizung aller anderen Optionen unumgänglich notwendigen Produktionsprozesse so gestaltet werden, dass sie der Forderung nach einer Nachhaltigen Entwicklung gerecht werden? Konkretisieren lassen sich die Forschungsfragen an Hand der Grundfragen, die ein interdisziplinäres Forscherteam im Jahr 2000 in Schweden aufgestellt hat:²⁷

- Wie können die dynamischen Interaktionen zwischen Natur und Gesellschaft in Modelle und Konzepte gefasst werden, die das Erdsystem, anthropogene Entwicklung und Nachhaltigkeit abbilden?
- Wie sehen die nachhaltigkeitsrelevanten Langzeittrends für Umwelt und Entwicklung und die Veränderungen in der Gesellschafts-Umwelt-Interaktion aus?
- Was bestimmt die Robustheit bzw. Verletzlichkeit sozio-ökologischer Systeme in verschiedenen Kontextmilieus hinsichtlich ökologischer Voraussetzungen und vorzufindender Lebensstile bzw. Wirtschaftsweisen?

²⁶ Vgl. Rötzer (2004) sowie Behrendt u.a. (2003), S. 17ff; Die Ökobilanz eines PCs ist aufgrund der Verwendung unterschiedlichster Edelmetalle und integrierter Bauteile nicht weniger umfangreich als die eines Mittelklassewagens.

²⁷ Vgl. Jäger (2004), S. 296 und Kates, Clark, Corell u.a. (2001), S. 641

- Können wissenschaftlich sinnvolle Grenzen (Indikatoren) für die Verletzung von Nachhaltigkeitskriterien im sozio-ökologischen Kontext zumindest annähernd bestimmt werden?
- Welche Art von Anreizsystem kann am ehesten die Entwicklung nachhaltiger Wirtschaftsweisen und Lebensstile befördern?
- Wie können schon heute vorhandene Systeme bei dieser Entwicklung so eingesetzt werden, dass sie einen möglichst zielführenden Beitrag zu nachhaltiger Entwicklung liefern?
- Wie können heute relativ unabhängig voneinander existierende Aktivitäten der Forschung, Beratung, Beobachtung, Bewertung und Entscheidungsunterstützung so integriert werden, dass sie adaptives Management und kollektive Lernprozesse in Richtung Nachhaltige Entwicklung bzw. IÖ befördern?
- Inwiefern kann der Ansatz der IÖ zu einer Lösung der oben aufgeworfenen Problembereiche beitragen?

1.2 FORSCHUNGSANSATZ

1.2.1 Zur Begründung einer Arbeit über ökologische Nachhaltigkeit

Als (insbesondere natur)wissenschaftlich weitgehend eindeutig bestehende Erkenntnis sei gesetzt, dass es sich beim derzeitigen Zustand der Biosphäre der Erde und dessen Beeinflussung durch menschliche Handlungen um eine akute bzw. auch in Zukunft relevante Krisensituation handelt.²⁸ Diese zu beschreiben und zu erklären ist nach wie vor ein vordringliches wissenschaftliches Anliegen, auch wenn einzelne Autoren jene langjährigen wissenschaftlichen Erkenntnisse zu Unkenrufen herabzudestillieren versuchen und offiziell eine Entwarnung von der in ihren Augen nur „so genannten ökologischen Krise“ geben.²⁹ Scheinbar stichhaltige Entwarnung hinsichtlich dieses

²⁸ Vgl. Meadows, Randers und Meadows (2004), S. 1ff, WWF (Hg 2004), S.10ff, Schmidheiny (1992), S. 28ff, WBGU (Hrsg. 1999), S. 69ff, WBGU (Hrsg. 2000), S. 22, Enquete-Kommission (1994), S. 4ff, Wuketits (1998), S. 197, Hampicke (1995), S. 265, Vorholz (2002), S. 26, Busch-Lüty und Dürr (1996), S. 98, Gruhl (1992), S. 290 und Spangenberg (2003), S. 4ff

²⁹ Vgl. Lomborg (2002), insb. S. 50ff seines trotz aller Ungereimtheiten empfehlenswerten Buches „Apocalypse No!“, das vor allem in der wissenschaftlichen Literatur wesentlich kritischer rezipiert wurde als z. B. in den publikumswirksamen Wirtschaftszeitschriften. Laut dem dänischen „Committee on Scientific

Sachverhalts von Seiten der „Entdecker“ der „environmental kuznets curve“³⁰ (EKC), die sich auf einen überschaubaren Bereich der Umweltprobleme wie Emissionen bestimmter Schadgase („emission of the year“) beschränken und abnehmende Umweltschädigung mit steigendem Pro-Kopf-Einkommen korrelieren,³¹ lassen sich dadurch relativieren, dass darüber hinaus die globalen stoff- und energiestromspezifischen Größen wie CO₂-Ausstoß, Flächenversiegelung, Ressourcenverbrauch, Degradation von Ökosystemen und Abfallmengen weiterhin im Steigen begriffen sind³² und keine signifikante *generelle* Abnahme sowohl des globalen Ressourcenverbrauchs (und damit der drohenden Rohstoffverknappung) als auch der damit einher gehenden Umweltbelastung wie z. B. des Rückgangs der biologischen Diversität³³ zu verzeichnen ist.³⁴ Man kann im Zusammenhang mit den Entwicklungen, die die Environmental Kuznets Curves aufzuzeigen scheinen, durchaus von Verlagerungstendenzen von den Triadenmächten in die Schwellen- und Transformationsländer ausgehen (importierte Nachhaltigkeit) und nicht von einer verallgemeinerbaren Gesetzmäßigkeit, nach der die Umweltbelastung generell mit einer Zunahme des Pro-Kopf-Einkommens zurückgehe, wie dies die EKC auf den ersten Blick zu suggerieren scheint.³⁵ In vielen hoch entwickelten Industriestaaten geht das steigende Pro-Kopf-Einkommen nach wie vor mit einem steigenden Verbrauch an Rohstoffen pro Kopf einher,³⁶ der in den Industriestaaten zwischen 40 und 80 Tonnen pro Jahr beträgt,³⁷ deren Umweltverbrauch jedoch zu einem Großteil beim Abbau in den rohstoffliefernden Entwicklungsländern stattfindet und deshalb nicht in den EKCs oder Umweltbilanzen der Industriestaaten erscheint, am

Dishonesty“ fällt Lomborgs Buch unter die Kategorie „scientific dishonest“; Vgl. Ott, Döring, Gorke u.a. (2003), S. 45

³⁰ Vgl. Vogel (1999), S. 13ff und Rothman/de Bruyn (1998), S. 143

³¹ Vgl. Bartelmus und Vesper (2000), S. 141; Dies ergibt eine auf dem Kopf stehende U-Kurve, bei der ab einem bestimmten Pro-Kopf Einkommen die Umweltbelastung für einzelne Indikatoren mit steigendem Einkommen abnimmt.

³² Vgl. IW (2004), S. 87 und S. 147, Dosch (2004), S. 190 und Lorenz und Penn-Bressel (2005), S. 261; Z. B. der von der Bundesregierung angestrebte Nachhaltigkeitswert für die Flächenversiegelung von 30 ha/Tag wurde in den letzten Jahren jeweils um das 3-4fache überschritten.

³³ Vgl. Prokosch und Heinrich (2005), S. 269ff

³⁴ Vgl. Huber (1995), S. 47, Gründinger (2002), S. 59ff und Rao (1999), S. 96ff, Schenkel und Reiche (1993), S. 97, Adriaanse, Bringezu, Hamann u.a. (1998), S. 39 sowie Matthews, Amann, Bringezu u.a. (2000), S. XIff

³⁵ Vgl. Ekins (1997), S. 805ff, Luks (2002) S. 70f, Giljum und Eisenmenger (2003), S. 8f und von Weizsäcker (2005), S. 154

³⁶ Vgl. Carpintero (2005), S. 29f

³⁷ Vgl. Allen (2003), S. 4

Ort des Abbaus jedoch starke Umweltveränderungen mit sich bringt.³⁸ Es zeigt sich, dass die durch importierte Materialien im Ausland ausgelösten Stoffströme für die hochentwickelten Industriestaaten sogar größer sind als die Binnenströme.³⁹ Die Bewertung der „ökologischen Fußabdrücke“ der Industrieländer, die die importierte Nachhaltigkeit mit einbeziehen, bestätigt diese Tendenz.⁴⁰ Damit zeigt sich, dass steigendes Einkommen nicht zwingend mit geringerer Umweltbelastung korreliert: Ein reicher Staat ist nicht zwingend umweltfreundlicher als ein armer.⁴¹

1.2.2 Annahme: Umweltkrise trotz partieller positiver Entwicklungen

Zwar zeigt der Deutsche Umweltindex (DUX) ähnlich wie die EKCs durchaus positive Einzel-Entwicklungen für ausgewählte Umweltprobleme, aber es kann auch hier festgestellt werden, dass er beim aktuellen Stand weit von der Erfüllung des Konzepts der Nachhaltigkeit entfernt ist.⁴² Und das, obwohl man durchaus konstatieren kann, dass in Deutschland betrieblicher Umweltschutz im internationalen Vergleich auf sehr hohem Niveau betrieben wird. Trotzdem genügen die Maßnahmen in ihrer Gesamtheit nicht dem Postulat der Nachhaltigkeit.⁴³ Einer der verursachenden Faktoren der Umweltkrise ist der weltweit überhöhte Stoff- und Energieverbrauch, der in der derzeitigen Form nicht langfristig aufrechterhalten werden kann und somit dem Prinzip der Nachhaltigkeit zuwider läuft.⁴⁴ Darüber hinaus werden jährlich zu den schon über 100.000 produzierten chemischen Verbindungen Tausende neuer Stoffe, von deren Umweltwirkungen noch wenig bekannt ist, entweder wissentlich in Umlauf gebracht oder unwissentlich durch Emissionen freigesetzt.⁴⁵ Die Erfahrungen aus der Vergangenheit zeigen jedoch, dass ein hoher prozentualer Anteil der neu entwickelten Stoffe ökotoxische oder gesundheitsgefährdende Wirkungen verursacht.⁴⁶ Doch bleiben die bisherigen Reaktionen seitens der menschlichen Gesellschaften trotz dieses eindeutig vorhandenen

³⁸ Vgl. Geisendorf, Gronemann, Hampicke u.a. (1998), S. 9 und Kituyi (2004), S. 230

³⁹ Vgl. Adriaanse, Bringezu, Hammond u.a. (1998), S. 25; Untersucht wurden die Stoffströme der USA, Deutschlands, der Niederlande und Japans.

⁴⁰ Der Begriff des „ökologischen Fußabdrucks“ wird weiter unten ausführlicher behandelt.

⁴¹ Vgl. Goklany (2003), S. 209

⁴² Vgl. Stutz (2004), S. 282

⁴³ Vgl. Schneidewind (2005), S. 149

⁴⁴ Vgl. Kopfmüller (1995), S. 106

⁴⁵ Vgl. Wittig und Streit (2004), S. 276 und Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (Hrsg. 1996), S. 9

⁴⁶ Vgl. Dettenkofer, Zunder und Lacour (2001), S. 61

und validen Wissens offensichtlich unbedarft, als wäre dieses Wissen noch gar nicht realisiert.⁴⁷ Es scheint sich um einen realitätsfernen kollektiven Verdrängungsmechanismus zu handeln, der auch frühere Hochkulturen schon die Existenz gekostet hat, weil sie von den selbst hervorgerufenen existenzbedrohenden Ereignissen überrascht wurden.⁴⁸ Das *sozial-ökologische Axiom* dieser Arbeit besteht also darin, von einer existenten und vom Menschen verursachten Umweltkrise auszugehen. Das Erkenntnisinteresse liegt auf deren Erklärung aus materieller bzw. stoffflussorientierter Sicht und auf der Findung von Lösungsansätzen, wobei davon ausgegangen wird, dass zumindest die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse annähernd ausreichend sind, Umfang und Qualität der „ökologischen Krise“ hinreichend genau zu beschreiben.⁴⁹ Das impliziert darüber hinaus, dass dieses Wissen dazu ausreichen sollte, Lösungsstrategien für die diagnostizierte Krise entwickeln zu können.⁵⁰ Die Strategien sollen hier das industrielle Produktionssystem betreffen und dem Ansatz der Industriellen Ökologie entsprechen.

1.2.3 Ausgangslage systemisch betrachtet

Betrachtet man den Sachverhalt systemtheoretisch, so erscheint die ökologische Krise als Schadenssyndrom, das augenblickliche und zukünftige Funktionen von Systemelementen (hier Sachen und Personen) stört oder irreversibel schädigt. Der Syndrom-Ansatz bietet sich insofern an, als die Phänomene des globalen Wandels (global change) sich in vielen einzelnen Symptombildern darstellen, die interdependent und synergetisch miteinander verbunden sind.⁵¹ Es ist zur Einschätzung der globalen Situation erforderlich, diagnostisch eine Gesamtsicht auf die Problematik zu werfen, um nicht die Fehler zu machen, die umweltpolitische Insellösungen mit sich bringen können. Bevor man an Lösungsstrategien herantritt, bedarf es eines Verständnisses davon, wie die

⁴⁷ Vgl. Bastian (1996), S. 131; Dieser Umstand hat zwar zu meinem Interesse an der vorliegenden Arbeit geführt, kann hier aber trotzdem nicht weiter vertieft werden.

⁴⁸ Vgl. Doerr (2005), S. 184

⁴⁹ Vgl. Weisz (2002), S. 62 und Korhonen (2004), S. 63; Zum Beispiel weisen die meisten wissenschaftlichen Erkenntnisse im Zusammenhang mit der vergangenen und gegenwärtigen Klimaentwicklung deutlich darauf hin, dass es einen eindeutigen Zusammenhang zwischen der beobachtbaren Klimaerwärmung mit menschlichen Aktivitäten gibt. Die stärksten Wirkungen gehen hierbei von anthropogen verursachten Emissionen klimawirksamer Gase und Veränderungen der biologischen Aktivität an Land (Rodungen) und in den Ozeanen (Einschränkung biologischer Aktivität der phytophagen Meeresfauna durch Verschmutzung) aus. Allerdings herrscht über das zu erwartende Ausmaß der globalen Temperaturentwicklung wissenschaftliche Uneinigkeit; Vgl. Erbrich (2004), S. 193 und IPCC (Hrsg. 2001), S. 6

⁵⁰ Obendrein steht den industrialisierten Gesellschaften kein anderes Wissen zur Verfügung.

⁵¹ Vgl. Reusswig (1997), S. 75f

stofflich-energetischen Wechselwirkungen auf der Erde im Allgemeinen „funktionieren“ und wie diese im Besonderen durch den industriellen Metabolismus verändert werden.⁵² Als Gesamtsystem wird der Planet Erde herangezogen, verschiedene Betrachtungsebenen sind die relevant erscheinenden Subsysteme, die die Abläufe der Lebensprozesse im System wesentlich beeinflussen. Orientiert man sich an der so genannten *Funktionalität*⁵³ der Systemelemente (hier insbesondere die der „Natur“), so muss man über den Krisenbegriff hinaus konstatieren, dass es sich bei der derzeitigen Art zu wirtschaften um die kontinuierliche Aneinanderreihung nicht intendierter unwillkommener Ereignisse handelt, die Sach- und Personenschäden nach sich ziehen, die wiederum die Funktionalität der Subsysteme einschränken. Man kann hier auch von Störfällen sprechen, die jedoch nicht wie landläufig üblich ein singuläres Ereignis beschreiben, sondern in hohem Maße dem an den globalen anthropogenen Stoffströmen beteiligten Systemelement immanent sind: dem Produktionssystem.⁵⁴

Nachhaltige Entwicklung als Lösungsansatz

Ein in den letzten Jahren breit diskutierter Lösungs-Ansatz für die konstatierte Krise ist die Forderung nach nachhaltiger Entwicklung, die auf zwei Argumentationssträngen basiert:⁵⁵

- Einem normativen, der intra- und intergenerationelle Gerechtigkeit einfordert
- Einem objektiven, der sich am derzeitigen Zustand der natürlichen Lebensgrundlagen und deren Belastbarkeit orientiert

⁵² Vgl. Côté (2003), S. 1

⁵³ Der Begriff der Funktionalität bzw. Funktion ist im Zusammenhang ökologischer Phänomene der Natur durchaus umstritten, da es sich bei allen natürlichen Gegebenheiten und Entwicklungen innerhalb der Evolution um zufallsbestimmte Sachverhalte unter naturgesetzlicher Vorgabe handelt, weshalb es aus rein phänomenologischer Sicht keinen Anlass gibt, einem evolutionär entstandenen Sachverhalt eine Funktion im engeren Sinne zuzuschreiben – ob in der Natur etwas funktioniert oder nicht funktioniert kann nicht vorherbestimmt werden, also kann auch keine gezielte Absicht dahinter stehen – aus anthropozentrischer und naturhistorischer Sicht kann aber etwas darüber ausgesagt werden, wie die Entwicklung verlaufen ist und welche Sachverhalte dabei interdependent waren und sind, wobei sich in den Interdependenzen gegenseitige Funktionalitäten finden lassen und diese sind letztendlich für die Erhaltung des Lebens auf der Erde von Interesse.

⁵⁴ Vgl. Perrow (1992), S. 96f

⁵⁵ Vgl. Jörissen, Brandl und Kopfmüller (2002), S. 35

1.2.4 Forschungsperspektive Nachhaltigkeitsforschung

Macht man die damit verbundenen Fragestellungen zum theoretischen, empirischen und politischen Bezugspunkt einer wissenschaftlichen Arbeit, so steht man vor der Wahl einer zielführenden Forschungsperspektive. Hierbei scheint die sozio-ökologische Perspektive ein durchaus vielversprechender Ansatz zu sein, mit nunmehr gut 15-jähriger Erfahrung durch das Frankfurter Institut für Sozialökologische Forschung (ISOE).⁵⁶ Abgesichert ist diese Ansicht auch durch den Umstand, dass das BMBF im Jahr 2000 eigens einen diesbezüglichen Forschungsschwerpunkt eingerichtet hat.⁵⁷ Durch die aus der lebensweltlichen Praxis viel diskutierten Ansätze zur Nachhaltigen Entwicklung hat sich aus der sozio-ökologischen Perspektive heraus das Arbeitsgebiet der Nachhaltigkeitsforschung etabliert, das die Bedingungen und Sachverhalte der kooperativen Lösung globaler und regionaler Nachhaltigkeitsstrategien theoretisch und methodologisch untersucht.⁵⁸ Im Oktober 2000 traf sich ein interdisziplinäres Forscherteam in Friibergh, Schweden, um dort Grundregeln der „Sustainability Science“ festzulegen. Sie kamen überein, dass sich Nachhaltigkeitsforschung auf die dynamischen Interaktionen zwischen Natur und Gesellschaft zu konzentrieren hat.⁵⁹ Der zu Grunde liegende Ansatz erfordert den Einsatz unterschiedlichster Wissenschaftsdisziplinen, was weiter unten diskutiert wird. Dabei kommen sowohl deskriptive als auch normative Ansätze zum Zug. Als Wissenschaftsverständnis liegt dieser Arbeit das Bemühen zu Grunde, Wissen über Zusammenhänge, über die Vergangenheit und über zukünftige Entwicklungsmöglichkeiten zu generieren, ohne den Anspruch zu erheben, damit letztgültige objektive Wahrheiten zu schaffen.⁶⁰ Es werden dabei nicht selten Wertvorstellungen des Forschenden einfließen (im besten Fall explizite, im schlechteren Fall implizite).

⁵⁶ Vgl. Becker/Jahn (2003), S. 3ff

⁵⁷ Vgl. BMBF (Hrsg. 2000), S. 1ff

⁵⁸ Vgl. Zeeuw (2000), S. 172

⁵⁹ Vgl. Jäger (2004), S. 296

⁶⁰ Vgl. Valsangiacomo (1998), S. 290

1.2.5 Beteiligte Wissenschaftsbereiche

1.2.5.1 Relevante Wissenschaftsbereiche

Begrifflich ist der Wissenschaftsbereich, in dem umweltrelevante Phänomene im gesellschaftlichen, ökonomischen oder technologischen Kontext beschrieben, erklärt, prognostiziert oder bewertet werden sollen, sehr vielfältig. Es kursieren viele, zumindest unterschiedlich benannte Ansätze, die sich inhaltlich, strukturell und methodisch aber häufig stark ähneln und überschneiden. Thomas Jahn vom ISOE hat den weiter oben benannten Ansatz z. B. auch schon mit dem Begriff „Transdisziplinäre Nachhaltigkeitsforschung“⁶¹ belegt, der dem inhaltlichen und methodischen Ansatz dieser Arbeit durchaus auch zugeschrieben werden kann, da sie die wissenschaftliche Bearbeitung eines spezifischen (ausschnitthaften) „Nachhaltigkeitsproblems“ zum Inhalt hat. Die Form der integrativen Forschungsansätze mit „Bereitstellung von Handlungswissen“ kann aber hinsichtlich der anfänglichen politischen Zielsetzung kritisch beurteilt werden, da erwünschte Ergebnisse dabei leicht intendiert werden. Dies kann jedoch bei sorgfältiger Herangehensweise den Wert der Bemühungen für den realen Nutzen solcher Ansätze nicht schmälern.⁶² Letztendlich bewegt sich ein solcher Forschungsansatz auf Grund der realen Komplexität der beobachteten Phänomene stets in einem Spannungsfeld zwischen der strengen Wissenschaftlichkeit der sozialwissenschaftlichen Methoden (Objektivität, Abbildung der komplexen Realität) und der praktischen Anwendbarkeit auf eben jene lebensweltlichen Phänomene (Umsetzungsrelevanz, Akzeptanz).⁶³ Dabei handelt es sich um eine Spannung, die letztendlich nicht vollständig ausgeräumt werden kann und von der die Wissenschaft im Austausch mit der Praxis gerade bei transdisziplinärem Vorgehen sogar Impulse bezieht.⁶⁴ Eindeutig sinnvoll aus dieser Sicht erscheint der Ansatz, über die Naturwissenschaften Ökologie und Geophysikologie zu versuchen, die Erkenntnisse über die Natur als lebende autopoietische Einheit zu verwenden, um daraus Schlüsse für ein funktionierendes Verhältnis zwischen

⁶¹ Vgl. Jahn (2001), S. 1

⁶² Vgl. Gethmann (2004), S. 26

⁶³ Häufig sind es intuitive Grundannahmen eines wissenschaftlichen Modells, die dazu führen, dass dessen Ergebnisse auf die beschriebene Wirklichkeit so stark zurückwirken, dass aus dem damit induzierten Verhalten die Prognosen relativiert (oder gar falsifiziert) werden, wie dies z. B. mit dem Bericht „Grenzen des Wachstums“ des Club of Rome geschah – wurde das Modell dadurch aber „schlecht“ oder gar „falsch“? Vgl. Von Weizsäcker (2004), S. 31 und Jonas (1984), S. 218

⁶⁴ Vgl. Bechmann und Stehr (2004), S. 27

menschlich-kulturellem Handeln und den gegebenen Rahmenbedingungen, die die Natur setzt, ziehen zu können.⁶⁵ Das ist zwar ein Vorgehen, dem man leicht einen naturalistischen Fehlschluss unterstellen mag, es ist hier jedoch eine unabdingbare wissenschaftsbasierte Grundvoraussetzung,⁶⁶ bevor überhaupt an die Umsetzung eines Ansatzes wie der IÖ herangegangen werden kann.⁶⁷ Dies soll keinesfalls als idealisierte Überhöhung des Ökologiebegriffes verstanden werden,⁶⁸ gerade weil dem Begriff Ökologie seit der Umwelt- und Naturschutzbewegung über die naturwissenschaftliche Bedeutung hinaus eine leicht ideologische Note anhaftet.⁶⁹ Der Begriff wird oft als Ausgangspunkt für „neue“ alternative Gestaltungsprinzipien für lebenspraktisches Verhalten verwendet, dem man durchaus den Stellenwert eines Glaubensbekenntnisses zuschreiben kann (Ökologismus).⁷⁰ Diese Sichtweise ist jedoch eher als verkürzte Diskreditierung des Einsatzes der Wissenschaft natürlicher Lebensprozesse im Zusammenhang mit sozio-ökonomischen Phänomenen zu sehen. Die Natur ist das einzige bekannte Phänomen, das Nachhaltigkeit vorlebt.⁷¹ Die Ökologie als Wissenschaft versucht sich diesem Phänomen zumindest ansatzweise naturwissenschaftlich anzunähern. Egal wie rudimentär das derzeitige menschliche Wissen über natürliche Vorgänge, die sich auch im derzeitigen Stand der Evolutionswissenschaft widerspiegeln, ist:⁷² Es gibt keine exakteren Zugänge zu diesen Vorgängen, denen sich die Menschheit ebenso anzupassen hat wie jedes andere lebende Wesen. So ist es kaum möglich, aus den naturwissenschaftlichen Erkenntnissen, die im engeren Sinne nicht objektiv sein können, direkt soziale Normen für menschliches kollektives Verhalten abzuleiten. Es sollte aber möglich sein, aus den Kenntnissen über die natürlichen Lebensvorgänge auf der Erde einen Rahmen abzuleiten, der als Richtlinie für den Umgang mit der Natur auf der Erde gelten kann.⁷³

⁶⁵ Vgl. Maturana (2000), S. 106; In einem autopoietischen System interagieren die Bestandteile dynamisch und rekursiv miteinander und erzeugen damit das System selbst; durch Grenzziehung konstituiert es eine Einheit im Raum.

⁶⁶ Vgl. Reichholf (1998), S. 126

⁶⁷ Vgl. Korhonen und Strachan (2004), S. 3; Dass Natur keine teleologische Grundlage hat, sei damit implizit angenommen, schwächt aber nicht die Faktizität, dass die Natur ein gut funktionierendes Modell für Wirtschaften darstellt; Vgl. Isenmann (2002), S. 29

⁶⁸ Vgl. Pfriem (1993), S. 38

⁶⁹ Vgl. SRU (Hg 1994), S. 68ff

⁷⁰ Vgl. Reichholf (1998), S. 126

⁷¹ Vgl. Sossinka (2003), S. 42

⁷² Vgl. Haber (2001), S. 72

⁷³ Vgl. Sehrer (1998), S. 191

1.2.5.2 Auswahl der Wissenschaftsbereiche

Da es sich bei dem Begriff der IÖ um einen „neuen“ zusammengesetzten Begriff handelt, sollten die enthaltenen Begrifflichkeiten semantisch und in ihrem jeweiligen Gehalt geklärt werden. Eine der Hauptquellen ist die zu Grunde gelegte Naturwissenschaft Ökologie. Für die (deskriptive) Untersuchung, wie Produktionssystem (industriell) und Natur (Ökologie) vernetzt sind, bedarf es der Kenntnisse über die Eigenschaften industrieller Produktionssysteme und deren Verflechtung mit den natürlichen Rahmenbedingungen. Dieses Wissen liefern unter anderem die Humanökologie, Betriebs- und Volkswirtschaftslehre sowie Ingenieurs- und Geowissenschaften. Da das (normative) Konzept darüber hinaus eine ko-evolutorische Verflechtung des kulturell-technischen Produktionssystems mit der „Natur“ vorsieht, sind Kenntnisse darüber nötig, was gemeint ist, wenn von Natur gesprochen wird. Hier hilft die Wissenschaftstheorie und -philosophie weiter. Ebenso wird versucht zu klären, inwieweit es mit diesem Programm möglich ist, sich die „Natur“ als Vorbild für wirtschaftendes Handeln zu nehmen, wie es das normative Konzept der IÖ implizit vorsieht. Auf Grundlage dieses transdisziplinären Vorgehens sollte dann idealerweise zu klären sein, wie weit fortgeschritten die aktuelle Diskussion zur IÖ in Anbetracht der theoretischen Implikationen ist und welcher Forschungs- bzw. Handlungsbedarf für die Umsetzung des Konzeptes daraus abgeleitet werden kann. Die im Folgenden aufgeführten Wissenschaften werden zu diesem Zweck in einen holistischen Zusammenhang gesetzt.

Ökonomik

Die ökonomische Theorie bildet einen der zentralen Ansatzpunkte für die nachhaltige Lösung der ökologischen Krise, deren Syndrom durch die Wirtschaftsweisen und Lebensstile der Menschen ausgelöst wurde.⁷⁴ Die Erkenntnisse zur Ausgestaltung des Wirtschaftens müssen für die praktische Wirtschaft operationalisiert werden, um die lebensweltlichen Zusammenhänge konkret ändern zu können. Es bedarf somit auch Strategien, wie innovative Ansätze nachhaltigen Wirtschaftens „verkauft“ werden können, damit sie zu einer tatsächlichen Änderung industrieller Wirtschaftsweisen führen.

⁷⁴ Vgl. Immler (1993), S. 23

Insbesondere die Umwelt- und Ressourcenökonomik sowie die Ökologische Ökonomik versprechen Aufschluss über die Implikationen, die mit der Forderung nach nachhaltiger Entwicklung verbunden sind. Obwohl sich diese beiden „Schulen“ der umweltorientierten wirtschaftswissenschaftlichen Ansätze in manchem unversöhnlich gegenüberzustehen scheinen,⁷⁵ soll versucht werden, die Aussagen der verschiedenen Ansätze so weit zu integrieren, dass damit ein Beitrag zur Industriellen Ökologie geleistet werden kann. Der Ökologischen Ökonomik liegt das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung bereits zu Grunde,⁷⁶ weshalb deren Erkenntniszuwächse dafür prädestiniert sind, einen nützlichen Beitrag zur Beantwortung der Fragestellungen zu leisten. Auf betriebswirtschaftlicher Ebene ist es unumgänglich, vom mechanistischen konkurrenzorientierten Unternehmermodell zu einem im ökologischen Systemzusammenhang verankerten Ansatz zu gelangen,⁷⁷ bei dem das Unternehmen mehr als kybernetischer Organismus denn als lineare Maschinerie betrachtet wird. Damit sind die Grundvoraussetzungen zu beschreiben, wie sich die Wirtschaft als Element in das natürliche Ökosystem eingliedern kann.

Ökologie als Wissenschaft

Wieso ist in diesem Zusammenhang die Beschäftigung mit den ursprünglichen Erkenntnisinstrumenten der Ökologie so wichtig? Reicht es nicht, dass sich schon viele Autoren bei ähnlichen Fragestellungen auf diese „Mutter aller integrativen Wissenschaften“ berufen? Genügt es nicht schon, dass mancherorts die Ökologie wie ein neuer „Götze“ die Theologie als Glaubensbekenntnis ersetzt?⁷⁸ Wenn der Begriff der Ökologie in der Namensgebung inhaltlich ausgestaltet werden soll, um im metaphorischen oder gar analogen Sinn angewendet zu werden, dann muss transdisziplinäre Forschung die diesbezüglichen wissenschaftlichen Erkenntnisse zumindest ansatzweise durchdringen.⁷⁹ Denn ob es wirklich sinnvoll ist, sich aus der entfernten Warte des Sozialwissenschaftlers einzelne Begriffe aus der Ökologie als Metaphern herauszugreifen und sich daraus eine IÖ zu basteln, ist fraglich. Zumindest wenn nicht wenigstens ein annähernd systemisches Verständnis davon vorhanden ist. Wenn das industrielle

⁷⁵ Vgl. Luks (2002), S. 59

⁷⁶ Vgl. Lang (2003), S. 175

⁷⁷ Vgl. Zwierlein und Isenmann (1995), S. 110

⁷⁸ Vgl. Bolz und Bosshart (1995), S. 81

⁷⁹ Vgl. Siikavirta, Järvinen und Linnanen (2002), S. 13

System ökologisch umstrukturiert werden soll, dann müssen die Prinzipien der Ökologie bekannt und verstanden sein.⁸⁰ Das heißt, mit der IÖ eröffnet sich ein Forschungsprogramm, das über die metaphorische Verwendung von Begriffen hinausgeht, und die lebensweltliche Verknüpfung von industriellem und natürlichem System systematisch analysiert, da die stofflichen Austauschbeziehungen phänomenologisch existieren und nicht nur symbolischer Art sind.⁸¹ Das Verwenden von Metaphern ist hierbei insofern hilfreich, als die beobachteten sozio-ökologischen Phänomene so komplex sind, dass eine mathematische Darstellung auch bei starker Vereinfachung kaum möglich ist.⁸² Metaphern werden dann zu einem Erkenntniswerkzeug, um das Wissen zwischen den transdisziplinär verwendeten Wissenschaftsgebieten zu übertragen. Bekannte Sachverhalte werden dabei auf Fachgebiete übertragen, in denen die ursprüngliche Sichtweise (noch) unbekannt ist. Forschen heißt dabei auch, sich Wissen anzueignen und es in neuem Kontext anzuwenden. Die Übertragung verläuft dabei rekursiv: Funktionale Beziehungen aus der Anthroposphäre (Produzieren, Konsumieren, Recyceln) werden auf die ökosystemare Modellierung übertragen, die dort vorzufindenden Regelmäßigkeiten und Muster werden auf die Analyse der Anthroposphäre angewendet.⁸³ Im vorliegenden Zusammenhang trägt das Untersuchungsobjekt IÖ den Begriff „Ökologie“ als Nomen in sich. Die Ökologie ist damit ein Hauptbestandteil der Betrachtung.⁸⁴ Dass das Vorgehen der metaphorischen oder analogen Übertragung nicht neu ist, entbindet den Forschenden nicht von der Verantwortung, selbst aus erster Hand zu ergründen, welches Wissen die Ökologie bereitstellt, um eine der drängendsten Fragen der jüngeren Menschheitsgeschichte zu beantworten: Wie können wir nachhaltig leben? Im aktuellen Bezug heißt das nichts anderes als: Wie kann nachhaltig produziert und konsumiert werden?⁸⁵ Um diese Frage aus transdisziplinärer Sicht zu beantworten, kann man unmöglich auf das Fakten- und Zusammenhangwissen über die Natur verzichten, das in erster Linie die wissenschaftliche Ökologie liefert.⁸⁶ Darüber hinaus befindet sich die Wissenschaft Ökologie in einem ständigen Wandel, was im histori-

⁸⁰ Vgl. Allen (1994), S. 85

⁸¹ Vgl. Spiegelman (2003), S. 18

⁸² Vgl. Johansson (2002), S. 71

⁸³ Vgl. Husar (1994), S. 22

⁸⁴ Vgl. Lifset und Graedel (2002), S. 3

⁸⁵ Diese Frage tritt im ersten Teil des Nomens auf, das Industrielle findet sich sodann in der Untersuchung von Produktkonzeptionen und Produktionsweisen wieder.

⁸⁶ Vgl. Finke (2003), S. 250

schen Kontext immer neue Erkenntnisse erbringt, die auf die menschliche Technosphäre übertragen werden können. Die Diskussion, inwiefern so etwas überhaupt möglich und sinnvoll ist, wird in Kapitel 3 „Natur als Vorbild?“ zu klären versucht. Letztendlich ist es in dieser Arbeit notwendig, den Ansatz aus Metaphern und Analogien zu übernehmen, da er sich für die IÖ als Standard etabliert hat.⁸⁷ Analogien seien dabei verstanden als begriffliche Übertragung von Sachverhalten von einer Situation (natürliches Ökosystem) auf eine andere (industrielles Ökosystem) in Form einer Landkarte. Die Metapher ist eher als suggestives Bild eines Sachverhaltes, verglichen mit einem anderen, zu verstehen, was keine zwingenden analogen Schlüsse ermöglicht.⁸⁸ Die exakteren Analogien sollten dann zumindest auf dem neuesten Stand des Wissens angewendet werden, damit sie als Erkenntnis-Instrumente abgesichert sind. Es sollte also einen ständigen Wissensaustausch zwischen den für die Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung relevanten Wissenschaften stattfinden.⁸⁹ IÖ ist in diesem Zusammenhang nicht einfach als beschönigender Euphemismus zu verstehen, der das gute öffentliche Image des Begriffes Ökologie für sich beansprucht, sondern als Ausdruck eines wertfreien Erkenntnisinteresses im Hinblick auf nachhaltige Entwicklung.⁹⁰ Und dort wo das Wissen nicht auszureichen scheint, ist es unumgänglich, auf anderen Wegen dieses Wissen zu erweitern, was weiter unten am Beispiel der Gaia-Hypothese gezeigt wird.⁹¹ Erweitert wird die ökologische Sichtweise durch das Forschungsfeld Humanökologie, das die Mensch-Natur-Interaktion zum Gegenstand hat und damit eine geeignete wissenschaftliche Überleitung der Erkenntnisse für den Ansatz der Industriellen Ökologie liefert.

1.2.6 Komplexität und deren Deutung

Allein in einem räumlich abgrenzbaren Ökosystem ist mehr Information über Lebensvorgänge enthalten, als die gesamte ökologische Wissenschaft bislang hervorbringen

⁸⁷ Analogien und Metaphern können dabei jedoch nur im Sinne eines Entdeckungszusammenhangs verwendet werden, nicht jedoch im Sinne eines Begründungszusammenhangs; Vgl. Isenmann (2002), S. 37; als vertiefende Elemente im letzteren sollen Thermodynamik und Systemtheorie dienen.

⁸⁸ Vgl. Ehrenfeld (2003), S. 2

⁸⁹ Vgl. Korhonen und Strachan (2004), S. 13

⁹⁰ Vgl. Johansson (2002), S. 72

⁹¹ Vgl. Abschnitt 4.3

konnte.⁹² Trotzdem steht es mangels Alternativen außer Diskussion, sich auf diese Erkenntnisse zu stützen, wenn man Wege zu ökologisch nachhaltigen Wirtschaftsweisen sucht.⁹³ Dies unbenommen der Tatsache, dass es sich bei menschlichen Erkenntnissen über die Eigenschaften der Natur und der darin ablaufenden Vorgänge nur um Deutungsmuster handeln kann,⁹⁴ da das eigentliche „Funktionieren“ der Natur noch nicht vollständig durch die Forschung entschlüsselt werden konnte. Im besten Sinn sollte Wissenschaft die Einsicht in die Natur der Dinge in einem ständigen Entwicklungsprozess verbessern und dazu beitragen, die Welt nachhaltig mitzugestalten.⁹⁵ Das bedeutet auch, dass durch die nicht mehr rückgängig zu machende Gestaltung der Natur (wie die Menschen sie auf der Erde vorgefunden haben), zugleich die Erhaltung der Natur gewährleistet werden muss.⁹⁶ Dies entspricht durchaus dem rationalen Selbsterhaltungstrieb, der jedem Lebewesen zugeschrieben wird. Wissenschaft macht sich zur Aufgabe, das Leben der Menschen durch Schaffung von Wissen zu verbessern. Aus diesem Selbstverständnis heraus muss auch die Erhaltung des Lebens ohne normative Setzung zumindest implizites (hier sogar explizites) Ziel der Wissenschaft sein. Im Folgenden sei der dieser Arbeit zu Grunde liegende Ansatz zur Beantwortung der Forschungsfrage(n) skizzenhaft dargestellt:

⁹² Vgl. Kelly (1997), S. 199

⁹³ Vgl. Majer (1998), S. 229ff; Er spezifiziert „Wege zur Nachhaltigkeit“ als technisch, verhaltensbezogen und institutionell (tvi-Innovationen).

⁹⁴ Vgl. Isenmann (2003), S. 21

⁹⁵ Vgl. Laszlo (2003), S. 80

⁹⁶ Vgl. Immler (1993), S. 47

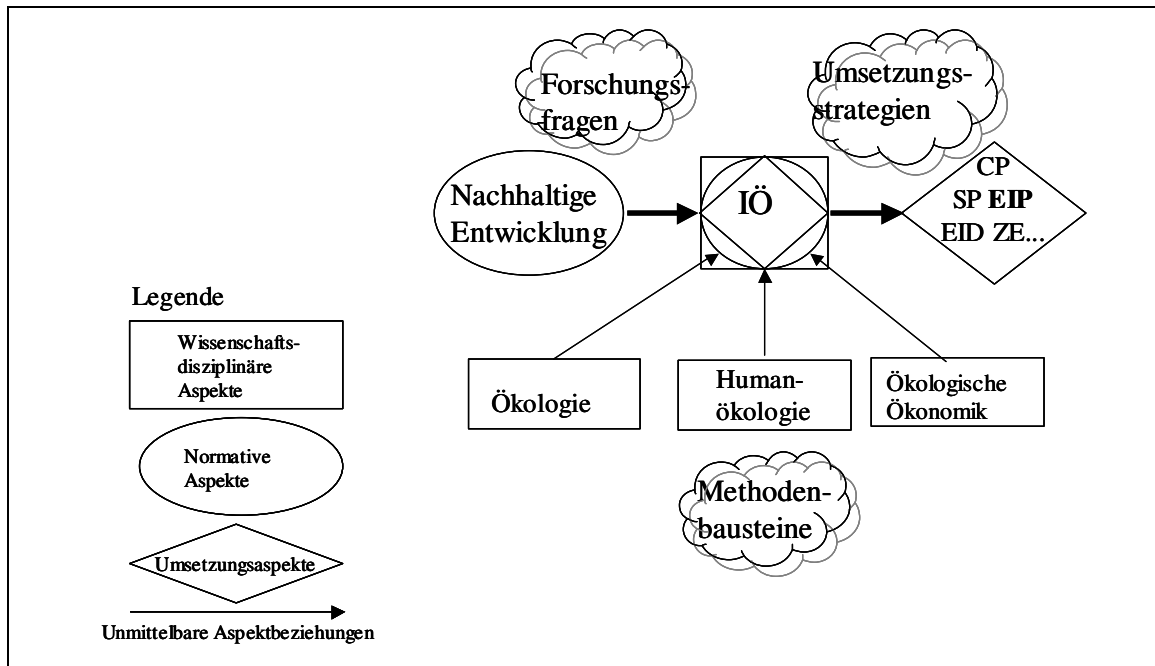


Abbildung 1: Design der Fragestellung

Anhand der wissenschaftlichen Methodenbausteine soll der Hauptstrang der Fragestellung, wie sich Nachhaltige Entwicklung in Form einer Industriellen Ökologie umsetzen lässt theoretisch beleuchtet werden. Dabei sind verschiedene Implikationen zu berücksichtigen.

Implikationen

Zweifellos hängen Produzenten (Unternehmen) und Konsumenten (Haushalte) als jeweilige Subsysteme der menschlichen Gesellschaft und komplementäre Teile des Angebots-/Nachfragesystems aller Volkswirtschaften untrennbar zusammen über die Nachfrage-Produktionslogik, die unter der gängigen Annahme von Profitmaximierung erst zur Produktion von Gütern führt, die dann von Akteuren am Markt nachgefragt werden.⁹⁷ Solche, in diesem Fall materiell-energetisch über hergestellte Produkte mehrfach gekoppelte Systeme machen eine Analyse der zu Grunde liegenden Faktoren insofern schwierig, als sozio-ökonomisch bzw. sozialpsychologisch aus verschiedenen Sichtweisen argumentiert werden kann: Die Industrie gibt die Verantwortung für die negativen Nebenwirkungen der Produkte an die Konsumenten (die Akteure des Nachfragesystems) weiter, da diese die Produkte nachfragen. Aus der Sicht der Konsumenten

⁹⁷ Vgl. Majer (2001), S. 356ff

kann argumentiert werden, dass die Anbieter durch das Anreizsystem die Konsumenten beeinflussen und sie dazu bewegen, ihre Produkte zu kaufen (gekauft werden kann ja nur, was angeboten wird).⁹⁸ Diese komplexen und kaum schlüssig bzw. so eindeutig wie oben darstellbaren Sachverhalte stehen bei der Debatte über Wege zur Nachhaltigkeit implizit immer im Raum und verursachen eine komplexe Problemgemengelage, die in ihrem gesamten Umfang die durchschnittliche rationale Erkenntnisfähigkeit eines Wissenschaftlers übersteigt.⁹⁹ Das bringt mit sich, dass die Annahme der bewussten Steuerbarkeit solcher Systeme dadurch konterkariert wird, dass menschliche Eingriffe nicht zwingend zum erwarteten Ergebnis führen.¹⁰⁰ Eine zielführende Thesenbildung wäre somit nur über die Einigung auf ein oder mehrere anzuwendende referenzielle Menschenbilder möglich. Betrachtet man jedoch alleine die Vielfalt der in der Ökonomie – abgesehen vom Homo oeconomicus – anwendbaren Menschenbilder,¹⁰¹ so wäre es ein eigenes Thema für eine Arbeit dieser Kategorie, ein Menschenbild für „den nachhaltigen Menschen“ zu entwickeln.¹⁰² Vereinfacht wird dieses (wissenschaftliche) Dilemma, wenn man versucht, das Subsystem der „industriellen Produktionsweisen“ aus diesem Komplex herauszulösen. In diesem Fall kann man Problemlage und Lösungsansätze in ihrer Verantwortung „eindeutig“ dem Produktionssystem zuordnen. Dies soll geschehen, indem der Fokus in dieser Arbeit auf die industriellen Produktionsweisen gelegt wird, was aber nicht heißt, dass auf die grundlegende Ansicht verzichtet wird, im komplexen Systemzusammenhang der „Gesellschafts-Natur-Problematik“ hinge „alles mit allem“ zusammen.¹⁰³ Denn gerade die neuzeitlichen Krisen der Gesellschaft und der Natur sind untrennbar miteinander verzahnt.¹⁰⁴ Dass die ökologischen Folgen von wirtschaftender Tätigkeit des Menschen, zum Beispiel beim Verbrauch fossiler Energieträger zu Produktion und Gebrauch von Produkten, im komplexen Beziehungsgeflecht globaler ökologischer Zusammenhänge auf vielen unterschiedlichen, eher selten vom Menschen antizipierbaren Ebenen vonstatten ge-

⁹⁸ Vgl. Katzenstein (1996), S. 49f

⁹⁹ Vgl. Mittelbach (2005), S. 142

¹⁰⁰ Vgl. Welford (2004), S. 287

¹⁰¹ Vgl. Majer (2001), S. 13ff

¹⁰² Vgl. Siebenhüner (2004), S. 26ff und Siebenhüner (2001)

¹⁰³ Vgl. Laszlo (2003), S. 86

¹⁰⁴ Vgl. Steiner (1992), S.2

hen,¹⁰⁵ macht die Untersuchung solcher Fragestellungen zusätzlich kompliziert, da sowohl auf Verursacherseite als auch auf der Wirkungsseite komplexe Systemzusammenhänge vorherrschen, die wiederum von unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen abgedeckt werden. Dabei ist zu beachten, dass die menschliche Perzeption der Gefährdung und Widerstandsfähigkeit der Natur vom aktuellen Wissen über sozio-ökologische Zusammenhänge bestimmt wird und kontextrelativ stattfindet.¹⁰⁶ So ist es ein unumgängliches Element von Nachhaltigkeitsforschung, die Verletzlichkeit bzw. Vulnerabilität der gekoppelten sozio-ökologischen Systeme zu untersuchen und die Ergebnisse hinsichtlich der Maßnahmen zur Erreichung nachhaltiger Stoff- und Energieflüsse zu berücksichtigen.¹⁰⁷

Dazu sollte(n)¹⁰⁸

- die Wissensbasis für die Analyse offen gehalten werden (Transdisziplinarität),
- Vulnerabilitäts-Forschung orts- und zeitraumbezogen orientiert sein,
- die auslösenden Stressoren als vielfältig und interdependent und nicht als einzigartig oder vielfältig aber unabhängig voneinander betrachtet werden,
- der Ansatz unterschiedliche Adaptionenfähigkeit der betroffenen Systeme oder Akteure berücksichtigen und
- die Information sowohl historisch als auch prognostisch gewertet werden.

Darüber hinaus kommt man bei der Suche nach einem konzeptionellen Rahmen für die wissenschaftliche Untersuchung von Vulnerabilität um die Diskussion von Indikatoren und deren Messung nicht herum,¹⁰⁹ da sie das Grundgerüst für die Bewertung des Sachverhaltes der Verletzlichkeit der beteiligten Subsysteme bilden. Nur die Annahme, dass die Grenzen der Belastungsfähigkeit des globalen Ökosystems und der Rückwirkungen

¹⁰⁵ Vgl. Lohmann (2004), S. 169; Eine beispielhafte Wirkungskette (von vielen) der jüngeren Vergangenheit stellt sich vereinfacht folgendermaßen dar: Verbrennung fossiler Energieträger zur Energiegewinnung in Europa – Bildung von Schwefel-Aerosolen – Veränderung der regionalen Strahlungsbilanz, resp. Albedo – regionale Abkühlung der Erdoberfläche – Veränderung der Temperaturverteilung über der Erdoberfläche – Änderung der Atmosphärischen Zirkulation feuchter Luftmassen – geographische Verschiebung des Afrikanischen Monsuns – trockeneres Klima in der Sahelzone – Ausweitung derselben Richtung Süden.

¹⁰⁶ Vgl. Cantor und Rayner (1994), S. 70; Hier soll davon ausgegangen werden, dass die primäre Gefährdung durch die Verletzlichkeit der Natur gegeben ist und dass diese auf das auch verletzliche soziale System zurückwirkt.

¹⁰⁷ Vgl. Turner, Kasperson, Matson u.a. (2003), S. 8074

¹⁰⁸ Vgl. Polsky, Colin, Schröter, u.a. (2003), S. 3f

¹⁰⁹ Vgl. Kasperson und Kasperson (2001), S. 5

auf das anthropogene System aus Kultur und Ökonomie bekannt sind, lässt eine „Normierung“ der anzustrebenden Lösungskorridore zu. Was wiederum den Einsatz unterschiedlicher Wissenschaftsbereiche erfordert, um der komplexen Gesamtproblematik gerecht zu werden.

1.2.7 Einfluss von Menschen- und Naturbildern auf die Nachhaltigkeitsdiskussion

Die unterschiedlichen Herangehensweisen an die Nachhaltigkeitsfrage hängen mit den den Wissenschaften und den dem täglichen Handeln zu Grunde liegenden Perspektiven auf das Verhältnis zwischen Mensch und Natur zusammen. Dieses Verhältnis kann auf sehr vielfältige Weise beschrieben werden.¹¹⁰ Nicht zuletzt kann die derzeitige „ökologische Krise“ auf ein gestörtes Mensch-Natur-Verhältnis zurückgeführt werden, was jedoch nur eine der möglichen Lesarten darstellt. Die Frage, die also über die rein stofflichen Austauschverhältnisse hinaus zu klären sein wird, ist die eines geeigneten Naturverständnisses, das als tragende Säule zur Ableitung von Handlungsempfehlungen dienen kann. Ein solches Verständnis oder Weltbild sollte möglichst wenig von disziplinären Schranken oder wissenschaftstheoretischen Abgrenzungstendenzen innerhalb erkenntnistheoretischer Disziplinen beschränkt werden, sondern sich vielmehr als „bestmögliche Auswahl“ aller zur Verfügung stehenden Erkenntnisse generieren lassen.¹¹¹ Auch gilt es, innerdisziplinäre Schranken zu überwinden, indem z. B. die nicht zielführenden Abgrenzungsbestrebungen zwischen Umweltökonomie und Ökologischer Ökonomik hinterfragt werden und mehr auf die Potenziale gegenseitiger Ergänzung geachtet wird.¹¹²

Naturverständnis als Handlungsgrundlage

Sowohl das lebensweltliche als auch das wissenschaftliche Naturverständnis beeinflusst den Umgang mit und die Bewertung der Natur. Deshalb ist das den gesellschaftlichen Handlungen und Strategien zu Grunde liegende Naturverständnis zu klären. Da es sich dabei um Ansichten und Einsichten verschiedenartiger Menschen oder gesellschaftli-

¹¹⁰ Vgl. dazu insb. Isenmann (2003), S. 173ff

¹¹¹ Dass diese Auswahl schwerlich rein objektiv möglich sein wird, bleibe dahingestellt.

¹¹² Vgl. Luks (2002), S. 59

cher Gruppierungen handelt, muss von unterschiedlichen Naturverständnissen ausgegangen werden, die die jeweiligen Handlungsrationitäten mitbestimmen. Diese sollen in ihrem Bedeutungsgehalt geklärt werden, bevor man sich daran macht, sich die Natur zum Vorbild für eine sich immer weiter entwickelnde und nachhaltige wirtschaftliche Tätigkeit zu machen,¹¹³ wie dies im Ansatz der IÖ angestrebt wird.

In der Ökonomie kann man mit Isenmann vier grundsätzliche Typen von „Naturverständnis“ aus der Vielzahl der möglichen Ansichten entwickeln:¹¹⁴

- Natur als Objekt (Neoklassik)
- Natur als Grenze („Raumschiffwirtschaft“, Umwelt- und Ressourcenökonomik)
- Natur als Vorbild (Ökologische Ökonomik, IÖ)
- Natur als Partner (IÖ, Bio-Ökonomie, Ko-Evolution)

Diese vier Typologisierungen sind in ihrer dargestellten Reihenfolge durchaus als Entwicklungsstufen eines (seit Beginn der Industrialisierung ablaufenden) evolutionären Prozesses auslegbar, oder zumindest sollten sie das sein, wenn das Weiterbestehen einer industriellen Kultur angestrebt wird, wobei die beiden letzteren

- (i) für eine nachhaltige Zukunftsperspektive vielversprechende Ansatzpunkte liefern und
- (ii) nicht zu exakt abgegrenzt werden sollten, um angesichts der Suche nach einem Modell für eine zukunftsfähige Wirtschaftsweise keine unnötigen Barrieren zu konstruieren.

Letztendlich bestimmt das dem Forschungsansatz zu Grunde liegende Naturverständnis mit seinen metawissenschaftlichen Vorstellungen von Natur die Art der Herangehensweise und die Interpretation von Erkenntnissen,¹¹⁵ weshalb dieser Punkt einer näheren Untersuchung bedarf, um die wissenschaftliche Vorgehensweise und die abgeleiteten Schlüsse zu begründen.

¹¹³ Vgl. Hawken (1996), S. 39

¹¹⁴ Vgl. Isenmann (2003), S. 223; Ohne Anspruch auf Vollständigkeit; Radke (1999), S. 156 findet z. B. eine etwas abweichende Zuordnung, die sich aber inhaltlich nicht wesentlich von der hier verwendeten unterscheidet.

¹¹⁵ Vgl. Rink und Wächter (Hrsg. 2004), S. 8

1.2.8 Warum die Konzentration auf Stoff- und Energieströme?

Die effektive und effiziente Verfügbarmachung, Umwandlung und Nutzung von Ressourcen zur Erzeugung von nutzbaren Produkten für den Menschen ist die grundsätzliche Fragestellung der Ökonomie.¹¹⁶ Die Wirkungen auf die natürliche Umwelt werden durch die von den technisch-ökonomischen Aktivitäten ausgelösten Ressourcen-, Stoff- und Materialströmen induziert. Diese sind der letzte ursächliche Faktor, und deren Verständnis ist ein erster Schritt zur möglichen Integration in die natürlichen Kreisläufe.¹¹⁷ Dabei treten verschiedene Problembereiche hervor. Der Verbrauch von nicht-regenerativen Ressourcen führt zur Erschöpfung der natürlich vorhandenen Reserven.¹¹⁸ Diese Perspektive wird insbesondere im paradigmatischen Konzept des gesellschaftlichen Stoffwechsels aufgegriffen.¹¹⁹ Darin werden die wesentlichen Problembereiche Klima- und Ressourcenschutz, Verminderung von Emissionen und nachhaltige Bereitstellung von Ressourcen subsumiert. Deshalb ist die eingehende Beschäftigung mit allen materiellen und energetischen Strömen relevant und der eigentliche Untersuchungsgegenstand der deskriptiven IÖ sowie Gegenstand der Steuerung für die normative (nachhaltige) IÖ.¹²⁰ Schon traditionell beziehen sich bereits die Vorläuferkonzepte der Nachhaltigkeit – wenn nicht explizit, dann zumindest implizit – auf die Wirkungen von Stoffströmen, wobei insbesondere die dissipativen Verluste von Stoffen und Energie als für die Umweltprobleme „ursächlich“ erkannt worden sind. Konzepte wie „organisches Wachstum“, „selektives Wachstum“, „entkoppeltes Wachstum“ und „qualitatives Wachstum“ streben grundsätzlich eine rationellere Nutzung von Stoff- und Energieeinsätzen bei der wirtschaftlichen Erstellung von Gütern an.¹²¹ Hierbei ist es zwar vermessen, von etwas wie der „Wurzel des Übels“ zu sprechen, betrachtet man die Umweltproblematik jedoch von der Lösungsseite her, so lässt sich leicht folgern, dass mit einer konsequenten nachhaltigen Optimierung aller durch wirtschaftliche Aktivität induzierten Stoffströme ein gewaltiger Schritt in Richtung Nachhaltigkeit gegangen werden kann. Dies insbesondere in Anbetracht der Tatsache, dass die vom Menschen verursachten Stoffströme in Umfang und Wirkung teilweise

¹¹⁶ Vgl. Eder (1992), S. 90

¹¹⁷ Vgl. Bailey, Allen und Bras (2004), S. 48

¹¹⁸ Vgl. Wall (o. J.), S. 14

¹¹⁹ Vgl. Bringezu (2004), S. 24

¹²⁰ Vgl. Cohen-Rosenthal (2004), S. 1112

¹²¹ Vgl. Huber (1995), S. 55f

schon das Niveau der geogenen Stoffumsätze erreichen¹²² oder diese gar überschreiten.¹²³ Der zukunftsweisende Ansatz, diese anthropogen erzeugten Stoff- und Energieströme nachhaltig zu gestalten, liegt dabei im Versuch, die Natur so weit wie möglich als Vorbild für die technosphärische Ausgestaltung der zur Befriedigung der menschlichen Bedürfnisse notwendigen Artefakte heranzuziehen.¹²⁴ Will man die Natur als Faktor in ökonomische Untersuchungen einbeziehen, so erfordert dies die genaue Betrachtung der physischen Basis des Wirtschaftens, insbesondere der durch ökonomische Produktionsvorgänge in Gang gebrachten Stoffströme und deren Rückwirkungen auf die natürliche Mitwelt.¹²⁵ Bei allen wissenschaftlichen Unsicherheiten über die genaue Bestimmung einer zu erreichenden (nachhaltigen) ökologischen Zielsetzung darf man aber nicht die Wechselwirkungen der drei Subsysteme Ökonomie, Ökologie und Soziales außer Acht lassen, auch wenn man sich, wie hier, auf die ökologische Frage aus Sicht der Stoff- und Energieumsätze industriellen Wirtschaftens als den drängendsten Sachzwang konzentriert. Wie eine Entwicklung weg von den gegenwärtigen „unnachhaltigen“ Produktionssystemen und deren Stoff- und Energieströmen aussehen könnte, soll Thema dieser Arbeit sein.

1.2.9 Verbindende Elemente: Systemtheorie und Thermodynamik

Die Konzepte der Systemtheorie und der Thermodynamik erlauben in idealer Weise die Integration der wissenschaftlich getrennt analysierten Phänomene im natürlichen und im anthropogenen System.¹²⁶ Deshalb werden beide Konzepte kurz eingeführt und im weiteren Verlauf der Arbeit implizit darauf zurückgegriffen.

1.2.9.1 Exkurs I: Systemtheorie

Systemzusammenhänge in komplexen Systemen

In allen in der vorliegenden transdisziplinären Herangehensweise verwendeten Wissenschaften spielt der Systemansatz eine zunehmend bedeutsame Rolle, da physische oder

¹²² Vgl. Fritz, Huber und Levi (1995), S. 12

¹²³ Vgl. Wiggering und Hahn (2001), S. 44f

¹²⁴ Vgl. Kelly (1997), S. 8ff

¹²⁵ Vgl. Henseling und Schwanhold (1995), S. 82

¹²⁶ Vgl. Lifset (2004), S. 1

gesellschaftliche Systeme Gegenstand der Betrachtung sind, die jeweils einen Komplex interagierender Elemente darstellen. Für die Analyse der Zusammenhänge in der IÖ im Besonderen sind jeweils systemische Sichtweisen erforderlich, die in folgenden Zusammenhängen auftreten:¹²⁷

- Lebenszyklen von Produkten
- regionaler industrieller Metabolismus
- Interaktionen zwischen Anthroposphäre und Ökosphäre

Der Systemansatz liefert jeweils eine Abstraktion der empirisch gefundenen strukturellen und funktionellen Muster und bereitet sie für die mögliche Übertragung und Zusammenführung auf.¹²⁸ So ist es sinnvoll, die Klammer für die zu Grunde liegende Fragestellung mit Hilfe der Systemtheorie zu bilden, um ein möglichst kongruentes Gesamtbild für die Analyse und Gestaltung einer IÖ zu erhalten.¹²⁹ Insbesondere holarchische,¹³⁰ autopoietische, offene Systeme fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht sind dabei von Interesse.¹³¹ Aus der Vielzahl von Systemdefinitionen sei nur eine herausgegriffen, die besagt, dass ein System eine dynamische Einheit mit eigenen Eigenschaften und Prozessen darstellt, das aus interdependent verknüpften Elementen zusammengesetzt ist, womit das System konstituiert wird. Die vertiefende Diskussion, ob es sich bei den untersuchten Systemen letztendlich nur um analytische Konstrukte handelt oder ob diese phänomenologisch existent sind, wird hier ausgespart.¹³² Ein System und seine Abgrenzung ist immer eine Abstraktion von der Wirklichkeit, um deren Komplexität modellierbar zu machen.¹³³ Die im System modellierte Wirklichkeit hängt also von den gesetzten Systemgrenzen und Parametern ab. Das System kann in Interaktion mit seiner Umwelt, die wiederum aus anderen Systemen

¹²⁷ Vgl. Lifset und Graedel (2002), S. 6

¹²⁸ Vgl. Müller-Christ (2001), S. 260

¹²⁹ Vgl. Kay (2002), S. 84

¹³⁰ Unter holarchischen Beziehungen seien hier über mehrere Systemebenen (also holistisch) ablaufende und sich hierarchisch bedingende Objektbeziehungen zu verstehen – daraus ergibt sich das Kunstwort aus holistisch und hierarchisch.

¹³¹ Vgl. Kay (2002), S. 75; Thermodynamisch wird zwischen isolierten, geschlossenen und offenen Systemen unterschieden, was häufig wegen abweichenden Gebrauchs der Begriffe geschlossenes und offenes System zu Verwirrung führt – dies wird in Abschnitt 6.2.3 vertieft.

¹³² Vgl. Luhmann (1984), S. 30; Diese Systeme können durch den menschlichen Geist wahrgenommen und interpretiert werden – die Wahrnehmung und Interpretation ist letztendlich vom Beobachter abhängig und ist insofern subjektiv.

¹³³ Vgl. Schiller (2002), S. 38

zusammengesetzt gedacht werden kann, seine Identität behaupten.¹³⁴ Dies geschieht im Fall der lebenden offenen Systeme durch den Austausch von Ressourcen (Materie, Energie, Information) zwischen System und Umwelt.¹³⁵ Alle Systeme sind durch den Aufbau spezifischer Strukturen gekennzeichnet.¹³⁶ Ein lebendes System zeichnet sich durch eine Tiefenstruktur aus, die die basale Zirkularität der Selbststeuerung stabilisiert und aufrecht erhält.¹³⁷ Das System ist damit selbstreferenziell und die inneren Steuerungsmechanismen werden nicht durch die Umwelt beeinflusst. Trotzdem ist es an seine Umwelt durch stofflich-energetische Austauschbeziehungen gekoppelt. Verändern sich die Bedingungen des Ressourcenzuflusses zum betrachteten System, so muss sich dieses an die neuen Umstände anpassen oder untergehen.¹³⁸ Der Steuerungszweck ist also das Überleben.¹³⁹ Genau hier setzt der Ansatz des modellhaften Szenarios für eine IÖ an: In welcher Form kann die Anpassung vorgenommen werden? Die Komplexität des Modells für den als System bezeichneten Wirklichkeitsausschnitt wird durch die Wahl einer begrenzten Anzahl von Systemrepräsentanten reduziert.¹⁴⁰ Das Systemverhalten kann dann auf exogene und endogene Wirkungszusammenhänge zurückgeführt werden.¹⁴¹ Systeme sind allgemein betrachtet *eine Gesamtheit verschiedener Einheiten in Wechselwirkung, also ein Wirkungsgefüge, und tragen das Programm zu ihrer eigenen Veränderung in sich. Wenn mehrere vorher getrennte Systeme in enge Beziehung zueinander treten, kann daraus ein neues übergeordnetes System entstehen.*¹⁴² Dieses neue System zeichnet sich durch eine höhere Komplexität aus, da sich die einzelnen Wirkungskreisläufe durch holarchische Interaktionen potenzieren. Das hat zur Folge, dass ein solches System auch bei theoretischer Prognostizierbarkeit der Einzelsysteme aufgrund der Wechselwirkungen nicht mehr prognostizierbar ist. Jedes Element des Systems kann sich aus verschiedenen Elementen, den Holonen, zusammensetzen, die

¹³⁴ Vgl. Kay (2002), S. 82

¹³⁵ Vgl. Boulding (2006), S. 11

¹³⁶ Vgl. Faber, Frank, Klauer u.a. (2005), S. 255

¹³⁷ Vgl. Maturana (1982), S. 35

¹³⁸ Vgl. Müller-Christ (2001), S. 280; Wenn es nicht selbst in der Lage ist, die Umgebungsbedingungen in steuernder Absicht zu beeinflussen.

¹³⁹ Vgl. Maturana (1982), S. 158

¹⁴⁰ Insbesondere auf die thermodynamische Repräsentation durch Stoff- und Energieströme wird weiter unten noch eingegangen.

¹⁴¹ In der Regel liegen dem Gesamtverhalten Mischformen zu Grunde, was entgegen allen Versuchen der Vereinfachung zu Unsicherheit führt.

¹⁴² Vester (1991), S. 20

eine eigene Interaktionsdynamik aufweisen.¹⁴³ Auf einer höheren hierarchischen Ebene interagieren jeweils wieder eine Anzahl solcher zusammengesetzter Elemente, was sich in emergenten Strukturen äußert, die nicht ex ante aus den einzelnen Elementen erklärt werden können.¹⁴⁴ Sie können allenfalls anhand einer holistischen Sichtweise ex post erklärt werden. Es treten regelmäßig systemtypische Eigenschaften auf, die ein System als komplex erkennen lassen:¹⁴⁵

- Sie sind emergent, wenn bei Überschreitung einer kritischen Masse aus der Summe mikroskopischer Einzelzustände neue Makrozustände erscheinen
- Sie verhalten sich nichtlinear, weil kein linearer Zusammenhang zwischen Änderung einer Zustandgröße und dessen Einfluss auf das Gesamtsystem besteht
- Zustandsänderungen sind irreversibel, wenn Ausgangszustände nicht mehr erreichbar sind
- Sie sind vernetzt, wenn durch Restriktionen nicht jedes Glied direkt mit jedem anderen in Verbindung stehen kann

Es liegt in der Natur solcher Systeme, dass sie aus einem statistisch wahrscheinlichen Zustand bei einer kleinen Änderung innerhalb eines der Subsysteme durch einen Dominoeffekt in einen völlig neuen Zustand eintreten können, der aus anthropozentrischer Sicht dann als Katastrophe wahrgenommen werden kann.¹⁴⁶ Für das System selbst sind die unterschiedlichen stabilen Zustände selbst nur Ausdruck von begrenzt vorhandenen Attraktoren.¹⁴⁷ Die Eigendynamik des Systems lässt beim Eintritt in einen neuen Zustand keine Steuerung mehr zu, bis es von selbst wieder in einen stabilen Zustand übergegangen ist. Im etwas schwächer ausgeprägten Fall nicht-intendierter Wirkungen zweiter Ordnung spricht man auch von Regulationsstörungen, die adäquate Reaktionen innerhalb der Systemverflechtungen erfordern.¹⁴⁸ Um genau solche Systeme und deren Phänomene handelt es sich bei sozio-ökologischen Systemen. Die wirtschaftlichen Aktivitäten der Menschheit sind zugleich die einzigen gleichzeitig gefährdenden und steuernden Einflussgrößen. Diese unterliegen keinen unmittelbar offensichtlichen bio-

¹⁴³ Ein Holon stellt dabei eine Subeinheit dar; durch Vernetzung entsteht aus den Holons die Meta-Einheit bzw. ein System; Vgl. Wallner (1998), S. 90

¹⁴⁴ Vgl. Ramos-Martin (2002), S. 50

¹⁴⁵ Vgl. Degele (1997), S. 87f

¹⁴⁶ Vgl. Bak (1999), S. 12

¹⁴⁷ Ein Attraktor wird hier als stabile Untermenge des Phasenraumes aufgefasst, die die Eigenschaften des Systems wesentlich bestimmt.

¹⁴⁸ Vgl. Schramm (2005), S. 5

physikalischen oder gesellschaftswissenschaftlichen Gesetzmäßigkeiten, es können jedoch anhand der Theorie der selbst-organisierten kritischen Komplexität statistische Regelmäßigkeiten auf Basis logarithmischer Darstellung gefunden werden.¹⁴⁹ Sie sagen jedoch nichts über etwaige Gesetzmäßigkeiten der Interaktionen und Determinismen aus, sondern nur über die Wahrscheinlichkeit des Auftretens bestimmter Phänomene. Sie eignen sich also nicht direkt zur Steuerung solcher Systeme. Deshalb ist auch hier das Vorsichtsprinzip anzuwenden, was für eine konsequente Umsetzung der IÖ unter Zuhilfenahme qualitativer Aussagen unterschiedlicher Systemzugänge spricht, die nicht unbedingt einer analytischen Lösung zugänglich sein müssen.¹⁵⁰ Allerdings erfordert das, auf der Ebene von Metaphern zu agieren, um nicht durch fehleranfällige Analogieschlüsse einen naturalistischen Fehlschluss zu produzieren.¹⁵¹ Aus dem (weiter unten folgenden) Blickwinkel der Ökologischen Ökonomik gelangt man zu dem Grundverständnis, dass es sich bei der menschlichen Wirtschaft um ein offenes Subsystem des globalen Ökosystems (Gaia) handelt.¹⁵² Um eine langfristig tragfähige Koexistenz (oder besser: Ko-Evolution) von einem gegebenen System und einem davon abhängigen Subsystem zu gewährleisten, gibt es keine Alternative zu der Forderung, dass sich das Subsystem in die Prozesse des Systems höherer Ordnung einzufügen hat, um das Risiko des Eintritts in katastrophale und nicht mehr steuerbare Zustände zu verringern.¹⁵³ Das ist in einem ersten Schritt eine zweckmäßige „Vereinfachung“ des eigentlichen Phänomens gegenseitigen Determinismus, da die Forderung nach ökologisch Nachhaltiger Entwicklung die Aufrechterhaltung aller evolutionären Optionen für das globale Ökosystem mit der Erhaltung der natürlichen Produktivität implizit einschließt.¹⁵⁴ Dies scheint nur oberflächlich eine physiozentrische Sichtweise zu sein, denn der Fortbestand bzw. die Evolution einer (menschlichen) Kultur ohne Natur wäre nur ein minderwertiger Ersatz für die reichhaltigen Entwicklungspotenziale der Menschheit. Zwar ist ein Überleben in einer reinen Technosphäre naturwissenschaftlich denkbar, wie das „Bi-

¹⁴⁹ Vgl. Bak (1999), S. 27; Im anglo-amerikanischen Sprachraum spricht man von “self-organized criticality”.

¹⁵⁰ Die aktuelle Klimadiskussion verdeutlicht dies; die prognostizierte Klimaerwärmung aufgrund des erhöhten CO₂-Gehalts der Erdatmosphäre wird jährlich vom IPCC und anderen Institutionen (nach oben) revidiert.

¹⁵¹ Vgl. Müller-Christ (2001), S. 261

¹⁵² Vgl. Daly (1991), S. 32f

¹⁵³ Vgl. Busch-Lüty (1995), S. 115; Dies ist durch die holarchischen Wechselbeziehungen bedingt.

¹⁵⁴ Vgl. Immler und Hofmeister (1998), S. 12f

osphere“-Experiment andeutet, doch drückt schon der Begriff die eigentliche Problematik aus. Außerdem hat sich im Verlauf des Biosphere II-Experiments gezeigt, dass der Glaube an die vollkommene technische Substituierbarkeit natürlicher Ökosystemfunktionen nicht ausreicht, denn diese Option entspricht nicht den vorhandenen technologischen Fähigkeiten des Menschen. In dem 200 Millionen Dollar teuren Biosphere-Projekt in den USA wurde angestrebt, ein stofflich geschlossenes Ökosystem nach dem Vorbild der Erde nachzubauen. Es wurde versucht, nach dem Stand der Wissenschaft, Ökosysteme und die dort vorkommenden Lebensformen anzusiedeln und die Selbstversorgung von acht Menschen für 24 Monate zu ermöglichen. Dies gelang nicht.¹⁵⁵ Trotz der über die solare Einstrahlung hinausgehenden zusätzlichen Energieversorgung mit fossilen Energieträgern mussten die Bewohner vor Ablauf des Experiments evakuiert werden, da deren Überleben gefährdet war. Leben ist ein natürliches Phänomen, das durch Entfremdung von den eigenen Wurzeln entwertet wird – was eindeutig einer Verletzung der Nachhaltigkeitsregeln entspricht. Nachhaltigkeit sollte aus synergetischer Sicht die Harmonie der komplexen Zusammenhänge aller beteiligten Systeme gewährleisten,¹⁵⁶ auch wenn diese sich durch multiple Interdependenz auszeichnen, was für einen Ansatz bewusster Steuerung eine Aufgabe kaum zu bewältigender Komplexität zu sein scheint.¹⁵⁷ Es ist kaum möglich, ein komplexes System in einem einzigen Schöpfungsakt zu errichten. Systeme müssen wachsen oder schrittweise aufgebaut werden, um zu ihrer komplexen Funktionsfähigkeit zu gelangen.¹⁵⁸ Dabei kann es auch durchaus erforderlich sein, Umwege in Kauf zu nehmen und Zielvorstellungen zu revidieren. Ein Ansatz, der beim Aufbau einer IÖ besonders zu berücksichtigen sein dürfte, unbeachtet der Tatsachen, die sich aus der theoretischen Fundierung ergeben. Zur Stabilisierung eines selbsterhaltenden Systems, als welches auch das industrielle Produktionssystem zu betrachten ist, ist die Annahme von Selbstreferenzialität und basaler Zirkularität unerlässlich, wie sie Maturana und Varela für biologische autopoietische Systeme postulieren.¹⁵⁹ Autopoiese bedeutet hier, dass das System die Elemente, aus denen es besteht, mit Hilfe eben dieser Elemente reproduziert, diese also erneuert oder aus sich selbst heraus neu schafft. Diese Gedanken

¹⁵⁵ Vgl. Hawken, Lovins und Lovins (2000), S. 217

¹⁵⁶ Vgl. Knyazeva (2000), S. 43

¹⁵⁷ Vgl. Beck (1999), S. 15

¹⁵⁸ Vgl. Kelly (1997), S. 108

¹⁵⁹ Vgl. Maturana (1982), S. 35

werden durch die weitergehende systemische Betrachtung der Gesellschaft-Umwelt-Beziehungen auf metabolischer Ebene weiter verfolgt, wobei nur der Ausschnitt des Systems „Gesellschaft“ betrachtet wird, der für die Erstellung materieller Artefakte herausgebildet wurde.

Strukturähnlichkeiten in Systemen als wiederholte Muster

Betrachtet man die Prozesse des Existierenden und des Werdens in der evolutionären Entwicklung, so gilt es Muster zu identifizieren, die sich in allen Phasen der Evolution wiederholt haben und aller Wahrscheinlichkeit nach ob ihres „Erfolges“ (wertend aus Sicht der Forschung) wiederholen werden. Diese Muster zeigen sich als Ausformungen von Beziehungen zwischen den Akteuren der Lebensprozesse¹⁶⁰ oder sie zeigen sich auf der Ebene der Organismen in Form von Konvergenz, also der Ausgestaltung gleicher Muster bei Lebens- und Körperformen.¹⁶¹ Sie zeigen sich in der Zusammensetzung von Lebensgemeinschaften und deren raumzeitlicher Entwicklung insbesondere in der Dominanz von pflanzlichen Organismen bei der Sukzession.¹⁶² Muster sind hierbei nichts anderes als geordnete Beziehungen, die in gleicher Form immer wieder auftreten.¹⁶³ Ähnlichkeiten zeigen sich in unterschiedlichen Systemzusammenhängen darin, dass die Beziehungen zwischen den Systemelementen langfristig in Form von Netzwerken am besten funktionieren.¹⁶⁴ Diese Netzwerke bilden Muster aus, bei denen man nach strukturellen Ähnlichkeiten suchen kann. Das heißt, wenn man als Beobachter Strukturmerkmale festlegt, nach denen man Phänomene zu klassifizieren versucht, so findet man in sich wiederholenden geordneten Struktureigenschaften die Muster, die auf ordnende Prinzipien hinweisen. Bildlich gesprochen ist es bei der Suche nach Gesetzmäßigkeiten notwendig, mit hinreichender Sicherheit aus beobachteten strukturellen Phänomenen die Muster, die zur Interpretation der Phänomene dienen sollen, zu identifizieren. Folgende Abbildung soll dies veranschaulichen:

¹⁶⁰ Vgl. Capra (2003), S. 52

¹⁶¹ Vgl. Wittig und Streit (2004), S. 27

¹⁶² Vgl. Townsend, Harper und Begon (2002), S. 389

¹⁶³ Vgl. Thioulouse, Chessel und Champely (1995), S. 1ff

¹⁶⁴ Vgl. Capra (1997), S. 3

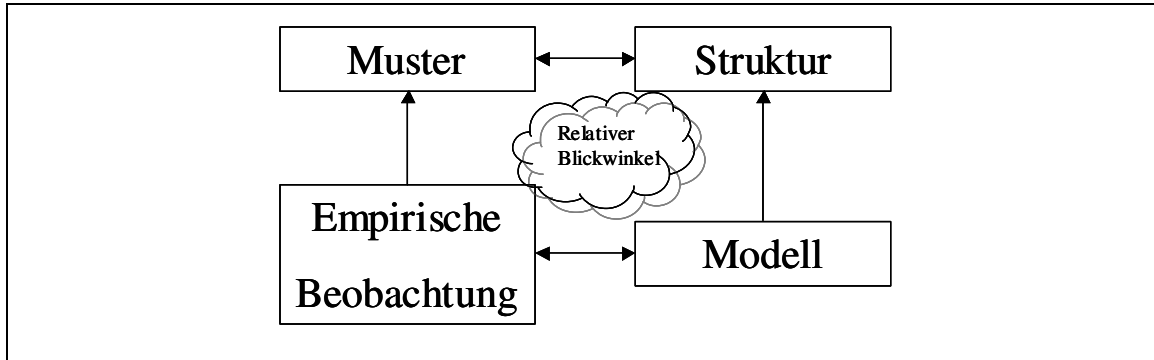


Abbildung 2: Struktur-Muster-Dualismus; nach Zeibig (2004), S. 45

Alle natürlichen Prozesse laufen auf unterschiedlichen Ebenen ab (wobei es sich um ein gedankliches Konstrukt handelt, denn die Evolution als solche kennt keine Ebenen), die miteinander verwoben sind. Muster trifft man in der Natur auf allen Größenebenen an.¹⁶⁵ Darüber hinaus ist zu beobachten, dass die Muster dem Prinzip der Selbstähnlichkeit unterliegen, das heißt sie unterscheiden sich bei Betrachtung unterschiedlich großer räumlicher Skalen nicht in ihren Qualitäten.¹⁶⁶ Bei vereinfachter Betrachtung mit einer Zwei-Ebenen-Perspektive zeigt sich eine Ko-Evolution der Prozesse auf der Mikro-Ebene (differenzierende Tendenzen) mit den laufenden integrierenden Tendenzen auf der Makro-Ebene.¹⁶⁷ Das Entstehen von selbstähnlichen Strukturen ist ein in der Natur wiederholt auftretendes Phänomen, das auch in unterschiedlichen Zusammenhängen wie chemischen, physikalischen oder organischen Prozessen immer wieder die gleichen Prinzipien erkennen lässt und makroskopische, geordnete Bewegungen oder Muster hervorbringt.¹⁶⁸ Eine IÖ sollte im Fall der Erfüllung aller Regeln der Nachhaltigkeit bei ähnlicher Beobachtungsperspektive zumindest zu einer ähnlichen Ausprägung von Mustern führen wie die natürlichen Prozesse des Stoffwechsels. Als Zielsetzung wäre eine strukturelle Ökologisierung der gesellschaftlichen Wirtschaftsweisen anzustreben.¹⁶⁹ Denn bislang zeigt sich historisch tendenziell, dass kulturelle Systeme, die sich über die Gesetzmäßigkeiten der ökosystemaren Ordnungsprinzipien hinwegzusetzen versuchen, auf Dauer nicht überleben.¹⁷⁰ Es gibt nicht auf den ersten Blick erkennbare

¹⁶⁵ Vgl. Townsend, Harper und Begon (2002), S. 153

¹⁶⁶ Vgl. May (1999), S. 1956

¹⁶⁷ Vgl. Steiner (2000), S. 5

¹⁶⁸ Vgl. Haken (1983), S. 80

¹⁶⁹ Vgl. Kopfmüller (1995), S. 108

¹⁷⁰ Vgl. Finke (1997), S. 31ff

strukturelle Zusammenhänge zwischen scheinbar vollkommen voneinander verschiedenen Phänomenen, die es zu entschlüsseln gilt, um industrielle Handlungen daran ausrichten zu können. Daraus lässt sich der Sinn des kulturell-technologischen Lernens von der Natur ableiten.¹⁷¹ Denn die in der kulturell-technologischen Evolution herausgebildeten Strukturen, wie sie sich derzeit in industrialisierten Gesellschaften wiederfinden, können nicht genügen, um den durch sie selbst ausgelösten Krisen Herr zu werden.¹⁷² Die strukturbildenden und -koppelnden Handlungsrationaltäten sind schon zu weit entfernt von den Wurzeln der natürlichen Evolution. Also geht es auch um eine Neu- oder Umgestaltung dieser Handlungsrationaltät, der die kulturell-technologischen Strukturen zu Grunde liegen. Ein weit gefasster Begriff von rückgekoppelter Koordination lässt sich mit dem gesellschaftlichen Anreizsystem aufspannen, das einerseits Handlungsrationaltät schafft, andererseits aus dieser heraus reproduziert wird.¹⁷³ Eine den natürlichen Systemen adäquate Produktionsstruktur kann sich nur über die Berücksichtigung des sie beeinflussenden Anreizsystems mit den Subsystemen Zielsystem, Regelsystem, Sanktionssystem und Informationssystem entwickeln.¹⁷⁴ Dieser Prozess muss wiederum mit den Strukturen natürlicher Systeme korrespondieren und deren Gesetzmäßigkeiten widerspiegeln, was derzeit nicht der Fall ist. Vielmehr tragen die entwickelten Muster und Strukturen in Form von Wirtschaftsordnung, Werten, Zielen, Normen und Technologien zum ökologisch schädlichen Verhalten bei oder unterstützen es geradezu.¹⁷⁵

Deutungsmuster

Busch-Lüty deutet industrielle Produktionsmuster folgendermaßen:¹⁷⁶ „Denn wenn nachhaltiges Wirtschaften die Einfügung in die natürlichen Wertschöpfungsprozesse verlangt, muss auch der Wirtschaftsprozess stärker dem Wesen lebendiger Strukturen im Sinne spontaner evolutionärer Kreativität entsprechen und sich durch ‚lebensähnli-

¹⁷¹ Vgl. Finke (2003), S. 255

¹⁷² Vgl. Hosang (1999), S. 13

¹⁷³ Unter einem Anreizsystem sollen hier funktionale Strukturen verstanden werden, deren Ausprägung das individuelle und kollektive Verhalten der Akteure steuert.

¹⁷⁴ Vgl. Majer (2001a), S. 125ff

¹⁷⁵ Vgl. Immler (1993), S. 13

¹⁷⁶ Busch-Lüty (1995), S. 125

ches Verhalten' organisieren sowie den die natürliche Werteordnung kennzeichnenden Maßstab der ,evolutionären Bewährung' begreifen und praktizieren lernen.“

Die Struktur sich wiederholender Muster von tieferen zu höheren Ebenen hin ist dadurch gekennzeichnet, dass sie die Eigenschaften und Tätigkeiten der darunter liegenden Schicht subsumiert. Man kann dies auch als Subsumtionsarchitektur bezeichnen, die dem holarchischen Beziehungsgeflecht entspringt.¹⁷⁷ Dabei kann die primäre Schicht unabhängig von der Funktionsfähigkeit der sekundären Schicht funktionieren, umgekehrt jedoch nicht. Dies lässt sich auf weitere Ebenen übertragen. Auch die durch das entstandene Leben auf der Erde ablaufenden Gas-, Materie- und damit Energieströme lassen Muster erkennen. Leben hat also schon immer die sie umgebende „tote“ Materie modifiziert und verlagert. Nur nicht in dem Umfang, wie es die Menschheit derzeit tut. Hier erweist es sich als nützliches Phänomen, dass die Systeme, die im Prozess der Umsetzung einer IÖ verändert werden sollen, das ökologische, das ökonomische und das soziale System, ähnliche strukturelle Merkmale und ähnliche typische Verhaltensweisen von Selbststeuerung zeigen.¹⁷⁸ Nicht die Eigenschaften Einfachheit oder Komplexität als dualistische Pole scheinen allein die Stabilität von Ökosystemen zu bestimmen als vielmehr die Muster der Interaktionen zwischen den Arten und dem Ökosystem.¹⁷⁹ Diese vielfältigen dynamischen Prozesse mit Grenz- und Schwellenwerten, Synergien und Rückkopplungen über nahe und weite Distanzen und über unterschiedliche Zeithorizonte müssen also strukturell im Produktionssystem wiedererkennbar berücksichtigt werden, um eine ähnliche Funktion und somit Konsistenz zumindest annähernd zu erreichen.¹⁸⁰ Denn derzeit kann man bei aller Analogie zwischen ökologischen und ökonomischen Systemen mit den funktionalen Elementen Produktion, Konsum und Reduktion gravierende Unterschiede konstatieren:¹⁸¹

- Die Energie (bzw. Exergie),¹⁸² die zum Einsatz kommt, ist im ökologischen System ausschließlich die eingestrahlte Sonnenenergie, wohingegen das „Gleichgewicht fernab des thermodynamischen Gleichgewichts“ im ökonomi-

¹⁷⁷ Vgl. Kelly (1997), S. 68

¹⁷⁸ Vgl. Robinson und Tinker (1996), S. 12

¹⁷⁹ Vgl. Kelly (1997), S. 148

¹⁸⁰ Vgl. Zwierlein und Isenmann (1995), S. 104

¹⁸¹ Vgl. Baumgärtner (2002a), S. 15

¹⁸² Exergie ist die Energie in einem System, die noch zur Verrichtung von Arbeit verwendet werden kann – beim Verrichten der Arbeit wird sie in Wärme umgewandelt und steht dann nicht mehr für Arbeitsprozesse zur Verfügung.

schen System derzeit durch materiell gebundene fossile Energieträger gewährleistet wird¹⁸³

- Im ökologischen System sind die Stoffkreisläufe größtenteils geschlossen, das ökonomische System stellt sich derzeit dagegen als Durchflusswirtschaft dar, das neben entwerteter Energie (Wärme) auch im großen Maßstab Stoffe dissipiert

Diese beiden Abweichungen sind demgemäß die hauptsächlichen Aufgabenbereiche bei der Umsetzung einer IÖ im nachhaltigen Sinn. Nur über die Schaffung diesbezüglicher Analogie, oder stärker, Isomorphie, wird sich das Leitbild der nachhaltigen Entwicklung auf ökologischer Ebene umsetzen lassen.¹⁸⁴ Hier setzt die Diskussion um die, wenn auch umstrittene, „Vorbildfunktion“ der Natur an, die weiter unten behandelt wird.¹⁸⁵

1.2.9.2 Exkurs II: Thermodynamik/Entropie¹⁸⁶

Grundsätzliches zur Thermodynamik geschlossener Systeme

Entscheidend für die Überlegungen zur IÖ ist der Zusammenhang zwischen Energie, Arbeitsfähigkeit und Wärme(-verlust) sowie die Irreversibilität thermodynamischer Prozesse. Jeder technische Prozess ist auf Energie zum Antrieb angewiesen. Beim Gebrauch eines hochwertigen (energiedichten) Energieträgers muss dieser in Nutzenergie umgewandelt werden. Sowohl die Umwandlung als auch die Nutzung der Energie setzt Wärme frei, die im Raum verteilt wird. Der Übergang von Wärme auf ein kälteres Medium (die Umgebung) bedeutet zwar nicht den Verlust von Energie (denn die Energiemenge im Universum ist nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik konstant), aber den Übergang in weniger nutzbare Form, also einen Verlust an Arbeitsfähigkeit bzw. Nutzbarkeit (Exergie). Dieser Verlust entspricht einer Entwertung und damit einer Zunahme an Entropie und ist unvermeidbar. Es gibt keine verlustfreie Umwandlung, Speicherung, Bereitstellung oder Nutzung von Energie und Stoffen. Auch hierin liegt

¹⁸³ Das Phänomen des Gleichgewichts fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht ist eine grundlegende deskriptive Erkenntnis hinsichtlich der Entwicklung des Lebens und wird weiter unten detaillierter aufgenommen; Vgl. Gruhl (1992), S. 61

¹⁸⁴ Vgl. Lifset und Graedel (2002), S. 4

¹⁸⁵ Vgl. Isenmann (2003), S. 119ff

¹⁸⁶ Bei der Thermodynamik (Wärmelehre) handelt es sich um eine phänomenologische physikalische Theorie, die die makroskopischen Prozesse von Körpern unabhängig von deren mikroskopischem Aufbau charakterisiert.

also eine Aufgabe der Umsetzung einer IÖ: Die Minimierung der Entropieproduktion bei der Bereitstellung von Nutzen. Statistische Wahrscheinlichkeiten auf der Mikroebene (molekular oder atomar) führen dazu, dass sich frei bewegliche Elemente (die auch der Molekularbewegung unterliegen, die wiederum mit Wärme gleichzusetzen ist) auf der Makroebene, also im Zusammenspiel gleichmäßig im Raum verteilen und somit auch die Wärme als verdichtete Energieform gleichmäßig im Raum verteilt wird und dabei an Dichte und nutzbarer Qualität abnimmt.¹⁸⁷ Die Mikrobetrachtung ermöglicht auch den Link zu den stofflichen Aspekten der Entropie. Zur Verwendung und Nutzung von Stoffen bedarf es räumlich hochkonzentrierter Materie mit definierten Eigenschaften. Das Entropiegesetz führt aber bei frei beweglichen Stoffen zu einer gleichmäßigen Verteilung im Raum, also zu einer Abnahme der Konzentration und somit zu einer Zunahme der Entropie. Die Verteilung hochkonzentrierter Materie im Raum durch deren Nutzung entspricht einer Erhöhung der Entropie, die nur durch eine Aufwendung von Nutzenenergie teilweise rückgängig gemacht werden kann.¹⁸⁸ Die Nutzarmachung von Materie in Form verdichteter Stoffe oder Stoffkombinationen mit definierten Eigenschaften erfordert hingegen Energie, die durch den Prozess in weniger dichte Form dissipiert wird. Das heißt, dass Entropie sehr praktische Auswirkungen auf jede Form wirtschaftenden Tätigseins hat.¹⁸⁹ Dieser Umstand tritt im Zusammenhang mit der IÖ noch näher hervor, da sich darin eine entscheidende Gesetzmäßigkeit zur Bewertung der „Stoff-Energie-Dualität“ ableitet.¹⁹⁰

Die Thermodynamik offener Systeme

Das Leben auf der Erde zeichnet sich dadurch aus, dass sich alle Prozesse in offenen Systemen mit Energie- und Materieaustausch abspielen.¹⁹¹ Hier stellen sich die thermodynamischen Gleichgewichte nahezu als Fließgleichgewichte dar. Im offenen System wird verfügbare Energie (Exergie) verwendet und damit die Entropie der Umgebung erhöht, während die innere systemische Entropie reduziert wird. Damit erzeugt es sich selbst als ein System fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht, das sich dadurch auszeichnet, einen thermodynamisch unwahrscheinlicheren Zustand einzunehmen als

¹⁸⁷ Vgl. Valsangiacomo (1998), S. 296

¹⁸⁸ Die damit verbundenen Implikationen werden in Abschnitt 6.2.3 vertieft.

¹⁸⁹ Vgl. Cohen-Rosenthal (2004), S. 1112

¹⁹⁰ Siehe Abschnitt 7.2.1

¹⁹¹ Vgl. Kay (2002), S. 76

die Umgebung.¹⁹² Das zu betrachtende Gesamt-System ist die Erde. Es kann aber auch jedes Individuum einer Lebensform als „dissipative“ Struktur betrachtet werden, die aus der Umgebung Energie (in Form von Exergie) aufnimmt und Entropie (abgewertete Energie) abgibt.¹⁹³ Dadurch werden die systeminternen Ordnungsstrukturen aufrecht erhalten oder gar weiterentwickelt, während sich das dissipative System weiter vom thermodynamischen Gleichgewicht entfernt.¹⁹⁴ Es reduziert seine innere Entropie durch Exergieimport und Entropieexport. Von den drei Stufen entropischer Differenz, verlangsamte Entropiezunahme, gleichbleibende Entropie und abnehmende Entropie ist nur das Phänomen „Leben“ als dissipative Struktur zu letzterer in der Lage. Greift man den Gaia-Begriff auf, so ist Gaia die makroskopische dissipative Struktur des Zusammenspiels aller irdischen mikroskopischen, mesoskopischen und makroskopischen Elemente.¹⁹⁵ Holistisch betrachtet ist dies eine Einheit, für die sowohl im Einzelnen als auch im Gesamten die Gesetze der Thermodynamik (geschlossener und offener Systeme) gelten. Leben zeichnet sich thermodynamisch dadurch aus, dass es sich fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht abspielt, was einer entropischen Differenz zwischen lebendem Organismus und dessen Umwelt gleichkommt.¹⁹⁶ Dabei entspricht diese Differenz der Summe aus der Entropie der abgestrahlten Wärmeenergie und der Entropie der molekular auf niedrigere Ordnung abgebauten, ausgeschiedenen stofflichen Nahrungsbestandteile, die in ihrer ursprünglichen Form den Energielieferanten für den Organismus darstellten. In der Bilanz ist die Summe der angeeignete(n) Stoffmenge(n) abzüglich der Ausstoßmenge(n) gleich der Bestandsänderung der betrachteten dissipativen Struktur.¹⁹⁷ Streng genommen gibt es keinen direkten Bezug der Thermodynamik isolierter oder geschlossener Systeme zu den Phänomenen der Stoffflüsse in einer industrialisierten Gesellschaft.¹⁹⁸ Trotzdem können die naturwissenschaftlichen Erkenntnisse der Thermodynamik mit der Erweiterung zu offenen Systemen wertvolle Hinweise auf Wirkungen und Steuerung des anthropogenen Metabolismus unter syste-

¹⁹² Vgl. Heinemann (1994), S. 206

¹⁹³ Vgl. Wieser und Gnaiger (1980), S. 105

¹⁹⁴ Vgl. Spiegelman (2003), S. 18 und Binswanger (1994), S. 163

¹⁹⁵ Vertieft wird diese Theorie in Abschnitt 4.3

¹⁹⁶ Diese Differenz entspricht der Differenz zwischen maximal möglicher Entropie und tatsächlicher Entropie; Vgl. Binswanger (1994), S. 170

¹⁹⁷ Vgl. Wittenberg (2001), S. 47; Dabei kann die betrachtete dissipative Struktur je nach Grenzziehung ein biologischer Organismus oder ein System aus Organismen sein.

¹⁹⁸ Vgl. Schenkel und Reiche (1993), S. 86

mischer Betrachtung geben. Die Aufnahme von Stoffen und Energie durch das Wirtschaftssystem, das als offenes System eigene Ordnungsstrukturen durch den Austausch mit der Umwelt, einem Ausschnitt des Gesamtsystems, aufrecht erhalten kann, führt zu einem Fließ-Gleichgewicht fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht, das sich in einer Strukturstabilität äußert, die vom (statistisch wahrscheinlicheren¹⁹⁹) Zeitpfeil der Entropiezunahme abweicht.²⁰⁰ Repräsentiert wird das ökonomische System durch seine funktionalen und raum-zeitlichen Strukturen sowie (wenigstens) eine fluktuierende Komponente.²⁰¹ Der Austausch mit der Umwelt führt zwangsläufig zu einer Zunahme der Entropie im Gesamtsystem durch Dissipation. Maßnahmen der Gegensteuerung, wie Umweltmanagement oder das Anstreben einer IÖ, können diesen Prozess verlangsamen. Unter Entropie kann man auch das Verhältnis von nicht-verfügbarer zu verfügbarer Energie verstehen, wobei sich die zunehmende Entropie des Universums mit zunehmender Nichtverfügbarkeit von Energie gleichsetzen lässt.²⁰² Ökonomisch betrachtet lässt sich dieses Prinzip sowohl auf verfügbare Energie als auch auf verfügbare Stoffe beziehen.²⁰³ Damit liefert die Thermodynamik einen theoretischen Rahmen, mit dem sich die stofflich-energetischen Wechselwirkungen zwischen Ökologie und Ökonomie analysieren lassen.²⁰⁴ Deshalb werden diese Sachverhalte weiter unten in Kapitel 6.2.3 vertieft.

1.3 ZUM STAND DER FORSCHUNG ÜBER INDUSTRIELLE ÖKOLOGIE

Bei einem „relativ neuen“ Thema wie dem der IÖ den Stand der Forschung festzustellen, ist ein diffiziles Unterfangen. Zum einen handelt es sich bei der sich explizit mit der Thematik auseinandersetzen Literatur um Veröffentlichungen aus dem vorwiegend anglo-amerikanischen Raum, zum anderen ist das Thema im engsten Sinne nicht neu, da die Fragestellung der Verträglichkeit des industriellen Wirtschaftens für den Planeten

¹⁹⁹ Vgl. Heinemann (1994), S. 207; Die bevorzugte Bewegungsrichtung großer Systeme ist in Richtung höherer Entropie, was einer tendenziellen, aber nicht naturgesetzlichen Entropiezunahme entspricht.

²⁰⁰ Vgl. Nicolis und Prigogine (1987), S. 99f

²⁰¹ Vgl. Leoncini und Montresor (2003), S. 14

²⁰² Vgl. Hofmeister (1998), S. 116

²⁰³ Vgl. Georgescu-Roegen (1987), S. 8

²⁰⁴ Vgl. Binswanger (1994), S. 157; Damit ist festgelegt, dass die unterschiedlichen Entropiebegriffe der Phänomenologie (messbare Makrozustände), der statistischen Mechanik (mikroskopische Wahrscheinlichkeiten) und der Informationstheorie (Entropie als potenzielle Information) insbesondere durch die ersten beiden Formen vertreten sein werden.

Erde spätestens seit den Berichten „Limits to Growth“ und „Global 2000“ auf die (nicht nur wissenschaftliche) Tagesordnung gehört.²⁰⁵ Die erste Aussage deutet darauf hin, dass im deutschsprachigen Raum der Ansatz der „Industrial Ecology“ noch nicht wirklich angekommen ist, letztere, dass es sich um eine Konzeption handelt, die viele bereits länger angewandte Erkenntnisse in einem neuen Kontext zur Diskussion stellt. Was ist also der Stand der Forschung im Bereich der IÖ? Alles, was bislang zum Thema „ökologisches Wirtschaften“ diskutiert wurde? Das, was bislang explizit zum Thema „Industrielle Ökologie/Industrial Ecology“ veröffentlicht wurde? Die theoretischen Implikationen? Die Diskussionen zur Anwendbarkeit im lebensweltlichen Kontext? Für eben jenen Kontext soll der Ansatz Grundlagenwissen und Lösungsmöglichkeiten anbieten. Es scheint die ureigene Bestimmung der IÖ zu sein, normative Grundregeln für die lebensweltliche Anwendung bereit zu stellen. Allerdings wurde diese Forderung noch nicht wirklich systematisch eingelöst. Die IÖ befindet sich noch weitgehend in einem Stadium ingenieurstechnischer Machbarkeitseuphorie, ohne konkret handlungsleitend zu wirken.²⁰⁶ Ohne strukturkonforme Anbindung an sozioökonomische Gegebenheiten erscheinen die theoretischen Konzepte der IÖ weitgehend blutleer und technokratisch. Die für eine menschengerechte Umsetzung notwendige transdisziplinäre Integration von Natur- und Gesellschaftswissenschaft steht noch aus. Auch kann man fragen, wie der Ansatz fundiert ist, die Natur als Modell für industrielle Entwicklung heranzuziehen.²⁰⁷ Die Verwendung von Metaphern und Analogien erscheint in der breiten Diskussion der IÖ häufig sehr selektiv und willkürlich, gemessen an der Tiefe der Diskussion in der Ökologie, wobei die parallele Verwendung von Begriffen nur selten analytisch hinterfragt wird. Hier herrscht noch Nachholbedarf. Da es noch keine umfassende Zusammenfassung zum Stand der Forschung für diesen Ansatz gibt, wäre das alleine schon eine eigene Abhandlung wert. Es könnte auch die theoretische Grundlegung des Ansatzes der IÖ untersucht werden. Und da liegt ein Punkt, der selbst zur Grundlegung dieser Arbeit geworden ist. Die explizite theoretische Grundlegung der IÖ

²⁰⁵ Der erstere erschien als Bericht des Club of Rome im Jahr 1972, zweiterer wurde im Jahr 1980 dem damaligen Präsidenten der USA, Jimmy Carter, vom Council on Environment Quality vorgelegt und zeichnete ein ähnlich ökologisch düsteres Zukunftsbild der industrialisierten Welt; Vgl. die deutschen Übersetzungen von „Global 2000“, Kaiser (Hrsg. 1981) und „Grenzen des Wachstums“ Meadows u.a. (1972)

²⁰⁶ Vgl. Korhonen, Malmorg, Strachan u.a. (2004), S. 292

²⁰⁷ Vgl. Isenmann (2002), S. 34

hat bislang nur rudimentär bzw. reichlich einseitig stattgefunden. Grundbegriffe der theoretischen Ökologie werden scherenschnittartig in die Diskussion geworfen und Prämissen für eine nachhaltig ökologisch verträgliche industrielle Produktionsweise abgeleitet, ohne dass weder die herangezogenen naturwissenschaftlichen noch die sozialwissenschaftlichen Begrifflichkeiten in ihrer gesamten Reichweite theoretisch verankert werden. Bislang stellt sich die IÖ als eine neue „Managementlehre“ für den effizienten Umgang mit den natürlichen Ressourcen dar, wobei man sich auf eben jene bekannten Begrifflichkeiten stützt, die bereits in der über zwanzigjährigen Diskussion zur Ökologisierung industrieller Produktionsweisen verwendet werden. Die Entwicklung dieser Managementlehre ist schon weit fortgeschritten, so dass nicht vollkommenes Neuland betreten werden muss.²⁰⁸ Es gibt auch bereits die ein neues Forschungsfeld konstituierenden Glaubenssätze und Konzepte (Metaphern und Analogien aus der Ökologie), es gibt praxisorientierte Instrumente und Werkzeuge (LCA, MFA, DfE u. a.) und es gibt autoritative Strukturen, die stilbildend wirken (Organe wie das „Journal of Industrial Ecology“, Institutionen wie die „International Society for Industrial Ecology“).²⁰⁹ Nur lassen es die bisherigen Versuche etwas an Systematik vermissen, die Einsichten aus der Ökologie konsequent auf die Wirtschafts- und Gesellschaftswissenschaften zu übertragen.²¹⁰ Andererseits macht es jedoch keinen Sinn, den Stand der Forschung einer praxisorientierten Managementlehre hier an den Anfang zu stellen, wo eine breite theoretische Fundierung geleistet werden will. Deshalb wird der Stand der Forschung aller beteiligten Teilwissenschaften implizit im Text der einzelnen Kapitel aufscheinen und zu einem Gesamtbild des Ansatzes der IÖ synthetisiert werden und damit hoffentlich ein Beitrag zum Fortschritt eben jenes Standes der Forschung geleistet werden. Die theoretische Durchdringung der Thematik scheint auch bei dieser Arbeit im Rückblick nur unvollständig und kann nur ein Vorschlag sein, der das Nachdenken über die industrielle Zukunft unterstützt.

²⁰⁸ Insbesondere Sterr (2003) hat in seiner umfassenden und kompetenten Dissertation über „Regionale Stoffkreislaufwirtschaft“ alle managementorientierten Sachverhalte des Teilbereiches „Stoffströme“ in hervorragender Weise zusammengestellt, weshalb dies hier nur mehr zitiert zu werden braucht; die ursprüngliche Not des Forschers, das schon intensiv beackerte Feld um eine weitere Arbeit „bereichern“ zu wollen, gereicht hier hoffentlich zur Tugend, indem eine theoretische Fundierung des Gesamtkonzeptes „Industrielle Ökologie“ unternommen wird.

²⁰⁹ Vgl. Ehrenfeld (2001a), S. 3 und Erkman (2003), S. 341

²¹⁰ Vgl. Müller-Christ (2001), S. 124

1.4 VORGEHEN UND AUFBAU

1.4.1 Inter- bzw. Transdisziplinarität²¹¹

Ohne Frage ist Interdisziplinarität ein in die Jahre gekommener Modebegriff in der Wissenschaftswelt. Dennoch bieten gerade Fragestellungen der nachhaltigen Entwicklung mit ihren mehrdimensionalen Problemstellungen den geeigneten Projektionsgrund für solche Ansätze, da nur das Überschreiten disziplinärer Grenzen eine ganzheitliche Sicht auf so komplexe Problemstellungen ermöglicht.²¹² Dialog und gegenseitiges Verständnis der relevanten Sachgebiete aus den Natur- und Sozialwissenschaften ermöglichen den notwendigen Erkenntnisfortschritt, der zur Lösung der anstehenden Fragen notwendig ist.²¹³ Ganzheitlichkeit oder holistische Ansätze sind für die Lösung der aufgelaufenen Probleme im Zusammenhang mit der ökologischen Krise ein vielversprechendes Denkmodell wenn nicht gar eine notwendige Bedingung.²¹⁴ Es ist sogar anzunehmen, dass sich mit dem Ansatz der nachhaltigen Lösung lebensweltlicher Probleme im gewählten Zusammenhang eine Einschränkung durch einen einzelwissenschaftlichen Erklärungs- und Lösungsansatz rational überhaupt nicht legitimieren lässt.²¹⁵

Transdisziplinarität

Es kann nicht Ziel dieser Arbeit sein, wissenschaftstheoretische Ansätze innerhalb wissenschaftlicher Disziplinen voneinander abzugrenzen. Die holarchisch strukturierten lebensweltlichen Probleme, die angesichts der ökologischen Krise zu lösen sind, erfordern spezifisch unterschiedliche Einsichten in ihr Zustandekommen auf allen Ebenen

²¹¹ Vgl. Pohl (2004), S. 9ff; Zwischen Inter- und Transdisziplinarität soll hier folgendermaßen unterschieden werden: Interdisziplinarität bedeutet, von einer wissenschaftlichen Disziplin herkommend andere wissenschaftliche Disziplinen auf Anregungen und Erkenntnisinstrumente für den eigenen Disziplinbereich „anzuzapfen“ und zu einem weiter gefassten Ansatz auszuweiten; Transdisziplinarität heißt hier, von einer lebensweltlichen Problemstellung herkommend „alle“ relevanten wissenschaftlichen Erkenntnisse unabhängig von deren Herkunft zur Beantwortung der Frage heranzuziehen, ohne von einer vorher festgelegten Leitwissenschaft auszugehen (die sich dann im Laufe der Arbeit aber durchaus herauskristallisieren kann).

²¹² Vgl. Lang (2003), S. 164

²¹³ Vgl. Müller-Schärer, Lässig und Hirsch Hadorn (2003), S. 242

²¹⁴ Vgl. Capra (1998), S. 245 und Heydemann (2001), S. 3

²¹⁵ Vgl. Graumann und Kruse (2003), S. 251

und in allen Elementen des sozio-ökologischen Systems.²¹⁶ Dies kann nur in Form *ziel-führend definierter Kreativitäten in verschiedenen Richtungen*²¹⁷ mit dem Fokus auf die eigentliche Fragestellung vorstatten gehen. Dabei gilt es zu klären, inwiefern die verschiedenen Ergebnisse aus den unterschiedlichen hierarchischen Ebenen mit einer gemeinsamen Terminologie kongruent zu verbinden sind, um holistische Lösungsansätze entwickeln zu können. Dies sollte mit einer kognitiven Integration einher gehen, was so viel bedeutet, wie das Wissen aus den unterschiedlichen beteiligten wissenschaftlichen Kontexten aufeinander zu beziehen und auf einer gemeinsamen Basis zu vereinheitlichen.²¹⁸ Vor allem im Hinblick auf diesen transdisziplinären Ansatz erscheint es sinnvoll, geeignete Methodenansätze aus den verwendeten Wissenschaftszweigen auszuwählen, die, ungeachtet ihrer innerdisziplinären Herkunft, Aussicht auf vielversprechende Erkenntnisse zur Beantwortung der Forschungsfragen versprechen. Dies entspricht einer Ergänzung traditioneller disziplinärer Sichtweisen hinsichtlich einer ganzheitlichen Herangehensweise.²¹⁹ Anders lassen sich die zwei hauptsächlichen Herausforderungen der heutigen Wissenschaft wohl kaum bewältigen:²²⁰

- Die Notwendigkeit integrierten Wissens aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Disziplinen
- Die Notwendigkeit, handlungsorientiertes Wissen bereit zu stellen, mit dem die komplexen Fragestellungen, denen die Weltgesellschaft gegenüber steht, adäquat beantwortet werden können

Die Auswahl wird zwangsläufig subjektiv und mit schwer abzuschätzender Unvollständigkeit belegt sein, und es kann sich dabei nur um eine Momentaufnahme auf dem Weg zu hilfreichen Antworten handeln. Auf der Suche nach Lösungen für die lebensweltlichen Probleme, die bei Umsetzung nachhaltiger Entwicklung anzugehen sind, wäre es sträflich nachlässig, bei der Entwicklung einer gemeinsamen Vision zukünftiger Welten

²¹⁶ Vgl. Ramos-Martin (2002), S. 51;

²¹⁷ Heydemann (2001), S. 2

²¹⁸ Vgl. Schramm (2001), S. 37

²¹⁹ Vgl. Majer (2002a), S. 42

²²⁰ Vgl. Lüdeke, Petschel-Held und Schellnhuber (2004), S. 42

wissenschaftlich eindimensional vorzugehen oder gar davon auszugehen, eine Einzelwissenschaft könne befriedigende Antworten auf eben jene Fragen geben.²²¹

Und wenn schon Transdisziplinarität angestrebt werden soll, so entzieht sich die inner- bzw. interdisziplinäre Ausgrenzung von Erkenntniswerkzeugen jeglicher logischen Vernunft.²²² Dennoch sollen die zur Anwendung kommenden Erkenntniswerkzeuge sorgfältig geprüft und unter Berücksichtigung ihrer Relevanz eingesetzt werden. Dessen ungeachtet ist der jeweilige Erkenntnisfortschritt auf die disziplinäre Herangehensweise angewiesen, die erst die notwendige Wissensbasis für die transdisziplinäre Zusammenführung liefert.²²³ Dazu gehört auch, dass es unterschiedliche Ansichten über die Bedeutung von Transdisziplinarität gibt, die sich in voneinander abweichenden Definitionen äußert:

1. Transdisziplinarität als „*Kooperation und Kommunikation von Wissenschaftlern und Nicht-Wissenschaftlern zur gemeinsamen Lösung gesellschaftlich relevanter Probleme.*“²²⁴
2. Transdisziplinarität als problemorientierte Forschung, die ihre (gesellschaftlichen) Probleme disziplinenunabhängig definiert und disziplinenübergreifend zu lösen versucht und Wissen nach Modus 2 erarbeitet²²⁵
3. Transdisziplinarität als die Öffnung der Disziplinen für Ungewissheit mit dem Begriff des „Nichtwissens als andere Seite des Wissens“²²⁶

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird der Begriff im Sinne der zweiten, etwas allgemeineren Definition verwendet, die über die Gewinnung theoretischer Konzepte hinaus den Anspruch erhebt, Handlungswissen für die untersuchten lebensweltlichen Probleme bereit zu stellen. Grundlage ist jeweils die Bereitschaft, über die Grenzen der eigenen Disziplin hinaus zu gehen und lernbereit alle problemrelevanten Erkenntnisse in die Überlegungen aufzunehmen. Man könnte dies mit dem Begriff des kritischen und

²²¹ Vgl. Risopoulos, Posch und Steiner (2004), S. 111 und Majer (2003b), S. 35; Majer betont in diesem Zusammenhang besonders die Notwendigkeit, dass nicht nur die Wissenschaft, sondern besonders die für die Umsetzung relevanten Akteure diese Vision als Handlungsgrundlage brauchen.

²²² Vgl. Kleiber (2001), S. 55

²²³ Vgl. Lawrence (2005), S. 142

²²⁴ Nagel, Aenis, Dosch u.a. (2004), S. 1

²²⁵ Vgl. Grunwald (1999), S. 32

²²⁶ Vgl. Blättel-Mink, Kastenholz, Schneider u.a. (2003), S. 10

konstruktiven Eklektizismus umschreiben.²²⁷ Dieser soll dazu beitragen, das vorliegende gesellschaftliche Problem in wissenschaftliche Fragestellungen zu übersetzen und die theoretisch erarbeiteten Lösungskonzepte auf die gesellschaftliche Ebene anwendbar zu gestalten.

1.4.2 Vorsichtiger Holismus

In der gesellschaftlichen Praxis zeigen sich alle Phänomene als Ausdruck einer in sich zusammenhängenden Welt. Die von den Wissenschaften vorgenommene Disziplinierung einzelner Phänomene kann auf theoretischer Ebene zwar eine hilfreiche Vereinfachung und Möglichkeit zur Konzentration auf einzelne Sachverhalte ermöglichen, bezogen auf die Ganzheitlichkeit der Phänomene hat sie aber nur eine begrenzte Aussagekraft.²²⁸ Sieht man die Industrialisierung als wesentliches Verursachungsmoment der ökologischen Krise und Naturwissenschaft, Technologie und Ökonomie als treibende Kräfte,²²⁹ so gilt es, sich diesen Größen angemessen anzunähern. Ein solcher Ansatz ist sogar unverzichtbar, wenn tatsächlich brauchbare, sprich erklärende, beschreibende und/oder prognostizierende Aussagen abgeleitet werden sollen. Denn im vorliegenden Untersuchungsgebiet liegen ständig Wissenszusammenhänge vor, die große Offenheit zwischen den Disziplinen erfordern, um aus den Risiken des wachsenden anthropogenen Metabolismus die Chance für eine Symbiose von Natur und Kultur in all ihren Ausprägungen zu entwickeln.²³⁰ Da es um Lösungsbeiträge für gesellschaftliche Fragestellungen geht, ist darüber hinaus die tatsächliche lebensweltliche Praxis einzubeziehen.²³¹ Dabei müssen die vielfältigen Erkenntniszugänge durch den intensiven Austausch von Wissen sowie eine gemeinsame exakte Begriffsbildung strukturiert werden.²³² Es kann nicht jedem Einzelzweig der zu verbindenden wissenschaftlichen Ansätze gefolgt werden, sondern nur denen, die sich im Zusammenhang mit der Fragestellung besonders anbieten. Trotzdem oder gerade deswegen ist es bei individueller Inter- bzw. Transdisziplinarität notwendig, mit den Methoden und Grundannahmen der

²²⁷ Vgl. Steiner (2003), S. 50

²²⁸ Vgl. Krüger (1987), S. 106ff

²²⁹ Vgl. Zwierlein und Isenmann (1995), S. 19

²³⁰ Vgl. Yüce und Plöger (2003), S. 10

²³¹ Vgl. Busch-Lüty (2003), S. 33

²³² Vgl. Winiwarter (2002), S. 207

zu verbindenden Wissenschaftselemente vertraut zu sein.²³³ Sicherlich gehört auch dazu, dass innerhalb der jeweiligen Disziplinen bereits eine Reflexion über eigene Vorgehensweisen und Erklärungsansätze stattfindet (bzw. stattgefunden hat), bei der Theoriedefizite aufgedeckt werden, bevor an die transdisziplinäre Theoriebildung herangegangen wird.²³⁴ Dieses Vorgehen soll dazu beitragen, dass durch die von der Problemstellung her vorzunehmende transdisziplinäre Durchdringung der Thematik das bereits vorhandene Wissen im Licht neuer Ideen transformiert wird und neue Impulse entstehen, damit der Prozess disziplinenübergreifend weitergeführt werden kann.²³⁵ Das kann mit nicht zu unterschätzenden Hürden und Schwierigkeiten verbunden sein. Jede Wissenschaft ist durch eigene Begriffssysteme und sprachliche Eigenheiten gekennzeichnet, die unter Umständen nur schwer miteinander vereinbar sind oder gar gleichen Begriffen sehr unterschiedliche Bedeutungen zuweisen.²³⁶ Den Fallstricken semantischer Ungenauigkeit oder Doppeldeutigkeit ist also Rechnung zu tragen. Die transdisziplinäre Nachhaltigkeitsforschung, die unter Problem- und Akteursorientierung disziplinenübergreifend konkrete Nachhaltigkeitsprobleme aufgreift, gewinnt durch den Versuch, gerade diesen Ansprüchen bei der Beantwortung lebensweltlicher Fragestellungen gerecht zu werden, in der europäischen Forschungslandschaft zunehmend an Bedeutung.²³⁷ Speziell für die Fragestellung dieser Arbeit soll die Transdisziplinarität durch die Entwicklung einer strukturähnlichen oder deckungsgleichen Taxonomie zumindest der als am wichtigsten erachteten Wissenschaftsdisziplinen der behandelten Teilaspekte abgesichert werden.

1.4.3 Subjektivität

Bei aller notwendigen Selbstreflexion des Wissenschaftlers bei seiner Arbeit beruht manches Erkenntnisinteresse auf nicht objektivierbaren Wünschen und Interessen, die ihn manchmal auch zu Wegen verleiten, die sich am Rande der Erkenntnisinstrumente „etablierter“ Wissenschaft bewegen. Aber vielleicht sollten gerade bei einem solchen Thema, wie dem Erhalt der irdischen Lebensgrundlagen, die „Weisungen des Herzens“

²³³ Vgl. Kaufmann, (1987), S. 77

²³⁴ Vgl. Wilfing und Winiwarter (2002), S. 251

²³⁵ Vgl. Finke (2003), S. 244

²³⁶ Vgl. Immelmann (1987), S. 87

²³⁷ Vgl. Illgemann und Jahn (Hrsg. 2001), S. 5f

nicht ignoriert werden, wenn es darum geht, wie „die Menschen“ mit „der Mutter Erde“ umgehen.²³⁸ Deshalb ist es unvermeidlich, dass die Begriffe des Lebens und des Lebendigen bzw. der Lebensvorgänge einen grundlegenden Gedankenstrang dieser Arbeit bilden werden, auch wenn sich gerade dieses wundervoll erscheinende Phänomen letztendlich unserer Erkenntnisfähigkeit entzieht, wie Heinz-Peter Dürr feststellt:²³⁹

„Die Wahrnehmung des Lebens heißt die Augen öffnen für einen auf einer höheren Ebene ausgebildeten innigen Zusammenhang, der vom Untersystem einer von uns wissenschaftlich beschriebenen Realität aus nicht direkt begreiflich ist.“

Gerade aus dieser Unbegreiflichkeit heraus lässt sich am ehesten nicht-normativ die Forderung nach dem Erhalt eben jenes Phänomens in all seinen Ausprägungen mit allen zur Verfügung stehenden Mitteln begründen. Milliarden Jahre evolutionärer Entwicklung sind in unseren Genen verborgen und enthalten implizit ein Wissen um die Verbundenheit mit der Erde, die eine objektivierbare Wissenschaft innerhalb ein paar Menschheitsgenerationen längst nicht erfasst haben kann.²⁴⁰ Hierfür hat die Menschheit andere Zugänge gefunden. Vielleicht finden sich gerade dafür in scheinbar mythologisch angehauchten Randgebieten wie der „Gaia-Hypothese“ (Abschnitt 4.3) Anregungen, die mit dem konventionellen Instrumentarium der Wissenschaften verschlossen bleiben.²⁴¹ Wissenschaftlichkeit bei der Beschreibung lebensweltlicher Zusammenhänge und deren nachhaltige Gestaltung erfordert nicht zuletzt auch ein gehöriges Maß an „Querdenken“, um Lösungswege für lebensweltliche Probleme zu finden.²⁴² Mit allein am wissenschaftlichen Mainstream verhafteten Zugängen kann im Endeffekt nichts als „mehr desselben“ erzeugt werden, was nicht selten zu einer weiteren Verschlechterung der eigentlich zu verbessernden Situation führt.

²³⁸ Vgl. Zwierlein und Isenmann (1995), S. 33ff

²³⁹ Dürr (1999), S. 4

²⁴⁰ Vgl. Roszak (1986), S. 66

²⁴¹ Vgl. Tibbs (1993), S. 14

²⁴² Vgl. Dürr (2003), S. 61ff

2. Nachhaltigkeit als gesellschaftliches Leitbild

2.1 DER NACHHALTIGKEITSDISKURS

Nachhaltigkeit ist in der jüngeren politischen und wissenschaftlichen Vergangenheit ein zweifelsohne überstrapazierter Begriff, dessen dadurch befürchtete Abwertung durch ernsthafte Zielgerichtetheit entgegengewirkt werden muss.²⁴³ Die Unschärfe, die der Begriff durch die vielfältige Vereinnahmung unterschiedlichster politischer und wirtschaftlicher Meinungsführer angenommen hat, muss aus seiner Historie heraus wohl hingenommen werden.²⁴⁴ Die Notwendigkeit von nachhaltiger Entwicklung in Frage zu stellen, ist in Anbetracht der vom Menschen verursachten globalen Probleme ohnehin kaum möglich.²⁴⁵ Als zielführendes Koordinationsmedium ist ein gesellschaftliches Leitbild wie das der Nachhaltigkeit angesichts der aktuellen globalen Problemlagen unverzichtbar.²⁴⁶ Anders ließe sich die anzustrebende kollektive Verantwortungsübernahme nicht steuern, da es sich um hochkomplexe sozio-ökonomische Vorgänge handelt, die kaum von einer zentralen Instanz steuerbar sind, sondern eines gemeinsamen Leitbildes bedürfen, um tatsächlich zum „Erfolg“ zu führen. Dennoch existiert für den Begriff der Nachhaltigkeit eine kaum überschaubare Vielzahl von Definitionen (die je nach Blickwinkel nicht immer absolut übereinstimmen) und adjektivische Umschreibungen, die den abstrakten Begriff mit Leben füllen sollen.²⁴⁷ Unterschiedliche Vertreter der ausdifferenzierten gesellschaftlichen Subsysteme verstehen aus ihrer jeweiligen Sicht nicht das gleiche unter dem Begriff,²⁴⁸ so dass in der Literatur über 70 „Definitionen“ von Nachhaltigkeit zu finden sind.²⁴⁹ Es herrschen sogar in hochgebildeten Kreisen Einschätzungen des Begriffes vor, die in der Nachhaltigkeit einen quasi stationären Zustand entdeckt haben wollen.²⁵⁰ Dabei handelt es sich wohl um eine Fehl-

²⁴³ Vgl. Hartard und Stahmer (2000), S. 8

²⁴⁴ Vgl. Eblinghaus und Stickler (1996), S. 38 und Kraus (2002), S. 97

²⁴⁵ Vgl. Petersen (2000), S. 221

²⁴⁶ Vgl. Brand (1997), S. 11

²⁴⁷ Vgl. Gehrlein (2000a), S. 17

²⁴⁸ Vgl. Meyer-Abich (2001), S. 20

²⁴⁹ Vgl. Wehling (1997), S. 35

²⁵⁰ Vgl. Guggenberger (2003), S. 111

interpretation des verbundenen Begriffes „Steady state“, die den Begriff der Entwicklung außen vor lässt. Diese Interpretation kann zwar vorgenommen werden, ist aber alles andere als zielführend, was sich wiederum kaum mit der Eigenschaft eines „Leitbildes“ vereinbaren lässt. Deshalb wird diese Lesart aufgrund mangelnder Logik nicht weiter berücksichtigt. Die wohl meistzitierte „Definition“ für Nachhaltigkeit entstammt dem Brundtland Report:²⁵¹

“Sustainable Development is development that meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs. It contains within it two key concepts: the concepts of “needs”, in particular the essential needs of the world’s poor, to which overriding priority should be given; and the idea of limitations imposed by the state of technology and social organization on the environment’s ability to meet present and future needs.”

Diese sehr weit gefasste und offene Definition, die auf den ersten Blick rein anthropozentrischer Natur zu sein scheint und auf die Aussage reduziert werden kann, dass die menschliche Wohlfahrt im Zeitablauf nicht sinken solle,²⁵² lässt zwar sehr viel Interpretationsspielraum, enthält aber implizit alle notwendigen Diskussionspunkte. Es lassen sich daraus vier konstitutive Elemente der Nachhaltigkeit entwickeln:²⁵³

- Verantwortung gegenüber zukünftigen Erdenbewohnern, diesen eine lebenswerte Welt zu hinterlassen (intergenerationale Gerechtigkeit)
- Verantwortung gegenüber allen gleichzeitig existierenden Erdenbewohnern (intragenerationale Gerechtigkeit)
- Globale Orientierung (global denken, lokal handeln)
- Fokussierung auf menschliche Bedürfnisse (Anthropozentrismus)

Der letzte Punkt ist jedoch diskussionsbedürftig. Zwar kann Nachhaltigkeit nur aus Sicht des bewusst handelnden Subjektes (also des Menschen) definiert sein und unterliegt somit per Definition einem anthropozentrischen Blickwinkel, andererseits kann der Begriff der Erdenbewohner so aufgefasst werden, dass darin alle das Ökosystem Erde belebenden Organismen zu berücksichtigen sind. Diese Organismen sind auf allen räumlichen Ebenen zur Aufrechterhaltung ihrer Lebensstrukturen und -prozesse auf

²⁵¹ WCED (1987), S. 43

²⁵² Vgl. Pearce, Atkinson und Dubourg (1994), S. 470

²⁵³ Vgl. Jörissen, Brandl und Kopfmüller (2000), S. 37

einen kontinuierlichen Austausch von Energie und Materie mit ihrer Umwelt angewiesen.²⁵⁴ Aus Sicht der Erreichung eines „naturverträglichen“ anthropogenen Metabolismus kommt man deshalb sogar um einen physiozentrischen Blickwinkel gar nicht herum, da die Zielsetzung einer ungestörten Ko-Evolution aller Subsysteme des globalen Ökosystems ohne die Beachtung der von der „Natur“ gesetzten Rahmenbedingungen nicht erreichbar ist. In der Dimension der Stoffaustauschprozesse zwischen „Natur“ und „Technosphäre“ sind zwar insbesondere lokale und regionale Ausgangsbedingungen zu beachten, die an jedem Ort der Erde eine differenzierte Ausprägung aufweisen, aber ohne Verständnis für die globalen Zusammenhänge von Stoff- und Energieströmen ist eine nachhaltige Gestaltung aller regionalen Flussgrößen nicht denkbar. Dies gilt um so mehr im Rahmen der zunehmenden Globalisierung von Waren- und Stoffströmen. Die zwei ersten der o. g. Elemente stehen nicht zur Diskussion, zumindest wenn als Ausgangshaltung ein „moralischer Realismus“ zu Grunde gelegt wird.²⁵⁵

Definitionsspielraum

Die unterschiedliche Auslegung des Begriffes²⁵⁶ führt häufig zu Kommunikationshemmnissen und Missverständnissen bei der konkreten Zielbildung.²⁵⁷ So finden sich als deutsche Übersetzung des englischsprachigen Begriffs von „sustainable development“ Umschreibungen wie „dauerhaft umweltgerechte Entwicklung“,²⁵⁸ „tragfähig“,²⁵⁹ „integratives Konzept“,²⁶⁰ „zukunftsverträgliche Entwicklung“ oder „Zukunftsfähigkeit“.²⁶¹ All diese Begriffe beinhalten eine ähnliche Konzeption, unterscheiden sich in ihren Implikationen jedoch teilweise erheblich, weil sie obendrein, z. B. vom Nachhaltigkeitsrat der Deutschen Bundesregierung, mit unterschiedlichen Leitworten wie „Generationengerechtigkeit, Lebensqualität, sozialer Zusammenhalt und internationale Verantwortung“ verbunden werden.²⁶²

²⁵⁴ Vgl. Francois und Ulloa (2000), S. 50ff

²⁵⁵ Vgl. Hösle (2001), S. 17

²⁵⁶ Vgl. Brand und Jochum (2000), S. 174ff

²⁵⁷ Vgl. Radke (1995), S. 533f

²⁵⁸ Vgl. SRU (1994), Tz. 6

²⁵⁹ Vgl. Fritz, Huber und Levi (1995), S. 7

²⁶⁰ Vgl. Jörissen, Brandl und Kopfmüller (2000), S. 35

²⁶¹ Vgl. BUND/Miserior (Hrsg. 1996), S. 24

²⁶² Vgl. Majer (2004), S. 23ff und Zahrnt (2002), S. 153

Letztendlich kann erst eine genauere Begriffsbestimmung normative Handlungsempfehlungen ableitbar machen,²⁶³ die eine gewisse Richtungssicherheit aufweisen, vor allem wenn man sich dem Begriff wissenschaftlich anzunehmen versucht. Aus diesem normativen Leitbild lassen sich dann theoretische Konzepte – wie z. B. Industrielle Ökologie – zur Entwicklung nachhaltiger Gesellschaften ableiten.²⁶⁴ Vielleicht ist das aber auch gar nicht allgemeingültig möglich. Vielmehr kommt es darauf an, im konkreten Handlungskontext eine greifbare Auffassung von „Nachhaltigkeit“ zu bekommen, die nicht unbedingt mit allen anderen Auffassungen konform gehen muss und auch nicht grundsätzlich mit wissenschaftlichen Erkenntnissen untermauert sein muss. Andererseits ist aber eine Einigung über eine allen gemeinsame Schnittmenge von Ansichten und Zielsetzungen notwendig, ohne die ein global umzusetzendes Konzept nicht zu verwirklichen ist. Diesen kleinsten, unbestreitbaren gemeinsamen Nenner für Nachhaltigkeit geben die „ökologischen Managementregeln für Nachhaltigkeit“ an (siehe Abschnitt 2.2.2), die sich allerdings stark auf die ökologische Säule der Nachhaltigkeit beziehen. Allerdings ist durch die Knappheit des „Naturkapitals“ schon ein Engpass vorgegeben, der sogar bei rein ökonomischer Betrachtung die Berücksichtigung ökologischer Aspekte einfordert. Der sorgsame Umgang mit knappen Natur-Ressourcen fördert implizit die Erfüllung der sozialen Säule der intergenerationalen Gerechtigkeit.²⁶⁵

2.2 DIE DREI SÄULEN DER NACHHALTIGKEIT

Stark in der Diskussion steht das relative Verhältnis der allgemein anerkannten drei Zieldimensionen der Nachhaltigkeit:²⁶⁶ Ökologische, ökonomische und soziale Fragen, die gleichermaßen nachhaltig zu lösen sind und um die politisch-institutionelle Dimension erweitert werden können,²⁶⁷ wobei besonders die Bedeutung der Partizipation aller relevanten Akteure beim Prozess der nachhaltigen Entwicklung zu betonen ist. Die Unterteilung in diese Bereiche birgt zwar die Gefahr, die integrative Kraft des Leitbil-

²⁶³ Vgl. Renn (2001), S. 83

²⁶⁴ Vgl. Conrad (1997), S. 57

²⁶⁵ Vgl. Köppel (1996), S. 114

²⁶⁶ Vgl. Majer (2003a), S. 938; Dabei sind diese holistisch, gerecht und langfristig (HGL) anzugehen.

²⁶⁷ Vgl. Gehrlein (2000), S. 20

des der Nachhaltigkeit zu untergraben, das ist aber keine zwingende Folge einer dimensionsbezogenen Untersuchung. Vielmehr bietet der integrative Ansatz die Möglichkeit, die einzelnen Zieldimensionen unter Berücksichtigung der sie umgebenden anderen Dimensionen zielgerichtet zu entwickeln. Nachhaltigkeit kann also keine Absage an das über Jahrzehnte entwickelte Expertentum sein, sondern erfordert Offenheit zu mehrdimensionaler Behandlung von spezifischen Problemstellungen der einzelnen Dimensionen, die man sich durchaus aus dem Gesamtzusammenhang herausgelöst denken kann, ohne den integrativen Gedanken zu verletzen. Gerade die Untersuchung ökologischer Problemstellungen kommt bei einer lösungsorientierten Herangehensweise nicht um die Berücksichtigung ökonomischer, sozialer und institutioneller Belange herum. Vielmehr entwickelte sich eine Idealvorstellung, dass in interdisziplinären Synergien gleichermaßen alle drei Säulen der Nachhaltigkeit zu verwirklichen sind und dass auch nur in dieser Schnittmenge die Zielsetzungen nachhaltiger Entwicklung umsetzbar sind.²⁶⁸ Andersherum ist überall dort, wo eine der Zielstellungen nicht erfüllt wird, auch keine nachhaltige Entwicklung zu konstatieren. Es geht auf lange Sicht gerade darum, bislang scheinbar aufgetretene Zielkonflikte innerhalb dieses mehrdimensionalen Zielsystems auszuschalten oder durch nachhaltige Maßnahmen in komplementäre Beziehungen umzumünzen. Inwieweit bei disziplinärer Betrachtung eine Hierarchisierung der Zieldimensionen vorgenommen werden sollte oder gar kann, wird je nach Sichtweise eine umstrittene Fragestellung bleiben. Grundlage dieser Arbeit ist jedoch die Einschätzung, dass die ökologische Krise mit der Bedrohung der Funktionsfähigkeit der natürlichen Systeme die Kernfrage der zukünftigen globalen Entwicklung bleiben wird, da diese die Grundlage allen menschlichen Handelns und des Fortbestandes von Leben auf dem Planeten Erde ist. Dabei geht es auch darum, ein exportfähiges Modell für nachhaltiges Wirtschaften zu entwickeln, das alle Zieldimensionen der nachhaltigen Entwicklung in erreichbarere Nähe rückt.

2.2.1 Ökonomie

Die Ökonomie ist das anthropogene Subsystem, das die Steuerung von Produktion, Konsum und Allokation menschengemachter Güter und Dienstleistungen sicherstellt.²⁶⁹

²⁶⁸ Vgl. Newman (2005), S. 441

²⁶⁹ Vgl. Lawrence (2005), S. 134

Dem Wirtschaftssystem kommt dabei die Aufgabe zu, diese Prozesse möglichst effektiv und effizient zu gewährleisten. Die hierfür zur Verfügung stehenden Faktoren werden idealerweise so kombiniert, dass ein für die jeweilige Gesellschaft optimales Ergebnis der Güterversorgung erreicht wird. In der Realität sollte zumindest gewährleistet sein, dass jedem Mitglied der Gesellschaft ein ökonomisch tragfähiges Einkommen zur Verfügung steht, das seine minimalen Bedürfnisse zu befriedigen erlaubt. Welche Steuerungsmechanismen hierfür am geeignetsten sind, wird in der Ökonomik untersucht. Der in rein ökonomischer Hinsicht historisch erfolgreichste Steuerungsansatz ist die freie Marktwirtschaft im Zusammenspiel mit globalisierter industrieller Produktion. Dieser hat jedoch wesentlich dazu beigetragen, die anderen Dimensionen der Nachhaltigkeit zu verletzen und kann somit langfristig nicht ökonomisch nachhaltig sein, auch wenn schon im 19. Jahrhundert die Wiederverwertung von Abfallstoffen theoretisch thematisiert und nach praktischen Lösungen gesucht wurde, es also Ansätze zu einer Verbesserung nach natürlichen Vorbildern bereits im Frühstadium der Industrialisierung gegeben hat.²⁷⁰ Auf dem (historisch) kurzen Weg, den die Industrialisierung bislang gegangen ist, muss dieses Bewusstsein verloren gegangen sein. Das mag auch daran liegen, dass es sich in der Frühzeit der Industrialisierung um Stoffe und Produkte von wesentlich geringerer technischer oder chemischer Komplexität gehandelt hat. Die Zielstellung der Ökonomie hat sich jedoch in diesem Zeitraum kaum geändert. Der Verlust von potenziellen Rohstoffen durch Dissipation oder gar Deponierung ist ökonomisch nicht langfristig tragbar.²⁷¹ Ökonomisch betrachtet fordert Nachhaltigkeit unter Berücksichtigung realistischer Restriktionen die Maximierung der möglichen Bedürfnisbefriedigung für alle aktuellen und zukünftigen Generationen.²⁷² Inwiefern diese Forderung (insbesondere für nicht-regenerative Rohstoffe) sinnvoll ausgestaltet werden kann, wird nicht nur in den Wirtschaftswissenschaften kontrovers diskutiert.²⁷³ Zweifellos ist aber ein funktionierendes ökonomisches System unabdingbar für die Aufrechterhaltung hochentwickelter Kulturen. Geht man in diesem Zusammenhang davon aus, dass die natürlichen Lebensbedingungen eine notwendige Grundbedingung

²⁷⁰ Vgl. Desrochers (2005), S. 20; Auch da wurde bereits die Natur als metaphorische Vorlage für ideale industrielle Prozesse herangezogen.

²⁷¹ Ein ökonomisches Kalkül, das scheinbar etwas anderes suggeriert, unterliegt also mit hoher Wahrscheinlichkeit einem Fehler.

²⁷² Vgl. Steger (1995), S. 94

²⁷³ Diese Diskussion wird in Kapitel 6 geführt

für den Erhalt menschlicher wirtschaftlicher Tätigkeit ist, so entfaltet sich ein ganzer Strauß ökonomischer Fragestellungen, die durch das Leitbild der Nachhaltigkeit aufgeworfen werden: Dürfen für den Erhalt der ökonomischen Leistungsfähigkeit einer Gesellschaft ökologische Grundbedingungen außer Acht gelassen werden? Sind ökonomische Leistung und ökologische Funktionalität ein grundsätzlicher Trade-off, oder lassen sie sich sogar miteinander vereinbaren? Wenn ja, wie? Wie können die entsprechenden Größen miteinander „aufgerechnet“ werden, um einen Handlungsrahmen für die optimale zukunftsfähige Entwicklung zu haben? Die Suche nach dem optimalen ökonomischen Ausnutzungsgrad der Natur zur Schaffung des maximal möglichen Nutzens gehört zu den komplexen Aufgaben des ökonomischen Systems, die bislang nicht befriedigend gelöst sind, weshalb mittelfristig auch nach ökonomischer Vernunft das Vorsichtsprinzip anzuwenden ist.²⁷⁴

- Es ist zu vermeiden, was eindeutig nicht „nachhaltig“ ist
- Ökonomische Handlungen, deren Wirkungen in Bezug auf Nachhaltigkeit nicht eindeutig sind, müssen reversibel sein
- Ökonomische Handlungen, deren Nachhaltigkeit nachgewiesen ist, sind vorzuziehen
- Materielles und immaterielles Vermögen sind gleichermaßen zu erhalten und zu entwickeln²⁷⁵

Trotz dieser Einschränkungen soll das Leistungsvermögen der Wirtschaft, Nutzen zu schaffen, nicht eingeschränkt werden, sonst würden gegenwärtige Generationen gegenüber folgenden sogar benachteiligt. Trotzdem ist es im ursprünglichen Sinn des Begriffs eine der Hauptaufgaben der Ökonomie, zur langfristigen Erhaltung der Möglichkeit des Erwerbs von „Lebensmitteln“ in Form der ökonomischen Reproduktion im weitesten Sinne für alle in einer Gesellschaft lebenden Individuen zu sorgen.²⁷⁶ Dies impliziert zwangsläufig die Inangsetzung einer materiellen Maschinerie, da jeglicher Lebensprozess auf die Zuführung von Energie und Stoffen angewiesen ist. Die Frage ist dabei nur, ob dabei das zur Verfügung stehende Vermögen mutwillig aufgebraucht werden darf.

²⁷⁴ Nach der Spieltheorie entspricht dies einer MaxiMin-Strategie, damit man mindestens das beste aller möglichen schlechten Ergebnisse erreichen kann; Vgl. Costanza (1989), S. 4

²⁷⁵ Dies umfasst das Naturvermögen, Konsumvermögen, Gebrauchsvermögen, Sachvermögen zur Produktion auf materieller Seite sowie auf immaterieller Seite das Humanvermögen, Geldvermögen, Sozialvermögen und Rechte; Vgl. Geisendorf, Gronemann, Hampicke u.a. (1998), S. 21

²⁷⁶ Vgl. Immler (1991), S. 151; Mehr dazu wird in Abschnitt 6.2 zur Ökologischen Ökonomik erörtert.

Aber auch darauf sucht die Ökonomie als gesellschaftliches Subsystem zumindest in wissenschaftlichen Teilbereichen selbst Antworten. Die bei wirtschaftlicher Tätigkeit in Gang gesetzten Stoff- und Energieströme sind insbesondere für die Ökologische Ökonomie von Bedeutung. Dass die neoklassische Umwelt- und Ressourcenökonomik und die Ökologische Ökonomie scheinbar unvereinbare Prämissen setzen, sollte dem Versuch der gegenseitigen Ergänzung durch unterschiedliche Sichtweisen auf das gleiche zu lösende Problem jedoch nicht im Wege stehen.²⁷⁷ Grundsätzlich kann ein ökonomischer Zugang zur Nachhaltigkeit aber nur gewährleistet werden, wenn die natürliche materielle Basis als Naturvermögen gegenüber den monetären Größen wieder mehr in den Fokus gerückt wird.

2.2.2 Was sagt die Ökologie zum Begriff Nachhaltigkeit?

Ökologisch kann man die Vorgänge des Lebens in der Natur als ständige Fließvorgänge betrachten, bei denen Energie und Stoffe zwischen Organismen ausgetauscht werden.²⁷⁸ Dabei ist der Zugang zu energetischen und materiellen Ressourcen für das Weiterbestehen der Subsysteme und des Gesamtsystems essentiell. Allgemein betrachtet kann von einem nachhaltigen System gesprochen werden, „wenn infolge von Umsätzen nicht mehr Stoffe abfließen als zufließen.“²⁷⁹ Diese Aussage ist jedoch nicht ganz exakt. Auch in natürlichen Systemen finden langfristige Stoffumwandlungen und -verlagerungen statt, die die Zusammensetzung der Subsysteme oder einzelner Biozöosen durch gegenseitigen Austausch verändern. Diese Veränderungen laufen jedoch im Gesamtsystem Erde unter dem Vorzeichen der Evolution ab, die sich zumindest insofern als nachhaltig erwiesen hat, als sich die globalen Entwicklungsmöglichkeiten der „Natur“ bis zum Auftauchen des Phänomens der anthropogen-kulturellen Evolution nicht verschlechtert haben. Auf globaler Ebene gilt obige „Gleichung“ somit uneingeschränkt und liefert keine aussagekräftige Einschätzung der Nachhaltigkeit von Entwicklungen. Das Bestreben, ökologisch nachhaltige Entwicklung umzusetzen, kann nur auf die aus der Funktionalität existierender Ökosysteme gewonnenen Erkenntnisse bauen. Dabei ist auch die ökologische Vielfalt zu berücksichtigen, die in einem interna-

²⁷⁷ Vgl. Luks (2002), S. 59

²⁷⁸ Vgl. Haber (1995), S. 19

²⁷⁹ Vgl. Fritz, Huber und Levi (1995), S. 8

tionalen Abkommen (Convention on biological diversity, CBD) als Grundvoraussetzung für das Überleben der Menschheit erklärt wurde. Darin soll auch die nachhaltige Nutzung von Ressourcen und deren gerechte Verteilung gewährleistet werden.²⁸⁰ Die verschiedenen Ökosysteme auf der Erde haben raffinierte Organisationsformen entwickelt, die Nachhaltigkeit garantieren.²⁸¹ Damit kann man für nachhaltige Entwicklung einer Gesellschaft mit hohem Wirkungsgrad fordern, dass alle Stoffaustauschprozesse durch möglichst weitgehend ortszyklische Stoffkreisläufe mit minimalen Verlusten geprägt sein sollten.²⁸² Somit kann nachhaltiges Wirtschaften auch als die möglichst intelligente Adaption der seit Beginn der Evolution wirkenden und bewährten Grundsätze der Natur angesehen werden.²⁸³ Die Forderung nach Erhaltung des quantitativen Naturkapitals geht damit einher, das natürliche Entwicklungspotenzial der Natur nicht zu stören, sondern die vollkommene qualitative Funktionalität des natürlichen Haushaltes zu gewährleisten, indem die menschlichen Eingriffe adäquat eingepasst werden. Da hierzu nur selten eindeutiges naturwissenschaftliches Wissen vorliegt, das eine exakte Zielfindung ermöglichen würde, unterliegt die Einschätzung dieses Sachverhaltes vielfältigen transdisziplinären Diskursprozessen, von denen in dieser Arbeit stellvertretend die Umsetzung einer IÖ behandelt werden soll.

Nachhaltigkeitsregeln

Aus ökologischer Sicht lassen sich Nachhaltigkeitsregeln ableiten, deren Einhaltung unabdingbar für eine nachhaltige Entwicklung ist, auch wenn sie in dieser Form noch nicht operationalisiert sind.²⁸⁴

- Die Abbaurate erneuerbarer Ressourcen soll deren Regenerationsrate nicht überschreiten, um die ökologische Leistungsfähigkeit und Funktionalität nicht zu gefährden
- Nicht-erneuerbare Ressourcen sollen nur in dem Umfang genutzt werden, in dem ein physisch und funktionell gleichwertiger Ersatz in Form erneuerbarer

²⁸⁰ Vgl. Vogtmann (2002), S. 219

²⁸¹ Vgl. Capra (2003), S. 49

²⁸² Vgl. Ripl (1995), S. 76

²⁸³ Vgl. Busch-Lüty (2003), S. 19

²⁸⁴ Vgl. Majer (2000), S. 388ff, Enquete-Kommission (Hrsg. 1998), S. 46 und Kurz (2002), S. 91

Ressourcen und/oder höherer Produktivität der erneuerbaren sowie der nicht-erneuerbaren Ressourcen geschaffen wird

- Stoffeinträge in die Umwelt sollen sich an der Belastbarkeit der Umweltmedien orientieren, um deren Funktionalität nicht zu gefährden
- Das Zeitmaß anthropogener Veränderungen der Umwelt muss in ausgewogenem Verhältnis zum Zeitmaß der Reaktionen durch natürliche Prozesse stehen
- Gefahren und unvermeidbare Risiken für die Umwelt durch anthropogene Einwirkungen sind zu vermeiden

Heydemann fasst diese Regeln zu einer umfassenden Regel der ökologischen Nachhaltigkeit zusammen:²⁸⁵

„Es darf nur so viel aus der Natur entnommen werden, dass darunter Quantität und Qualität der Regenerationsprozesse und -Strukturen der Natur nicht leiden und auch gleichzeitig genügend Ressourcen der Natur als Reserven (vom Menschen ungenutzt) für die natürlichen Kreisläufe und Rücklagen am biologischen Standort selbst (in den Ökosystemen) verbleiben.“

All diese Regeln lassen sich direkt auf den Ansatz der IÖ spezifizieren. Die beiden Konzepte sind damit nahtlos integrierbar. Bei der Umsetzung des Leitbildes ist es zudem zielführend, sich an ethischen Prämissen zu orientieren, die die Grundlage für das Handeln im sozio-ökologischen Kontext darstellen, die vier „V“:²⁸⁶

- Vorsorge
- Vorsicht
- Verantwortung
- Vernetzung

Anders lässt sich die Dimension der sozialen intra- und intergenerationalen Gerechtigkeit nicht einlösen. Bei all dem steht die Entwicklung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Leistungsfähigkeit einer (industrialisierten) Gesellschaft im Vordergrund.²⁸⁷ Dies erfordert wiederum einen Ansatz „adaptiven Managements“, der der nur teilweise prognostizierbaren Entwicklung des sozial-ökologischen Systems gerecht

²⁸⁵ Heydemann (2001), S. 10

²⁸⁶ Vgl. O’Riordan (1994), S. 300

²⁸⁷ Vgl. Erbrich (2004), S. 200

wird, indem er dessen selbstorganisatorische Kritizität (self-organised criticality – SOC) fernab eines thermodynamischen Gleichgewichts berücksichtigt.²⁸⁸

2.2.3 Die Frage nach der sozialen Nachhaltigkeit/Gerechtigkeit

Gerechtigkeit ist als ethisches Grundprinzip eine tragende Basis für das Leitbild der Nachhaltigkeit und damit einer der Begriffe, die die Nachhaltigkeitsdiskussion stark mitbestimmen. Hierbei handelt es sich um ein raumzeitliches Konstrukt. Nachhaltige Entwicklung kann nur sozial gerecht sein, wenn ihre Implikationen sowohl intragenerationale als auch intergenerationale Interessen berücksichtigen. Die intragenerationalen, also zeitlich beschränkten, beziehen sich sowohl auf geographische als auch auf akteursbezogene Verteilung der Folgen des Wirtschaftens, die intergenerationalen berücksichtigen darüber hinaus die zukünftigen Potenziale für das Wirtschaften und Leben auf unserem Planeten. Beide Ansätze von Gerechtigkeit sollten durch eine nachhaltige Entwicklung erfüllt werden, was die Aufgaben für eine IÖ um zusätzliche Dimensionen erweitert. Sie kann dabei sogar eine überaus wichtige Rolle einnehmen, denn ohne ökologische Verträglichkeit des Wirtschaftens kann es eine gerechte Entwicklung erst gar nicht geben, da wirtschaftliches Wachstum und damit ein höheres Potenzial an verteiltem Wohlstand ökologischen Grenzen unterworfen ist.²⁸⁹ Die durch die wirtschaftliche Entwicklung ausgelösten Umweltveränderungen wirken auf die wirtschaftliche Entwicklung und deren soziale Wirkungen zurück.²⁹⁰ Nicht nur sorgsamer Umgang mit regenerativen und nicht-regenerativen Rohstoffen für eine zukünftige Nutzung kommen hier ins Spiel, sondern auch Fragen der Verteilung der ökonomischen Folgen wie Verfügbarkeit von Arbeitsplätzen und Freiheitsrechte sowie die nicht-intendierten Folgen unseres Wirtschaftens wie Rückgang der als wertvoll erachteten Biodiversität sowie die unverhältnismäßige Verteilung der ökologischen Folgen.²⁹¹ Alleine die in der ökopolitischen Diskussion verwendeten Begriffe einer befürchteten „Öko-Diktatur“ oder „Krieg ums Öl“ werfen ein Licht darauf, welche unterschiedlichen Interessen den Prozess des Wandels beeinflussen. Hinzu kommt, dass die zunehmende

²⁸⁸ Vgl. Ramos-Martin (2002), S. 102; Letztere Begriffe dieser Aussage werden weiter unten wieder aufgegriffen und erläutert.

²⁸⁹ Vgl. Sachs (2002), S. 20

²⁹⁰ Vgl. Toman (2003), S. 14

²⁹¹ Vgl. Geisendorf, Gronemann, Hampicke u.a. (1998), S. XXVI und Chen (1994), S. 85

Globalisierung durch die Vergrößerung der Interessenvielfalt der beteiligten Akteure die Fragestellung der Gerechtigkeit um eine weitere Dimension komplexer macht.²⁹² Je differenzierter und verschachtelter die globalen Warenströme werden, desto unübersichtlicher wird die Wahrnehmung der sozialen Frage, da es nicht mehr nur um das Erreichen von Win-win-Situationen geht, sondern um Win^x-Situationen, deren funktionale Beziehungen kaum mit vertretbarem Aufwand berechenbar sind.²⁹³ Aber auch schon einfache Win-win-Situationen werden wegen des Aufwandes in der Wirtschaft nur selten systematisch informatorisch abgedeckt.²⁹⁴ Bei der konkreten Umsetzung von Nachhaltigkeitsprojekten ist es deshalb zweckmäßig, die Ambitionen in einem ersten Schritt darauf zu beschränken, wenigstens zwei Nachhaltigkeitsdimensionen zu verbessern, ohne dabei andere zu verletzen.²⁹⁵ Gerechtigkeit kann nur über Vertrauen und guten Willen vollständig erreicht werden und ist nur bedingt herkömmlichen Steuerungsmethoden zugänglich. Allerdings ist im Einzelfall zu prüfen, welche Zielkonflikte zwischen den zu berücksichtigen Säulen der Nachhaltigkeit auftreten.²⁹⁶ Hinzu kommt bei Fragen der Gerechtigkeit auch die um die Verteilung der Wohlfahrt, die durch das globale Wirtschaften erzeugt wird. Hier ist zu konstatieren, dass die globale Verteilung der Einkommen und damit die Verfügung über natürliche Ressourcen in den knapp 200 Jahren der Industrialisierung kontinuierlich zugunsten der Industrienationen verschoben wurde, so dass man derzeit von einer extrem ungerechten Verteilung reden kann. Dies zeigt z. B. der im Jahr 1998 auf ca. 70% angewachsene globale Gini-Koeffizient an.²⁹⁷ Darüber hinaus steht völlig außer Diskussion, dass die Verfügungsgewalt von 20 % der Weltbevölkerung in den industrialisierten Ländern über mehr als 80 % der globalen Ressourcen ein erhebliches Ungleichgewicht bedeutet, das weit jenseits einer gerechten Verteilung liegt und somit nicht nachhaltig sein kann.²⁹⁸ Bedauerlicher Weise hat diese zunehmende Umverteilung ab einem bestimmten Einkommensniveau jedoch zu keiner signifikanten Steigerung des Wohlbefindens der Menschen in den bevorteilten Regio-

²⁹² Vgl. Weinzierl (2003), S. 154

²⁹³ Vgl. Deutz und Gibbs (2004), S. 348

²⁹⁴ Vgl. Thurston und Bras (2001), S. 37

²⁹⁵ Vgl. Gottschick, Hafkesbrink, Sterr u.a. (2004), S. 3

²⁹⁶ Vgl. Eyerer und Wolf (2009), S. 145

²⁹⁷ Vgl. Rainham, Mc Dowell und Wilson (2005), S. 191; Der Gini-Koeffizient ist ein Maß für die Ungleichverteilung von Einkommen und/oder Vermögen innerhalb eines definierten Betrachtungsraumes, das die Abweichung empirischer Werte von einer Gleichverteilungskurve wiedergibt.

²⁹⁸ Vgl. Hawken (1996), S. 9

nen der Erde geführt und ist somit gleichsam zweckfrei. Für die IÖ bedeutet dies, dass von den Akteuren auch dort Verantwortung eingefordert wird, wo bekannte Anreizmechanismen nicht greifen, da eine solche Ungleichverteilung das Fließgleichgewicht der globalen Ökonomie gefährdet.²⁹⁹

2.2.4 Zusammenfassend

Beim Prinzip Nachhaltigkeit handelt es sich eher um eine gesellschaftliche Leitidee als um ein wissenschaftlich ableitbares Konzept.³⁰⁰ Nichtsdestotrotz sind die Implikationen, die mit der Zielsetzung nachhaltiger Entwicklung verbunden sind, wissenschaftlich zu durchleuchten und zu konkretisieren. Die Konzeption ist also nicht vollkommen wissenschaftsfremd. Der dieser Arbeit zu Grunde liegende Ansatz ist zwar stark technologisch orientiert, es soll aber keinesfalls der Eindruck entstehen, als stünde dahinter die Vorstellung, Nachhaltigkeit wäre alleine auf einem reinen Technologiepfad zu erreichen. Vielmehr steht das Verständnis dahinter, dass es notwendig ist, alle denkbaren Ansätze, die zu nachhaltiger Entwicklung führen, auszuloten und in der Kombination der bestmöglichen Praktiken einen vieldimensionalen Weg einzuschlagen. Denn Effizienzsteigerung auf der Produktionsseite ist alleine zwar hilfreich und notwendig, für eine nachhaltige Entwicklung aber nur unter Erfüllung weiterer Nachhaltigkeitsbedingungen hinreichend.³⁰¹

Betrachtet man Nachhaltigkeit zusammenfassend als ethisches Prinzip, so lässt sich ein dreifacher kategorischer Imperativ ableiten:³⁰²

- Alle Systeme auf der Erde müssen innerhalb der ökologischen Grenzen bleiben
- Alle Menschen auf der Erde sollten mit ausreichenden ökonomischen Mitteln für ein menschenwürdiges Leben ausgestattet sein
- Alle sozialen Strukturen sollen mehrheitsfähig sein und den Willen aller Menschen berücksichtigen

Um dies zu gewährleisten, gilt es konsensuale Regeln einzuhalten. Das gilt auch für eine IÖ.

²⁹⁹ Unter Fließgleichgewicht sei hier die Erhaltung eines Gesamtsystems (bzw. einer dissipativen Struktur) auf einem Niveau fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht durch Stoff- und/oder Energieaustausch zu verstehen; Vgl. Binswanger (1994), S. 163

³⁰⁰ Vgl. Kopfmüller (1995), S. 105

³⁰¹ Vgl. Huber (1995), S. 133 und Day (1998), S. 1

³⁰² Vgl. Robinson und Tinker (1996), S. 20

2.3 WEGE ZUR NACHHALTIGKEIT (STRATEGIEN)

Um das Konzept der Nachhaltigkeit umzusetzen, bieten sich eine Reihe von unterschiedlichen Strategien an, denen jeweils spezifische Innovationen in der Technologie, dem Verhalten und in der institutionellen Ausgestaltung der Gesellschaft zu Grunde liegen.

2.3.1 Suffizienzstrategie

Suffizienz, auch mit Genügsamkeit oder „genug ist genug“ umschrieben, setzt beim Verhalten der Konsumenten an, das durch die jeweiligen Lebensstile geprägt ist.³⁰³ Nach dem „Weniger ist manchmal mehr“-Prinzip³⁰⁴ soll schon der absolute Verbrauch an Gütern und Dienstleistungen auf ein nachhaltig zukunftsverträgliches Maß reduziert werden, da die derzeitigen Verteilungsverhältnisse von Gütern und Ressourcen nicht nur ökologisch gefährlich, sondern auch international fragwürdig sind. Die in Kreisen von Inhabern ökonomischer Ressourcen und auch von wissenschaftlichen Ökonomen ungerne gehörte Forderung nach einer einfacheren und weniger konsumorientierten Lebensweise entspringt dabei nicht nur einer ethischen Grundhaltung, sie ist vielmehr ein dem überzogenen Konsumniveau der industrialisierten Gesellschaften geschuldeter Sachzwang.³⁰⁵ Die damit einher gehende Überbeanspruchung von Quellen und Senken ist nicht alleine mit verbesserter Effizienz und Konsistenz zu lösen, sondern erfasst ebenso die Konsummuster in den Industrieländern.³⁰⁶ Das Überdenken materialintensiver Lebensstile ist im Hinblick auf die ansonsten ins Leere laufenden Anstrengungen der Effizienzverbesserung bei der Produktherstellung und -nutzung unerlässlich, ist aber bei einer Fragestellung, solange sie vor allem die Produktherstellung betrifft, eher von mittelbarem Interesse. Trotzdem ist zu betonen, dass die Konzentration dieser Arbeit auf die Effizienz und Nachhaltigkeit des industriellen Metabolismus keinesfalls eine Minderung der Bedeutung der Suffizienzstrategie voraussetzt, auch wenn diese bei den

³⁰³ Vgl. Troge (2002), S. 144

³⁰⁴ Vgl. Schmidbauer (1992), S. 131

³⁰⁵ Vgl. Trainer (2003), S. 101

³⁰⁶ Vgl. Jackson (2005), S. 20

gegebenen Machtverhältnissen durchaus subversiv erscheint.³⁰⁷ Ganz im Gegenteil. Erst die ganzheitliche Berücksichtigung aller denkbaren Umsetzungsstrategien kann zielführend wirken. Es soll keinesfalls der Eindruck erweckt werden, mit Technologie ließe sich schon alles richten, was mit Technologie zu Grunde gerichtet wurde. Aber Technologie und vor allem deren Effizienz bei der Nutzung natürlicher Ressourcen ist untrennbar mit der weiteren Entwicklung menschlicher Gesellschaften verknüpft und sie ist es auch, die im materiellen Sinn durch unerwünschte Freisetzung von Stoffen die Umweltkrise verursacht.³⁰⁸ Es gilt, die Strategie der IÖ im magischen Viereck der Diskussion um die Umsetzung nachhaltiger Entwicklung mittig (quasi integrativ) innerhalb des Strebens nach einem Gesellschaftsmodell zwischen Marktliberalismus und Egalität und einer Zentrierung zwischen Techno- und Ökophantasien zu verorten.³⁰⁹ Suffizienz ist dabei ein unerlässlicher Bestandteil, der Spielräume für Handlungsfähigkeit bei einer immer noch zunehmenden Weltbevölkerung schafft. Immerhin ist zu konstatieren, dass in Industrieländern das Verhalten der Menschen, sei es nun als Anbieter ihrer Arbeitskraft oder als Konsument industriell gefertigter Güter, suchtähnliche Verhaltensweisen an den Tag legt, die zumindest hinterfragt werden müssen.³¹⁰ Es ist eine Sucht nach mehr Umsatz, mehr Wachstum, mehr Gehalt, mehr Konsum und mehr desselben, dem alle anderen Lebensäußerungen und -aktivitäten untergeordnet werden und die rekursiv in einer positiven Rückkopplung von den Verhältnissen in der industrialisierten Welt verstärkt werden. Die negativen Nebenfolgen werden ignoriert, damit nur der Suchtgewinn wahrgenommen wird und das Suchtverhalten ohne kognitive Dissonanzen aufrecht erhalten werden kann. Dass es in dieser Gemengelage eines Bewusstseinswandels bedarf, der zumindest ansatzweise den Gewinn im Verzicht erlebbar machen sollte,³¹¹ um überhaupt eine Wirksamkeit entfalten zu können, ist ein Vorgang, der derzeit fernab der Effizienzdiskussion im stillen Kämmerlein stattfindet. Ohne eine Verbreiterung der Basis des Wissens um die Unmöglichkeit derzeitiger industrieller Lebensstile wird es jedoch bei allen Effizienzfortschritten keine nachhaltige Entwicklung geben können und somit auch keine IÖ im nachhaltigen Sinne. Das heißt, IÖ

³⁰⁷ Vgl. Zahrnt (2002) S. 157

³⁰⁸ Vgl. Bartelmus und Vesper (2000), S. 146

³⁰⁹ Vgl. Brand (2002), S. 83

³¹⁰ Vgl. Hawken (1996), S. 164

³¹¹ Vgl. Reisch (2002), S. 203

erfordert auch eine Ethik, die die Verantwortung für Produkte und Konsummuster mit einschließt.

2.3.2 Effizienzstrategie

Effizienz meint hier die optimale Nutzung eines gegebenen Bestandes oder begrenzten Flusses natürlicher Ressourcen zur Erzeugung menschlichen Nutzens. Für die Unternehmen bedeutet das, auf dem gesamten Lebenszyklus der von ihnen verantworteten Produkte oder Dienste dafür zu sorgen, dass die eingesetzten Energien und Rohstoffe pro erbrachter Serviceeinheit minimiert werden.³¹² Ein Ansatz, der den Entwicklungen der letzten Jahrzehnte, die Arbeitsproduktivität auf Kosten jeder anderen Effizienz zu erhöhen, zuwiderläuft. Eine reine Effizienzrevolution kann aber nicht hinreichend sein,³¹³ denn durch wirtschaftliches Wachstum mit der gleichen Rate, mit der die Ressourceneffizienz zunimmt, würde dieser Fortschritt egalisiert.³¹⁴ Das kann durch verändertes Nachfrageverhalten aufgrund günstigerer Preisrelationen, zusätzlichen Konsum anderer Dienste, marktberreinigende Preissenkungen, Sekundäreffekte durch die angebotsseitige Weitergabe von Kostenvorteilen oder völlig neu entstehende Konsummuster ausgelöst werden.³¹⁵ Dieser Effekt ist als „Jevon’s Paradox“ oder „rebound effect“ bekannt.³¹⁶ Unerwünschte Nebeneffekte können auch durch einseitig an Energieeffizienz ausgerichtete Maßnahmen ausgelöst werden. Dennoch wird der Effizienzrevolution in der allgemeinen Debatte um nachhaltige Entwicklung ein besonderer Stellenwert eingeräumt, da man zumeist von technologischen Lösungen ausgeht, bei denen man nichts an herrschenden Strukturen oder Gewohnheiten zu ändern braucht. Die Maßnahmen müssen jedoch in ein ganzheitlich orientiertes Konzept eingebunden sein. In dieser Hinsicht gibt es durchaus erfolgreiche Beispiele in der Industrie, bei denen die Effizienz von Produkten, Service und Funktion sowie ihrer Produktionsprozesse in Einzelfällen wesentlich gesteigert werden konnten.³¹⁷ Jedoch gehört der Effizienzansatz aus seiner technologischen Nische befreit und zum Kernfaktor einer

³¹² Vgl. Sachs (2002), S. 201

³¹³ Vgl. Luks (2002), S. 84

³¹⁴ Vgl. Huber (1999), S. 12

³¹⁵ Vgl. Hertwich (2005), S. 86f

³¹⁶ Vgl. Korhonen (2005), S. 56

³¹⁷ Vgl. Scheidewind (2002), S. 181

ganzheitlichen Effizienz der Lebensstile erweitert, die die Bedürfnisse der Konsumenten, intelligente Lösungsansätze, dafür geeignete effiziente Produkte und dahinter stehende effiziente Prozesse bei der Herstellung umfasst. Erst dann kann eine IÖ eine nachhaltige Wirkung entfalten, die sich am gesamten Produktlebenszyklus orientiert.

2.3.3 Konsistenzstrategie

„Auf die ökologische Frage angewandt, bedeutet Konsistenz die naturangepasste Beschaffenheit von Stoffströmen und Energiegewinnung.“³¹⁸ Dies bezieht sich sowohl auf quantitative als auch auf qualitative Aspekte. Es berücksichtigt auch die notwendige Anpassung der menschlichen Produktions- und Konsumtionsprozesse an die natürlichen Organisations- und Wirkungsprozesse, die mit Hilfe der Wissenschaft „Ökologie“ entschlüsselt werden.³¹⁹ Vor allem die qualitative Ausgestaltung (und damit Transformation) der Stoff- und Energieströme steht im Fokus der Konsistenz-Diskussion.³²⁰ Die strukturelle Seite technischer Innovationen soll demnach so gestaltet werden, dass möglichst geringe Konflikte mit dem ökologischen System auftreten können.³²¹ Dafür sind Basisinnovationen zur Eröffnung vollkommen neuer Entwicklungspfade erforderlich, die ein nachhaltiges Bewirtschaften des industriellen Metabolismus ermöglichen.³²² Somit deckt sich dieses Konzept in seiner theoretischen Anlage mit dem Ansatz der IÖ, der ebenso die Zielsetzung verfolgt, den gesamten industriellen Metabolismus in die natürlichen Systeme nachhaltig zu integrieren. Grundsätzlich heißt das auch, „von der Natur zu lernen“ oder sie sich, so weit dies aus anthropogener Sicht möglich ist, zum Vorbild für die Gestaltung der Technosphäre zu nehmen und einen angepassten Metabolismus zu entwickeln. Diese Frage soll weiter unten noch näher diskutiert werden.

2.3.4 Resilienz, Adaptionfähigkeit und Transformabilität

Der aus der Ökologie stammende Begriff der Resilienz, der in Abschnitt 4.2.1.2 näher spezifiziert wird, findet auch Eingang in die Modellierung von Nachhaltigkeit und wird

³¹⁸ Huber (1995), S. 138

³¹⁹ Vgl. Gehrlein (2000), S. 18

³²⁰ Vgl. Huber (1998), S. 19

³²¹ Vgl. Ömer-Rieder (2005), S. 23

³²² Vgl. Huber (1998a), S. 28

hier als konstituierende *Eigenschaft* einer Industriellen Ökologie betrachtet.³²³ Sie ist ein Maß dafür, wie weit ein komplexes lebendes System (fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht) von einem Attraktor abgedrängt werden kann, ohne dadurch destabilisiert zu werden oder in einen völlig neuen Systemzustand überzugehen.³²⁴ Resilienz ist in direktem Zusammenhang mit der Stabilität und Reaktionsfähigkeit eines Systems zu sehen.³²⁵ Nachhaltigkeit erfordert einen eigenen Stabilitätsbegriff, der gerade mit dem Konzept der Resilienz in Deckung gebracht werden kann. Allerdings ist Resilienz, wie viele andere Begriffe der Nachhaltigkeitsdiskussion, sehr unscharf und lässt viel Interpretationsspielraum offen.³²⁶ Dennoch gibt es Versuche, in reduzierten Modellen diese Eigenschaft zu modellieren und deren Bedeutung für eine nachhaltige Entwicklung analytisch darzulegen.³²⁷ Allgemein gesprochen ist Resilienz die Fähigkeit eines Systems, auf Änderungen sowohl externer als auch interner Ursachen im Sinne eines Selbsterhaltes adäquat zu reagieren und sich dabei so weit zu reorganisieren, dass es auch im Rahmen seiner Anpassung die eigene Identität bewahrt.³²⁸ Eine Störung des Systems wird absorbiert, indem sich das System mit seinen Reaktionszyklen auf unterschiedlichen Ebenen reorganisiert und dabei seine grundsätzlichen Strukturen, Funktionen und Rückkopplungsschleifen und damit seine Identität beibehält.³²⁹ Das entspricht einer Neujustierung der strukturellen Kopplung zwischen System und Umwelt gemäß der allgemeinen Systemtheorie.³³⁰ Systemstrukturen und -eigenschaften, die sich mit dem Begriff der Komplexität beschreiben lassen, müssen in ihrer Ausgestaltung auf Resilienz ausgelegt sein, um langfristig funktionieren zu können und sich koevolutarisch mit dem natürlichen System entwickeln zu können.³³¹ Die Übertragung eines solchen Begriffs aus der Naturwissenschaft auf sozialwissenschaftliche Zusammenhänge erfordert jedoch die Berücksichtigung eines wichtigen Unterschieds zwischen natürlichen und sozialen Systemen: Menschliche Gesellschaften sind (im

³²³ Damit fällt sie an diesem Ort zwar aus dem Korsett der Strategien heraus, ist jedoch hier richtig platziert, da die Umsetzung der Nachhaltigkeitsstrategien gerade auf die Bestimmung der Eigenschaften des sozial-ökonomischen Systems abzielt.

³²⁴ Vgl. Ehrenfeld (2004a), S. 2;

³²⁵ Das stellt somit den Gegenpart zur Verletzlichkeit (Vulnerabilität) eines Systems dar; Vgl. Socolow (1994), S. 4

³²⁶ Vgl. Walker, Holling, Carpenter u.a. (2004), S. 1

³²⁷ Vgl. Janssen und Scheffer (2004), S. 6ff

³²⁸ Vgl. Beckenbach (2001), S. 149

³²⁹ Vgl. Walker, Holling, Carpenter u.a. (2004), S. 2

³³⁰ Vgl. Müller-Christ (2001), S. 293

³³¹ Vgl. Schramm (2005), S. 42

idealen Fall) in der Lage, eine Vorstellung von der Zukunft und ihrer Gestaltung zu entwickeln und diese auf Grundlage dieser Erkenntnisse bewusst zu planen. Diese Fähigkeit antizipatorischen und adaptiven Verhaltens als vorweggenommene „Reaktion“ auf noch nicht eingetretene Ereignisse geht über die adaptive Kapazität jedes natürlichen Systems hinaus.³³² Deswegen ist Resilienz für sozio-ökologische Systeme auch nur äußerst schwer zu definieren, da sie eine starke verhaltenspsychologische Komponente hat.³³³ Gerade im ökologischen Kontext ergibt sich daraus die ethische Verantwortung des Menschen für seine Handlungsweisen als Gestalter der sozialökologischen Verflechtungen. Die Resilienz des sozio-ökonomischen Systems ist insbesondere durch die ökologische Krise gefordert, die wiederum durch ein Überschreiten der ökologischen Resilienz durch das ökonomische System selbst verursacht ist. Mit einer ausreichenden Adaptionsfähigkeit kann ein sozio-ökonomisches System die Resilienz in den komplexen Mensch-Umwelt-Interaktionen so weit steuern, dass das Gesamtsystem seine Funktionsfähigkeit und Identität aufrecht erhält.³³⁴ Entscheidend in einem sozio-ökologischen System ist, wie hoch die für die Resilienz relevanten (repräsentativen) Werte liegen, ab denen das System nicht mehr adaptiv reagieren kann, wie nahe man an diesen Werten bereits ist, wie resistent das System gegenüber Veränderungen reagiert und in welchen holarchischen Regelkreisen eine Störung auftritt. Davon hängt letztendlich die Art und Möglichkeit der resilienten Reaktion ab. Resilienz hat also mit Rückkopplung in komplexen Systemzusammenhängen zu tun. Die Kopplung des natur-ökonomischen Systems und die Fähigkeit zur Aufrechterhaltung des ökonomischen Handlungsrahmens der Gesellschaft in dieser Kopplung erfordert Kenntnisse über die Empfindlichkeit gegenüber „Störungen“, die die Stabilität des Systems gefährden.³³⁵ Dabei gibt es unterschiedliche Kriterien für resiliente Reaktionen und einen komplexen Systemaufbau, die sich in ihrer Wirksamkeit gegenseitig beeinflussen. Resilienz und strukturelle Integrität des betrachteten Systems werden dadurch beeinflusst.³³⁶ Im Fall der IÖ umfasst das insbesondere die Reaktionsfähigkeit und Kreativität bei der

³³² Vgl. Walker (2000), S. 6

³³³ Vgl. Korhonen, Savolainen und Ohlström (2004), S. 1090

³³⁴ Vgl. ICS (Hrsg. 2005), S. 15

³³⁵ Vgl. Clark, Crutzen und Schellnhuber (2005), S. 19

³³⁶ Vgl. Goertzel (1997), S. 67

Generierung von Umsetzungsstrategien. Dabei können drei Formen von Stabilität unterschieden werden:³³⁷

- Robustheit in Form stabiler Schwankungen um einen Referenzwert (Korridorresilienz)
- Widerstandsfähigkeit gegen exogene Änderungen (Schockresilienz)
- Erhaltung der Reaktionsfähigkeit des Systems (Strukturresilienz)

Diese korrespondieren mit Änderungen der Komplexität der Systeme:

- In Form der Verbundenheit der einzelnen Systemelemente
- In Form zunehmender Variabilität der Systemelemente

Das heißt, jede Form der Komplexitätsveränderung des Systems beeinflusst die unterschiedlichen Arten von Resilienz auf andere Weise. Das erfordert hohe Kreativität im jeweiligen Systemzusammenhang von Seiten der steuernden Akteure bzw. Institutionen und das Zusammenspiel möglichst vielversprechender Kombinationen aus Resilienzarten und Komplexitätsformen. Eine gelungene Transformation zur IÖ wäre also Ausdruck der sozio-ökonomischen Adaptionfähigkeit zur Aufrechterhaltung der sozio-ökologischen Resilienz, die sich in einer mikro-, meso- und makroökonomischen Restrukturierung des industriellen Produktionssystems äußert.³³⁸ Die Selbstorganisation zwischen strukturellem Aufbau und ablaufenden Prozessen verändert sich dabei qualitativ.³³⁹ Im idealen Fall (stylized facts) tritt ein adaptiver Zyklus auf, der evolutionär durchlaufen wird. Dieser Zyklus wird durch die Größen „Potenzial des angeeigneten natürlichen Kapitals“ und „Grad der Verbundenheit der einzelnen Systemelemente“ bestimmt. Das System als Ganzes agiert nachhaltig, wenn die Bandbreite „stabiler Größenzustände“ für keine der Variablen verlassen wird.³⁴⁰ Es umfasst somit sowohl dynamische als auch beharrende Elemente, die nicht über ihr Potenzial hinaus belastet werden können. Das Verlassen einer der Bandbreiten führt zum Eintritt in einen neuen Systemzustand, in der Regel in Form eines Kollapses (Bifurkation).³⁴¹

³³⁷ Vgl. Beckenbach (2001), S. 149

³³⁸ Vgl. Murphy 2001), S. 2

³³⁹ Vgl. Holling (2004), S. 1

³⁴⁰ Vgl. Holling, Folke, Gunderson u.a. (2000), S. 6

³⁴¹ Dieser Begriff wird in Abschnitt 5.5 näher beleuchtet werden

2.3.5 Das Zusammenspiel der Strategien Suffizienz, Effizienz und Konsistenz

Gerade für die Umsetzung des Ansatzes der Industriellen Ökologie bedarf es für eine richtungssichere Entwicklung eines Zusammenspiels der o. g. Strategien. Huber bezeichnet die Kombination aus Öko-Effizienz und Konsistenz als „*metabolische Naturintegration*“, die direkt zum Konzept der IÖ führt.³⁴² Insofern bedingen beide Ansätze aus normativer Sicht einander, denn eine IÖ orientiert sich normativ an den Grundsätzen der Nachhaltigen Entwicklung, die wiederum ohne die Umsetzung des Konzepts nachhaltiger Produktionsweisen nicht erreichbar ist. Konsistenz und Effizienz ergänzen sich insofern, als auch für der Natur bekannte (also konsistente) Stoffströme in der Regel Grenzen gegeben sind, die durch möglichst effiziente Verwendung der Stoffe einzuhalten sind. Trotzdem beinhalten beide Konzepte auch Konfliktpotenzial. Effizienzorientierte Strategien mögen (wie die Forderung einer um den Faktor 10 erhöhten Ressourcenproduktivität) den Anschein erwecken, auf eine konsistente Stoffstromgestaltung verzichten zu können, äquivalent dazu kann ein konsistenter Stoffstrom (das beste Beispiel ist hier CO₂) bei Überschreiten einer Grenze die Nachhaltigkeitskriterien extrem verletzen (im CO₂-Fall: anthropogene Klimaveränderung und Versauerung der Ozeane mit weiteren Folgen). Konsistenz-Strategien können darüber hinaus durch die vollkommene Erneuerung von in den Prozessen eingesetzten Stoffen durch die notwendigen Innovationen sehr hohe Investitionen in F&E erfordern. Die Weiterverfolgung eines (ausgetretenen) Technologiepfades über Effizienzsteigerungen kann demgegenüber häufig durch die Modifikation bekannter Technologien erreicht werden, wobei der vorhandene Kapitalstock und das Know-how in der Regel nicht vollkommen ersetzt werden müssen. Eine eher konservativ angelegte Umsetzungsstrategie für nachhaltige Entwicklung wird mit hoher Wahrscheinlichkeit eine an Effizienz orientierte Ausrichtung dem Konsistenz-Ansatz vorziehen. Aus rein ökonomischer Sicht scheint ein solcher Entwicklungspfad durchaus rational, da die in die historische Entwicklung geflossenen Sunk-costs dabei weiterhin aktiviert bleiben und Renten abwerfen.³⁴³ Dem

³⁴² Vgl. Huber (1999), S. 1

³⁴³ Unter Sunk-costs werden hier nach einer Investitionsentscheidung nicht mehr beeinflussbare Kosten verstanden. Diese beeinflussen in der Regel alle Folgeentscheidungen und führen damit zu Pfadabhängigkeit.

strategischen Konsistenz-Ansatz zur Umsetzung nachhaltiger Entwicklung kommt im Zusammenhang mit der Stoffstrombetrachtung eine ganz besondere Bedeutung zu. Versucht man, ökologische Grundprinzipien auf die Ökonomie zu übertragen, so kommt man an der Konsistenz-Strategie keineswegs vorbei. Sie ist auch insofern übergreifend, als sie sowohl technologische als auch soziale bzw. institutionelle Innovationen erfordert.³⁴⁴ Die Implikationen, die sich daraus ergeben, sind direkt mit den Managementregeln der Nachhaltigkeit verknüpft.³⁴⁵ Da Stoffdissipationen in Produktions- und Gebrauchsvorgängen nicht gänzlich auszuschließen sind, kommt es darauf an, die Immissionsneutralität der Stoffe zu gewährleisten, was auch deren biologische Abbaubarkeit bzw. Verwendbarkeit einschließt. Es ist zu gewährleisten, Stoffe, auf die dies nicht zutrifft, in einem extrem überwachten und gegenüber der Natur geschlossenen Wirtschaftskreislauf zu halten. Es gilt also, Entwicklungspfade einzuschlagen, die gleichermaßen (mindestens) die drei Nachhaltigkeits-Strategien verfolgen, um im Zusammenspiel aller Faktoren nachhaltige Entwicklung zu gewährleisten. Suffizienz und Effizienz im Gleichklang ergeben im besten Fall „Gerechtigkeit“.³⁴⁶ Konsistenz fügt die Dimension der ökologischen Zukunftsfähigkeit hinzu. Visualisiert man den „Hyperraum“ dieser Dimensionen, so sieht das wie in Abbildung 3 aus. Die Entwicklungsrichtung ist hierbei durch eine Maximierung des Abstandes vom minimalen Nachhaltigkeitspunkt (Schnittpunkt der Achsen) gekennzeichnet. Wählt man für die Größen, die diesen Raum aufspannen, geeignete Indikatoren, so kann man eine Positionsbestimmung vornehmen. Da keiner der Faktoren verletzt werden darf, bleibt für eine nachhaltige Entwicklung nur ein definierter Ausschnitt des Raumes begehbar. Es handelt sich um einen Kegel, dessen Spitze auf dem Nachhaltigkeitspunkt steht und dessen Rotationsachse die Winkelhalbierende aller Achsen des Koordinatensystems darstellt.³⁴⁷ Der Nachhaltigkeitspfad muss sich innerhalb dieses Kegels bewegen. Jeder Punkt innerhalb des Kegels gilt als „nachhaltig“,

³⁴⁴ Vgl. Blätzel-Mink (2001), S. 74

³⁴⁵ Vgl. Majer (1998), S. 223, Blätzel-Mink (2001), S. 71ff, Knaus/Renn (1998), S. 84f, Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (2001), S. 19, Pearce/Turner (1990), S. 43ff, Tietenberg (2000), S. 86ff; Diese wurden in Abschnitt 2.2.2 behandelt.

³⁴⁶ Vgl. Summerer (2002), S. 256

³⁴⁷ In der nur dreidimensionalen Darstellung schaut man von hinten auf die Schnittfläche durch den Kegel; Für die Berücksichtigung weiterer Dimensionen ist die grafische Darstellung jedoch nicht praktikabel.

sofern sich die beteiligten Akteure gemeinsam auf die Randflächen des Kegels als Nachhaltigkeitsgrenzen geeinigt haben.

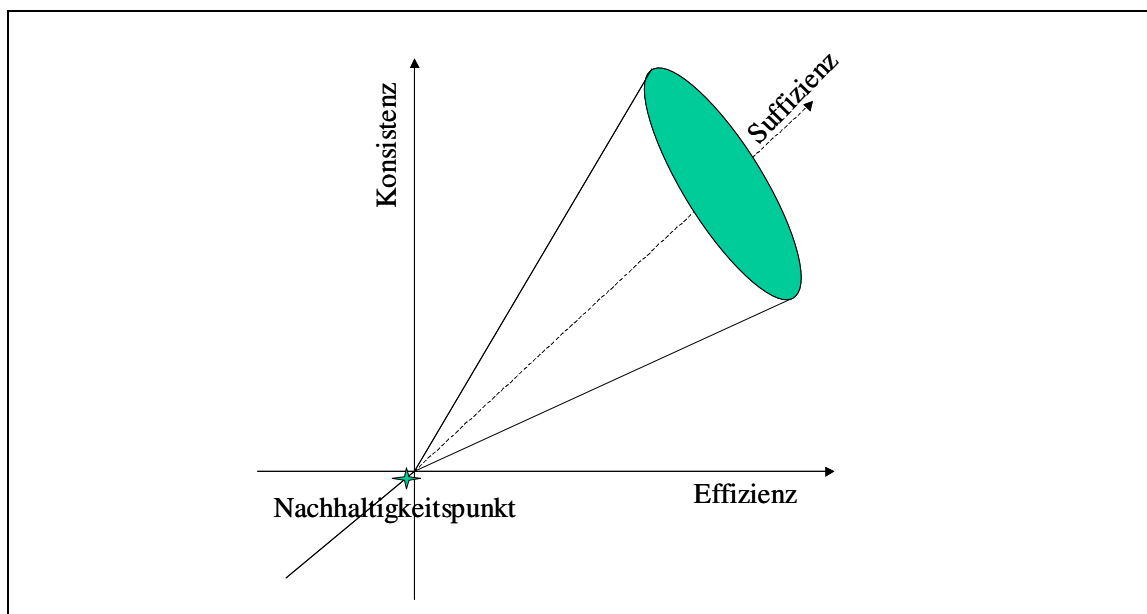


Abbildung 3: Entwicklungskegel der Nachhaltigkeitsstrategien; eigene Darstellung

Je weiter man sich innerhalb des Kegels vom Ursprung entfernt, desto größer wird der zukünftige Handlungsraum in Richtung Nachhaltigkeit. Es genügt also nicht, ständig nur eine der Strategien vollkommen auszuschöpfen, weil man sonst irgendwann den Kegel nachhaltiger Entwicklungspfade verlassen würde. Komplex wird das Ganze dadurch, dass die kollektiven und individuellen Ziele aller beteiligten Akteure gleichermaßen anzustreben sind.³⁴⁸

Starke und schwache Nachhaltigkeit

Die in der Literatur anzutreffende Unterscheidung zwischen „weak“ und „strong sustainability“ ist auch ein Streit über die Machbarkeit und Nichtmachbarkeit technologischer Lösungen für eine zukunftsfähige Gesellschaft. Inwiefern ist diese Unterscheidung für die vorliegende Fragestellung aber relevant? Kann der Verlust natürlichen Kapitals (wenn diese Begrifflichkeit für die Natur als solche überhaupt statthaft ist) durch akkumuliertes künstliches Kapital ersetzt werden, wie dies die Annahmen für schwache Nachhaltigkeit suggerieren?³⁴⁹ Wie sollte künstliches Kapital in Naturkapitalwerten

³⁴⁸ Vgl. Majer (1999), S. 334

³⁴⁹ Vgl. Luks (2002), S. 48

ausgedrückt werden und umgekehrt? Und wie geht man mit der unabschätzbaren Zahl von Zweifelsfällen um? Ohne Frage ist die starke Nachhaltigkeit das wesentlich strengere Konzept und führt somit, falls es der Umsetzung von nachhaltiger Entwicklung zu Grunde gelegt wird, mit höherer Wahrscheinlichkeit zur Nachhaltigkeit. Was aber ist zu tun, wenn eine technische Lösung für eine Fragestellung zweifelsfrei eine höhere Effizienz erzielt als eine natürliche, wie dies z. B. bei der Erzeugung regenerativer Energie durch Solarzellen³⁵⁰ (in Form elektrischer Energie) gegenüber der durchschnittlichen biologischen Produktivität (in Form gebundenen Kohlenstoffs) ist, wenn man die aufzuwendende Produktionsenergie außer Acht lässt?³⁵¹ Wie bewertet man den Nutzen, den eine landwirtschaftlich zur Gewinnung von Bioenergie genutzte Fläche über die Energiebereitstellung hinaus erbringt? Hier bedarf es langwieriger, einzelfallspezifischer Aushandlungsprozesse, bis man zu einem operativ umsetzbaren Ansatz gelangt. Es ist im Einzelfall zu entscheiden, inwiefern natürliches Kapital durch künstliches zu ersetzen ist. Eine vollkommene Substituierbarkeit kann aber nicht angenommen werden,³⁵² da das dem Wesen Mensch als Natur- und Kulturträger seine Würde nehmen würde, die keinesfalls technologisch ersetzbar ist.³⁵³ Es gibt essenzielle Ressourcen, die nicht durch Güter des künstlichen Kapitals austauschbar sein können.³⁵⁴ Der duale Ansatz wird als „kritische“ bzw. „vernünftige Nachhaltigkeit“ oder „sensible sustainability“ bezeichnet.³⁵⁵ Er entspringt einer am Machbaren orientierten Dialektik der Vernunft und soll Grundlage dieser Arbeit sein.

³⁵⁰ Vgl. BLfU (Hrsg. 2003), S. 10; Solarzellen erreichen bei Serienfertigung technische Wirkungsgrade von bis zu 18 %, Prototypen im Laborstadium bereits 24-30 % in Bezug auf die eingestrahlte Sonnenenergie.

³⁵¹ Vgl. Bick (1998), S. 26 und Heydemann (1987), S. 13; Gemeint ist hier das Verhältnis von eingestrahelter Sonnenenergie pro Fläche zu gebundener nutzbarer Energie; Diese „Ausbeute“ in Form der Nettoprimärproduktion liegt in natürlichen oder von Menschen bewirtschafteten Ökosystemen zwischen 2,5 % (mitteleuropäische Waldökosysteme) und 6 % (landwirtschaftliche Intensivkulturen wie Zuckerrohr oder Reis) der photosynthetisch wirksamen Strahlung; Der (Brutto-) Flächen-Wirkungsgrad von Photovoltaik liegt, wie oben gezeigt, wesentlich höher.

³⁵² Vgl. Luks (2002), S. 49

³⁵³ Vgl. Hösle (2001), S. 11

³⁵⁴ Vgl. ebda. S. 28 und Bartelmus und Vesper (2000), S. 143

³⁵⁵ Vgl. Gehrlein (2000), S. 24

2.4 IST NACHHALTIGE ENTWICKLUNG IN DIESEM SINNE UMSETZBAR?

Dies ist eine Frage, die viele wirklich gerne zu beantworten wüssten, sonst gäbe es nicht die unzähligen Studien über nachhaltige Entwicklung mit ihren widerstreitenden Positionen. Es scheint jedoch, als ob dies in den nächsten 30 Jahren kaum möglich sein wird.³⁵⁶ Trotzdem gebietet es die Verantwortung für jetzige und zukünftige Generationen, zumindest einen Weg in diese Richtung einzuschlagen, um das Erreichen von Nachhaltigkeit in der Zukunft überhaupt erst zu ermöglichen.³⁵⁷ Versucht man, die Quintessenz der Vorstellungen zum Prinzip der Nachhaltigkeit auf die vorzufindende „Realität“ anzuwenden, so stellt sich unweigerlich die Frage, ob das technisch-industrielle System der westlichen Industrieländer und ihrer Stadtkulturen ein nachhaltiges System werden kann, da es dies offensichtlich in der Gegenwart nicht ist.³⁵⁸ Ohne die konkrete Vorstellung von lebenserhaltenden Vorgängen und damit einhergehenden Stoff- und Energieumwandlungsprozessen, die sich in der Interaktion aller lebenden und nicht-lebenden Elemente der Ökosphäre letztendlich konkret materialisieren, bleibt Nachhaltigkeit eine begrifflich leere Formel, die beliebig interpretiert werden kann, sich aber kaum konkret in Handlungsansätze ummünzen lässt. Nachhaltigkeit lässt sich ohne ökologisches Grundwissen nicht existenznah denken.³⁵⁹ Ungeachtet der Tatsache, dass die breite Diskussion des Begriffes sich zu Recht auf die drei Säulen Ökologie, Ökonomie und soziale Faktoren stützt, weil die Idee untrennbar mit der Umsetzung ökonomischer und sozialer Gerechtigkeit einhergehen muss, ist der größte realistische Sachzwang in der Umsetzung der ökologischen Nachhaltigkeit zu sehen, da alle lebenden Systeme – und somit neben dem ökologischen sowohl das ökonomische als auch das soziale Subsystem – auf deren zukunftsfähige Funktionalität angewiesen sind.³⁶⁰ Die ökologische Nachhaltigkeit ist eine notwendige (wenn auch aus anthropozentrischer Sicht nicht hinreichende) Bedingung für nachhaltige Entwicklung. Dies soll kein Plädoyer für eine rein physiozentrische Sichtweise sein, soll aber verdeutlichen, wo die tatsächlichen Schwerpunkte dieser Arbeit liegen. Auch Gerechtigkeit ist nur zu verwirklichen, wenn sie sich in einer gerechten Verteilung der global zur Verfügung stehenden

³⁵⁶ Vgl. Luks (2002), S. 93

³⁵⁷ Vgl. Jonas (1984), S. 84ff sowie Zwierlein und Isenmann (1995), S. 26ff

³⁵⁸ Vgl. Haber (1995), S. 24

³⁵⁹ Vgl. Harborth (o. J.), S. 5ff

³⁶⁰ Dem liegt die Prämisse der Ökologischen Ökonomik zu Grunde, dass die anthropogenen Systeme nur als Subsysteme der natürlichen Lebensgrundlagen, also des globalen Ökosystems existieren können.

Ressourcen widerspiegelt. Und diese Verteilung lässt sich objektiv an den Stoffströmen, seien sie nun global, regional oder lokal, ablesen. Bezieht man die Gaia-Hypothese³⁶¹ in diesen Gedankengang ein, so ist das nachhaltige menschliche Leben auf der Erde nur in symbiotischer Form denkbar und nicht in parasitärer Weise, bei der der Wirt irreversibel geschädigt wird, wie es derzeit offensichtlich geschieht. Konkret lässt sich diese Symbiose jedoch nur an den tatsächlich stattfindenden stofflich-energetischen Austauschprozessen messen. Alle Absichtserklärungen oder ein in Deutschland im internationalen Vergleich relativ stark ausgeprägtes Umweltbewusstsein³⁶² werden obsolet, wenn es trotzdem zu messbaren Abweichungen von einer nachhaltigen Lebensweise, also zum Auftreten von sogenannten Nachhaltigkeitslücken kommt.³⁶³ Zwar ist es schwierig, für jedes denkbare „Umweltproblem“ oder Symptom der ökologischen Krise einen genauen nachhaltigen Zielwert festzulegen,³⁶⁴ doch das Fehlen einer exakten Maßzahl für einen Indikator sollte nicht durch Ungewissheit über die absolute Notwendigkeit von akutem oder langfristigem Handlungsbedarf ablenken. Es ist zwingend, auch ungewiss vorhandene Nachhaltigkeitslücken zu schließen oder vorsorglich so gering wie möglich zu halten, sollen nicht zukünftige Optionen einer nachhaltigen Entwicklung verbaut werden. Dies muss, wenn auch in langwierigen und schwierigen Diskursprozessen, zwischen wissenschaftlich begründeten Vorschlägen einerseits und gesellschaftlich-ethischen Werthaltungen andererseits gewährleistet werden.³⁶⁵ Unter der Prämisse, dass Nachhaltigkeit das Weiterbestehen menschlicher Gesellschaften beinhaltet, ist es eine Binsenweisheit, dass es nach der technisch-kulturellen Evolution des Menschen nicht mehr möglich ist, menschliche Aktivitäten so auszugestalten, dass so etwas wie ein „ökologischer Urzustand“ der vormenschlichen Ära wieder erreicht

³⁶¹ Diese wird in Abschnitt 4.3 vorgestellt

³⁶² Vgl. Weinzierl (2005), S. 40

³⁶³ Vgl. Majer, Bauer, Leipert u.a. (1996), S. 17ff; Nachhaltigkeitslücken treten auf, wenn eine wissenschaftlich bestimmbare oder normativ bestimmte Grenze für die Einhaltung einer der Nachhaltigkeitsregeln überschritten wird. Der Bezugsraum kann sich auf dem gesamten Spektrum zwischen regionaler und globaler Betrachtung bewegen. Ein ähnliches Konzept verfolgte die Akademie für Technikfolgenabschätzung in ihrem Forschungsprojekt „Nachhaltige Entwicklung in Baden Württemberg“, wobei für die Verletzung der Nachhaltigkeitsregeln symbolisch eine rote Ampel zur Visualisierung gewählt wurde: Vgl. Renn, Leon, Clar (2000), S. 17f; Auch eine analytische Modellierung von Nachhaltigkeitslücken wurde schon versucht; Vgl. Meyer, Bockermann, Ewerhart u.a. (1998), S. 1; Jedoch soll der Begriff in diesem Zusammenhang mehr als grundsätzliche Metapher verstanden werden, da die Bestimmungsprobleme „nachhaltiger Zielwerte“ noch nicht allgemeingültig gelöst sind und dies auch nur schwer realisierbar erscheint.

³⁶⁴ Vgl. Busch-Lüty (1995), S. 120

³⁶⁵ Vgl. Köppel (o. J.), S. 104

werden könnte.³⁶⁶ In diesem Spannungsfeld müssen menschliche Strategien zur Erreichung nachhaltiger Wirtschaftsweisen bestehen können und dies obendrein vom derzeitigen Stand der historischen Verhältnisse aus, die durch irreversible Veränderungen des Naturhaushaltes durch den Menschen mit allen Abhängigkeiten der menschlichen Existenz von der Technosphäre gekennzeichnet ist. Dies verlangt das kreative Denken möglicherweise auch undenkbarer Entwicklungspfade. Trotzdem müssen sich diese Visionen an ihrer realistischen Umsetzbarkeit und Umsetzungswahrscheinlichkeit aus dem Status Quo heraus messen lassen.

2.4.1 Operationalisierung

Die am häufigsten genannten Literatur-Quellen zur nachhaltigen Entwicklung lassen die letztendliche Operationalisierung des Konzeptes bedauerlicherweise weitgehend offen.³⁶⁷ Der kleinste gemeinsame Nenner ist, dass sich die Lösung der Nachhaltigkeitsfrage am energetisch-materiellen Metabolismus zwischen Gesellschaft(en) und Natur entscheidet.³⁶⁸ Der Brundtland-Report zeigt zumindest die Zielrichtung an, die Agenda 21 versucht, den globalen Ansatz zu regionalisieren und der Bericht „Zukunftsfähiges Deutschland“ versucht, einen nationalen Bezug darzustellen. Letztendlich sind die konkreten Handlungsmaßnahmen so differenziert anzulegen, dass der Schritt von den verallgemeinerten Regeln zum Handlungskonzept mit so vielfältigen Diskursprozessen verbunden ist, dass die Umsetzung nachhaltiger Entwicklung durch die betroffenen oder verantwortlichen Akteure jeweils einen eigenen Projektcharakter entwickeln muss. Das heißt, es braucht Regeln zur Operationalisierung, die auf diese Diskursprozesse anwendbar sind, um sie effektiv und effizient zu gestalten. Je nach Bezugsgröße der betrachteten Einheit, die zwischen dem einzelnen Akteur und dem globalen Wirtschaftssystem aufgespannt werden kann, ist die Fragestellung, wie Nachhaltigkeit konkret gelebt werden kann, mit zunehmender Komplexität behaftet, da sich die Anzahl der zu beachtenden Wechselwirkungen zwischen den relevanten Akteuren (und deren Umwelt) mit zunehmender Größe des Betrachtungsraumes potenziell erhöht. Deshalb ist eine gewisse Tendenz zu erkennen, Nachhaltige Entwicklung insbe-

³⁶⁶ Vgl. Haber (1995), S. 26

³⁶⁷ Vgl. Gaitsch (2000), S. 74

³⁶⁸ Vgl. Weisz (2001), S. 11

sondere im regionalen Raum anzulegen, wobei über die definierte Größe des Raumes unterschiedliche Konzepte vorliegen. Neben naturräumlichen Abgrenzungen (geologisch, topographisch, naturtypisch) können auch anthropogene Abgrenzungen (Siedlungen, Verwaltungseinheiten, wirtschaftliche Konglomerate) von Regionen vorgenommen werden.³⁶⁹ Diese Abgrenzung orientiert sich im Idealfall an der Problemorientierung und der Wirksamkeit geplanter Maßnahmen im Rahmen der Umsetzung einer IÖ. Um Wirksamkeit zu erzeugen, muss aber davon ausgegangen werden, dass sich die räumliche Größe für „Nachhaltigkeitsprojekte“ oberhalb des dörflichen Bezugs und unterhalb des Raumbezugs Bundesland bewegen sollte. Unbestritten erscheint in der Diskussion hierbei regelmäßig die Prämisse, dass die relevanten regionalen Akteure die Möglichkeit haben müssen, am Entwicklungsprozess zu innovativen Handlungsmustern teilzuhaben, damit sie tatsächlich erfolgreich umgesetzt werden können.³⁷⁰ Es gibt jedoch auch zahlreiche Versuche, Nachhaltige Entwicklung durch nationale institutionelle Strukturen politisch zu etablieren und auf dieser Ebene für geeignete Rahmenbedingungen zu sorgen.³⁷¹ Allen Ansätzen zur Nachhaltigen Entwicklung ist dabei gemeinsam, dass eine zielführende Orientierung am „erwünschten“ Ergebnis zu einer wirksamen und erfolgreichen Steuerung notwendig ist, auch wenn im Diskurs die Zielstellung auf Grund neuer Erkenntnisse regelmäßig angepasst wird.³⁷² Letztendlich lässt sich eine gelungene Umsetzung Nachhaltiger Entwicklung derzeit vorwiegend als Zielsetzung in Form idealer Szenarien für eine zukünftige Entwicklung denken, da es in der industrialisierten Welt gegenwärtig dafür entweder nur theoretische Ansätze oder im besten Fall verwirklichte Teilprozesse gibt. Dies wird an Hand der Gestaltung einer IÖ aufgezeigt.

2.4.2 „Messung“ von Nachhaltigkeit

Sowohl der Ansatz der starken, der kritischen als auch der schwachen Nachhaltigkeit setzt eine Bewertbarkeit vieldimensionaler Größen in allen Dimensionen der Nachhal-

³⁶⁹ Vgl. Sterr (2000a), S. 1; Seiner dezidierten Diskussion des Regionsbegriffs ist hier nichts hinzuzufügen, im Folgenden wird der Begriff in einem offenen Sinn verwendet, da regionstypische Rahmenbedingungen für die Umsetzung einer IÖ sehr vielfältig auftreten und jeweils spezifische räumliche Abgrenzungen verlangen würden – am nächsten kommt der IÖ die Abgrenzung von Wirtschaftsregionen, wenn es um die Gestaltung industrieller Stoffströme geht.

³⁷⁰ Vgl. Appel (2002), S. 15

³⁷¹ Vgl. Göll und Thio (2005), S. 221

³⁷² Vgl. Cousin (2005), S. 42

tigkeit voraus, um die geforderte Konstanz oder Verbesserung der betrachteten Subsysteme des künstlichen und natürlichen Kapitals berechnen zu können. In dieser Hinsicht ist Nachhaltigkeit grundsätzlich ein anthropozentrischer Ansatz, da die Bewertung und Gewichtung einzelner Indikatoren von der Werteinschätzung der beteiligten Akteure abhängt, was die Entwicklung vollkommen objektivierbarer Entscheidungsregeln erschwert.³⁷³ Den hierfür zur Verfügung stehenden Instrumenten einer ökologischen Gesamtrechnung und verschiedener Nachhaltigkeits-Indikatoren wird damit eine hohe Relevanz zukommen, valide Informationen über die Richtungssicherheit der Transformation zur IÖ zu liefern. Im Folgenden wird das kurz eruiert.

Nachhaltigkeits-Indikatoren

Zielsetzungen in Richtung Nachhaltigkeit erfordern die Messbarkeit der Zielerfüllung.³⁷⁴ Hierfür hat sich auf breiter Basis der Ansatz der Nachhaltigkeitsindikatoren durchgesetzt. Wichtig ist dabei allerdings, die passenden Indikatoren für den betrachteten Bezugsraum zu finden. So haben die physischen Indikatoren zwar allgemeine Aussagekraft für den Status der nationalen Produktion, doch erst spezifische Stoffstromanalysen lassen operationalisierbare Rückschlüsse auf notwendige Zielstellungen auf der mikroökonomischen Ebene des Umweltmanagements zu,³⁷⁵ weil hier direkte Ursache-Wirkungszusammenhänge hergestellt werden können. Ein grundsätzliches Problem ist dabei jedoch die noch immer schwache Datenlage. Auch Abfallkennzahlen eignen sich als Nachhaltigkeitsindikatoren und erlauben Aussagen über den Stand der nachhaltigen Entwicklung aus stoffpolitischer Sicht. Allerdings bedarf die Bewertung der Abfallmengen, die unterschiedlichen Raum- und Systembezug haben können, einer differenzierten Vorgehensweise, da das ökologische Gefährdungspotenzial sowohl von der Menge und der Qualität der Abfallstoffe als auch der rohstofflichen Herkunft abhängt.³⁷⁶ Ebenso bedeutsam ist eine Betrachtung der pro Periode neu in das sozioökonomische System eingebrachten regenerativen und nicht-regenerativen Ressourcen. All diese Größen müssen in die Zielwertbestimmung und Berechnung der Indikatoren eingehen. Die Umsetzung einer IÖ ist auf ein Set von Indikatoren angewiesen, das Aus-

³⁷³ Vgl. Endres und Holm-Müller (1998), S. 15

³⁷⁴ Vgl. Kurz (2002a), S. 112

³⁷⁵ Vgl. Bartelmus und Vesper (2000), S. 149

³⁷⁶ Vgl. Kopytziok und Schwarz (2001), S. 194f

sagen darüber erlaubt, ob die Entwicklung richtungssicher ist und welcher Zeithorizont für die Umsetzung von Maßnahmen anzulegen ist. Dazu gehört, sowohl die Dimensionen der Nachhaltigkeit, Ökonomie, Ökologie und Soziales abzudecken, als auch eine Abbildung der Ursache-Wirkungsbeziehungen zu ermöglichen. Es ergibt sich das Problem, mehrdimensionale Phänomene in möglichst einfacher Weise darzustellen und gleichzeitig der Komplexität der Fragestellungen gerecht zu werden. Es sollte dabei herausgestellt werden, dass es sich bei Nachhaltigkeit um mehr als ein loses Bündel von ökonomischen, ökologischen und sozialen Fragestellungen handelt.³⁷⁷ Trotzdem ist zu beobachten, dass bei der Entwicklung verschiedener Indikatoren oder Indikatorensystemen ein Schwerpunkt bei den ökologischen Fragestellungen liegt. Dies ist angesichts der Brisanz der ökologischen Krise erstens verständlich und zweitens dem klarsten Sachzwang folgend stringent. Der bekannteste Indikatoren-Satz ist der Pressure-State-Response-Ansatz der OECD. Er deckt das Beziehungsgeflecht zwischen menschlichen Einflüssen (Pressure), Umweltzustand (State) und eingeleiteten Maßnahmen zur Umsetzung nachhaltiger Entwicklung (Response) ab.³⁷⁸ Der Entwicklungsstand einer IÖ wäre z. B. über einen Response-Indikator abzudecken, gleichzeitig wirkt die erfolgreiche Umsetzung aber auch auf die Pressure-Faktoren und somit auf die State-Indikatoren. Somit kann der Prozess der Transformation informatorisch verfolgt und der Erfolg evaluiert werden, wenn die verwendeten Indikatoren relevante Fragestellungen abdecken, von den Akteuren verstanden werden und die notwendigen Daten zuverlässig sind.³⁷⁹

³⁷⁷ Vgl. Filho, Zickiene und Tamasauskiene (2005), S. 460

³⁷⁸ Vgl. Bauer (1996), S. 131

³⁷⁹ Vgl. Filho, Zickiene und Tamasauskiene (2005), S. 464

3. Natur als Vorbild?

3.1 WAS IST NATUR?

Die normative Komponente der nachhaltigen Industriellen Ökologie enthält die Vorstellung, dass ein Wirtschaften nach dem „Vorbild der Natur“ die Überlebensfähigkeit im sozio-ökologischen Kontext drastisch verbessert. Um sich dieser Herangehensweise theoretisch anzunähern, gilt es zu klären, was mit der Natur gemeint ist, der die Wirtschaftsweisen angepasst werden sollen. Es gibt so viele Ansichten über Natur wie es Menschen gibt.³⁸⁰ Natur ist die Grundlage des Lebens und menschlicher Existenz. Natur ist die Grundlage menschlichen Wirtschaftens.³⁸¹ Natur kann und soll durch den Menschen je nach Betrachtungsweise beherrscht werden oder auch nicht.³⁸² Natur(erhaltung) ist ohne Zweifel ein Ziel nachhaltiger Entwicklung sowie verschiedener Gesetzestexte, wobei jeweils unterschiedliche Naturverständnisse zu Grunde liegen.³⁸³ Wissenschaften haben darüber hinaus je nach Profession ein eigenes Naturbild und pflegen entsprechende Denkstile hinsichtlich der Eigenschaften der Natur.³⁸⁴ Dabei ist zu klären, inwieweit Natur Ziel und Objekt des menschlichen Handelns ist und inwieweit sie dabei verändert wird bzw. verändert werden darf.³⁸⁵ Dies hängt wiederum vom Kontext ab, in dem die Natur vom Menschen erlebt wird, so dass man Natur auch als kulturelles Konzept ansehen kann.³⁸⁶ Und dies korrespondiert zusätzlich mit dem zu Grunde liegenden Menschenbild, das Rechte und Pflichten bzw. Verantwortung gegenüber der Natur bestimmt.³⁸⁷ Ein Industriemanager in einer industriellen Region hat eine andere Vorstellung von Natur als ein Bauer im Hochland der Anden – beide Sichtweisen haben im jeweiligen Kontext ihre Berechtigung und Historie. Aristoteles und Galileo hatten ein

³⁸⁰ Vgl. Rammert (1999), S. 184

³⁸¹ Vgl. Immler und Hofmeister (1998), S. 7

³⁸² Vgl. Palm (1999), S. 153

³⁸³ Vgl. Stock (1999), S. 206ff

³⁸⁴ Vgl. Valsangiacomo (1998), S. 204; Was in die drei Grundfragen mündet: Wie ist das „wahre“ Wesen der Natur beschaffen? Wie entwickelt sich die Natur in der Zeit (zufällig, notwendig, chaotisch oder geordnet ...)? Was folgt daraus für naturgemäßes menschliches Handeln?

³⁸⁵ Vgl. Meyer-Abich (2001), S. 22

³⁸⁶ Vgl. Glaeser (1992), S. 58

³⁸⁷ Vgl. Jonas (1988), S. 58f

jeweils anderes Naturverständnis. Ersteres bezieht sich auf die verwirklichten Phänomene ohne menschliches Zutun, letzteres umfasst alle denkbaren und festgestellten Gesetzmäßigkeiten, die sich hinter den beobachteten und auch menschlich beeinflussten Phänomenen verbergen. Hier werden beide Auffassungen verwendet, ohne sie jeweils explizit voneinander zu trennen, da beide ihre Berechtigung haben. Bei der Frage, wie natürliches von künstlichem Kapital begrifflich zu trennen ist, liefert Valsangiacomo folgende Begriffsbestimmungen:³⁸⁸

- *„Alles, was durch direkten bewussten Eingriff oder durch indirekten unbewussten Einfluss des Menschen geschieht, nennen wir 'künstlich'.“*
- *„Alles, was von selbst abläuft, nennen wir ‚natürlich‘.“*

3.1.1 Begriffsklärung

Es herrscht eine gewisse Begriffsverwirrung, was die Verwendung der Worte Natur, Umwelt und Wildnis betrifft. Häufig wird Natur mit Wildnis gleichgesetzt, einer vom Menschen unberührten Naturlandschaft, in der sich wilde Tiere und Pflanzen frei entwickeln können. Als Umwelt wird dagegen gemeinhin das bezeichnet, was durch menschliche Einflüsse von der Natur „übrig geblieben“ ist.³⁸⁹ Umwelt ist dann als Surrogat des Natürlichen zu betrachten. Natur- und Umweltschutz werden als zwei voneinander zu differenzierende Begriffe verwendet. Jedoch führt diese Unterscheidung nicht wirklich zu einem Erkenntnisfortschritt, weshalb in der vorliegenden Arbeit der Begriff der Natur im Vordergrund steht, nicht zuletzt auf Grund der Prämisse, dass Industrielle Ökologie ein nach dem „Vorbild der Natur“ gestaltetes Produktionssystem einfordert. Deswegen ist es erforderlich zu bestimmen, was gemeint ist, wenn von Natur, Umwelt oder Naturschutz geredet wird.³⁹⁰ Sozialwissenschaftlich betrachtet wird Natur gesellschaftlich konstruiert, indem der Natur in ihrer Gegenständlichkeit Form und Bedeutung zugeschrieben werden.³⁹¹ So bringt auch die industrialisierte Gesellschaft ihre eigenen Naturvorstellungen hervor, die die Haltungen und Handlungen der

³⁸⁸ Valsangiacomo (1998), S. 19

³⁸⁹ Vgl. Trommer (2005), S. 69f; Aus anthropozentrischer Sicht könnte man naturalistisch sagen, dass Umwelt das für eine bestimmte menschliche Population relevante Ökotope innerhalb des Naturganzen darstellt.

³⁹⁰ Vgl. Piechocki (2005), S. 76

³⁹¹ Vgl. Behrend und Döge (2001), S. 12

Akteure beeinflussen. Die Industrialisierung konnte nur einem Naturbild entspringen, das sie als Objekt der naturwissenschaftlichen Erkenntnis zur Erforschung und Ausbeutung freigibt. Die damit verbundene Objektivität ist jedoch nur scheinbar. Andererseits ist anzunehmen, dass die Natur, unabhängig von menschlicher Begriffsbildung, eine existente Realität darstellt. So gehen in Interviews befragte Menschen im Allgemeinen von der Existenz einer Natur an sich aus, die unverfälscht, ursprünglich und phänomenologisch unabhängig vom Menschen existiert und dabei ökologisch intakt ist.³⁹² Zwischen phänomenologischen und funktionalistischen Vorstellungen von Natur kann dabei aber nicht immer sauber unterschieden werden. Konstruktivistische Beobachter würden sogar davon ausgehen, dass es eine Natur an sich überhaupt nicht gäbe, da sie schon alleine durch die Wahrnehmung vorgeformt sei.³⁹³ Natur als solche kann es also für den beobachtenden und manipulierenden Menschen gar nicht geben, höchstens Natürliches, das nach dem vorgeformten Schema für Natur gedeutet wird.³⁹⁴ Unstrittig scheint, dass der Mensch durch sein Eingreifen im Laufe der kulturell-technologischen Evolution zunehmend auf diese Natur (phänomenologisch auf der Erde existierend) in Form von Umweltveränderungen bzw. Schädigungen Einfluss genommen hat und dabei zumindest funktionale Aspekte der auf der Erde vorzufindenden Natur gefährdet werden.³⁹⁵ Es ist zu beobachten, dass die bewusste Reflexion des eigenen Naturverständnisses in der praktischen und in der wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit der Thematik nur selten anzutreffen ist. Naturverständnisse liegen also auch im Nachhaltigkeitsdiskurs den meisten Ansätzen nur implizit zu Grunde.

3.1.2 Bewusstwerdung der Vorstellungen von Natur

Natur, was immer die Menschen sich darunter vorzustellen versuchen, gewinnt zumindest in den so genannten postindustrialisierten Ländern wieder zunehmend Einfluss auf die Orientierung stiftende Sinnproduktion,³⁹⁶ nicht zuletzt durch die Irritation, die die zunehmende Technisierung der Lebenswelt beim Menschen auszulösen vermag.³⁹⁷ Um

³⁹² Vgl. Mölders, Katz und Unterreiner (2004), S. 185 – es muss dazu gesagt werden, dass in besagter Befragung ausschließlich Umwelt- und Naturschutzaktivisten interviewt wurden.

³⁹³ Vgl. Halfmann (1999), S. 85

³⁹⁴ Vgl. Grübler (2004), S. 85

³⁹⁵ Vgl. Krohn (1999), S. 4

³⁹⁶ Vgl. Trepl (1998), S. 78

³⁹⁷ Vgl. Krohn (1999), S. 4

aber der Falle eines mythologisch bestimmten Konzeptes von Natur zu entgehen, gilt es, die mit Natur verbundenen Vorstellungen so eindeutig wie möglich zu klären, um tatsächlich zu einer normativen Orientierung zu gelangen und zielführende Wege zur (ökologischen) Nachhaltigkeit aufzeigen zu können oder begründbare Ziele für eine Nachhaltige Entwicklung abzuleiten.³⁹⁸ Der Vielzahl der möglichen Naturentwürfe aus Sicht des Menschen ist gemeinsam, dass die Bestimmung von Natur an sich und des Mensch-Natur-Verhältnisses im Besonderen mit Schwierigkeiten behaftet ist.³⁹⁹ Öko- bzw. biozentrische Naturvorstellungen von Umweltaktivisten werden gerne als mythologisierend und subjektiv idealistisch verunglimpft. Ökologische Aktivisten wiederum bezeichnen Naturvorstellungen robuster Selbstheilung, die vor allem von neoklassischen Markttheoretikern vertreten werden, als zynisch und selbstzerstörerisch. Wie aber kann man zu einer realistischen Einschätzung der Eigenschaften von Natur und deren Manifestation in der irdischen Umwelt kommen? Es soll ja darum gehen, intakte Natur- bzw. Umweltzustände zu bestimmen, die mit Nachhaltiger Entwicklung kompatibel sind. Dabei sollen Produktionsweisen gefunden werden, die diese Naturzustände in ihrer Entwicklungsfähigkeit nicht gefährden.

Utopie des einheitlichen Naturbildes

Die Utopie, zu einem Naturverständnis zu gelangen, das den Menschen ein gewandeltes und harmonischeres Zusammenleben mit der Natur auf der Erde ermöglicht, greift auf einen naturalistischen Imperativ zurück, der aus dem „Wissen“ über die Natur normative Regeln abzuleiten versucht, wie mit dieser Natur (nachhaltig) umzugehen sei.⁴⁰⁰ Dies ist nach Grübler im engeren Sinne aber unmöglich und soll hier nicht in diesem Sinne versucht werden.⁴⁰¹ Wenn hier von Natur die Rede ist, so soll damit nicht einer naturalistischen Norm-Illusion gefolgt werden. Vielmehr soll es darum gehen, das naturwissenschaftliche Wissen über die Vorgänge des irdischen Metabolismus als Gradmesser für ein langfristig funktionierendes lebendes System heranzuziehen. Natur als Begriff kann hier nichts Absolutes darstellen, sondern nur die Summe des Wissens, das der Mensch im Zusammenhang mit den Phänomenen erschlossen hat, die gemein-

³⁹⁸ Vgl. Kopfmüller, Brandl, Jörissen u.a. (2001), S. 126ff

³⁹⁹ Vgl. Mölders, Katz und Unterreiner (2004), S. 174

⁴⁰⁰ Vgl. Kropp (2002), S. 57ff

⁴⁰¹ Vgl. Grübler (2004), S. 187

hin mit dem Begriff der Natur umschrieben werden. Dieses „Naturverständnis“ hat unmittelbaren Einfluss auf die daraus abzuleitenden Nachhaltigkeitsstrategien.⁴⁰²

3.2 ANNÄHERUNG AN EIN GEEIGNETES NATURBILD

Dass dieser Arbeit ein anderes Naturverständnis als das – im übrigen vollkommen irrationale⁴⁰³ - der neoklassischen ökonomischen Theorie zugrunde liegt, wurde bereits in der Einführung erörtert. Natur ist de facto kein unendliches Füllhorn von Ressourcen und Senken zur Befriedigung menschlicher Bedürfnisse oder zur Ablagerung unbrauchbarer Reststoffe.⁴⁰⁴ Was bedeutet aber Natur konkret für die Fragestellung, ob nachhaltig gewirtschaftet wird oder nicht? Betrachtet man die Natur unter anderem als physisches Fundament der Gesellschaft,⁴⁰⁵ so muss es (nun bereits im Grenzbereich zum Normativen) unabhängig von anthropozentrischer oder ökozentrischer Perspektive um die Aufrechterhaltung eben dieser fundamentalen Eigenschaften der Natur bzw. deren Manifestation in Umwelt gehen. Dies bestätigt sich in der inzwischen breiten (theoretischen) Akzeptanz der Managementregeln für ökologische Nachhaltigkeit, die auf die Aufrechterhaltung des natürlichen Potenzials zur Lebenserhaltung auf der Erde abzielen. Dabei kann Natur als Medium und Zieldimension für Nachhaltigkeit, Vorbild für Methoden und als Quelle für Ressourcen betrachtet werden.⁴⁰⁶ Die Inwertsetzung von Natur als Maß aller Dinge für industriegesellschaftliches Handeln führt zu gegensätzlichen Bewusstseinsströmungen, die einerseits die Technisierung der Natur und andererseits die Naturalisierung der technologischen Errungenschaften der Menschheit berücksichtigen müssen.⁴⁰⁷ Darüber hinaus liefern die unterschiedlichen wissenschaftlichen Herangehensweisen an den Begriff und die Bedeutung von Natur (für den Menschen) recht unterschiedliche Naturverständnisse, wie im Folgenden gezeigt wird.

⁴⁰² Vgl. Rink, Wächter und Potthast (2004), S. 12

⁴⁰³ Vgl. Immler und Hofmeister (1998), S. 25

⁴⁰⁴ Vgl. BUND/Miserior (Hrsg. 1996), S. 26ff; Die ökonomische Praxis klammert diese Fragestellung ebenso vollständig aus – erst tatsächlich bedrohliche Verknappung löst Preisreaktionen aus, wenn es bereits zu spät ist, weil der größte Teil der betreffenden Ressource irreversibel verloren ist – psychologisch argumentiert würde man hier von Verdrängung sprechen, die nur in den seltensten Fällen rational motiviert ist, jedoch zumindest kurzfristig den Zweck der Vermeidung kognitiver Dissonanzen erfüllt.

⁴⁰⁵ Vgl. Immler (1989), S. 22

⁴⁰⁶ Vgl. Karafyllis (2002), S. 135

⁴⁰⁷ Vgl. Rink, Wächter und Potthast (2004), S. 31

3.2.1 Ökonomische Naturverständnisse

In der ökonomischen Literatur sind eine Vielzahl von „Naturverständnissen“ anzutreffen,⁴⁰⁸ die vorwiegend anthropozentrische Perspektiven einnehmen. Die sowohl expliziten als auch impliziten Prämissen reichen von der vollkommenen Ausklammerung oder nur in Randbemerkungen berücksichtigte natürliche Gegebenheiten in der Theoriebildung bis zum Versuch, die gegebenen Potenziale der Natur bei der Darstellung ökonomischer Sachverhalte zu berücksichtigen. Gerade Letzteres wird im Rahmen der ökonomischen Nachhaltigkeitsdebatte immer noch kontrovers diskutiert. Als zwei Extrempositionen können hierbei die Ansichten der neoklassischen Umwelt- und Ressourcenökonomik den Positionen der ökologischen Ökonomik gegenübergestellt werden.⁴⁰⁹ Dabei geht es um mehr als die bloße Modellierung eines theoretischen Zusammenhangs. Vielmehr lassen sich aus den unterschiedlichen Prämissen auch unterschiedliche Forderungen an die richtige bzw. nachhaltige Wirtschaftsweise ableiten,⁴¹⁰ was für die IÖ von großer Relevanz ist. Die neoklassische Sichtweise ist insofern rein anthropozentrisch, als bei ihr der Naturnutzen für den Menschen im Mittelpunkt der Bewertung steht.⁴¹¹ Natur wird in ihrem Wert anhand der Nutzenstiftung für den Menschen bemessen. Immerhin findet jedoch die intertemporale Gerechtigkeit in der Ressourcenökonomie dynamischen Ausdruck, wobei der Begriff der vollständigen bzw. optimalen „Ausbeutung“ von Rohstoffressourcen ein zumindest fragwürdiger Ansatz ist, da möglicher noch unbekannter zukünftiger Nutzen mit der vollständigen Ausbeutung irreversibel ausgeschlossen wird. Zur optimalen Verwendung und für den Ausbau des verbleibenden Zeithorizontes nichtregenerativer Ressourcen ist dieser Ansatz trotzdem unverzichtbar, auch wenn er nicht als verallgemeinerbares Prinzip für die Umsetzung nachhaltiger Entwicklung anwendbar ist. Eine weitere Annahme ist die Substituierbarkeit natürlicher Ressourcen durch künstliches Kapital. Diese mit der schwachen Nachhaltigkeit korrespondierende Prämisse ist eine der Unwägbarkeiten der neoklassischen Theorie, da sie in der Betonung der Bewertung des menschlichen Nut-

⁴⁰⁸ Vgl. Radke (1999), S. 156

⁴⁰⁹ Vgl. Radke (2004), S. 141

⁴¹⁰ Vgl. Brand und Kropp (2001), S. 7

⁴¹¹ Vgl. ebda. S. 3

zens irreversible Vorgänge zulässt und somit zukünftige Generationen von der Teilnahme an wohlfahrtsbestimmenden Entscheidungen ausschließt.⁴¹² Dies ist mit dem Gerechtigkeitspostulat der Nachhaltigkeit nicht vereinbar, weshalb ein an der Neoklassik orientiertes Naturbild für die Zielsetzung nicht ausreichend sein kann. Im Gegensatz dazu legt die Ökologische Ökonomik ein tendenziell ökozentrisch orientiertes Naturbild zu Grunde. Natur wird als durch nichts Künstliches substituierbar betrachtet, was mit der Forderung nach starker Nachhaltigkeit korrespondiert.⁴¹³ Die Funktionsfähigkeit der Ökosysteme steht im Vordergrund und soll durch die Erhaltung des „Naturkapitals“ gewährleistet werden. Darüber hinaus wirkt die Natur durch naturgesetzliche Gegebenheiten als absolut begrenzendes Moment für wirtschaftliche Aktivitäten.⁴¹⁴ Dies führt zu der Forderung, dass nachhaltige Entwicklung nur gewährleistet werden kann, wenn die natürlichen Bestandsressourcen geschont werden, indem ihr Gebrauch stark eingeschränkt wird.⁴¹⁵ Darüber hinaus soll die Funktionsfähigkeit der Natur bzw. die Naturproduktivität erhalten bleiben.⁴¹⁶ Eine mögliche Ko-Evolution der natürlichen und sozio-ökonomischen Systeme soll dadurch langfristig gewährleistet werden. Die Sichtweise der koevolutarischen Ökonomik auf die Natur versucht die Ansätze der neoklassischen Umweltökonomik und der Ökologischen Ökonomik zu verbinden, wobei auf eine polarisierende Auftrennung in anthropozentrische und ökozentrische Positionen verzichtet wird, indem beide Konzepte gleichwertig zur Geltung gebracht werden. Dies erscheint im Hinblick auf die grundsätzlich diskursiv anzulegenden gesellschaftlichen Nachhaltigkeitsprozesse die „vernünftigste“ Haltung zu sein. Naturerhaltung und gesellschaftliches Wohlergehen werden als gleichwertig betrachtet, wobei betont wird, dass letzteres ohne intakte Natur nicht möglich ist. Die „Bewertung“, wie intakte Natur beschaffen ist oder sein soll, kann letztendlich nicht eindeutig bestimmt,⁴¹⁷ mit Hilfe der wissenschaftlichen Ökologie jedoch näherungsweise beschrieben werden.

⁴¹² Vgl. Radke (2004), S. 151

⁴¹³ Vgl. ebda, S. 159

⁴¹⁴ Vgl. Becker (2005), S. 91

⁴¹⁵ Vgl. Norgaard (1992), S. 84

⁴¹⁶ Vgl. Immler und Hofmeister (1998), S. 111f

⁴¹⁷ Vgl. Meyer-Abich (2001), S. 20ff

3.2.2 Ökologische Naturverständnisse

Auch in der Leitwissenschaft für das Naturverständnis haben sich durchaus unterscheidbare Ansichten herausgebildet, die nicht ohne Wirkung auf die Ableitung nachhaltiger Wirtschaftsweisen einer IÖ bleiben können. Zwar wurde schon früh erkannt, dass ökologische Erkenntnisse einen normativen Rahmen für menschliches Handeln liefern können, doch erscheinen diese Rahmenbedingungen vor recht unterschiedlichem Hintergrund.⁴¹⁸ Eine grobe Ordnung der unterschiedlichen Naturbilder der ökologischen Wissenschaft führt zu drei unterscheidbaren Kategorien: Organismisches (holistisches), individualistisches und systemisches Naturverständnis.⁴¹⁹ Das Zugrundelegen eines bestimmten Naturbildes bei der Ableitung naturverträglicher Wirtschaftsweisen führt dabei zu unterschiedlichen Ergebnissen. In Kapitel 4 soll versucht werden, aus einer vielfältigen ökologischen Sichtweise unterschiedlicher wissenschaftlicher Strömungen heraus ein breites Bild des derzeitigen naturwissenschaftlich geprägten Naturverständnisses zu entwickeln. Im Mittelpunkt wird dabei die Betrachtung ökosystemarer Zusammenhänge stehen. Mit dem systemtheoretischen Ansatz der Ökosystemökologie hielt der Versuch in die wissenschaftliche Ökologie Einzug, biologische und ingenieurwissenschaftliche Ansätze zu einem Gesamtbild der Lebensprozesse zusammenzufassen, ohne dabei nur auf simples lineares Denken zurückgreifen zu müssen. Insofern finden bei dieser Sichtweise in der Kopplung räumlich unterschiedlich ausgebreiteter Ökosysteme auch holistische Ansätze ihren Platz. Das Voraussetzen von Rückkopplungen und Selbstorganisation natürlicher Ordnungsstrukturen ist eine Folgeannahme dieser Sichtweise. Die Ökologie konnte damit zu der Leitwissenschaft werden, die die innere Ordnung der Natur verdeutlicht und verständlich macht. Allerdings ermöglicht auch dies noch unterschiedliche Vorstellungen über Natur. Insbesondere herrscht Uneinigkeit darüber, ob Natur ökologisch betrachtet eher grundsätzlich harmonisch und im Gleichgewicht ist oder ob ständige Veränderungen dominierend sind, die mit chaotischen Zustandsänderungen einhergehen.⁴²⁰ Diese unterschiedlichen angenommenen Eigenschaften liefern Implikationen zur Anpassung an und zum Schutz der Natur, die sich geradezu widersprechen. Aus Sicht der Humanökologie

⁴¹⁸ Vgl. Wächter (2004), S. 42

⁴¹⁹ Vgl. Valsangiacomo (1998), S. 204ff

⁴²⁰ Vgl. Jax (1999), S. 98

(Kapitel 5) sind darüber hinaus materielle Umwelt und gesellschaftliche Phänomene ineinander verschränkt und untrennbar miteinander verwoben.⁴²¹ Rein soziale und rein natürliche Prozesse als solche finden durch die kulturell-naturell-mechanisch-organische Gleichzeitigkeit der Prozesse in der Mensch-Umwelt-Interaktion nicht mehr oder nur noch in Nischenpositionen statt.⁴²² Woran soll man sich aber bei der Entscheidungsfindung für die zukünftige Entwicklung des Mensch-Natur-Verhältnisses halten? Der Wissenschaftliche Beirat Globale Umweltveränderungen (WBGU) fordert den aus ökologischer Sicht zu berücksichtigenden „Biologischen Imperativ“ als naturalistisch geprägtes Konzept der Zukunftsfähigkeit industrialisierter Gesellschaften.⁴²³ Hier herrscht also ein wissenschaftlich begründetes Naturverständnis vor, das der Natur eine „Vorbildfunktion“ zubilligt und dem Menschen abverlangt, sich an jenem zu orientieren.⁴²⁴ Dies scheint somit durch die stark naturwissenschaftlich geprägte Herangehensweise ein zumindest annähernd objektivierbarer Ansatz, der versucht, möglichst nahe an den durch die Gesellschafts-Umwelt-Interaktion hervorgerufenen natürlichen und gesellschaftlichen Phänomenen zu operieren. Bei aller Unwägbarkeit der akademischen Diskussion über den „richtigen“ Zugang zur Natur, verspricht dieser Ansatz zumindest handhabbare Operationalisierungsansätze für konkrete Wegmarken in Richtung nachhaltiger Entwicklung in Form der IÖ.

3.2.3 Soziologische und gesellschaftswissenschaftliche Naturverständnisse

Die Bilder, die sich eine Gesellschaft von der Natur macht, sind eng verknüpft mit Gesellschaftsbildern und kollektiven Identitäten.⁴²⁵ Die gesellschaftliche Auseinandersetzung mit der „ökologischen Krise“ hat aus Sicht der Soziologie eine stärkere Auseinandersetzung mit der Frage des Gesellschafts-Natur-Verhältnisses gefördert bzw. den gesellschaftlichen Diskurs darüber thematisiert.⁴²⁶ Dabei ist es weniger die Soziologie selbst, die ein bestimmtes Naturbild prägt, es werden vielmehr die im gesellschaftlichen Diskurs auftretenden Naturverhältnisse in historischen Kontext und

⁴²¹ Vgl. Katz (2004), S. 78

⁴²² Vgl. Groß (2001), S. 129

⁴²³ Vgl. WBGU (Hg 2000), S. 325ff

⁴²⁴ Vgl. Katz (2004), S. 90 und WBGU (Hg 2000), S. Vf

⁴²⁵ Vgl. Brand (1999), S. 28

⁴²⁶ Vgl. Brand und Kropp (2004), S. 112

in Bezug zur Gesellschafts-Natur-Metamorphose innerhalb der Ko-Evolution beider Systeme gesetzt. Luhmann z. B. stellte die gesellschaftlichen Wirkungen und Rückwirkungen der Naturverhältnisse und -zustände aus systemischer Sicht durch die ausschließlich mittelbare Wahrnehmung in Form von gesellschaftlicher Kommunikation in den Vordergrund.⁴²⁷ Darin wird zumindest verdeutlicht, wie und wodurch die kollektive Wahrnehmungsfähigkeit ökologischer Probleme als relevante Sachverhalte eingeschränkt ist. Ulrich Beck verdeutlicht darüber hinaus, dass das Umweltproblem im eigentlichen Sinn eine (industrie)gesellschaftliche Institutionenkrise darstellt und rückt damit das Mensch-Umweltverhältnis zumindest ein wenig zurecht.⁴²⁸ Von besonderer Bedeutung ist jedoch das Verstehen des Ineinandergreifens natürlicher und kultureller Wirkungszusammenhänge, da der Mensch sich besonders im gesellschaftlichen Kontext im Spannungsfeld seiner Eigenschaften als Natur- und Kultur-Wesen in Union bewegen muss.⁴²⁹ Dass die Berücksichtigung von Natur nicht zu den ureigenen Aufgaben der Soziologie gehört, die Soziales nur aus Sozialem zu erklären sucht, ist eines von vielen Problemen einer „Soziologie der Natur“, die stellvertretend in der „Umweltsoziologie“ behandelt wird.⁴³⁰ Sie versucht zu erklären, wie unterschiedliche Interpretationen des Naturbegriffs zu widerstreitenden Vorstellungen über ein naturverträgliches Gesellschaftsmodell führten und sie kann Wege zur gesellschaftlichen Kommunikation der Problematik weisen. Welche Wirkungen haben aber die gesellschaftliche und wissenschaftliche Diskussion auf ein verallgemeinerbares „Meta-Naturbild“ einer Gesellschaft und welche Wirkungen auf das naturwirksame Verhalten, manifestiert in Form von Stoff- und Energieströmen, gehen davon aus? Wie sind Rückwirkungen auf das zu Grunde liegende Anreizsystem als verhaltenswirksame gesellschaftliche Struktur zu berücksichtigen? Sie unterliegen einem ständigen Diskurs und sind per se strittig. Sie hängen untrennbar rückgekoppelt mit den konkreten sozialen und technologischen Praktiken einer Gesellschaft zusammen und sind somit pluralistisch. Die Beobachtung verschiedener gesellschaftlicher „Naturmythen“ aus soziologischer Sicht mit völlig unterschiedlichen Implikationen, was die Einschätzung der Robustheit von Natur und deren Abhängigkeit von gesellschaftlichem Handeln (und die damit verbundene „Wirk-

⁴²⁷ Vgl. Luhmann (1990), S. 43

⁴²⁸ Vgl. Beck (1986), S. 107

⁴²⁹ Vgl. Fischer-Kowalski und Weisz (1998), S. 170

⁴³⁰ Vgl. Brand (1999), S. 30ff

lichkeitsdeutung“) betrifft, sollte jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass es einen Bedarf gibt, das Naturverhältnis industrialisierter Gesellschaften zu überdenken.⁴³¹ Der diesbezügliche Handlungsbedarf bleibt von obigen akademischen Fragen unbenommen, die Natur einmal als Maschine und ein andermal als Organismus, als tote Materie und vitale Strukturen und darüber hinaus sowohl als chaotisch als auch als geordnet beschreiben zu können.⁴³²

3.3 ORIENTIERUNG – NATUR ALS VORBILD

Die vorhergehende Auswahl von Wissenschaften, die das Naturbild mitbestimmen, ist nicht vollständig. Es sollte nur ein Einblick in die vielfältigen Einflüsse auf das Denken über Natur gegeben werden, das durch die jeweiligen wissenschaftlichen Strömungen und die Kommunikation von Forschungserkenntnissen beeinflusst wird und nicht zuletzt auch eine philosophische Fragestellung ist.⁴³³ Welches Naturbild soll nun dieser Arbeit zu Grunde liegen und welches liegt dem Ansatz der IÖ zu Grunde? Kann man aus einem bestimmten Naturbild ableiten, dass man der „Natur folgen“ oder sie sich gar als Vorbild für das menschliche Handeln heranziehen kann, also aus einem objektiven deskriptiven Ansatz einen präskriptiven ableiten kann?⁴³⁴ Es gibt darauf wohl keine eindeutige Antwort.⁴³⁵ Man kann nicht ontologisch feststellen, ob eine naturwissenschaftlich gewonnene Erkenntnis über die Eigenschaften der Natur eine gesellschaftlich wirkungsmächtige Relevanz zur Ableitung von Normierungen für gesellschaftliche Systeme hat,⁴³⁶ auch wenn dies mit dem Leitbild der Nachhaltigkeit zumindest teilweise erreicht werden soll. Eindeutig ist, dass der Versuch, eine langfristig funktionierende Integration von Natur und Gesellschaft herzustellen, ein systemisches oder holistisches Naturverständnis fordert, das am ehesten den Vorstellungen der Ökologischen Ökonomie, der relativ neuen Disziplin der Humanökologie oder ko-evolutionären Ansätzen entspricht, ohne dass daraus die Forderung abgeleitet werden müsste, sich die „Natur als

⁴³¹ Vgl. Brand und Kropp (2004), S. 118f

⁴³² Vgl. Soper (1995), S. 71

⁴³³ Vgl. Beck (1999), S. 11

⁴³⁴ Vgl. Valsangiacomo (1998), S. 251

⁴³⁵ Vgl. Gerdes (2005), S. 90

⁴³⁶ Vgl. Eisel (1991), S. 168

Vorbild“ zu nehmen.⁴³⁷ Aus interdisziplinärer Sicht bedeutet dies eine Orientierung am Ökosystemansatz mit der Konzentration auf den systemimmanenten Metabolismus, was eine Kopplung mit gesellschaftlichen Abläufen ermöglicht, auch wenn es (für diesen speziellen Fall) mit einer Reduktion in Form der Naturalisierung gesellschaftlicher Vorgänge erkauft werden muss und mit der Tendenz zu einer physiozentrischen Orientierung einhergeht.⁴³⁸ Versucht man darüber hinaus die miteinander verzahnten sozio-ökologischen Entwicklungen in einer koevolutionären Perspektive zu erfassen, so schließt sich der methodische Kreis mit den normativen Nachhaltigkeitspostulaten, die nichts anderes als die dauerhafte Ko-Evolution gesellschaftlicher und natürlicher Systeme anstreben.⁴³⁹ Dies lässt sich mit Naess auch als die menschliche Erkenntnis vom essenziellen Sinn eines gemeinsamen Interesses interpretieren, das die gesamte Natur umfasst.⁴⁴⁰ Dass die Annahme der „Steuer- und Planbarkeit“ dieser äußerst komplexen Verhältnisse ein reichlich optimistisches (und damit eventuell wenig realistisches) Natur- und vor allem Gesellschaftsbild unterstellen muss, kann aus dieser Sicht hier nicht vermieden werden und wird in Kauf genommen.⁴⁴¹ Zielgerichtetes Handeln industrialisierter Gesellschaften wird weiterhin nur auf sich selbst rekursiv wirken und selbstreferenziell bleiben.⁴⁴² Das Wissen über die Beschaffenheit der Natur kann hierbei nur Leitplanken der einzuschlagenden Richtung und strukturelle Vorlagen liefern, ohne dass diese als absolut gesetzt werden können. Trotzdem scheint es nötig und möglich, Lernprozesse zwischen unterschiedlichen Wissenskulturen aus Naturerfahrung und experimenteller Interaktivität für eine Erweiterung des Naturverständnisses bei den Akteuren einer IÖ anzuregen.⁴⁴³ Eine Naturkenntnis, wie sie vorausgesetzt wird, um natürliche Prozesse als Vorbild für nachhaltiges Produzieren und Wirtschaften zu nehmen, setzt aber auch eine gegenstandsgemäße Naturkenntnis voraus, die dem Phänomen „Natur“ bzw. den dahinter stehenden Gesetzmäßigkeiten so gut wie möglich gerecht

⁴³⁷ Vgl. Rink (2004), S. 204ff

⁴³⁸ Vgl. Meyer-Abich (2001), S. 23 und Stähli (2004), S. 2; Dies deckt sich trotzdem mit der Forderung Majers, bei Umsetzungsstrategien nachhaltiger Entwicklung, Ganzheitlichkeit im räumlichen, zeitlichen und sachlichen Bezug anzustreben, da hierbei alle Handlungsebenen, Akteure, Innovationen und Lenkungssysteme langfristig berücksichtigt werden sollen; Vgl. Majer (2001b), S. 3f

⁴³⁹ Vgl. WBGU (1996), S. 118

⁴⁴⁰ Vgl. Naess (1989), S. 172

⁴⁴¹ Vgl. Rink (2004), S. 207

⁴⁴² Vgl. Heinemann (1991), S. 313

⁴⁴³ Vgl. Rammert (1999), S. 209ff

wird.⁴⁴⁴ Banalisiert bedeutet dies, dass die Naturgesetze auch für menschliche Gesellschaften gelten, sie deshalb nicht ignoriert werden können und eine möglichst genaue Kenntnis über sie gewonnen werden sollte, um nachhaltig agieren zu können.⁴⁴⁵ Die angestrebte Vorbildfunktion der Natur für eine IÖ wird so zu einem pragmatischen Impetus fernab ideologisierender „Ismen.“ Natur und Ökologie sind also nicht – einem naturalistischen oder ökologistischen Fehlschluss folgend – normative Institutionen für menschliches Sollen, sondern Lieferanten erfolgreicher Prinzipien bei der Gestaltung von Lebensprozessen.⁴⁴⁶ Industrielles Wirtschaften wird hier als einer der wesentlichen Lebensprozesse der Anthroposphäre interpretiert, über dessen Auswirkungen auf die Natur Kenntnisse erarbeitet werden, die Einfluss auf die weitere Ausgestaltung der Anthroposphäre haben werden. Ökozentrische und anthropozentrische Sichtweise müssen sich in ihren Wirkungen dabei nicht grundsätzlich widersprechen. Nimmt man die Rolle der Natur als physische Grundlage des menschlichen Wirtschaftens ernst, so wird der Erhalt dieser Grundlage zum ureigenen Interesse des Wirtschaftens selbst. Damit wird der zweckmäßige Einsatz natürlicher Ressourcen zu einem ökonomischen Effizienzkriterium, womit eine ökonomische Logik eingefordert wird, in der die Verflechtung ökonomischer und ökologischer Aspekte des Wirtschaftens selbstverständlicher Bestandteil rationaler Handlungsweisen wird.⁴⁴⁷ Eine aus anthropozentrischer Sicht notwendige Erhaltung der Naturproduktivität ist zugleich aus ökozentrischer Sichtweise wirksam und umgekehrt. Beide Prinzipien bedingen sich dann gegenseitig, der Widerspruch hebt sich auf.⁴⁴⁸

⁴⁴⁴ Vgl. von Gleich (1999), S. 55

⁴⁴⁵ Vgl. Gerdes (2005), S. 91

⁴⁴⁶ Vgl. Isenmann (2002), S. 29

⁴⁴⁷ Vgl. Isenmann (2003), S. 7

⁴⁴⁸ Vgl. Immler und Hofmeister (1998), S. 43f

4. Ökologie als Leitwissenschaft für eine IÖ

Die Ökologie als Wissenschaft beschäftigt sich mit den Phänomenen der natürlichen Lebensvorgänge. Sie sucht nach regelmäßigen Erscheinungen in den komplexen Natureinheiten, in denen sich die Lebensprozesse auf der Erde abspielen.⁴⁴⁹ Ökologie hat damit u. a. die Aufgabe, in den komplexen Erscheinungsformen der Natur und deren Lebewesen „Gesetzmäßigkeiten“ aufzudecken, deren Gültigkeit jedoch ständiger Überprüfung bedürfen.⁴⁵⁰ Dies gilt sowohl für lebende Organismen als auch für tote Strukturen wie die Litho- und Atmosphäre. Darüber hinaus wird der Begriff der Ökologie jedoch auch von weltanschaulichen, politischen und kulturellen Bewegungen mit einer häufig ideologisierenden Inhaltszuweisung belegt.⁴⁵¹ Die Bezugnahme auf den Begriff der Ökologie auch im nicht-naturwissenschaftlichen Zusammenhang kommt nicht von ungefähr. Die aufgeworfenen Fragen sind grundsätzlich die gleichen, auch wenn dies aus wissenschaftstheoretischer Sicht durchaus kontrovers diskutiert wird.⁴⁵² Wie laufen ökologische Prozesse ab? Sind sie stabil und zielgerichtet oder chaotisch und zufallsbestimmt? Welchen Einfluss nimmt der Mensch auf diese Prozesse und welche Folgen hat dies für den Fortbestand des Lebens in all seinen Formen auf der Erde? Wie bei allen anderen Wissenschaften hat der Begriff Ökologie im Laufe der Entwicklung verschiedene Phasen der Bedeutungszuweisung und Veränderungen der behandelten Inhalte durchlaufen. Einer der ersten ökologischen Texte im heutigen Verständnis ist Gilbert Whites „Natural history of Selborne“ von 1789, der über die reine faszinierte Naturbeobachtung hinausgeht und als erster einen Rahmen analytischer Fragestellungen an die natürliche Umwelt Selbornes legte.⁴⁵³ Von der biologischen Lehre

⁴⁴⁹ Vgl. Wächter (2004), S. 35

⁴⁵⁰ Vgl. Haber (1993), S. 4

⁴⁵¹ Vgl. Trepl (1991), S. 193

⁴⁵² Insbesondere die Frage, ob naturwissenschaftliche Erkenntnisse über die Natur als objektive (ontologische) Wahrheit überhaupt existieren und dann auch noch normative Grundlage für gesellschaftswissenschaftliche Fragen bezüglich der realen Lebenswelt sein können; Diese Frage kann hier leider nicht beantwortet werden ... (auch nicht in den folgenden Kapiteln); Es ist trotzdem (oder gerade deswegen) unvermeidbar, die Ökologie später aus dem rein naturwissenschaftlichen Zusammenhang herauszulösen, um ihre Rolle als Ideenlieferant für zeitgeistorientierte Ökologien zu verstehen, wie sie ja auch die „Industrielle Ökologie“ zweifelsohne ist.

⁴⁵³ Vgl. May (1999), S. 1951

der Beschreibung der Wechselbeziehungen der Organismen oder Organismengruppen zu ihrer Umwelt über das Studium von Struktur und Funktion der Natur in unterschiedlichen Rahmenbedingungen bis zur Ausdifferenzierung spezieller Disziplinen wie Stadtökologie oder Humanökologie liegt wissenschaftsgeschichtlich also ein Entwicklungspfad, der erst Mitte des 19. Jh. von Haeckel mit der Begriffsbestimmung „Ökologie“ angestoßen wurde.⁴⁵⁴ Maßgeblich ist die Ökologie von Beginn an eine integrierende „Dachwissenschaft“, die Erkenntnisse aus unterschiedlichen naturwissenschaftlichen Teil-Disziplinen zusammenfasst.⁴⁵⁵ Je nach Betrachtungsebene stehen unterschiedliche Beobachtungsgrößen im Vordergrund. Eine als allgemeingültig anerkannte Definition umschreibt die Ökologie als *„die wissenschaftliche Untersuchung der Verbreitung und Abundanz von Organismen und der Wechselwirkungen, welche die Verbreitung und Abundanz bestimmen.“*⁴⁵⁶

Letztendlich soll diese Wissenschaft Aufschluss über elementare Mechanismen im komplexen Wirkungsgefüge der lebendigen Natur geben und daraus Muster und Grundregeln ableiten, die die ihnen zu Grunde liegenden Kausalprozesse erklären.⁴⁵⁷ Dabei geht es nicht um die streng wissenschaftstheoretisch abgesicherte Bestimmung von Naturgesetzen, sondern um die Ableitung von stringenten Schlussfolgerungen, die zum Verständnis der Lebensvorgänge im Ökosystem Erde beitragen. Mehr ist nicht möglich, da sich die Ökologie als Wissenschaft von der „Natur“ in einem Spannungsfeld zwischen als deterministisch angenommenen Abläufen (sprich Funktionalität) und unberechenbar erscheinenden chaotischen Prozessen (sprich Ungewissheit) bewegt, was sich jeweils in Modellen nur unter Idealisierung abbilden lässt.⁴⁵⁸ Deshalb ist es nicht verwunderlich, dass dieser Wissenschaft auch einige (bisweilen sogar innerwissenschaftlich geäußerte) Kritikpunkte anhaften:⁴⁵⁹

- Heterogenität der Methoden mit hochdifferenzierten (unvereinbaren?) Gegenstandsbereichen
- Das Fehlen einer allgemeinen (allgemeingültigen) Theorie
- Vereinnahmbarkeit durch fachfremde Ideologien

⁴⁵⁴ Vgl. Odum (1999), S. 1

⁴⁵⁵ Vgl. Wittig und Streit (2004), S. 16

⁴⁵⁶ Townsend, Harper und Begon (2002), S. 5

⁴⁵⁷ Vgl. Leakey und Lewin (1996), S. 184

⁴⁵⁸ Vgl. Breckling (1999), S. 35

⁴⁵⁹ Vgl. Schwarz (2000), S. 3f

- Uneindeutige (Mehrfach-)Verwendung von Begriffen und Metaphern⁴⁶⁰

Nichtsdestotrotz sollen in dieser Arbeit die für die Ökologie gefundenen Taxonomien auf die Ansätze der IÖ übertragen werden, um der als Erfolgsfaktor für eine nachhaltige Entwicklung angenommenen Struktur- bzw. Funktionsähnlichkeit zwischen natürlichem und industriellem System möglichst nahe kommen zu können. Dabei soll Ökologie jedoch niemals als unmittelbare normative Grundlage dienen, wie die Dinge zu sein haben, sondern lediglich deskriptive Aussagen darüber treffen, wie sich die Phänomene der belebten Natur darstellen.⁴⁶¹ Inwiefern sich die gefundenen Gesetzmäßigkeiten letztendlich als normative Grundlage für die Entwicklung einer IÖ eignen, muss im Einzelfall entschieden werden und kann nie ein endgültiges Urteil sein, auch wenn die Ökologie gerne zur Leitwissenschaft erhoben wird, die die Menschen ins natürliche Beziehungsgeflecht re-integrieren soll.⁴⁶²

4.1 GRUNDPRINZIPIEN DER THEORETISCHEN ÖKOLOGIE

Grundsätzlich wird der Lebensraum Erde in die unbelebten Sphären Lithosphäre (mit Pedosphäre), Hydrosphäre (mit Kryosphäre) und Atmosphäre sowie die belebte Biosphäre eingeteilt.⁴⁶³ Umgeben ist das Ganze von der Kosmosphäre. Alle natürlichen Lebensvorgänge zeichnen sich durch einen dauernden Fluss von Energie und Materie innerhalb der und zwischen diesen Sphären aus.⁴⁶⁴ In jeder der Sphären geschieht das nach eigenen Gesetzmäßigkeiten. Gespeist werden die Vorgänge durch die permanente Einstrahlung von Energie durch die Sonne, die bei dieser Betrachtung ein Teil der Kosmosphäre ist. (Rangfolge: Kosmo-, Atmo-, Hydro-, Lithosphäre). In der Ökosys-

⁴⁶⁰ Dies ist natürlich keine gute Ausgangsbedingung für eine „exakte“ Wissenschaft; besonders betroffen sind Begriffe, die 1.) nicht mathematisch definiert sind oder sich gar nicht exakt definieren lassen und 2.) die Interaktionen verschiedenster Individuen über mehrere mögliche Ebenen zu beschreiben versuchen; Vgl. Starzomski, Cardinale, Dunne u.a. (2004), S. 2; Z. B. der Begriff der Konnektivität ist ein unklares, teilweise gar widersprüchliches Bestimmungsobjekt ökosystemarer Eigenschaften.

⁴⁶¹ Vgl. Löw (1990), S. 67

⁴⁶² Vgl. Amery (1978), S. 36; Andere Denker sehen die „Politische Ökologie“ (die weiter unten thematisch kurz angerissen wird) als Leitwissenschaft der Postmoderne, Vgl. Adam, Kohout, Merk u.a. (2003), S. 12; Diese Diskussion soll hier nicht weiter vertieft werden, da sich die Diskussion in der Politischen Ökologie reichlich essayistisch auf ideologischem Grund bewegt.

⁴⁶³ Vgl. Haber (2001), S: 70f

⁴⁶⁴ Vgl. Husar (1994), S. 27

temtheorie werden mit ansteigender Größe und Komplexität die Lebensräume Biozönose, Ökosystem, Biom und Ökosphäre unterschieden.⁴⁶⁵

Betrachtet man die natürlichen Vorgänge aus der Warte der lebenden Organismen, so bietet es sich an, unterschiedliche Beobachtungsebenen (zeitlich, räumlich, biologisch) aufzuspannen.⁴⁶⁶ Diese Interaktionshierarchien werden mit zunehmender Komplexität durch entsprechende wissenschaftliche Herangehensweisen analysiert:

- Individuen (Organismus) → Autökologie
- Populationen (Individuen der gleichen Art) → Populationsökologie (Demökologie)
- Biozönosen (Lebensgemeinschaften unterschiedlicher Populationen) → Biozöologie
- Ökosysteme (Biozönosen und der Metabolismus mit ihrer anorganischen Umwelt) → Synökologie
- Ökosphäre (Erde) → Gaia-Theorie

Viele ökologische Feldversuche und Untersuchungen beschränken sich der einfacheren und klareren Handhabung wegen in der Regel auf die Betrachtung höchstens zweier dieser Ebenen. Für die vorliegenden Fragestellungen ist es jedoch unerlässlich, zu einem Ökologieverständnis zu gelangen, das alle fünf Ebenen in einer integrierenden Weise betrachtet. Dies ist dadurch möglich, jede dieser Betrachtungsebenen als Holon anzusehen und bei zunehmender Komplexität einer Ebene die „tieferen“ Ebenen durch Inklusion und Transzendenz mit zu berücksichtigen.⁴⁶⁷ Schwerpunktmäßig wird das Ökosystemverständnis (oben Stufe vier) den Fragestellungen der IÖ am ehesten gerecht. Die Stufen eins bis drei stellen aber jeweils Grundbedingungen für das Funktionieren der nachfolgenden Ebenen dar, weshalb auch deren Wirkungsmechanismen verstanden werden müssen, bevor man überhaupt an eine Übertragung auf anthropogene Produktionssysteme denken kann. Insgesamt gilt es, strukturelle Muster der zeit-räumlichen- oder funktionalen Verteilung der Organismengruppen über alle Interaktionshierarchien zu erfassen und daraus Funktionalitätskriterien abzuleiten. Beide Größen – Struktur und Funktion – bedürfen dabei gleicher Sorgfalt des Vorgehens. Bemerkenswert ist hierbei,

⁴⁶⁵ Vgl. Reichholf (1998), S. 24

⁴⁶⁶ Vgl. Townsend, Harper und Begon (2002), S. 10ff

⁴⁶⁷ Vgl. Röpke (2004), S. 5

dass strukturelle Änderungen nicht zwingend funktionelle Änderungen mit sich bringen.⁴⁶⁸

4.1.1 Speziell für diese Arbeit bedeutsame Begriffe der Ökologie

Ressourcen

Unter Ressourcen versteht man die biotischen und abiotischen Bestandteile der Umwelt, die ein Organismus zum (Über-)Leben braucht. Jährlich produzieren photosynthetische Organismen (Primärproduzenten) auf der Erde ca. 100 Milliarden Tonnen organische Materie.⁴⁶⁹ Sie sind der Schlüssel zur Extraktion der für Lebensprozesse benötigten stofflichen Ressourcen. Von einem Organismus beanspruchte Ressourcen stehen dabei zur gleichen Zeit keinem anderen Individuum mehr zur Verfügung. Daraus leiten sich unterschiedliche Überlebensstrategien von Individuen und Populationen ab, da es bei Lebensprozessen in der Regel um die Beanspruchung knapper bzw. endlicher Ressourcen geht.⁴⁷⁰ Grundlegende Ressourcen für die Aufrechterhaltung des Lebens von Primärproduzenten sind:

- Sonneneinstrahlung (die wesentliche Energiequelle der Primärproduzenten)
- Wasser (zur Aufrechterhaltung der Lebensprozesse, z. B. Photosyntheserate)
- Mineralische Nährstoffe (z. B. N, P, Mg, Fe, u. a. zum Aufbau morphologischer Strukturen)
- Kohlenstoffdioxid (zum Aufbau morphologischer Strukturen)
- Raum (z. B. Boden an Land oder Volumen im Wasser)

Ähnliche strukturelle und funktionale Gliederungsmerkmale der Ressourcen sind für eine funktionierende IÖ auch anzunehmen.

Nischen

Bei der Verteilung der (knappen) Ressourcen auf Individuen bzw. Populationen kommt es vielfach zur Ausgestaltung sogenannter ökologischer Nischen. Dieser Begriff umschreibt eine Abstraktion der „Summe“ aller Toleranzbereiche bezüglich der

⁴⁶⁸ Vgl. Valsangiacomo (1998), S. 44

⁴⁶⁹ Vgl. Odum (1999), S. 26

⁴⁷⁰ Vgl. Townsend, Harper und Begon (2002), S. 112f

Umweltbedingungen und der Bedürfnisse bei der Versorgung mit Ressourcen bezogen auf eine Art von Organismen innerhalb eines Habitats (z. B. eines Biotops).⁴⁷¹ Je nach der Anzahl n der benötigten Ressourcen und Umweltbedingungen einer Art ergibt sich ein n -dimensionaler Hyperraum, durch den die Nische definiert ist.⁴⁷² Dieser beinhaltet Größen wie Raum, Zeit, Nahrung, Temperatur, inner- oder intraspezifische Konkurrenz und andere.⁴⁷³ Diese Ressourcenkombination bietet dann in der Regel den idealen Lebensraum für eine bestimmte Art, deren autophytische Eigenschaften (benötigte Ressourcen) mit den ökischen Eigenschaften (vorhandene Ressourcen) der Nische weitestgehend übereinstimmen. Nischen bilden sich überall dort (bzw. werden von einer in der Biozönose „neuen“ Art besetzt), wo eine spezifische Ressourcenkombination noch von keiner Art besetzt ist bzw. genutzt wird. Nischenbildung ist häufig auch die Grundvoraussetzung für eine Koexistenz von Arten in einem Lebensraum.⁴⁷⁴ Dort bilden sich mit den Lebensformen, die auf die gleichen Ressourcen angewiesen sind, so genannte Gilden, deren Vertreter, also die verschiedenen Arten einer Gattung, hinreichend verschiedene Plätze innerhalb der Biozönose einnehmen.⁴⁷⁵ Diese dürfen sich nicht zu sehr überschneiden, um für die jeweilige Art den Energieaufwand zum Bestehen in der Konkurrenzsituation zu minimieren. Daraus entwickeln sich im Lauf der Evolution – oder in kürzeren Zeiträumen gedacht, der Sukzession – sehr fein strukturierte und vielfältige Ernährungsgemeinschaften mit jeweils spezialisierten Ressourcennutzern. Innerhalb einer dieser Nischen kann dauerhaft nur eine Art überleben. Andererseits erhöht sich die Vielfalt in einem Ökosystem mit der Anzahl der verfügbaren Nischen. Nur so werden alle zur Verfügung stehenden Ressourcen optimal genutzt. Füllen unterschiedliche Arten unter ähnlichen Randbedingungen in unterschiedlichen Habitaten eine ähnliche ökologische Nische aus, spricht man von ökologischen Äquivalenten, da sie in ihrem jeweiligen Kontext eine ähnliche „Funktion“ aufweisen.⁴⁷⁶ Der Begriff Nische hat auch schon Eingang in die Wirtschaftswissenschaften gefunden und ist speziell für die Ausgestaltung einer IÖ von besonderer Bedeutung, da die Ausfüllung von Nischen häufig mit der Wahrnehmung spezialisierter Funktionen innerhalb eines Ökosystems einher-

⁴⁷¹ Vgl. Kalusche (1999), S. 86

⁴⁷² Vgl. Townsend, Harper und Begon (2002), S. 136

⁴⁷³ Vgl. Kratochwil und Schwabe (2001), S. 34

⁴⁷⁴ Vgl. ebenda, S. 261

⁴⁷⁵ Vgl. Reichholz (1998), S. 68

⁴⁷⁶ Vgl. Orthaber (2001), S. 10

geht, ohne die ein wichtiges Verbindungsglied innerhalb der Lebensgemeinschaft fehlen würde.

4.1.2 Interspezifische Wechselwirkungen – Strategien in der Natur

Mit Strategien der Natur seien hier im Besonderen kausalmechanische Erklärungsmodelle der Synökologie gemeint, die die inter- und intraspezifischen Wechselwirkungen von Lebensgemeinschaften relational abzubilden versuchen. Diese Betrachtungsweise zielt genau auf die Phänomene ab, die für das Gelingen einer Industriellen Ökologie von besonderem Belang sind. Grob kann man drei ökologische Strategien unterscheiden:⁴⁷⁷

- Konkurrenz (um Raum, Nahrung, Fortpflanzung)
- Parasitismus und Symbiose
- Prädation (Räuber-Beute-Beziehung)

Der Erklärungsgehalt für eine IÖ liegt im besonderen Maße bei den ersten beiden Strategien sehr hoch, die Prädation wird dann für die Erklärung von Nahrungsnetzen von stärkerer Bedeutung sein.

4.1.2.1 Konkurrenz

Konkurrenz tritt auf, wenn zwei oder mehr Arten in einem Lebensraum auf die gleichen begrenzten Lebensgrundlagen angewiesen sind.⁴⁷⁸ Intraspezifische Konkurrenz um eine gemeinsame Ressource tritt in indirekter Form über Ausbeutung oder in direkter Form über Interferenz auf. Sie hat letztendlich immer Auswirkungen auf die Entwicklung der konkurrierenden Individuen und Populationen und der Konkurrenzdruck nimmt bei zunehmender Populationsdichte zu.⁴⁷⁹ Interspezifische Konkurrenz tritt insbesondere dann auf, wenn mehrere Arten auf einer trophischen Stufe⁴⁸⁰ auf die gleichen Ressourcen auf der nächstunteren trophischen Stufe angewiesen sind, was bis hin zum Ausschluss einer (schwächeren) Art aus einer ökologischen Nische führen kann.⁴⁸¹ Konkurrenz, ob nun intra- oder interspezifisch, ist einer der wichtigen ökologischen

⁴⁷⁷ Vgl. Valsangiacomo (1998), S. 93

⁴⁷⁸ Vgl. Reichholf (1998), S. 132

⁴⁷⁹ Vgl. Townsend, Harper und Begon (2002), S. 138

⁴⁸⁰ Die trophische Stufe umschreibt die relative Stellung einer Art in der Nahrungskette – der Begriff wird weiter unten nochmals aufgegriffen.

⁴⁸¹ Vgl. Lässig, Bastolla, Manrubia u.a. (2001), S. 4419

Lenkungsmechanismen, da sie durch negative Rückkopplungen zur Stabilität ökologischer Systeme beiträgt. Andererseits kann starke Ressourcenkonkurrenz auf einer trophischen Stufe innerhalb eines Ökosystems zu chaotisch anmutenden Oszillationsbewegungen in der Konsumenten-Ressourcen-Beziehung führen, die sich in starken Mengenschwankungen der Verteilung der Biomasse ausdrückt, was dem Stabilitätskriterium zuwider läuft.⁴⁸² Allerdings sind in der jüngeren Geschichte der ökologischen Wissenschaft vermehrt Zweifel an der Dominanz des Konkurrenzprinzips als Erfolgsfaktor für die Entwicklung von Ökosystemen aufgekommen. Vielfach wird nun auch die Bedeutung von Kooperation bei der Besiedlung von Lebensräumen und Nutzung der Ressourcen als ökologisch funktionelles Prinzip betont.⁴⁸³

4.1.2.2 Symbiose

Wenn zwei oder mehrere Arten zu gegenseitigem Nutzen im selben Habitat zusammenleben, spricht man von Symbiose. Dabei werden unterschiedliche Ausprägungen unterschieden:⁴⁸⁴

- Allianz (lockere Partnerschaften)
- Mutualismus (nicht essenzielle regelmäßige Nutzgemeinschaft, die nur partiell auftritt)
- Eusymbiose (lebensnotwendiger Zusammenhalt)

Im Allgemeinen dominieren die beiden ersten Formen der gegenseitigen Bindungen. Im Fall von Parabiose und Kommensalismus profitiert zeitgleich einer der beteiligten Partner, ohne dass der andere einen Nachteil hat, bei der Metabiose geschieht dies zeitlich versetzt.⁴⁸⁵ In manchen Fällen kann es zu einer spezifischen Ko-Evolution zwischen zwei (oder mehr) Arten kommen, die zu völliger gegenseitiger Abhängigkeit in der Eusymbiose führt. Ein besonderes Merkmal ist in diesen Fällen, dass physiologische Beziehungen in Form des Austausches von Stoffen auftreten, die für alle beteiligten Organismen essenziell sind. Evolutionsgeschichtlich betrachtet kommt der Symbiosebildung eine zusätzliche Bedeutung zu. In der Symbiogenese bilden sich durch symbiontische Verschmelzung von zuvor differenzierten Organismen neue Organe und

⁴⁸² Vgl. McCann, Hastings und Huxel (1998), S. 795

⁴⁸³ Vgl. Shouse (2003), S. 645f

⁴⁸⁴ Vgl. Wittig und Streit (2004), S. 66f

⁴⁸⁵ Vgl. Kratochwil und Schwabe (2001), S. 43

Organismen größerer Komplexität.⁴⁸⁶ Durch dieses evolutionäre Prinzip erhält die Symbiose einen neuen Stellenwert, da sich das Prinzip im Lauf der Evolution als sehr erfolgreich erwiesen hat. Ohne Symbiose hätte sich die Vielfalt von Leben auf dem Planeten Erde gar nicht erst entwickeln können und somit hat sie als ein bedeutsames Element der Natur zu gelten, das in der IÖ ein Vorbild für die Ausgestaltung der Technosphäre darstellt. Oder nochmals überspitzt formuliert: Die Ausgestaltung eines ökologischen Systems alleine auf Grundlage des Konkurrenzprinzips ist weniger erfolgversprechend als eine flexible Kombination unterschiedlicher Strategien zur Steuerung von Relationen innerhalb vielschichtiger Systeme. Sowohl Effizienz als auch Effektivität werden durch die Kombination unterschiedlicher Strategien der Steuerung nachweislich gesteigert.

4.1.3 Ökologie und Evolution

Die Entstehung des Lebens auf der Erde und dessen Evolution ist nicht von der Fragestellung nach den „Erfolgsrezepten“ der Natur zu trennen. Die Prinzipien, die bei der Bildung der ersten autokatalytischen Molekülverbände zur Entfaltung kamen, als die ersten Lebensformen entstanden, sollten auch auf komplexere lebensweltliche Phänomene übertragen werden können. In der katalytischen Abgeschlossenheit der sich entwickelnden Lebensformen existiert das Ganze nur aufgrund seiner Teile, die wiederum nur für die Erhaltung des Ganzen existieren. Ganzheitlichkeit ist allem Lebendigen also eine emergente Eigenschaft, die prinzipiell jedem evolutorischen Prozess immanent ist.⁴⁸⁷ Dies gilt auch für die kurzzeitigen ökologischen Prozesse, womit ein Rückgriff auf die gleichen Gesetzmäßigkeiten verbunden ist. Darüber hinaus ist die Entwicklung einer Art im Zeitlauf der Evolution untrennbar mit ihrer Umwelt verbunden.⁴⁸⁸ Durch gegenseitige Rückkopplungen entsteht ein unteilbarer Vorgang, der nicht singular bewertbar ist, sondern sowohl die gegenseitige Abhängigkeit als auch den historischen Prozess als Beobachtungsgegenstand mit einschließen muss.⁴⁸⁹ Aus dem Gesamtprozess der Evolution wird bei differenzierender Betrachtungsweise ein Prozess der fortschreitenden Vernetzung ko-evolutiver Prozesse bei der (Weiter-)Entwicklung des Lebens,

⁴⁸⁶ Vgl. Margulis (1999), S. 48

⁴⁸⁷ Vgl. Kauffmann (1996), S. 109

⁴⁸⁸ Vgl. Kelly (1997), S. 118

⁴⁸⁹ Vgl. Townsend, Harper und Begon (2002), S. 432

denn in der Natur werden Kopplungen einzelner Organismen zu Systemen mit sukzessiv zunehmendem Wirkungsgrad durch die selektive Auswahl innerhalb der Evolution herausgebildet.⁴⁹⁰ Man kann auch sagen, dass Ökosysteme ein memorierendes Abbild aller bislang abgelaufenen naturhistorischen Prozesse darstellen und dass deren Zustand und Funktionalität nur aus der evolutionären Entwicklung durch frühere Zustände hindurch verstanden werden können.⁴⁹¹ Diese Erkenntnis birgt nicht zu unterschätzende Implikationen für die Rolle der Menschheit bei der Einflussnahme auf natürliche Systeme sowie für die Anforderungen an adäquate Anpassungsstrategien, z. B. in Form der Entwicklung einer IÖ. Es fehlt jedoch an Ansätzen für ein umfassendes Verständnis von spontaner Komplexität und naturgesetzlichen Regeln, nach denen sich Einzelteile durch Vernetzung zu neuen Daseinsformen ordnen.⁴⁹² Für eine vollständige logische Durchdringung der optimalen naturverträglichen Industrie-Entwicklung im Sinn einer IÖ wäre solches Wissen insofern hilfreich, als sich Strukturmerkmale herausbilden lassen sollten, die holistisch gesehen nachhaltiges Wirtschaften unterstützen. Dies ist vor dem Hintergrund von Bedeutung, dass die Lebewesen, die in ökologische Interaktion untereinander und mit der „Umwelt“ treten, nur als geschichtliche Wesen widerspruchsfrei erklärt werden können, da sie einerseits nach den Regeln der Ökologie angepasst an ihren Lebensraum agieren und andererseits durch ihre Handlungen diese Umwelt mitgestalten.⁴⁹³ Der Mensch ist nur das extremste Beispiel für diesen allgemeingültigen Umstand, was in Kapitel 5 „Humanökologie“ näher beleuchtet wird. Allerdings muss man auch Unterscheidungen zwischen biologischer und sozio-ökonomischer Evolution vornehmen, um nicht einem naturalistischen Fehlschluss zu unterliegen. Natürliche Evolution vollzieht sich ohne bewussten reflektierenden Akteur auf der molekular-genetischen Ebene durch Anpassung und Auswahl. Sozio-ökonomische Evolution ist dagegen ein bewusst gesteuerter Vorgang, in dem die Akteure bestrebt sind, bestimmte menschliche Ziele zu verfolgen und zu erreichen.⁴⁹⁴ Bemerkenswert ist, dass die erreichten Fortschritte der sozio-ökonomischen Evolution in Schüben vonstatten gingen, die jeweils durch positive Rückkopplungen gekennzeichnet sind. Tendenziell ging es in der Geschichte um die Verbesserung der Lebensbedingungen der Menschen, auch wenn

⁴⁹⁰ Vgl. Rippl (1995), S. 74

⁴⁹¹ Vgl. Steffen, Sanderson, Tyson u.a. (2004), S. 63

⁴⁹² Vgl. Kelly (1997), S. 517

⁴⁹³ Vgl. Trepl (1991), S. 196

⁴⁹⁴ Vgl. Weissmahr (2001), S. 231

dies nicht immer offensichtlich war. Die Umsetzung einer IÖ würde dies jedoch normativ anstreben.

4.2 ORGANISATIONSEBENEN DER LEBENDIGEN NATUR – ÖKOSYSTEME

Um die Aufbau- und Ablaufprinzipien der Lebensprozesse zu verstehen, bietet es sich an, diese in beobachtbare Organisationsebenen einzuteilen. Angefangen bei der Organisationsstruktur der anorganischen bzw. abiotischen Materie über Zellbildung bis hin zur globalen Organisation, unterscheidet man die Rangordnung der Ebenen, deren Komplexität von unten aufsteigend stetig zunimmt.⁴⁹⁵ Betrachtet man ausschnittsweise nur die Bereiche der biologischen bzw. ökologisch relevanten Ebenen, so kann man folgende Abstufung vornehmen:⁴⁹⁶

Zelle → Gewebe → Organ → //Organismus → Population → Biozönose → Ökosystem
→ Landschaft/Ökosystemkomplexe → Ökosphäre/Biosphäre// → Erde

Zwar spielen für das Verständnis der Lebens- und der damit verbundenen metabolischen Prozesse alle Ebenen eine entscheidende Rolle, aus Sicht der Einpassung der menschlichen Aktivitäten in die natürlichen Kreisläufe ist jedoch eine Betrachtung ab der Stufe der Organismen ausreichend. Dies ist auch die Ebene, mit der nach herkömmlichem Verständnis der Aufgabenbereich der wissenschaftlichen Ökologie (im engeren Sinne) beginnt (in Schrägstriche eingefasst). Die betrachteten Systemelemente der Ökosphäre sind nicht gleichmäßig über die Erde verteilt, sondern bilden ein ausgeprägtes räumliches Mosaik, das in der Regel von abiotischen Faktoren bestimmt wird.⁴⁹⁷ Die Regeln und Gesetzmäßigkeiten, die zu diesen Mustern führen, werden für alle Regionen als gleich angenommen.

⁴⁹⁵ Vgl. Haber (1993), S. 30

⁴⁹⁶ Vgl. Haber (2001), S. 73

⁴⁹⁷ Vgl. Kratochwil und Schwabe (2001), S. 19

4.2.1 Begriff Ökosystem

Die Ökosystembetrachtung ist der operationale (natur-)wissenschaftliche Versuch, komplexe real vorkommende Ausschnitte der belebten Welt zu beschreiben und deren Strukturen, Funktionen und die sie verbindenden Prozesse besser zu verstehen.⁴⁹⁸ Dabei werden Ökosysteme als funktionale Einheiten der Biosphäre betrachtet, die ein Wirkungsgefüge aus Organismen und unbelebten natürlichen (und anthropogenen) Umweltfaktoren darstellen, die untereinander und mit ihrer Umgebung in energetischen, stofflichen und informatorischen Wechselwirkungen stehen.⁴⁹⁹ Ökosystemare Zusammenhänge sind in der Regel dadurch gekennzeichnet, dass das Ineinandergreifen von Aufbau, Verbrauch, Umbau und Abbau von Stoffen in unterschiedliche Aggregatzustände zu einem ständigen Kreislauf der Substanzen führt.⁵⁰⁰ Trepl unterscheidet bei der Betrachtung von Ökosystemen zwei grundsätzlich unterschiedliche Herangehensweisen.⁵⁰¹ *Methodologisch* betrachtet sind Ökosysteme lediglich gedankliche Isolate, denen man mit naturwissenschaftlichen Werkzeugen im Sinne der Physik auf den Grund zu gehen versucht, um kausale Zusammenhänge offen zu legen und verallgemeinerbare Prinzipien abzuleiten. *Teleonomisch* betrachtet geht man mit inhaltlichen Annahmen über Ökosysteme und deren Eigenschaften wie Selbstorganisation und Selbstregulation an die Untersuchung der selben.⁵⁰² Inwiefern diese teleonomischen Annahmen jedoch begründbar sind, ist wesentlich schwerer zu bestimmen als die Festlegung von Systemgrenzen beim naturwissenschaftlichen Ansatz, der ohne erkenntnisleitende Vorannahmen auszukommen versucht.⁵⁰³ Phänomenologisch sind (gedanklich abgegrenzte) Ökosysteme einer ständigen Wandlung unterworfenen Gebilde, deren „Grenzen“ sich in Raum und Zeit verändern, ebenso wie deren Metabolismen.⁵⁰⁴ Ontologisch gesehen ist es zwar durchaus möglich, ein Ökosystem real als solches in der Natur zu identifizieren,⁵⁰⁵ die konstruktivistische Definition ist jedoch universaler und soll im weiteren Verlauf erkenntnisleitend sein. Das Ökosystemkonzept birgt auch kon-

⁴⁹⁸ Vgl. Steinborn (2000), S. 3f

⁴⁹⁹ Vgl. Bick (1998), S. 23

⁵⁰⁰ Vgl. Haber (1993), S. 17

⁵⁰¹ Vgl. Trepl (1987), S. 194ff

⁵⁰² Teleonomisch wird hier im Sinne der Zweckgerichtetheit ohne letztendlichen Zweck (oder Ziel) verstanden.

⁵⁰³ Vgl. Weil (2004), S. 74

⁵⁰⁴ Vgl. Reichholf (1998), S. 107

⁵⁰⁵ Vgl. Jax, Vareschi und Zauke (1993), S. 119

zeptionelle Probleme in sich, da die Systemabgrenzung aus oben genannten Gründen nicht immer eindeutig festzulegen ist. Ein Ökosystem kann aus wissenschaftlicher Sicht also über- oder unterbestimmt sein, was die Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus den gemachten Beobachtungen nicht unwesentlich beeinflusst.⁵⁰⁶ Die konzeptionelle Betrachtung natürlicher Vorgänge durch die Brille der Ökosystemforschung überträgt vereinfachende Elemente aus der ingenieurwissenschaftlich orientierten Systemtheorie auf Phänomene, die durch kaum modellierbare Komplexität gekennzeichnet sind. Darunter fällt auch die Tatsache, dass Ökosysteme die Prinzipien der Thermodynamik in ihren Mustern des Wachstums und der Entwicklung widerspiegeln.⁵⁰⁷ Dabei gilt es, die wechselwirkenden biologischen, physikalischen und räumlichen Differenzierungen des Ökosystembegriffes zu berücksichtigen.⁵⁰⁸ Deshalb erscheint die holistische Perspektive, die durch die Verbindung und strukturelle Ähnlichkeit biologischer, physikalischer und technischer Systeme in der allgemeinen Systemtheorie gefunden werden kann, als zeitgemäßer Ansatz.⁵⁰⁹ Das Phänomen des Auftretens von Ordnungen in großen komplexen Systemen, die sich in ihren Mustern bis zu den Anfängen des Lebens hin zurückverfolgen lassen, lässt den Schluss zu, dass Emergenz ein grundsätzliches Prinzip ist, das natürlichen und sozialen Systemen zu Grunde liegt und damit ein systemtheoretischer Ansatz ein ideales Bindeglied für die transdisziplinäre Betrachtung des anthropogenen Metabolismus mit der Natur darstellt.⁵¹⁰ Das Auftreten von Komplexität ist hierbei als direkte Folge der sich im Laufe der Evolution ständig weiterentwickelnden ökologischen Interaktionen zu betrachten.⁵¹¹

Biozönose und Biotop

Die Gesamtheit aller Organismen eines eingrenzbaeren Lebensraumes wird als Biozönose (biotischer Anteil des Ökosystems) bezeichnet.⁵¹² Sie stellt den organischen Anteil eines Ökosystems dar, wobei das Biotop das anorganische Gegenstück dazu ist. In einem „abgrenzbaren“ Biotop findet sich ein qualitativ und quantitativ an die

⁵⁰⁶ Vgl. Sagoff (2003), S. 537

⁵⁰⁷ Vgl. Schneider und Kay (1994), S. 41

⁵⁰⁸ Vgl. Wiegand (2003), S. 17

⁵⁰⁹ Vgl. Gönner (2001), S. 9

⁵¹⁰ Vgl. Kauffmann (1996), S. 20

⁵¹¹ Vgl. Maron (2004), S. 5

⁵¹² Vgl. Wittig und Streit (2004), S. 86

ökologischen Verhältnisse angepasstes Organismenkollektiv ein, das durch Selbstregulation gekennzeichnet ist und durch innere Aktivität stets einem den ökologischen Randbedingungen adäquaten Fließ-Gleichgewicht zustrebt.⁵¹³ Es ist jedoch zu beachten, dass die dabei auftretenden Zusammenhänge innerhalb der autokatalytischen Netzwerke (oder Nahrungsnetze, wie später beschrieben) in ihrer Topologie nicht eindeutig linear verlaufen, sondern häufig mehrere Zwischenschritte und Zwischenprodukte enthalten, die über Verzweigungen und Schleifen miteinander verbunden sind.⁵¹⁴ Die Ökosystemtheorie nähert sich diesem Phänomen an.

4.2.1.1 Offenheit der Systeme

Bei Ökosystemen handelt es sich grundsätzlich um offene Systeme, die mit ihrer Umgebung Stoffe, Energie und Information austauschen.⁵¹⁵ Durch die eingestrahelte Sonnenenergie (Exergie) erhalten sie ihre Systemeigenschaften aufrecht und optimieren sich im Zeitablauf auf die am Standort gegebenen Grundvoraussetzungen hin, wobei die Menge an im System genutzter Energie in der Regel bis zu einem Klimax-Stadium zunimmt.⁵¹⁶ Sie bilden dabei (bei Ausbleiben externer Störungen) zunehmend komplexe Strukturen aus.⁵¹⁷ Die zu Grunde liegenden Prozesse werden diverser, wobei in der Regel eine historisch zunehmende Anzahl trophischer Stufen und Arten von Organismen auftreten.⁵¹⁸ Dabei werden die das System auszeichnenden Funktionen und Eigenschaften wie Produktion und Respiration bzw. Strukturen, Muster, Komplexität, Heterogenität, Strukturvielfalt, Hierarchisierung, (dissipative) Selbstorganisation, Emergenz, Resilienz, Stoffretention und Entropieentwicklung fortwährend angepasst.⁵¹⁹ Innerhalb des Systemkomplexes sind auf Mikro- und Meso-Ebene Subsysteme anzunehmen, die miteinander interagieren und rekursive Prozesse entwickeln, die sich als Muster bildende Strukturmerkmale identifizieren lassen.⁵²⁰ Die Makroökologie versucht aus all diesen Ökosystemeigenschaften die typischen Muster herauszufinden, die Rück-

⁵¹³ Vgl. Wegmann (Hrsg. 1987), S. 63

⁵¹⁴ Vgl. Fränze (2000), S. 162

⁵¹⁵ Allerdings wird der Begriff der Information in der vorliegenden Arbeit nur angerissen und nicht vertieft werden.

⁵¹⁶ Vgl. Schneider und Kay (1994), S. 43

⁵¹⁷ Vgl. Wiggering und Hahn (2001), S. 62

⁵¹⁸ Vgl. Kay, Allen, Fraser u.a. (2001), S. 122

⁵¹⁹ Vgl. EAC Sweden (Hg 2002), S. 13f und Steinborn (2000), S. 4

⁵²⁰ Vgl. Steinborn (2000), S. 3

schlüsse auf grundlegende Prinzipien oder Gesetzmäßigkeiten zulassen.⁵²¹ Zu den weitestgehend bewiesenen Prinzipien gehört die generelle Erkenntnis, dass durch zunehmende Verästelung und Vernetzung im Rahmen der Standortbedingungen die Stoff- und Energieverluste innerhalb eines Ökosystems minimiert werden. Trotzdem sind energetische Verluste von einer trophischen Stufe zur nächsten unvermeidlich, da die Aufrechterhaltung der Lebensprozesse auf jeder Stufe selbst nur unter Aufwendung von Energie vonstatten gehen kann.⁵²²

4.2.1.2 Mittelfristige Systemeigenschaften

Das Wirkungsgefüge von Lebewesen und deren anorganischer Umwelt zeichnet sich dadurch aus, dass es offen für „äußere“ Einflüsse sowie Stoff- und Energieströme ist und zu einem gewissen Grad zur Selbstregulation fähig ist, die zu Stabilität um eine oder eine begrenzte Anzahl von mittleren Nulllagen führt.⁵²³

Ökologische Systemstabilität zeichnet sich also nicht dadurch aus, dass ein System in einem zeitlich konstanten Zustand verharrt, denn Ökosysteme unterliegen ständigen periodischen oder aperiodischen Veränderungen.⁵²⁴ Es sind bei gegebenen Rahmenbedingungen an einem Ort mehrere Gleichgewichtszustände möglich. Diese multiple Stabilität lässt sich nicht an einem bestimmten Systemzustand festmachen. Jedes systemrelevante Ereignis kann das Ökosystem von einem Stabilitätszustand in einen anderen befördern. Stabilität meint in diesem Zusammenhang die Fähigkeit, auf Störungen zu reagieren und die Funktion des Biotops für die Biozönose aufrecht zu erhalten. Man unterscheidet dabei drei Arten von Reaktionen, unter denen alle beobachteten natürlichen Phänomene kurz- bis mittelfristiger ökosystemarer Stabilität subsumiert werden:⁵²⁵

- *Konstanz*: Systemparameter bleiben in der gleichen Größenordnung durch Pufferung oder Regulation

⁵²¹ Vgl. Marquet (2000), S. 1487

⁵²² Vgl. Wittig und Streit (2004), S. 107; Der Wirkungsgrad in Form festgelegter Biomasse aus der aufgenommenen organischen Substanz liegt je nach Organismus zwischen 1 % und 40 %. Im Schnitt gehen bei jedem Übergang von einer trophischen Stufe zur nächsten 90 % der organisch gebundenen Energie in Form von Wärmeabstrahlung verloren!

⁵²³ Vgl. Wittig und Streit (2004), S. 103; Systemtheoretisch als Attraktoren bezeichnet.

⁵²⁴ Vgl. Wissel (1995), S. 128f

⁵²⁵ Vgl. Wittig und Streit (2004), S. 104 und Wiegleb (2003), S. 75

- *Persistenz*: Das System ist resistent gegenüber äußeren Störungen und bleibt unverändert
- *Resilienz*: Es erfolgt eine elastische Reaktion auf Störungen und das System kehrt mehr oder weniger schnell zum Ausgangszustand zurück oder findet einen neuen funktionellen Gleichgewichtszustand

Die Reaktionsweisen hängen auch von der Schwere der Störung (des Eingriffs) und vom Entwicklungsstand des betroffenen Ökosystems ab.⁵²⁶ Die Wahrscheinlichkeit einer persistenten Reaktion nimmt mit der relativen Schwere der Störung ab. Die absolut notwendige Bedingung für die Stabilität eines Ökosystems liegt also in der Fähigkeit zur Resilienz. Die Resilienz von komplexen Systemen lässt sich an drei Merkmalen ermesen:⁵²⁷

1. Dem Umfang von Veränderungen, dem das System unterliegen kann, ohne in einen anderen Status zu wechseln
2. Dem Maß an Fähigkeit zur Selbstregulation
3. Dem Maß, in dem das System in der Lage ist zu lernen und zu adaptieren

Die Diversitäts-Stabilitäts-These geht davon aus, dass ein Ökosystem umso stabiler ist, je komplexer es aufgebaut ist, d. h. je mehr interagierende Elemente es enthält.⁵²⁸ Diese These ist allerdings heftig umstritten,⁵²⁹ wobei die meisten Freilandbeobachtungen und Laborversuche eher für diese These sprechen, die von nicht zu unterschätzender Bedeutung für die Übertragung auf die Technosphäre ist, da dort bezogen auf Stoff- und Energieströme bislang vollkommen andere Gesetzmäßigkeiten vorherrschen als die von den natürlichen Ökosystemen bekannten. Ebenso wichtig ist die Differenzierung funktionaler Ökosystemeigenschaften.

⁵²⁶ Vgl. Dobson (2003), S. 1488

⁵²⁷ Vgl. Folke (2004), S. 287

⁵²⁸ Diese Fragestellung wird weiter unten in Abschnitt 4.2.4.3 vertieft.

⁵²⁹ Vgl. Townsend, Harper und Begon (2002), S. 470f; Manche Modelle in der theoretischen Ökologie suggerieren sogar, dass wachsende Komplexität eines Ökosystems zu Instabilität führt, was den Schluss zulässt, dass der Zusammenhang zwischen Stabilität und Komplexität eines Ökosystems nicht notwendig zwingend oder zumindest kontextabhängig ist. Allerdings lässt sich beobachten, dass zunehmende Artenvielfalt sowohl mit einer Verringerung als auch einer Zunahme des durchschnittlichen Verknüpfungsgrades einhergehen kann, was einer natürlichen Tendenz zur variablen Gestaltung von Komplexität gleichkommt; Letztendlich hängt die Ausformung von der Variabilität der Umweltbedingungen ab; spezifische Stabilität und Umweltvariabilität beeinflussen sich gegenseitig; Vgl. ebda. S. 399f

4.2.2 Funktionelle Organismengruppen im Ökosystem

Funktionalität in Ökosystemen meint die spezifischen Relationen einer Organismengruppe zu den biotischen und abiotischen Elementen und deren Bedeutung für das übergeordnete Ganze.⁵³⁰ Innerhalb eines Ökosystems werden drei funktionelle Hauptgruppen unterschieden:⁵³¹ Primärproduzenten, Sekundärproduzenten (= Konsumenten) und Transformanden (Reduzenten und Destruenten).⁵³² Innerhalb dieser Gruppen gibt es weitere Unterteilungen für Organismen mit spezifischen Eigenschaften. Diese werden bei der vorgenommenen Einteilung durch die vereinfachende Schematisierung jedoch teilweise nicht explizit differenziert. Unregelmäßige Sonderfälle im Stoffkreislauf werden dadurch nicht abgebildet, auch wenn sie große funktionale Bedeutung für das Ganze haben.⁵³³ Solche funktionalen und strukturellen Bindeglieder gehören zu einem funktionierenden Gesamtsystem, weshalb ihr Auftreten auch im Hinblick auf eine IÖ im Einzelfall berücksichtigt werden muss. Darüber hinaus können Einzelorganismen mehrere der o. g. funktionalen Bedeutungen für ein Ökosystem verkörpern. Allen diesen funktionalen Organismengruppen ist gemeinsam, dass sie zur Aufrechterhaltung der eigenen Lebensfunktionen Energie und Materie bedürfen und deshalb immer auch als Konsumenten auftreten. Am „Anfang“ der meisten biotischen Prozesse stehen die autotrophen Primär-Produzenten, die mit Hilfe von eingestrahelter Sonnenenergie aus anorganischen Grundstoffen organische Stoffe produzieren. Sehr selten sind hingegen Prozesse, die aus stofflichen Kompartimenten Energie zum Aufbau organischer Substanz verwenden, wie z. B. Eisenbakterien,⁵³⁴ weshalb diese hier vernachlässigt werden. Konsumenten ernähren sich von den lebenden Organismen, wobei man Herbivoren (Pflanzenfresser), Karnivoren (Fleischfresser) und Saprofagen (diese ernähren sich von toter organischer Substanz) unterscheidet. Letztere leiten abgestorbene organische Substanz zu den Destruenten (Zersetzer) weiter, die abgestorbene und zerkleinerte organische Substanzen wieder zu anorganischen Substanzen mineralisieren.⁵³⁵ Nach dem Zersetzungsprozess stehen alle Stoffe in ihrer ursprünglichen Form wieder zur Primärproduktion zur Verfügung, nachdem sie zumeist mehrere trophische Stufen durchlaufen

⁵³⁰ Vgl. Valsangiacomo (1998), S. 43

⁵³¹ Vgl. Sterr (2003), S. 14

⁵³² Dies wird in Abschnitt 4.2.2 vertieft.

⁵³³ Vgl. Martin (2002), S. 180

⁵³⁴ Vgl. Reichholf (1998), S. 38

⁵³⁵ Vgl. Townsend, Harper und Begon (2002), S. 122

haben. Dabei unterscheidet man zwei Haupttypen von Nahrungsketten, die Weidekette und die Detrituskette. Erstere basiert auf den Grünpflanzen als Grundlage, letztere auf dem Detritus aus den jeweiligen Konsumentengruppen bzw. der Primärproduzenten. Diese grundsätzliche Zweiteilung des Gesamtsystems lässt sich logisch strukturell auf den Ansatz der IÖ übertragen. Diese ist nur umsetzbar, wenn der Produktionswirtschaft eine adäquate Reduktions- bzw. Reproduktionswirtschaft zur Seite gestellt wird.⁵³⁶

Produktion, Konsumtion und Reduktion als rekursive Prozesse

Jede der trophischen Stufen stellt für die nachfolgende eine notwendige Ausgangsbedingung dar, die die Gesamtproduktivität des Systems mitbestimmt.⁵³⁷ Jeder konsumtive Vorgang ist also für die folgende trophische Stufe ein produktiver Prozess, genauso wie die Funktion der Destruenten und Reduzenten ein selbstzweckmäßiger konsumtiver Vorgang ist, der zum Erhalt der eigenen Lebensfunktionen und damit des Gesamtsystems beiträgt, das sich als geschlossener Kreislauf darstellt und im engeren Sinn keinen Anfang und kein Ende kennt. Alle hier vorgenommenen Klassifizierungen sind also erkenntnislogischer Natur und sollen zum Verständnis der Prozesse beitragen. Die Funktionalitäten sind zwar notwendige Grundphänomene des Ganzen, entspringen jedoch den autopoietischen Steuerungsmechanismen aus Zufall, Angebot und Nachfrage. Auf jeder trophischen Stufe geht ca. 80 % der Energie gegenüber der vorhergehenden Stufe zur Aufrechterhaltung der Lebensprozesse verloren. Der Selbstzweck der Erhaltung der eigenen Lebensfunktionen durch den Metabolismus ist damit der dominierende Faktor innerhalb jedes Ökosystems.

Langfristige Entwicklungen

Die sehr langfristige Betrachtung der Wirkungen ökologischer Prinzipien führt zu den Erkenntnissen der Evolution, die ohne Veränderungen an Ökosystemen und Organismen gar nicht stattfinden würde. Ökologische und evolutionäre Prozesse sind grenzenlos ineinander verschränkte Prozesse, die einander bedingen und letztendlich

⁵³⁶ Vgl. Liesegang (2002), S. 3

⁵³⁷ Vgl. Odum und Reichholf (1980), S. 67

den gleichen Gesetzmäßigkeiten unterliegen.⁵³⁸ Evolutionsökologie befasst sich mit den Selektionsfaktoren der Umwelt, die zu einer Weiterentwicklung von Populationen und deren Organismen führen.⁵³⁹ Ein wichtiger Faktor bei der Selektion ist der Konkurrenzdruck, der Populationen zu ständiger Anpassung zwingt. Wie hat man sich also nachhaltige Stabilitätskriterien aus Sicht der Ökologie vorzustellen? Zwar verlangt das Leitbild der Nachhaltigkeit, dass Ökosysteme auf allen räumlichen Ebenen nahe ihrem natürlichen Zustand gehalten werden sollen, doch ist dieser Zustand nicht immer eindeutig festzulegen. Deshalb erfordert Nachhaltigkeit im ökologischen Sinn ein Höchstmaß an Offenheit und Flexibilität, wobei die Zielsetzungen ständiger Überprüfung bedürfen. Denn nicht Stabilität ist ein typischer ökologischer Zustand, sondern vielmehr der Wandel unter sich ändernden Randbedingungen wie z. B. Schwankungen bei der Ressourcenbasis oder bei klimatischen Veränderungen.⁵⁴⁰ Betrachtet man ein natürliches Ökosystem als Netzwerk, ist zu beobachten, dass es dazu tendiert, sowohl die Verknüpfungszahl pro Netzwerkknoten zu regulieren, als auch den Grad, also die Stärke der einzelnen Verbindungen in Abhängigkeit von der Komplexität der Verknüpfungen zu steuern.⁵⁴¹ Deshalb befindet sich ein Ökosystem im engen Sinne nie in einem Gleichgewicht (im herkömmlichen Sinne eines stationären Zustandes) sondern in einem kontinuierlichen Prozess der Justierung und des Fließens zwischen verschiedenen Zuständen, dem sogenannten Fließgleichgewicht.⁵⁴² Die Beständigkeit liegt in der Fähigkeit zur Veränderung bzw. in der Anpassungsfähigkeit an Veränderungen der Rahmenbedingungen, die sowohl jahreszeitlichen als auch jährlichen Schwankungen unterliegen und die sowohl episodisch als auch periodisch ausfallen können. So müssen Phasen von Überfluss oder Mangel bestimmter lebensnotwendiger Stoffe innerhalb des Systems ausgeglichen werden, da diese Schwankungen in der Natur unvermeidlich und im episodischen Fall nicht antizipierbar sind. Die sehr unterschiedlichen Zeithorizonte sind bei der Untersuchung von Stabilitäts- und Gleichgewichtszuständen von immenser Bedeutung.⁵⁴³ Ohne das Zusammenspiel auf unterschiedlichen zeitlichen Ebenen zu

⁵³⁸ Vgl. Reichholf (1998), S. 21; Ähnlich ist es mit langfristigen gesellschaftlichen oder ökonomischen Prozessen: Die Evolution der Wirtschaft ist das Ergebnis ständiger Anpassungsprozesse an sich ändernde Bedingungen auf Märkten oder unter sich wandelnden Steuerungsmechanismen.

⁵³⁹ Vgl. Wegmann (1987), S. 96

⁵⁴⁰ Vgl. Reichholf (1998), S. 88

⁵⁴¹ Vgl. Kelly (1997), S. 150

⁵⁴² Vgl. Wittig und Streit (2004), S. 106f

⁵⁴³ Vgl. Thompson, Reichman, Morin u.a. (2001), S. 19

verstehen, sind ökologische und evolutionäre Prozesse wissenschaftlich kaum erklärbar. Dies gilt auch für die Übertragung auf eine IÖ.

4.2.3 Energetische und stoffflussorientierte Ökosystemeigenschaften

Stoff- und Energieströme sind in Ökosystemen untrennbar miteinander verbunden.⁵⁴⁴ Deshalb ist es notwendig, beide Größen als grundsätzlich gemeinsam auftretende Dualität zu betrachten (wie die zwei Seiten einer Medaille). Stoffliche Betrachtungen erbringen ohne die Berücksichtigung der dahinter stehenden energetischen Prozesse nur eingeschränkten Sinn. Nutzbare Energie für die Lebensprozesse ist ab den Primärproduzenten nur stoffgebunden verfügbar. Die konsumierenden Glieder der Nahrungskette werden deswegen auch als chemotroph bezeichnet.⁵⁴⁵ Deshalb werden in der Regel in der Ökologie Stoff- und Energieströme gemeinsam betrachtet und eine getrennte Betrachtung nur zu analytischen Zwecken vorgenommen. Beide Ströme unterscheiden sich jedoch auch grundsätzlich: Die Stoffe unterliegen einem ständigen Kreislauf durch die Ökosysteme, Energie wird nur einmal von einem Organismus verwendet, dabei zum größten Teil in Wärme umgewandelt und geht damit dem Ökosystem verloren.⁵⁴⁶ Ohne ständigen Energiezufluss auf die Erde könnte das Leben nicht aufrechterhalten werden und auch die biologisch-organischen Stoffflüsse würden versiegen.⁵⁴⁷ Die Stoffumwandlungsprozesse und der Metabolismus werden zu 98,98 % von der solaren Energie angetrieben. Die restlichen 0,02 % steuern die Gravitationskräfte der Erde, die Gezeitenwirkung und innerirdische Thermalkräfte bei.⁵⁴⁸ Ohne den Energiefluss gäbe es keine Stoffströme und ohne Stoffströme keinen Energiefluss außer der Wärmeproduktion an der Erdoberfläche. Die Stoff- und Energieflüsse, die ein Ökosystem durchströmen, können anhand ausgewählter Kompartimente beobachtet werden. Die dabei zu Tage tretenden Muster werden als Nahrungsnetze bezeichnet.⁵⁴⁹

⁵⁴⁴ Vgl. Hall, Wallace und Eggert (2000), S. 3445f

⁵⁴⁵ Vgl. Sartorius (1999), S. 428

⁵⁴⁶ Vgl. Odum (1999), S.57

⁵⁴⁷ Vgl. Callenbach (2000), S. 30f

⁵⁴⁸ Vgl. Müller (1991), S. 312

⁵⁴⁹ Vgl. Wilhelm (2003), S. 2

4.2.3.1 Nahrungsnetze

Das Prinzip der Nahrungsnetz-Ökologie hat als holistisches Konzept den demgegenüber reduktionistisch anmutenden Ansatz der reinen Interaktions-Ökologie weitgehend abgelöst, da es die komplexen Ströme innerhalb eines Ökosystems besser abbildet.⁵⁵⁰ Nahrungsnetze sind eine der wichtigsten Determinanten zur Beschreibung der trophischen Interaktionen innerhalb von Ökosystemen.⁵⁵¹ Es ist davon auszugehen, dass die Struktur eines Nahrungsnetzes die Eigenschaften eines Ökosystems wesentlich bestimmt.⁵⁵² Jeder Knotenpunkt in einem Nahrungsnetz steht für eine Population von Organismen, die eine bestimmte Biomasse darstellt und einen bestimmten Betrag von Exergie pro Zeiteinheit verwendet. Verbindungen zwischen den Knoten stellen den Fluss von einer Art zur nächsten in Form der Nahrungsaufnahme dar. Die Effizienz dieses Übergangs lässt sich an der Höhe des Energieverlustes zwischen den trophischen Stufen ermessen. Je reifer ein Ökosystem unter bestimmten Rahmenbedingungen entwickelt ist, desto höher ist die zu erwartende Energieeffizienz der Lebensprozesse.⁵⁵³ Allerdings ist das Zusammenspiel physikalischer und chemischer Prozesse beim Fluss biologisch aktiver Moleküle noch nicht tiefgreifend erforscht und so fehlt es in vielen Zusammenhängen an explizitem Wissen zum vollständigen Verständnis der natürlichen Lebensvorgänge.⁵⁵⁴ Innerhalb der funktionellen Netzwerke kommt es zu ständigen dynamischen Fluktuationen, was die mengenmäßige und strukturelle Verbreitung der beteiligten Organismengruppen betrifft. Die dem zu Grunde liegenden Rückkopplungen innerhalb und zwischen den trophischen Stufen, die darüber hinaus durch externe Einflüsse mitbestimmt werden, sind noch lange nicht vollständig erklärt.⁵⁵⁵ Die zeitliche Dynamik innerhalb eines Ökosystems hängt besonders von der Struktur des sich darin ausbildenden Nahrungsnetzes ab, das von Fall zu Fall sehr spezifische Ausprägungen annehmen kann. Dennoch lassen sich gewisse Gesetzmäßigkeiten bei der Ausbildung von großen Nahrungsnetzen feststellen:⁵⁵⁶

⁵⁵⁰ Vgl. Schoener (1989), S. 1559

⁵⁵¹ Vgl. Maron (2004), S. 5

⁵⁵² Vgl. Thébault und Loreau (2003), S. 14949

⁵⁵³ Vgl. Kay, Allen, Fraser u.a. (2001), S. 132

⁵⁵⁴ Vgl. May (1999), S. 1957

⁵⁵⁵ Vgl. Berryman (2001), S. 312

⁵⁵⁶ Vgl. Lässig, Bastolla, Manrubia u.a. (2001), S. 4419, Martin (2002), S. 186 und Wilson (1997), S. 24

- Jede Art lebt auf einer bestimmten trophischen Stufe, die die minimale Länge ihrer abwärtsgerichteten Nahrungskette bestimmt (Stufe 1 sind die Produzenten, die ihre Nahrung aus den „externen“ Quellen des Ökotops gewinnen)
- Die Anzahl trophischer Stufen bewegt sich zwischen 3 und 7
- Die meisten konsumierenden Arten haben eine begrenzte Anzahl von Arten (in der Regel 3) als Beute zur Verfügung, zumeist aus der vorigen trophischen Stufe
- Die Anzahl der Arten nimmt mit ansteigender trophischer Stufe ab und erst auf der Ebene von Destruktion und Reduktion wieder zu
- Das Prädator/Beute-Verhältnis beträgt in der Regel unabhängig von der Anzahl der trophischen Stufen und des Betrachtungszeitraumes ca. $1/1$ ⁵⁵⁷
- Die Gesamtproduktivität eines Ökosystems sinkt, wenn das Nahrungsnetz an einer oder mehreren Stellen unterbrochen wird
- Es liegen häufig multiple nichtlineare Interaktionen vor, die sowohl synergetische als auch kontraproduktive Effekte nach sich ziehen können
- Jede trophische Stufe wird entweder durch ihre zur Verfügung stehenden Ressourcen (bottom-up) oder durch Prädation (top-down) oder durch eine Kombination beider Prinzipien limitiert

Aus all diesen Strukturmerkmalen bilden die meisten Nahrungsnetze ein typisches Muster, aus dem man Rückschlüsse über deren Beschaffenheit ziehen kann. Entscheidend ist hierbei, dass sich die Muster in langwierigen Anpassungsprozessen ausbilden und sowohl von der ko-evolutiven Dynamik der beteiligten Spezies als auch von limitierenden Faktoren seitens der Ressourcen bestimmt werden, die sich wiederum wechselseitig beeinflussen.⁵⁵⁸ Die zu Grunde liegenden Prozesse unterliegen dabei einer erheblichen zeitlichen Dynamik. Das heißt, jeder Prozess der Mutation und Anpassung oder Spezialisierung bzw. Einwanderung und Auswanderung von Arten auf einer der trophischen Stufen hat raumzeitliche Auswirkungen auf alle anderen trophischen Stufen des Öko-

⁵⁵⁷ Dabei unterscheidet man reine Konsumenten als Endglieder von Nahrungsnetzen, intermediäre Arten die als Prädator und Beute auftreten und basale Beute am untersten Ende des Nahrungsnetzes; Sie kommen statistisch in etwa im Verhältnis 3:5:2 vor, was zumindest tendenzielle Ableitungen von Gesetzmäßigkeiten ermöglicht, wobei das Verhältnis nichts über den Anteil an der gesamten beteiligten Biomasse aussagt, was jedoch für die ökologischen Zusammenhänge von mindestens ebenso großer Bedeutung ist; Tendenziell nimmt das Gesamtgewichtsverhältnis im Verlauf der Entwicklung eines Ökosystems zu Gunsten der Prädatoren zu, was an den unterschiedlichen generationellen Umschlagszeiten liegt.

⁵⁵⁸ Vgl. Martin (2002), S. 281

systems. Die gegenseitige Bezogenheit der Entwicklungen auf den unterschiedlichen Stufen bestimmt die historische Entwicklung eines jeden Ökosystems und dessen Muster des Nahrungsnetzes, wobei es eine große Vielfalt unterschiedlicher Ausprägungen in Verteilung und Konnektivität gibt. Deshalb ist ein generelles strukturell-funktionales Verständnis von Nahrungsnetzen unterschiedlichster Ökosysteme ein guter Ausgangspunkt für die universelle Erklärung biologischer und nicht-biologischer Netzwerke und deren „optimaler“ kontextbezogener Architektur.⁵⁵⁹ Ein Umstand, der für die Entwicklung einer IÖ von größter Bedeutung ist.

4.2.3.2 Stoffströme bzw. Stoffkreisläufe

Alle Organismen sind für die Aufrechterhaltung ihrer Funktionen auf die Aufnahme von Stoffen oder stoffgebundener Energie angewiesen. Die Stoffe werden im Organismus umgewandelt, teilweise in morphologischen Strukturen fixiert, teilweise in veränderter Form wieder an die Umwelt abgegeben. Die Muster der Flüsse von Stoffen innerhalb der Ökosysteme sind wesentlich durch die lebenden Organismen determiniert.⁵⁶⁰ Jeder biologische Einzelorganismus funktioniert für sich dabei nach dem einfachen Muster der Durchflusswirtschaft. Biologische Prozesse sind individuell in der Regel so angelegt, dass ein Organismus Stoffe und Energie aufnimmt und wieder abgibt, ohne dessen Herkunft oder Verbleib zu reflektieren oder dafür zu sorgen, dass Quellen und Senken erhalten bleiben.⁵⁶¹ Ein Organismus für sich ist nicht zur Kreislaufführung von Stoffen in der Lage. Die Kreislaufführung der Stoffe kommt erst durch das komplexe Zusammenspiel aller ein Ökosystem belebenden Organismen zustande, ohne das eine dauerhafte Existenz von Leben nicht denkbar wäre. Strukturell bietet es sich an, autotrophe, also sich von anorganischer Materie selbständig ernährende, und heterotrophe, sich von der Körpersubstanz oder Stoffwechselprodukten anderer Organismen ernäh-

⁵⁵⁹ Vgl. Dunne, Williams und Martinez (2002), S. 12921; Wobei insbesondere die zeitliche Entwicklung von Netzwerken und ihr Reifegrad einer der bestimmenden Kontextfaktoren ist, was es besonders schwierig macht, die entsprechenden ökologischen Erkenntnisse zumeist reifer Nahrungsnetze auf technosphärische Netze zu übertragen, die sich in einer frühen Entwicklungsphase befinden; Am besten lassen sich noch netzwerkbezogene Stabilitätskriterien für „funktionierende“ reife Netzwerke als eine Art Idealszenario für hohen Entwicklungsstand als Zielsetzung übertragen.

⁵⁶⁰ Vgl. Townsend, Harper und Begon (2002), S. 474

⁵⁶¹ Vgl. Althaus (1992), S. 59

rende Individuen zu unterscheiden.⁵⁶² Dies entspricht der funktionalen Gliederung von Organismengruppen. Dabei sind die Beziehungen zwischen Produktions- und Abbauprozessen von größter Bedeutung für die Biosphäre. Zwischen diesen beiden Prozessen sind die Stoffe als organische Substanz in den Organismen gebunden. Ökosystemare Kreisläufe sind auf mehreren räumlichen und zeitlichen Ebenen gleichzeitig ablaufende Stoffaustauschprozesse. Räumlich kann man den Rahmen vom Metabolismus eines Organismus über den ökosystemaren Kreislauf bis hin zu den globalen Kreisläufen in der Hydro- und Atmosphäre aufspannen. Letztere sind besonders für die Gaia-Hypothese von Bedeutung.⁵⁶³ Dabei werden organische und anorganische Stoffe im globalen Maßstab über große Distanzen vor allem durch Wind und Wasser verlagert und die Zusammensetzung der großen Biome Atmosphäre und Ozean gesteuert. Zeitlich variieren die Stoffströme vom Tag-Nacht-Rhythmus der Pflanzenatmung über lunare und Jahresrhythmik bis hin zur Bildung und Speicherung fossiler Stoffablagerungen in Jahrmillionen.⁵⁶⁴ Diese mehrdimensional aufgespannten Räume greifen jeweils mehrfach ineinander und bedingen sich gegenseitig, da durch sie ständig die physikalischen und organischen Umgebungsbedingungen beeinflusst werden. Jede höher aggregierte Betrachtungsebene ist dabei auf das Funktionieren der sie konstituierenden Systemelemente (die niedriger aggregierten Ebenen) angewiesen, ohne die die Austauschprozesse nicht als geschlossener Kreislauf funktionieren könnten. Deshalb werden solche Beziehungen auch als „holarchisch“ bezeichnet.⁵⁶⁵ Bei ihrem Weg durch das oder die Ökosysteme durchlaufen die ursprünglich mineralischen Stoffe zumeist mehrere Stufen des Einbaus in unterschiedliche Organismen, bevor sie wieder in mineralisierter Form vorliegen. Die einzelnen Ebenen, die die Stoffe innerhalb der Nahrungskette bzw. -pyramide durchlaufen, sind die trophischen Stufen.⁵⁶⁶

Kreisläufe

Die schon früh in der ökologischen Forschung angenommene Eigenschaft der ständigen Kreislaufführung sowohl organischer als auch anorganischer Materie von ökologischen

⁵⁶² Vgl. Wegmann (Hrsg. 1987), S. 44 und S. 117

⁵⁶³ Vgl. Odum (1999), S. 23f

⁵⁶⁴ Vgl. Kalusche (1999), S. 92ff

⁵⁶⁵ Dabei handelt es sich um ein Kofferwort aus holistisch und hierarchisch.

⁵⁶⁶ Vgl. Townsend, Harper und Begon (2002), S. 395

Systemen ist das lebensnotwendige Grundprinzip des natürlichen Metabolismus.⁵⁶⁷ Man kann dies auch als ständige Umwandlung und Wiederaufarbeitung von Stoffen und deren Wechselwirkungen zwischen organischer und anorganischer Substanz interpretieren.⁵⁶⁸ Dies entspricht einem Energiefluss über alle trophischen Stufen von Organismengruppe zu Organismengruppe, kann sich aber auch in kleinräumigeren Kreisläufen abspielen. Die meisten Pflanzen sind auf „interne“, sehr nahe gelegene Recyclingkreisläufe angewiesen, die in einem direkten Feedback knappe, aber notwendige Nährstoffe in kurzen Rückkopplungsschleifen wieder verfügbar machen.⁵⁶⁹ Je effizienter – also verlustfreier – diese Prozesse ablaufen, desto produktiver ist das gesamte Ökosystem. Ohne diese Vorgänge wären die meisten Ökosysteme nicht überlebensfähig, da sie auf die Grundproduktion der Primärproduzenten angewiesen sind. Hinzu kommt, dass durch unterschiedliche Wege der Verfrachtung (Fraß, Wind, Erosion) ein beträchtlicher Teil der vor Ort erzeugten Biomasse und somit auch der darin gebundenen spezifischen Nährstoffe aus dem raumzeitlichen Kontext des Ökosystems entfernt wird. Am „Ende“ (das es in dem Sinn in einem Kreislauf nicht gibt, das aber aus dem lebensweltlichen Verständnis heraus den letzten Übergang von organischer zurück zu anorganischer Materie markiert) steht in jedem raumzeitlichen Kontext eines der wichtigsten funktionellen Glieder der Kette: Die Zersetzung abgestorbener organischer Materie ist einer der wesentlichsten Teile der Stoffumsätze in Ökosystemen, da die in den toten Organismen gebundenen Materialien ansonsten für den Kreislauf der Lebensprozesse verloren (weil an die tote Substanz gebunden und deponiert) wären.⁵⁷⁰ Dabei spielen eine Vielzahl spezialisierter Mikroorganismen eine Rolle, da die Zusammensetzung und Konsistenz toter organischer Substanzen sehr unterschiedlich ausfällt. Das führt zu sehr heterogenen Abbaugeschwindigkeiten der unterschiedlichen Bestandteile abgestorbener Organismen und zu starker raumzeitlicher Differenzierung der Wiederverfügbarkeit der durch die Lebensprozesse in Organismen gebundenen Substanz. Letztendlich stehen jedoch die meisten Stoffe in ihrer atomaren oder molekularen Ursprungsform wieder zur Verfügung, wenn auch raumzeitlich über

⁵⁶⁷ Vgl. Schwarz (2000), S. 270f

⁵⁶⁸ Vgl. Schramm (1999), S. 231ff

⁵⁶⁹ Vgl. Daufresne und Hedin (2005), S. 9212

⁵⁷⁰ Vgl. Odum (1999), S. 32

verschiedene Skalen verteilt.⁵⁷¹ Dies wird einer der zentralen Punkte für die Ausgestaltung einer IÖ sein, denn nur aus dieser Logik heraus, die bei den derzeitigen Produktionsbedingungen fast gesetzmäßig verletzt wird, lässt sich die ökologische Krise in ihrem kompletten Umfang erfassen. Die Geschwindigkeit von Produktion und Reduktion ist nicht ausgeglichen, wie dies in ökologischen Systemen zumeist der Fall ist.⁵⁷² In der Natur sind bei schwankenden Rahmenbedingungen (z. B. jahreszeitliche Energieversorgung) starke saisonale Schwankungen im Bereich der Artenzusammensetzung und damit der Stoffflüsse möglich.⁵⁷³ Dies bedeutet jedoch keinesfalls eine Einschränkung ihrer Funktionalität, sondern ist eine ihnen inhärente Eigenschaft, mit der alle Akteure im Ökosystem leben können. Diese flexiblen Ökosystemeigenschaften spiegeln sich als alternierend wiederkehrende Muster in Form von ähnlichen Nahrungsnetzen über unterschiedliche raumzeitliche Horizonte wider.⁵⁷⁴ Feuer spielt dagegen beim Abbau oder Umbau toter oder lebender organischer Materie in mineralisierte Stoffe in der Natur eine untergeordnete Rolle und tritt nur in seltenen speziellen Ökosystemen regelmäßig auf.⁵⁷⁵ So zum Beispiel vorwiegend in borealen Wäldern und in der Savanne.⁵⁷⁶ Hier gehört Feuer als Teil der Kreislaufprozesse zum natürlichen Verhalten so genannter selbstorganisierter kritischer Systeme bei bestimmten (seltenen) Phasenübergängen.⁵⁷⁷ In den meisten anderen Fällen wirkt es jedoch eher als Störung der angestammten Kreislaufprozesse. Ein Umstand, der den Begriff „thermische Verwertung“, der für bestimmte Entsorgungsvorgänge in der Technosphäre euphemistisch verwendet wird, bei der Übertragung ökologischer Prinzipien auf das Produktionssystem in etwas anderes Licht rückt.

Stoffverluste

Man sollte den Kreislaufgedanken darüber hinaus nicht zu eng interpretieren, denn auch in ökologischen Systemen kommt es zur dauerhaften Ablagerung von organischen Substanzen und somit zu einem Entzug aus dem Kreislauf, wenn sich kein Konsument

⁵⁷¹ Vgl. Korhonen (2005), S. 37

⁵⁷² Vgl. Yang und Lay (2004), S. 1012

⁵⁷³ Vgl. Townsend, Harper und Begon (2002), S. 423

⁵⁷⁴ Vgl. Cotgreave und Forseth (2002), S. 199ff

⁵⁷⁵ Vgl. Kalusche (1999), S. 48

⁵⁷⁶ Vgl. Steffen, Sanderson, Tyson u.a. (2004), S. 50f

⁵⁷⁷ Vgl. UFZ (Hrsg. 2001), S. 8

dafür findet oder sie nicht in der verfügbaren Menge konsumiert werden.⁵⁷⁸ Manche dieser Ablagerungen in Sedimenten haben erst zur Zusammensetzung der derzeitig vorzufindenden Atmosphäre und Ökosphäre mit ihren günstigen Lebensbedingungen geführt und sind somit unabdingbarer Bestandteil der evolutionären Entwicklung des Ganzen.⁵⁷⁹ Darüber hinaus sind die Kreisläufe raumzeitlich nicht vollkommen voneinander abgeschlossen. Erst in der globalen sowie erdgeschichtlichen Perspektive kommt man wieder zu einem raumzeitlich kompletten Kreislauf. Diesen zu untersuchen fällt der Geologie und der Paläoökologie zu. Prinzipiell gilt jedoch das Kreislaufpostulat aus ökologischer Sicht für den größten Anteil der an den Lebensprozessen beteiligten Materie und ist somit für eine IÖ von besonderer Relevanz.

4.2.4 Dynamik in Ökosystemen

Physikalisch betrachtet ist Energie der Fähigkeit gleichzusetzen, Arbeit zu verrichten. Allerdings wird diese Ansicht durch den zweiten Hauptsatz der Thermodynamik (Entropiegesetz) eingeschränkt.⁵⁸⁰ Dieser besagt, dass physikalische und chemische (oder auch biologische) Prozesse innerhalb eines (geschlossenen) Systems zu einer Verringerung der Qualität der vorhandenen Energie führen und die Menge an für Arbeit verwendbarer Energie (Exergie) abnimmt.⁵⁸¹ Diese Energie ist nach der Verrichtung von Arbeit noch als Wärme im System vorhanden, steht aber nicht mehr zur Nutzung zur Verfügung. Das gilt im weitesten Sinn auch für die energetischen Vorgänge in der belebten Natur. Jeder Organismus ist zur Aufrechterhaltung seiner Lebensfunktionen, insbesondere zur Aufrechterhaltung des Metabolismus, auf Energie angewiesen. Allerdings handelt es sich bei den Öko-Systemen auf der Erde um offene Systeme, für die das Entropiegesetz erweitert werden muss. Offene Ökosysteme bilden dissipative Struk-

⁵⁷⁸ Vgl. Sterr (2003), S. 34

⁵⁷⁹ Dies gilt insbesondere für den in den fossilen Ablagerungen eingelagerten Kohlenstoff, der vor dem Auftreten des Lebens auf der Erde in Form von CO₂ einen der Hauptbestandteile der Atmosphäre ausmachte, was ganz andere Lebensbedingungen als die heutigen nach sich zog; Das impliziert ganz nebenbei, dass eine Rückgängigmachung dieser in geologischen Zeiträumen veränderten Atmosphärenzusammensetzung zur Ausbildung neuer Lebensbedingungen auf der Erde führen wird – eben jenen, die in der aktuellen Klimadiskussion verschiedentlich prognostiziert werden, wobei trotz der nachgewiesenen natürlichen Variabilität des Klimas von einem messbaren Einfluss des Menschen ausgegangen wird, der sich mit der Industrialisierung extrem beschleunigt hat; Vgl. Mosbrugger (2000), S. 18ff und Frenzel (2000), S. 38ff

⁵⁸⁰ Vgl. Backhaus (1998), S. 7ff

⁵⁸¹ Vgl. Schneider und Kay (1994), S. 27

turen aus, die sich durch Energie- und Materialflüsse über die Systemgrenzen aufrechterhalten und ohne diese Möglichkeit zusammenbrechen würden. Sie entgehen damit dem irreversiblen Strom in Richtung thermodynamisches Gleichgewicht (maximale Entropie) und halten die eigenen Systemeigenschaften auf einem stabilen Zustand (Steady state) geringerer Entropie auf Kosten erhöhter Entropie des sie umgebenden Systems.⁵⁸² Dies geschieht, indem die eingestrahlte Energie im Ökosystem über die unterschiedlichen trophischen Stufen degradiert wird.⁵⁸³ Der Energiefluss ist einer der Schlüssel zum Verständnis von Strukturen und Funktionen der Ökosysteme.⁵⁸⁴ Genau wie der Nahrungsstrom durchläuft die Energie die trophischen Stufen in Folge. Es handelt sich dabei um die pro Zeiteinheit gemessene Festlegung von Strahlungsenergie in chemischer Bindungsenergie auf einer trophischen Stufe sowie die Weitergabe als in der Nahrung gespeicherte energiereiche Verbindungen.⁵⁸⁵ Die weitergegebene Energie nimmt von Stufe zu Stufe ab, da auf jeder Stufe Verluste durch Respiration bei der Aufrechterhaltung der Lebensprozesse auftreten und die aufgenommene Nahrung energetisch nicht nur zum Aufbau energiereicher morphologischer Strukturen verwendet wird.⁵⁸⁶ Grundsätzlich gelten für die energetischen Vorgänge in Ökosystemen die beiden Hauptsätze der Thermodynamik. Nach dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik fließt die Energie schrittweise durch die einzelnen Trophiestufen. Er beschreibt die Raum-Zeit-Struktur des Energieflusses durch das Ökosystem.⁵⁸⁷ Wärme steht dabei grundsätzlich am Ende jeder Energieumwandlungskette und steht bei freier Dissipation nicht mehr zur Verrichtung von Arbeit zur Verfügung. Dies entspricht zunehmender Entropie. Dafür nimmt jedoch der Ordnungsgrad der biologischen Strukturen zu, die unter Energieaufwand gestaltet werden. Da es sich bei ökologischen Systemen auf der Erde um offene Systeme handelt, die die von der Sonne eingestrahlte Energie aufnehmen und verwenden, wird dem entropischen Verfallsprozess, der letztendlich im Wärmetod⁵⁸⁸ enden würde, entgegen gewirkt, was sich in den Ordnungsstrukturen der unterschiedlichen Erscheinungen des Lebens widerspiegelt. Je komplexer bzw. „reifer“

⁵⁸² Vgl. Chen (2002), S. 1

⁵⁸³ Vgl. Schneider und Kay (1994), S. 45

⁵⁸⁴ Vgl. Odum (1999), S. 42

⁵⁸⁵ Vgl. Streit (1994), S. 28

⁵⁸⁶ Vgl. Kalusche (1999), S. 110

⁵⁸⁷ Vgl. Müller (1991), S. 312

⁵⁸⁸ Der letztendlich dem totalen thermodynamischen Gleichgewicht mit vollkommener Gleichverteilung der Energie entsprechen würde

diese biologischen Ordnungsstrukturen ausgestaltet sind, desto mehr der eingestrahnten Energie wird innerhalb des Systems genutzt und in Lebensprozesse umgesetzt. Trotzdem sind die einzelnen Lebensprozesse dem Entropiegesetz unterworfen, ein Umstand, der auch für alle Artefakte der Technosphäre gilt.

4.2.4.1 Thermodynamik der Ökosysteme

Schon bei den Primärproduzenten wird ein Großteil der eingestrahnten Sonnenenergie reflektiert, bei der Absorption wird ein weiterer Teil direkt in Wärme umgewandelt, ein Teil wird für den Wasser- und Nährstofftransport innerhalb des Organismus gebraucht und ein weiterer Teil für die Respiration.⁵⁸⁹ Die tatsächlich im Pflanzenkörper festgelegte Energie (Emergie⁵⁹⁰) beträgt also nur einen Bruchteil der Energieeinstrahlung.⁵⁹¹ Dabei wird aber in der Regel die im Kreislauf verbleibende Energie qualitativ aufgewertet, strukturell also innerhalb des Systems der Entropie entgegengewirkt.⁵⁹² Die Primärproduzenten brauchen den größten Teil der eingestrahnten Sonnenenergie für den Transport von Wasser und Nährstoffen durch den eigenen Organismus, also für die Aufrechterhaltung des eigenen Metabolismus. Den größten respiratorischen Wärmeverlust unter den funktionellen Organismengruppen verursachen in den meisten Lebensgemeinschaften die Zersettersysteme, weil sie auch für den größten Teil der Sekundärproduktion verantwortlich sind.⁵⁹³ So ist der Energiefluss im detritischen Nahrungsgefüge, das auf abgestorbener organischer Materie basiert, um ein Vielfaches höher als im Nahrungsnetz der Herbivoren.⁵⁹⁴ Dies ist ein Umstand, der beim Übertragen natürlicher Ordnungsprinzipien auf die Anthroposphäre von besonderer Bedeutung ist, denn es ist offensichtlich, dass die meiste in Lebensprozesse fließende Energie für

⁵⁸⁹ Vgl. Kay, Fraser, Luvall u.a. (2001), S.128

⁵⁹⁰ Emergie ist das Maß an (Sonnen-)Energie, das zum Aufbau einer spezifischen geordneten Struktur aufgewendet werden musste.

⁵⁹¹ Vgl. Streit (1994), S. 30; Für einen nordamerikanischen Laubmischwald wurden folgende Werte ermittelt: 15 % Reflexion, 41 % Absorption und direkte Umwandlung in Wärme, 42 % für Wasser- und Nährstofftransport, 2 % für die Photosynthese (wovon die Hälfte für Respiration gebraucht wird) → die Nettoprimärproduktion beträgt ca. 1 % der eingestrahnten Sonnenenergie; Auf jeder folgenden trophischen Stufe gehen jeweils ca. 80-90 % dieser organisch gespeicherten Energie durch Wärmeabstrahlung „verloren“, weshalb man auch von Nahrungspyramiden spricht.

⁵⁹² Vgl. Odum (1999), S. 44 ; Die Energiedichte im Holz eines Baumes ist höher als die Energiedichte der Sonnenenergie, die das Wachstum ermöglicht hat.

⁵⁹³ Vgl. Townsend, Harper und Begon (2002), S. 464

⁵⁹⁴ Vgl. Streit (1994), S. 32

die Wiederbereitstellung der in Umlauf gebrachten Stoffe aufgewendet wird, was zum großen Teil Aufgabe von Mikroorganismen ist. Für jedes betrachtete Ökosystem kann festgestellt werden, dass Mikroorganismen die Grundlage für das Funktionieren aller verbundenen Ebenen bilden. Sie leisten die Grundlagenarbeit der elementaren Kreisläufe des Lebens und erschließen die Kreisläufe aller Nährstoffe und Ressourcen.⁵⁹⁵ Die Entropie innerhalb eines Ökosystems wird dadurch reduziert, dass hochwertige Energie (Exergie) aufgenommen wird, Ordnungsstrukturen aufgebaut werden und niederwertige Energie (Wärme oder Anergie) als Entropie in die Umgebung (für die Erde ist dies das All) abgegeben wird.⁵⁹⁶ Die insgesamt in die Ökosysteme eingestrahlte Energie wird somit zum größten Teil respiriert und zu einem kleinen Teil in der Biomasse der Organismen eingelagert. Dieses Verhältnis kann man als thermodynamische Ordnungsfunktion betrachten. Der ökologische Turnover⁵⁹⁷ als Maß für den Durchsatz von Energie durch ein Ökosystem wird aus dem Verhältnis von Respiration (in Joule) zur gesamten Biomasse (in Kalorien bzw. Joule) des Systems berechnet und auch als Maß für die Erhaltung der Struktur des Ökosystems angesehen. Umgekehrt kann man schließen, dass mit Zunahme der Biomasse in einem System die entropischen Instandhaltungskosten ansteigen. Die abgestrahlte Wärme ist aber nur im engeren Sinn verloren, da sie für weitere lebensnotwendige Ökosystemeigenschaften wie Temperatur, Wassertransport und Windverhältnisse zur Verfügung steht. Nur für die direkte Nutzung durch Organismen steht sie nicht mehr zur Verfügung. Am Ende der Nahrungskette ist die ursprünglich eingestrahlte Sonnenenergie fast vollständig in Wärme umgewandelt. Einzige Ausnahme bildet die Speicherung von toten organischen Materialien, die heute als fossile Energieträger zur Verfügung stehen. Die Bedeutung der Thermodynamik lässt sich wie folgt zusammenfassen:⁵⁹⁸

„When an isolated system performs a process after the removal of a series of internal constraints, it will reach a unique state of equilibrium: this state of equilibrium is independent of the order in which the constraints are removed.”

Man spricht hier vom Gesetz des stabilen Gleichgewichts von Hatsopoulos und Keenan. Diesem naturgesetzlichen Drang zur Entropie mit eindimensionalem Zeitpfeil kann nur

⁵⁹⁵ Vgl. Kelly (1997), S. 178

⁵⁹⁶ Vgl. Steinborn (2000), S. 6

⁵⁹⁷ Vgl. Wegmann (Hrsg. 1987), S. 325

⁵⁹⁸ Schneider und Kay (1994), S. 28

durch die Öffnung des Systems und Einführung von Energie entgegengewirkt werden. Genau dies trifft jedoch auf Ökosysteme zu, die damit innere Entropie gegen äußere Entropie eintauschen. Ein Umstand, der genauso für das anthropogene ökonomische System zutrifft. Abschließend ist zu konstatieren, dass der letztmögliche limitierende Faktor für die Entfaltung von Leben in Form von Organismen, was mit verringerter „innerer Entropie“ fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht gleichgesetzt werden kann, die „von außen“ verfügbare Exergie darstellt. Dies ist ein Punkt, der bei der Übertragung auf die Industrielle Ökologie von essenzieller Bedeutung ist.

4.2.4.2 Stabilität und Gleichgewichte in Ökosystemen

Das dichte Netzwerk physikalischer und chemischer Kommunikation in Ökosystemen führt zu selbststeuernden Regulationsmechanismen, aufgrund derer man sie als kybernetische Systeme betrachten kann.⁵⁹⁹ Die Steuerungsmechanismen führen tendenziell dazu, Ökosysteme in einem Zustand der Homöostase (Fließgleichgewicht als stationäre Entropie) zu halten, der funktionell durch die Stoff- und Energieströme (Zu- und Abflüsse) sowie strukturell durch die Abundanz von Spezies (Biodiversität) charakterisiert ist.⁶⁰⁰ Thermodynamisch entspricht das einem Fließgleichgewicht (auch Steady state) fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht, bei dem sich der Abfluss von Entropie und der Zufluss von Negentropie mittelfristig ausgleichen.⁶⁰¹ Es handelt sich um ein dynamisches Gleichgewicht mit der das System umgebenden Umwelt. Systemintern wird dieser Austausch zur Aufrechterhaltung der Lebensvorgänge gebraucht. Wesentliche Prinzipien sind hierbei das regelmäßige Auftreten von negativen Rückkopplungen und die Diversität des Stoffwechsels, die im Normalfall dazu führen, dass ein Ökosystem nach einer „Störung“ wieder einen von mehreren möglichen Gleichgewichtszuständen anstrebt. Diese Eigenschaft kann grundsätzlich mit dem Begriff der Stabilität umschrieben werden.⁶⁰² Dabei fällt auf, dass ein Ökosystem, nachdem

⁵⁹⁹ Vgl. Odum (1999), S. 36

⁶⁰⁰ Vgl. Binswanger (1994), S. 174

⁶⁰¹ Vgl. Valsangiacomo (1998), S. 219; Negentropie ist niedrigere Entropie und entspricht einem höheren Ordnungszustand.

⁶⁰² Vgl. Leakey und Lewin (1996), S. 186

es nach einer Störung die Phasen der Sukzession⁶⁰³ durchlaufen hat, in der Regel einen „dauerhaften“ Reifezustand (Klimax) erreicht, der durch hohe Stabilität und geringere Störanfälligkeit gekennzeichnet ist als die frühen Phasen der Sukzession.⁶⁰⁴ Ökosysteme „lernen“ also im Zeitablauf, ihre Reaktionsfähigkeit auf Störungen zu verbessern, indem sie ihre Resilienz (flexible Reaktionsfähigkeit) und Persistenz (Widerstandsfähigkeit) steigern und neue Eigenschaften entwickeln, die unreifen Ökosystemen fehlen. Allerdings kann es auch bei „gleichen“ Ausgangsbedingungen zu völlig unterschiedlichen Ausprägungen von Artenzusammensetzung und Nahrungsnetzen kommen, die jedoch alle für sich gesehen die Eigenschaften hohe Stabilität und Gleichgewicht aufweisen. Die Begriffe Gleichgewicht und Stabilität zeichnen sich hierbei durch eine gewisse Ungenauigkeit aus, die sehr viel Interpretationsspielraum offen lässt.⁶⁰⁵ Der Begriff der Stabilität ist durch die Vielzahl der möglichen Betrachtungsebenen sehr weit gefasst, weil er sich auf unterschiedlichste räumliche Dimensionen vom Einzelorganismus bis zum globalen System und auf unterschiedliche zeitliche Dimensionen beziehen kann.⁶⁰⁶ Bilanziert man real gemessene Stoffkreisläufe einzelner Ökosysteme, so tritt das Phänomen auf, dass diese (räumlich und zeitlich begrenzten) Bilanzen im engeren Sinn meistens nicht ausgeglichen sind. Für einzelne Stoffe treten sowohl positive Bilanzen (Stoffzuwachs im Ökosystem) als auch negative (Stoffverluste) auf.⁶⁰⁷ Nur global betrachtet sind diese Bilanzen ausgeglichen, abgesehen von astronomischen Einträgen in Form von Meteoriten. Für einzelne Ökosysteme konstatieren manche Autoren auch typisch chaotisches Verhalten, das den Systemen selbst inhärent ist.⁶⁰⁸ Es ist aber noch nicht geklärt, was diese von der bisher dominierenden Stabilitätsannahme abweichenden Phänomene auslöst. Es zeigt einmal mehr, dass die Ökologie als Wissenschaft längst nicht am Ende ihres Erkenntnisprozesses angelangt ist und die Chaos-Theorie neue Zugänge zum Verständnis natürlicher Prozesse ermöglichen kann.⁶⁰⁹ Die synergetischen Eigenschaften von natürlichen physikalischen, chemischen oder biologischen Prozessen lassen zum einen unterschiedliche Gleichgewichtszustände aus einem Set von Aus-

⁶⁰³ Historisch stufenweise Besiedlung von Lebensräumen.

⁶⁰⁴ Vgl. Leakey und Lewin (1996), S. 202

⁶⁰⁵ Vgl. Pimm (1991), S.4

⁶⁰⁶ Vgl. Kalusche (1999), S. 129

⁶⁰⁷ Vgl. Streit (1994), S. 33f

⁶⁰⁸ Vgl. Leakey und Lewin (1996), S. 192f

⁶⁰⁹ Vgl. Solé, Gamarra, Ginovart u.a. (1999), S. 1187ff

gangsbedingungen zu, zum anderen sind diese möglichen Gleichgewichte äußerst empfindlich gegenüber Störungen. Dies kann schon bei kleinen Umweltänderungen zu starken Schwankungen auf der makroskopischen Ebene führen.⁶¹⁰ Minimale Abweichungen können sowohl zu Anordnungen in Mustern höherer Ordnung führen als auch zur vollständigen Zerstörung vorliegender Muster und zur Bildung neuer Muster. Darüber hinaus sind zeitliche Schwankungen von ökosystemaren Eigenschaften wie Produktivität, Gesellschaftsdynamik und funktionaler Ausdifferenzierung innerhalb eines als stabil zu bezeichnenden bzw. sich im Gleichgewicht befindlichen Ökosystems ein den irdischen Lebensvorgängen inhärentes Phänomen, dessen Zusammenhänge noch nicht vollständig geklärt sind.⁶¹¹

Steuerungsprinzipien

Die Betrachtung der Gleichgewichtszustände wirft die Frage nach der Kontrolle der Vorgänge in den Nahrungsnetzen auf. Der Ansatz der Top-down-Kontrolle geht davon aus, dass die Struktur einer Lebensgemeinschaft von den oberen trophischen Ebenen abhängt, bei der Bottom-up-Kontrolle hängt die Strukturbildung von den Faktoren ab, die eine trophische Stufe von der Ressourcenseite her bestimmen.⁶¹² Es lassen sich daraus sehr unterschiedliche erklärende Zusammenhänge für die Musterbildung in Ökosystemen ableiten. Ein Nahrungsnetz stellt so etwas wie die Landkarte dar, die die funktionellen Strukturen einer komplexen Lebensgemeinschaft aufzeigt.⁶¹³ Zwar sehen durch Ökologen visualisierte Nahrungsnetze häufig sehr kompliziert aus⁶¹⁴ und legen auf den ersten Blick die Vermutung nahe, jedes Ökosystem sei durch eine individuelle Struktur gekennzeichnet, es lassen sich jedoch grundsätzliche Muster und Gesetzmäßigkeiten über die Länge, gemessen über die Anzahl der beteiligten trophischen Stufen und das Zahlenverhältnis von Räubern und Beutetieren, ermitteln.⁶¹⁵ Die Ordnungen, die sich darin widerspiegeln lassen vermuten, dass sie aus der inneren Dynamik der Systeme entstehen, die sich in ihren Gesetzmäßigkeiten gleichen.⁶¹⁶

⁶¹⁰ Vgl. Haken (1983), S. 92

⁶¹¹ Vgl. Thompson, Reichman, Morin u.a. (2001), S. 19

⁶¹² Vgl. Townsend, Harper und Begon (2002), S. 394

⁶¹³ Vgl. Pimm, Lawton und Cohen (1991), S. 669

⁶¹⁴ Vgl. Post (2002), S. 271 und Yodzis (2000), S. 262

⁶¹⁵ Vgl. Christian und Luczkovich (1999), S. 100

⁶¹⁶ Vgl. Leakey und Lewin (1996), S. 200f und Hall und Raffaelli (1991), S. 823

Selbstorganisation

Beim Versuch, diese komplexen dynamischen Systeme zu verstehen, spielt die Selbstorganisationstheorie eine zunehmende Rolle bei der Ableitung von Erklärungen.⁶¹⁷ Auch hier gibt es das Phänomen sich als Muster wiederholender Strukturen beim Übergang von chaotischen zu geordneten Zuständen. Ungeordnete materielle Zustände gehen aus einer Vielzahl von Wechselwirkungen auf und zwischen allen Ebenen im System in einen „geordneten Zustand“ über, was sich in der Bildung emergenter Muster, zumeist auf der Makroebene des Systems, niederschlägt.⁶¹⁸ Allerdings lassen sich im Rahmen der Entwicklung natürlicher komplexer Systeme auch Phänomene wie das der *selbstorganisierten Kritikalität* beobachten, das sich darin äußert, dass ein stabiles komplexes System nach kleinen Änderungen eines internen oder externen Parameters durch eine Kettenreaktion in einen anderen Systemzustand übergeht, der in keinem linearen Verhältnis zur Änderung des Parameters steht.⁶¹⁹ Je komplexer ein solches System aufgebaut ist, desto weniger ist dieses Verhalten vorhersehbar. Je größer die Folgereaktion auf die Änderung ist, desto unwahrscheinlicher wird das Ereignis. Dies sind Phänomene, die für die Übertragung natürlicher Vorgänge auf technosphärische Systeme zu berücksichtigen sind, da der Erfolg von einzelnen Maßnahmen nur im Gesamtkontext überprüft werden kann.

4.2.4.3 Artenvielfalt bzw. Diversität und Stabilität

Die Verteilung und Anzahl von Arten in der Biosphäre bildet auf den unterschiedlichen Beobachtungsebenen Makro-, Meso- und Mikroebene spezifische zeitliche und räumliche Muster aus. Sie ist äußerst variabel.⁶²⁰ Die Untersuchung dieser Muster ist neben den Gesichtspunkten, die diese Muster bedingen, der Funktion, die die Diversität für das Ökosystem erfüllt und der Bedeutung der Diversität für den Menschen im Rahmen der Analyse der Diversität von Belang. Umstritten ist in der ökologischen Diskussion und in der Debatte um ökologische Ethik, ob und welcher Wert an sich der Artenvielfalt in

⁶¹⁷ Vgl. Schweitzer (1994), S. 97

⁶¹⁸ Vgl. Abubakr (2003), S. 6

⁶¹⁹ Vgl. Bahlmann und Peußner (2003), S. 55

⁶²⁰ Vgl. Schaefer (1997), S. 241

natürlichen Zusammenhängen zuzumessen ist und ob es einen eindeutigen Zusammenhang zwischen Diversität und Stabilität in Form der Resilienz in Ökosystemen gibt.⁶²¹ Dabei ist zu beachten, dass der Begriff der Biodiversität ein vielschichtiger ist, da Biodiversität

- die intraspezifische genetische Vielfalt innerhalb einer Art,
- die Vielfalt zwischen den Sippen einer Art oder
- die interspezifische Gesamtvielfalt innerhalb von Ökosystemen beschreiben kann.

Damit ergibt der Begriff der Diversität eine umfassende Umschreibung der Bedingungen für funktionierende Lebensvorgänge.⁶²² Es gilt die Fragen zu klären, ob Stabilität ein grundsätzliches natürliches Phänomen ist, das grundlegende Bedeutung für den Fortbestand von Lebensformen hat und welchen Einfluss die Diversität auf diese Eigenschaft hat. Gibt es eine positive Korrelation zwischen den beiden Phänomenen und lässt sich eindeutig sagen, dass Stabilität in Ökosystemen den Lebensprozessen und der Evolution förderlich ist oder ist dies eine interpretierende Konstruktion?⁶²³ Es ist noch nicht grundlegend geklärt, ob es einen fundamentalen Zusammenhang zwischen Diversität und Stabilität gibt, weshalb noch wenig über die tatsächlichen Folgen der Ausrottung von Arten und des Nachrückens anderer Arten bekannt ist.⁶²⁴ Dies ist besonders für die Bewertung der anthropogenen Umweltveränderungen von Belang. Empirisch scheint sich der Umstand zu erhärten, dass eine hohe Diversität sowohl die Funktionalität als auch die Produktivität innerhalb von Ökosystemen erhöht und somit auch einen Beitrag zur evolutiven Entwicklungsfähigkeit leistet.⁶²⁵ Das gilt sowohl für phänotypische als auch interspezifische Diversität. Dies ist in erster Linie auf die größere Passgenauigkeit der spezifischen Merkmale der verschiedenen Arten bezüglich der ökosystemaren Eigenschaften bzw. die größere Bandbreite an Reaktionsmöglichkeiten auf deren

⁶²¹ Vgl. McCann (2000), S. 228ff

⁶²² Vgl. Geisendorf, Gronemann, Hampicke u.a. (1998), S. 145

⁶²³ Vgl. May (1999), S. 1954; Der wissenschaftliche Versuch, Ökosysteme mittels Zufallsvariablen in Modellen zu simulieren, führte in dieser Frage zu widersprüchlichen Ergebnissen; In der Natur kann man durchaus auch die Beobachtung machen, dass komplexere Ökosysteme dynamisch fragiler sind und sich durch hohe Volatilität auszeichnen, wobei die „Wertung“ dieses Umstandes von der Definition des Begriffes der Stabilität abhängt (man kann sie z. B. auf die Artenzusammensetzung beziehen oder auf die Entwicklung der Populationen).

⁶²⁴ Vgl. Gleich, Maxeiner, Miersch u.a. (2002), S. 96

⁶²⁵ Vgl. Tilman (2001), S. 10979

Schwankungen zurückzuführen.⁶²⁶ In der Regel ist damit auch ein höherer Ausnutzungsgrad der verfügbaren Ressourcen und im Ergebnis die Entstehung von mehr Biomasse pro Zeit- und Raumeinheit verbunden.⁶²⁷ Dies entspricht einer höheren Produktivität bei verminderten Ressourcenverlusten und wird als Hypothese umso stichhaltiger und relevanter, je größer die betrachteten zeitlichen und räumlichen Dimensionen sind.⁶²⁸ Das unterstreicht zusätzlich die Bedeutung der Konnektivität innerhalb und zwischen unterschiedlichen Ökosystemen. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von der „biologischen Versicherung“ (insurance hypothesis⁶²⁹), weil die funktionelle Kompensation etwaiger Ausfälle durch eine Vielzahl an biologischen Arten eher gewährleistet ist. Dies ist insbesondere an zwei Effekten abzulesen:

- Die zeitliche Varianz der Produktivität wird geringer
- Der absolute Wert der Produktion organischer Substanz nimmt zu

Der Umfang dieser Effekte hängt davon ab, wie die beteiligten Einzelorganismen auf Umweltveränderungen reagieren, wie asynchron diese Reaktionsweisen zeitlich ablaufen und wie diese Reaktionen im Detail aussehen. Alle drei Größen korrespondieren in systemspezifischer Weise, je nach Artenzusammensetzung und deren Einzelreaktionen auf Umweltänderungen, nach der Gesamtzahl der Arten und der Anzahl der trophischen Stufen. Ein weiterer Punkt ist die Frage, inwiefern sich Diversität auf die Produktivität eines Ökosystems auswirkt. Eine häufig vertretene These ist hierbei, dass bei knappen Ressourcen die Bedeutung der Vielfalt für die Gesamtproduktivität eines Ökosystems zunimmt.⁶³⁰ Dieser Zusammenhang ist für eine IÖ von essenzieller Bedeutung.

Stabilität und Produktivität

In Sukzessionsprozessen als Abfolge ineinander übergehender Phasen der Neubesiedlung von Standorten (nach einer starken Störung) ist der Prozess der Zunahme und ständigen Änderung der Artenvielfalt im Zeitablauf bis zur Bildung einer Klimaxgesellschaft ein zwingender Vorgang.⁶³¹ Es entwickelt sich eine Art Dominoeffekt, bei dem rekursive Entwicklungsprozesse aufeinander einwirken, die jeweils die Ansiedlung

⁶²⁶ Vgl. Norberg, Swaney, Dushoff u.a. (2001), S. 11376

⁶²⁷ Vgl. Tilman, Lehman und Thomson (1997), S. 1860

⁶²⁸ Vgl. Loreau, Mouquet und Gonzales (2003), S. 12765

⁶²⁹ Vgl. Yachi und Loreau (1999), S. 1463

⁶³⁰ Vgl. Mulder, Uliassi und Doak (2001), S. 6704

⁶³¹ Vgl. Wegmann (Hrsg. 1987), S. 301

neuer Arten im Habitat ermöglichen. Die Artenvielfalt nimmt so lange zu, bis das Verschwinden von Arten durch die veränderten Bedingungen im Gleichgewicht mit der Anzahl der hinzukommenden Arten ist und pendelt sich um den sogenannten Klimaxzustand ein.⁶³² Allgemein spricht viel für die These, dass eine höhere Biodiversität in einem Ökosystem mit höherer Resilienz und Produktivität einhergeht und damit eine höhere Stabilität ermöglicht, da zum einen vielfältigere Reaktionsmuster auf Störungen von einer reicheren Auswahl an Beziehungen profitieren und zum anderen, weil eine Vielzahl spezialisierter Arten mit den unterschiedlichen Limitfaktoren eines Ökosystems flexibler haushalten kann.⁶³³ Trotzdem herrschen unterschiedliche Hypothesen über die Bedeutung einzelner Arten innerhalb eines Ökosystems vor. Neben der „Nullhypothese“, dass es keinen Zusammenhang zwischen Diversität und Stabilität eines Ökosystems gäbe, existieren noch die „idiosynkratische Hypothese“, nach der solch ein Zusammenhang nicht vorhersagbar sei, eine „Redundanzhypothese“, die von einer allgemeinen Tendenz zur Kompensation fehlender Ökosystemglieder ausgeht sowie eine Hypothese, dass jede Art für ein Ökosystem von so großer Bedeutung ist, dass ihr Fehlen zu funktionalen Störungen führt.⁶³⁴ Letztere Hypothese ist jedoch empirisch so gut wie widerlegt, da das beschleunigte Aussterben von Arten in vielen Ökosystemen nicht zum totalen Zusammenbruch geführt hat und neue Arten deren „Funktion“ im ökosystemaren Zusammenhang übernommen haben. Die Produktivität der betroffenen Ökosysteme ist davon jedoch häufig negativ betroffen. Da die funktionalen Zusammenhänge innerhalb eines Ökosystems nur selten vollständig bekannt sind, sind all diese Hypothesen als gleichwertig zu betrachten und mit hoher Wahrscheinlichkeit kontextrelativ gültig.⁶³⁵ Dies vor dem Hintergrund, dass mit der Veränderung der Diversität zumeist auch andere Variationen relevanter Größen in Ökosystemen einhergehen. Zumindest ist regelmäßig zu beobachten, dass die Diversität mit Ansteigen der trophischen Stufen abnimmt, im Gegensatz dazu jedoch die Störanfälligkeit bei Verschwinden einer Art zunimmt.⁶³⁶ Hier scheint es also einen Systemzusammenhang zu geben, dass bei

⁶³² Vgl. Townsend, Harper und Begon (2002), S. 439

⁶³³ Vgl. Chapin, Walker, Hobbs et.al. (1997), S. 500

⁶³⁴ Vgl. Kratochwil und Schwab (2001), S. 38

⁶³⁵ Das bedeutet für diese wichtige Ökosystemeigenschaft, dass für eine Übertragung auf den Ansatz der Industriellen Ökologie alle Hypothesen abhängig von der produktionsbezogenen Fragestellung auf ihre Aussagekraft hin überprüft werden müssen und man ebenfalls zu kontextrelativen Lösungsmustern kommen sollte.

⁶³⁶ Vgl. Raffaelli (2004), S. 1141

geringer Artenzahl die Abnahme der Diversität wahrscheinlicher zu spürbaren Folgen für das gesamte Ökosystem führt, als dies bei grundsätzlich hoher Artenzahl der Fall ist. Dies bestätigt insgesamt den Trend, dass Vielfalt positiv auf die Stabilität und Produktivität eines Ökosystems wirkt, was insbesondere für lange Betrachtungszeiträume gilt. Bei mehrjährigen Beobachtungen konnte ein eindeutiger Zusammenhang zwischen Artenvielfalt und zunehmender Produktivität mit wesentlich verbesserter Effizienz der Nutzung vorhandener Ressourcen im Zeitablauf nachgewiesen werden.⁶³⁷ Kurzfristig kann im Einzelfall durchaus auch eine eingeschränkte Vielfalt bei gegebenen Ressourcenverhältnissen eine höhere Produktivität aufweisen.⁶³⁸ Dies stellt dann aber einen Sonderfall dar, da die Regel schwankende Ressourcenverfügbarkeit zeigt – ein Umstand, der bekanntermaßen auch das industrielle Produktionssystem betrifft, auf das diese Erkenntnisse übertragen werden sollen. Obendrein beeinflusst die Konnektivität innerhalb eines Ökosystems dessen Reaktion auf Veränderungen der strukturellen Zusammensetzung, da die Bedeutung einzelner Systemelemente je nach deren spezifischer Konnektivität variiert. Der Ausfall eines hochkonnektiven Elements zieht eine stärkere Beeinträchtigung der Stabilität und Produktivität nach sich als der Verlust eines nur einfach verknüpften Elements und erzwingt vielfältigere Reaktionen zur Wiederherstellung eines stabilen Fließ-Gleichgewichtes.⁶³⁹

4.3 EXKURS III: SYSTEM ERDE – GAIA-HYPOTHESE UND GAIA-THEORIE

Der Ansatz, das ökologische System „Erde“ mit dem Phänomen des Lebens als einheitliches Konstrukt zu betrachten, steht bereits seit den 30er Jahren des letzten Jahrhunderts im Blickpunkt der biologischen und der Geowissenschaften.⁶⁴⁰ Unter dem „System Erde“ werden dabei gemeinhin die interdependenten und langfristig ablaufenden geobiochemischen globalen Kreisläufe verstanden, die von der eingestrahnten Sonnenenergie, der Erdrotation und der Erdwärme angetrieben werden.⁶⁴¹ In den Naturwissenschaften hat sich in den letzten Jahrzehnten die Erkenntnis durchgesetzt, dass

⁶³⁷ Vgl. van Ruijven und Berendse (2005), S. 698

⁶³⁸ Vgl. Norberg, Swaney, Dushoff u.a. (2001), S. 11379

⁶³⁹ Vgl. Thébault und Loreau (2003), S. 14952

⁶⁴⁰ Vgl. Steffen, Sanderson, Tyson u.a. (2004), S. 3

⁶⁴¹ Vgl. Oldfield und Steffen (2004), S. 7

die natürlichen Prozesse auf der Erde systemischen Zusammenhängen unterliegen. Besonders hervorgetreten sind hierbei folgende wichtige und kritische Grundprinzipien:⁶⁴²

- Variabilität in Raum und Zeit (geologisch)
- Einfluss des Lebens auf die eigenen Umweltbedingungen (rekursiv)
- Stabiles Fließgleichgewicht fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht (ökologisch)
- Interdependenz in Raum und Zeit (holarchisch)
- Nichtlinearität bei kritischen Schwellenwerten (bifurkativ)

Die Beobachtung dieser Phänomene trug zu zunehmend detailliertem Wissen über die komplexen Zusammenhänge der Lebensprozesse mit den geophysikalischen Prozessen bei. Dazu gehört auch die Erkenntnis, dass die biologischen Prozesse innerhalb des geobiochemischen Gesamtsystems Erde für die Rahmenbedingungen des Lebens eine wesentlich größere Rolle spielen als früher angenommen. Sie tragen selbst am meisten zu dem Phänomen der Gleichgewichtszustände fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht bei, bei denen im Laufe der Entwicklung zunehmend freie Energie umgesetzt wird.⁶⁴³ 1974 überraschte der interdisziplinäre Wissenschaftler James Lovelock zusammen mit der Biologin Lynn Margulis die naturwissenschaftliche Gemeinde mit der These, dass die atmosphärischen, geologischen und biologischen Prozesse auf der Erde so eng miteinander verzahnt seien, dass man sie wie ein singuläres, sich selbst regulierendes lebendes System betrachten könne.⁶⁴⁴ Die damit verbundenen Rückschlüsse gehen sogar so weit, dass durch das Leben die abiotischen Faktoren auf der Erde so weit beeinflusst werden, dass im Laufe der Evolution die Bedingungen für das Leben auf der Erde durch das Leben selbst ständig verbessert wurden.⁶⁴⁵ Er bezeichnete dies als die Gaia-Hypothese.

⁶⁴² Vgl. Steffen, Sanderson, Tyson u.a. (2004), S. 68

⁶⁴³ Vgl. Lenton (2002), S. 409

⁶⁴⁴ Vgl. Kelly (1997), S. 513 und Lovelock (1992), S. 21

⁶⁴⁵ Vgl. Valsangiacomo (1998), S. 28; Dieser Umstand wird durch die starke Einwirkung des Menschen auf die Ökosphäre jedoch relativiert – die allgemeinen Lebensbedingungen auf der Erde haben sich in den letzten Jahrhunderten wesentlich verschlechtert.

4.3.1 Die Erde als übergreifendes Ökosystem

Betrachtet man die Erde als gesamtes Ökosystem und die menschliche Technosphäre mit ihrem Produktionssystem als Subsystem, kommt man zu dem Schluss, dass dieses Subsystem seiner eigentlichen organischen Grundlage, die das Gesamtsystem darstellt, spätestens mit der Industrialisierung entrissen ist und sich metabolisch von einer funktionierenden Beziehung entfernt hat.⁶⁴⁶ Der Metabolismus zwischen Gesamtsystem und Subsystem ist gestört. Dies zeigt sich in der zunehmenden Eingriffstiefe in natürliche Ökosysteme, deren ökologische „Funktionen“ die Bindeglieder zwischen dem anthropogenen ökonomischen System und dem Gesamtökosystem (Gaia) darstellen.⁶⁴⁷

Selbstgestaltung via Homöostase

Seit Auftreten des Lebens auf der Erde wurde die Konstitution der irdischen Lebensbedingungen durch die Lebensprozesse selbst so beeinflusst, dass sich das Leben auf der Erde im Vergleich zu ähnlichen Planeten des Sonnensystems optimal verbreiten konnte.⁶⁴⁸ Lässt man eine teleonomische Deutung erst einmal außen vor und betrachtet dieses Phänomen nur als Ergebnis einer erdgeschichtlichen Entwicklung, erkennt man immer noch eine eindeutige Zwangsläufigkeit in den Ergebnissen der Interaktion zwischen allen bisher existiert habenden Organismen und ihrer Umwelt.⁶⁴⁹ Die geobiophysikalischen Gegebenheiten der Erde wurden durch die biologischen Aktivitäten auf einem Niveau stabilisiert, das ohne das Auftreten von Leben unmöglich wäre.⁶⁵⁰ Die Entwicklung von Atmosphärenzusammensetzung und Oberflächentemperatur ist allein geochemisch nicht erklärbar. Dieses Niveau ist jedoch genau das, das eine Evolution des biologischen Lebens befördert. Inwieweit jedoch größeren natürlichen Einheiten wie Ökosystemen oder dem gesamten Planeten Erde Eigenschaften eines Organismus zugeschrieben werden können, ist eine Frage, die aufwendige Vorüberlegungen erfordert.⁶⁵¹ Es sind Fragen sowohl innerer Organisiertheit als auch äußerer Organisation zu klären. Erscheinungen wie funktionale Differenzierung von Organen und deren Elementen und die Phänomene der Emergenz, Hierarchie sowie Selbstregula-

⁶⁴⁶ Vgl. Mumford (1977), S. 526

⁶⁴⁷ Vgl. Vornholz (1993), S. 90

⁶⁴⁸ Vgl. Lenton, (2004), S. 70

⁶⁴⁹ Vgl. Kirchner (2002), S. 392

⁶⁵⁰ Vgl. Moffatt (1989), S. 41

⁶⁵¹ Vgl. Weil (2004), die alleine diese Fragestellungen zur Thematik einer Dissertation gemacht hat.

tion und -erhaltung bedürfen einer Einordnung in den globalen Systemzusammenhang. Dies ist beim derzeitigen Stand der naturwissenschaftlichen Forschung nicht ohne teleonomische Vorannahmen möglich. Nichtsdestotrotz ist der Betrachtungswinkel der Gaia-Hypothese für nachhaltige Entwicklung in Bezug auf die Gestaltung anthropogener Stoff- und Energieströme erkenntnisleitend:

Die Manipulation einzelner Elemente (von Gaia) durch menschliches Handeln erfordert Kenntnis über die (möglichen) Folgewirkungen für das gesamte funktionale System, dem die Menschen ihre Existenz schließlich verdanken.⁶⁵² Doch erst ein Verständnis der Lebensvorgänge auf der Erde, das die komplexen Austauschprozesse in einen übergreifenden Zusammenhang stellt, ermöglicht eine holistische Herangehensweise, die am Beginn der Arbeit bereits als notwendige Voraussetzung ermittelt wurde. Die Existenz von Leben auf der Erde seit über vier Mrd. Jahren geht dabei weit über das Maß von physikalisch-chemischer Wahrscheinlichkeit und „Zufall“ hinaus.⁶⁵³ Das heißt, alle Formen von Leben haben trotz aller spezifischen „optimalen“ Umweltbedingungen, die sehr unterschiedlich ausgeprägt sein können, die Gesamtheit der Lebensprozesse befördert und auch bei Störungen aufrecht erhalten. Die Geschwindigkeit, mit der die Wiederherstellung eines lebensfreundlichen Zustandes nach einer Störung vonstatten geht, ist ein Merkmal der Resilienz.⁶⁵⁴ Die Zeiträume, über die solche Prozesse im globalen Maßstab ablaufen sind jedoch länger als die Lebensspanne eines potenziellen Beobachters, was das Verständnis dieser Prozesse aus menschlicher Sicht erschwert.⁶⁵⁵ Die erdgeschichtlich jüngeren und komplexeren Lebensformen haben dabei tendenziell einen engeren Überlebenskorridor als die älteren und sind dabei auf deren Aktivitäten und Leistungen für den Gesamtzustand der Biosphäre angewiesen. Leben ist ein interdependenter historischer Prozess. Der mit der Gaia-Hypothese verbundene, durch Einbezug vorwiegend mechanischer Abläufe, wie z. B. der atmosphärischen Vorgänge, sehr weit gefasste und nicht unumstrittene Begriff von „Leben“, ermöglicht einen erweiterten Blickwinkel auf die globalen Stoffströme und die Bedeutung sowie Einbettung anthropogener Eingriffe, da er alle Ströme zwischen belebter und unbelebter Materie

⁶⁵² Vgl. Weinzierl (2005), S. 44

⁶⁵³ Vgl. Lenton (2002), S. 412

⁶⁵⁴ Dieser Begriff ist aus der Ökologie bereits bekannt.

⁶⁵⁵ Vgl. Lenton (2002), S. 414

auf der Erde zu einem holistischen Ansatz zusammenfasst.⁶⁵⁶ Die Zusammensetzung der Erdatmosphäre ist rein chemisch-physikalisch betrachtet ein absolut unwahrscheinlicher thermodynamischer Zustand, woraus zu schließen ist, dass alle global ablaufenden Prozesse selbststeuernd dieses Gleichgewicht fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht aufrecht erhalten.⁶⁵⁷ Die Entwicklung des Lebens selbst hat in der Jahrmillionen dauernden Evolution die Bedingungen auf der Erde dynamisch so verändert, dass sich immer höhere Lebensformen erst entwickeln konnten. Das Leben als Phänomen wirkt in einem ständigen Prozess auf sich selbst und die eigenen Rahmenbedingungen zurück.⁶⁵⁸ Dazu gehören Phänomene wie der Sauerstoff, der in der Atmosphäre erst Oxidationsprozesse ermöglicht und lebensfeindliche UV-Strahlung abschirmt, Humusbildung, die erst dichten Pflanzenwuchs an Land fördert oder die Lösung und Umlagerung von Mineralien in globalen Stoffkreisläufen. Die Erde ist somit holistisch betrachtet ein Vivisystem und jede signifikante Manipulation an einem Teilbereich dieses Systems hat Auswirkungen auf die Funktion des Ganzen. Trotz einer Entwicklung über Milliarden von Jahren und der dabei ständig weiterentwickelten Lebensprozesse, ist die Erde als System anfällig für unverhältnismäßige Störungen. Und gerade hier besteht ein starker Forschungsbedarf, um die komplexen Systemzusammenhänge zu verstehen und eine Handlungsgrundlage für die Nutzung durch den Menschen zu gewährleisten.⁶⁵⁹

4.3.2 Systemzusammenhänge weiter gedacht

So lässt sich die Erdgeschichte und die Entwicklung des Lebens nur verstehen, wenn alle lebensgestaltenden und lebenserhaltenden Prozesse als ein Ganzes betrachtet werden, das durch ein engmaschiges Verbund- und Rückkopplungssystem gekennzeichnet ist.⁶⁶⁰ Alle auf der Erde ablaufenden und sich gegenseitig beeinflussenden Prozesse verringern das energetische Gefälle zwischen Erde und Weltall, was thermodynamisch

⁶⁵⁶ Vgl. Westbroek (1998), S. 550f

⁶⁵⁷ Vgl. Callenbach (2000), S. 48f

⁶⁵⁸ Vgl. Reichholf (1998), S. 41

⁶⁵⁹ Vgl. Busch-Lüty und Dürr (1996), S. 103

⁶⁶⁰ Vgl. Lovelock (1991), S. 11

betrachtet eine typische Eigenschaft von Leben ist.⁶⁶¹ Man kann diesen Ansatz auch so weit verfolgen, dass man die organisierten komplexen Zusammenhänge der globalen Lebensvorgänge als Ausdruck des Stoffwechsels eines Organismus betrachtet, der sich an Hand seiner spezialisierten Elemente, sprich Organe, im Kantischen Sinn selbst erzeugt und aufrecht erhält.⁶⁶² Das organische Ganze kennt keine unabhängigen Teile, sondern nur intern verflochtene Elemente von sich selbst, die ausschließlich interdependent agieren und existieren können.⁶⁶³ Wenn es sich bei Gaia um einen lebenden Superorganismus handelt, so gelten für diesen die gleichen Gesetzmäßigkeiten wie für alle anderen natürlichen Organismen auch: Er ist den herrschenden Naturgesetzen unterworfen, von denen noch nicht alle bis ins letzte Detail bekannt sind. Dehnt man den Erfahrungshorizont von „Natur“ über den engen irdischen hinaus, so kann man das Phänomen Universum als Ausdruck der größtmöglichen Ausdehnung von Natur interpretieren, die die Grundlage für das Leben ist.⁶⁶⁴ Gaia ist nun ein Organismus in der Natur des größten Denkbaren und der Weltraum ist die „Umwelt“ des Planeten bzw. des „Lebewesens“ Erde.⁶⁶⁵ Das führt zu dem möglichen Schluss, dass Gaia verletzlich ist und krank werden kann wie jeder naturgebundene Organismus,⁶⁶⁶ wenn seine Elemente bzw. Organe so geschädigt werden, dass dies wiederum Einfluss auf die Gesamtfunktionen des globalen Systems hat. Die in der Einleitung konstatierte menschengemachte ökologische Krise kann auch als Krankheit in diesem Sinne interpretiert werden.⁶⁶⁷ Nicht umsonst wird gerade in den geophysikalischen Wissenschaften, die sich mit den globalen Systemzusammenhängen beschäftigen, der klinische Begriff des Syndroms verwendet, wenn es um die Beschreibung aktueller Zustände geht.⁶⁶⁸ Die teilweise dramatischen Umbrüche in der natürlichen Ordnungsstruktur und die erdgeschichtlich einmalige Geschwindigkeit der Veränderungen sind Ausdruck der inadäquaten Handlungsweisen des Menschen.⁶⁶⁹ Das bedeutet, dass Gaia, diesen Gesetzen weiter überspitzt folgend, irreversibel geschädigt werden kann, ohne die Regel, dass die „Na-

⁶⁶¹ Vgl. Schneider und Kay (1994), S. 44

⁶⁶² Vgl. Weil (2004), S. 26;

⁶⁶³ Vgl. Nagel (1961), S. 401

⁶⁶⁴ Vgl. Laszlo (2003), S. 81

⁶⁶⁵ Vgl. Haber (1993), S. 8

⁶⁶⁶ Vgl. Oldfield und Messerli (2004), S. 210f

⁶⁶⁷ Vgl. Lovelock (1992), S. 153

⁶⁶⁸ Vgl. Lüdeke, Petschel-Held und Schellnhuber (2004), S. 42

⁶⁶⁹ Vgl. Busch-Lüter und Dürr (1996), S. 110f

tur“ nicht vernichtet werden kann, zu verletzen.⁶⁷⁰ Die Erde unbewohnbar oder gar unbelebt zu machen, hieße also nicht, die Naturgesetze außer Kraft zu setzen oder die Natur zu zerstören (was de facto nach menschlichem Ermessen nicht möglich ist), sondern nur, sie über Gebühr zu strapazieren und die Erde in einen lebensfeindlichen Zustand zu versetzen.⁶⁷¹ Das Argument, die Natur würde sich immer zu helfen wissen und somit nicht völlig von der Erde entfernt oder gar vernichtet werden können, trifft durchaus zu.⁶⁷² Auch ein toter Organismus ist noch Natur. Nur widerspricht es jeglicher Vernunft, den Organismus, der einen nährt und erhält, zu töten, denn damit wäre die eigene Existenz auch beendet. Die Erhaltung der Lebensgrundlagen ist in diesem Zusammenhang nicht allein als ökologisches Prinzip zu verstehen, sondern ist in einem historischen Zusammenhang neben der Entwicklung neuer Handlungsoptionen eine grundlegende ökonomische Bedingung.⁶⁷³ Auch wenn das extreme Ergebnis des Verschwindens des Lebens von der Erde empirisch äußerst unwahrscheinlich ist, so wird mit diesem Gedankengang zumindest das ernsthafte Gefährdungspotenzial menschlichen Handelns auf unserem Planeten verdeutlicht.⁶⁷⁴ In der Regel zeigt sowohl die Erdgeschichte als auch die menschliche Historie, dass die zu Grunde liegenden Systeme zwar empfindlich sind, sich von jeder Störung jedoch mittel- bis langfristig erholt haben und in einen neuen Systemzustand übergegangen sind.⁶⁷⁵ Doch jeder neue Systemzustand von Gaia sollte nach dem Leitbild der Nachhaltigkeit zumindest ansatzweise menschliches Leben auf der Erde ermöglichen. Dies ist zwar eine anthropozentrische Sichtweise, aber es ist die äußerste denkbare und sie enthält implizit den physiozentrischen Gedanken, sich bezüglich der eigenen Handlungsoptionen die Gesetzmäßigkeiten des Organismus Gaia zu eigen zu machen. Dabei macht es auch keinen Unterschied, ob man für das Gesamtsystem den Begriff der Homöostase als Steuerungsprinzip annimmt,

⁶⁷⁰ Alle bislang bekannten erdähnlichen Gebilde im Universum beherbergen kein Leben. Es ist also anzunehmen, dass dies der vielfach wahrscheinlichere Zustand von Planeten in unserem Universum ist, auch wenn dieses Szenario für die Erde denkbar unwahrscheinlich ist und das Leben auf der Erde schon katastrophale Ereignisse überstanden hat; Vgl. Renn (2004), S. 133

⁶⁷¹ Vgl. Steffen, Sanderson, Tyson u.a. (2004), S. 299; Wobei die Vernichtung eines Subsystems des Ganzen in der Regel nicht das Gesamtsystem gefährdet, solange die Fähigkeit zur Resilienz vorhanden ist, weshalb ein Ökosystem im engeren Sinne nicht getötet werden kann, da die Subsysteme nicht grundsätzlich hoch integriert sind. Vgl. Valsangiacomo (1998), S. 38; Das Sterben des Systems ist nur im Fall der Zerstörung eines essenziell funktionalen Subsystems möglich, bei der Erde z. B. der Thermoregulation.

⁶⁷² Vgl. Soper (1995), S. 169

⁶⁷³ Vgl. Tietenberg, (2006), S. 29

⁶⁷⁴ Vgl. Grübler (2004), S. 8

⁶⁷⁵ Vgl. Robinson und Tinker (1996), S. 16

was von vielen Kritikern der Gaia-Hypothese als unhaltbar bezeichnet wird, oder ob man die in der aus dieser Kritik modifizierte Gaia-Theorie abgeschwächte Annahme von Selbst-Regulation zu Grunde legt.⁶⁷⁶ Grundsätzlich ist noch nicht geklärt, ob alle biologischen Feedbacks zu einer Stabilisierung des Gesamtsystems beitragen oder wie im Zusammenhang mit der Gaia-Hypothese z. B. mit positiven Rückkopplungen, die in der Regel zu einer Destabilisierung führen, umzugehen ist.⁶⁷⁷ Diesbezügliche Gesetzmäßigkeiten wären aber gerade für die Ausgestaltung einer IÖ strukturell und funktional von Interesse. Es ist nicht die Frage, ob es sich beim Phänomen Gaia um einen lebenden Organismus handelt, dessen Systemzusammenhänge naturwissenschaftlich kausal unterbestimmt sind (was erst die Annahme, es mit einem Organismus zu tun zu haben, notwendig macht) oder ob man noch weitere die beobachtbaren Zusammenhänge determinierende Gesetzmäßigkeiten vermutet, die den Organismusbegriff naturwissenschaftlich relativieren.⁶⁷⁸ Das Ergebnis als Prämissenlieferant für wirtschaftendes Handeln bleibt in beiden Fällen das Gleiche. Insofern liefert diese Theorie ein durchaus stabiles Konstrukt, aus dem sich auch fernab ethischer Grundsatzdiskussionen die Notwendigkeit nachhaltiger Entwicklung ableiten lässt und die den Ansatz stützt, sich die „Natur“ zum Vorbild des Handelns in Form einer Industriellen Ökologie zu machen.

4.3.3 Elemente der organismischen Betrachtung der Erde

4.3.3.1 Organisierte Stoff-, Energie- und Informationsflüsse

Organe als Funktionsträger

Fragt man nach der Funktion einzelner Elemente oder Phänomene innerhalb der globalen ökosystemaren Zusammenhänge, so impliziert dies eine systemische Gesteuertheit

⁶⁷⁶ Vgl. Crutzen (2004), S. 72; Homöostase sei hier verstanden als Fähigkeit, durch Selbstregulation und Selbstorganisation (auch Autopoiese) die das System konstituierenden Variablen innerhalb bestimmter Grenzen konstant zu halten – das hieße, das Leben schafft sich seine optimalen Bedingungen auf der Erde (Gaia) selbst.

⁶⁷⁷ Vgl. Kirchner (2002), S. 395; Man kann daraus schließen, dass die Resilienz des Gesamtsystems Erde natürlichen Grenzen unterliegen könnte, ab der negative Einwirkungen durch positive Rückkopplungen verstärkt werden und Bifurkation auftritt – dies betrifft insbesondere die Frage des anthropogen verursachten Klimawandels, auf den eine IÖ zu reagieren hat.

⁶⁷⁸ Vgl. Weil (2004), S. 79 und deren ausführliche Diskussion dieser Fragestellung.

der Prozesse. Der Begriff wird in der Ökosystemforschung aber vielmehr in einem Bedeutungs-zusammenhang verwendet, der die (wiederholbare) Prozesshaftigkeit der Interaktionen im ökologischen Beziehungsgeflecht zu klären bzw. zu beschreiben versucht.⁶⁷⁹ Insofern unterscheidet sich diese Fragestellung von der Betrachtungsweise, mit der man einen Organismus untersucht und seine Funktionsweisen an Hand der ihn konstituierenden Funktionen erklärt. Von einer Erklärung kann überdies nur gesprochen werden, wenn die beobachteten Phänomene innerhalb des Funktionssystems interpretiert werden.⁶⁸⁰ Dies entspricht aber häufig bei Unterbestimmtheit einer teleonomischen Bedeutungszuweisung, die naturwissenschaftlich so nicht gewollt ist, da nicht immer eindeutig bestimmt werden kann, ob es sich tatsächlich um funktionale oder nur statistische Beziehungen handelt.⁶⁸¹ Nichtsdestotrotz ist es gerade aus Sicht der Nachhaltigen Entwicklung und menschlicher Einflüsse auf geobiophysikalische „Funktionen“ im Hinblick auf die Erhaltung derselben unumgänglich, diese Funktionen als solche zu verstehen, egal ob man diesen eine organismische oder rein mechanistische Funktionsweise zuschreibt. Dass man den individuellen Organismen als Gruppen innerhalb einer Biozönose funktionelle Eigenschaften in Bezug auf die Lebensgemeinschaft zuschreiben kann, lässt sich zwar prinzipiell auf die äußere Organisation der beteiligten Individuen zurückführen und muss nicht als Ausdruck einer inneren Organisation eines „Superorganismus“ betrachtet werden, trotzdem ergibt der Versuch einer holistischen Betrachtungsweise der Vorgänge in einer Biozönose ein vollständigeres Bild der darin auftretenden Phänomene.⁶⁸² Außerdem ist die gegenseitige Bezogenheit aller natürlichen Elemente ein der lebenden Natur inhärentes Element. Lebensprozesse stellen sich in einer Ganzheit dar, die eine geordnete Naturkomposition als sehr wahrscheinlich erscheinen lässt.⁶⁸³ Insofern ist es sachdienlich, die wissenschaftliche Metapher vom organismischen Verhalten gesamtökologischer Zusammenhänge zumindest zu beachten. Funktionelle Gruppen, die eine Nische in einer Biozönose besetzen, erfüllen im weiteren Sinne eine organische Aufgabe, die zur Erhaltung der Lebensgemeinschaft beiträgt, auch wenn diese nicht, wie im Falle eines individuellen Organismus, unersetzlich ist. In Ökosystemen sind Redundanzen, auch bereits beschrieben im Begriff der Resilienz,

⁶⁷⁹ Vgl. Jax (1999a), S. 8

⁶⁸⁰ Vgl. Hesse (1999), S. 21

⁶⁸¹ Vgl. Jax (2002), S. 38

⁶⁸² Vgl. Ebda, S. 70 und Weil (2004), S. 98

⁶⁸³ Vgl. Wehrh und von Uexküll (1996), S. 238

angelegt, die sie von den restriktiven Eigenschaften eines Organismus im herkömmlichen Sinn abheben. Dennoch können Nischen in der Biozönose nur besetzt und gehalten werden, wenn gegenseitige funktionelle Interaktionen innerhalb des gesamten Metabolismus im Ökotope erfüllt werden.

Phänomene der Emergenz und Hierarchie

Es ist unbestreitbar, dass in komplexen Systemen fast immer Eigenschaften auftreten, die sich nicht aus der Kenntnis der Einzelbestandteile erklären lassen. Dieses Phänomen wird gemeinhin als Emergenz bezeichnet. Problematisch bei dem Versuch, den globalen Zusammenhängen der Lebensprozesse organische Eigenschaften zuzuschreiben, ist jedoch, dass Emergenz auch in anorganischen Systemen regelmäßig auftritt und damit keine hinreichende Bedingung für die Charakterisierung als Organismus darstellt.⁶⁸⁴ Hilft aber diese Annahme nicht trotzdem weiter? Auch wenn sich solche Erscheinungen der Emergenz in den meisten Fällen kausal erklären lassen,⁶⁸⁵ so hilft doch die bewusste Einbeziehung der Emergenz als typisches Phänomen von Lebensprozessen bei der Bewusstmachung der Empfindlichkeit des komplexen Systemgefüges. Eine Einschränkung der Eigenschaften der einzelnen Systemelemente kann zu einer nicht intendierten Veränderung oder gar zum Verlust der emergenten Eigenschaften führen. Mit dem Modell eines Organismus kann dies viel drastischer verdeutlicht werden und die lineare Logik damit überwunden werden. Diese Annahmen haben also zumindest didaktischen Wert für die Umsetzung einer IÖ.

Autopoiese und bewusste Steuerung

Die Fähigkeit des Gesamtökosystems Erde zur Selbstregulation bei wechselnden äußeren Einflüssen ähnelt in ihrer Tendenz, bestimmte Strukturen und Funktionen aufrecht zu erhalten, der Fähigkeit eines Organismus zur Selbsterhaltung.⁶⁸⁶ Hier finden sich auch Ansätze wieder, die im Bereich der ökologischen Forschung unter dem Begriff der Stabilität subsumiert werden.⁶⁸⁷ Selbststeuerungsvorgänge der verschiedenen irdischen Subsysteme, die in ihrem metabolischen Zusammenhang durchaus als funktionale Sys-

⁶⁸⁴ Vgl. Mayr (1984), S. 52

⁶⁸⁵ Vgl. Weil (2004), S. 83

⁶⁸⁶ Vgl. Jax (2002), S. 70

⁶⁸⁷ Vgl. hierzu Abschnitt 4.2.4.2.

teme mit gegenseitiger Determiniertheit an die Steuerungsvorgänge innerhalb eines Organismus erinnern (innere Organisation), ermöglichen zumindest in der mittelbaren Erdgeschichte verschiedenen Lebensformen auf der Erde ein Dasein, auch wenn sie letztendlich in ihrer Gesamtheit auf die äußere Organisation der beteiligten Organismengruppen bzw. Einzelorganismen zurückzuführen sind. Insofern kann man durchaus von der Selbstorganisation aller beteiligten Prozesse innerhalb der Lebensvorgänge auf Gaia sprechen, da letztendlich keine zentrale steuernde Instanz erkennbar wird. Außerdem ist zu bemerken, dass im Lauf der Jahrtausenden erdgeschichtlicher Entwicklung bzw. Evolution des Lebens alle bisher aufgetretenen instabilen Zustände durch neu auftretende Prozesse in einen neuen stabilen Zustand überführt wurden.⁶⁸⁸ Der Schluss bleibt bei beiden Betrachtungsweisen, dass diese Vorgänge im Rahmen einer nachhaltigen Entwicklung von keiner der an den Steuerungsvorgängen beteiligten Lebensformen irreversibel ge- oder zerstört werden dürfen. Deshalb können auch bewusste und gezielt vorgenommene, d. h. reflektierte Steuerungseinflüsse durch den Menschen von diesem Prinzip nicht ausgenommen werden, da der Mensch als inhärenter Bestandteil von Gaia zu betrachten ist. Dies verlangt schon das Postulat der Selbsterhaltung, ohne die das anthropozentrische Prinzip Nachhaltigkeit obsolet wäre.

4.3.3.2 Energieversorgung

Strahlungsbilanz thermodynamisch betrachtet

Die auf der Erde für die Aufrechterhaltung des Lebens langfristig, also nachhaltig verfügbare Energie hängt von der Sonnenenergie ab, die mit einer Dauerleistung von ca. $1,6 \times 10^{17}$ W (Globalstrahlung) eingestrahlt wird.⁶⁸⁹ Die biophysikalischen Prozesse in der Atmosphäre und auf der Erdoberfläche führen zu einer Strahlungsbilanz, die das Verhältnis von eingestrahelter zu letztendlich „genutzter“ Energie abbildet. Dies lässt sich wie in der folgenden Abbildung 4 skizzieren. Die eingestrahelte kurzwellige Sonnenenergie ist thermodynamisch gesehen eine Energieform mit hoher Wellendichte (Frequenz) und kann somit dem globalen System als Exergie dienen, sofern darin die Fähigkeiten gegeben sind, die Exergie zur internen Entropiereduktion einzusetzen.⁶⁹⁰ Im

⁶⁸⁸ Vgl. Ayres und Simonis (1993), S. 8

⁶⁸⁹ Vgl. Wall (o. J.), S. 7; Der anthropogene Energieverbrauch entspricht einer Dauerleistung von $1,2 \times 10^{13}$ W, das ist weniger als ein zehntausendstel der Globalstrahlung

⁶⁹⁰ Vgl. Ayres (2001), S. 3

ökologischen System funktioniert dies über die Photosynthese, die auf kurzwellige Strahlung angewiesen ist.

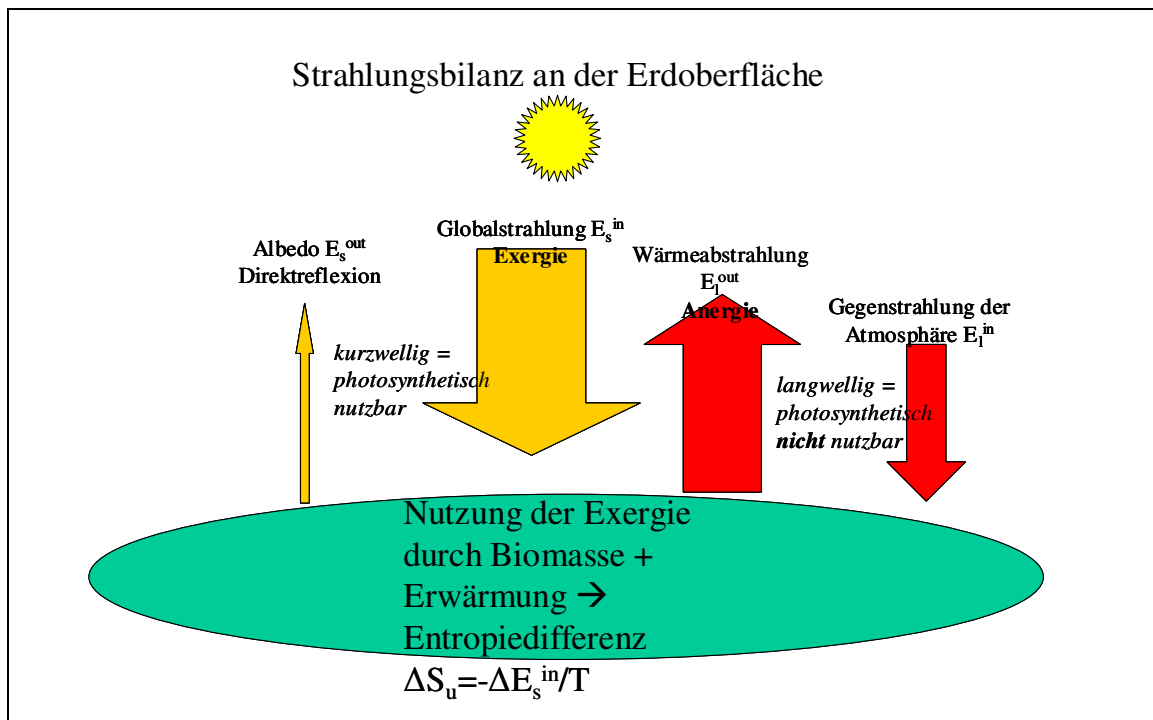


Abbildung 4: Strahlungsbilanz; Quelle: nach Steinborn (2000), S. 17

Die rückgestrahlte langwellige Wärmeenergie mit niedrigerer Wellendichte (Frequenz) ist für das biologische System nicht mehr nutzbar, trägt aber durch die Erwärmung der Atmosphäre zur Schaffung der notwendigen Lebensbedingungen und zu den globalen klimatischen Verhältnissen bei. Im Gegensatz zum natürlichen System stehen dem anthropogenen System darüber hinaus Technologien zur Verfügung, die auch noch einen Teil der abgestrahlten Wärmeenergie in Form von Luftdruckdifferenzen (Wind) oder Gefälledifferenzen (Wasserkraft – eine Folge der Respiration bei Pflanzen und der direkten Verdunstung) in Nutzenergie umwandeln können. Mehr als die eingestrahelte Globalstrahlung als Energiefluss und die begrenzte historisch gespeicherte Exergie in lebender und toter Biomasse steht jedoch potenziell nicht zur Verfügung. Die letztendlich zur Verfügung stehende Nutzenergie hängt vom flächenbezogenen Wirkungsgrad (Effizienz) der Prozesse ab, die die Exergie für die interne Entropiereduktion verwenden. Die verbundenen Energieflüsse lassen sich in einer Strahlungsbilanz grob zusammenfassen:

$$R = E_l^{in} + E_s^{in} - E_l^{out} - E_s^{out} \quad (-E_{org})$$

Der in Klammern gesetzte Term E_{org} entspricht der in der organischen Materie gespeicherten Energie, die der Verringerung der Entropie auf Gaia entspricht. In der Regel geht diese gespeicherte Energie im Verlauf der Lebens- und Sterbensprozesse jedoch (fast) vollständig wieder in Wärme über und wird zeitverzögert in die Atmosphäre abgestrahlt (wird also Teil von $E_{\text{i}}^{\text{out}}$). Nur organische Stoffe, deren Energiegehalt diesen Prozessen durch Ablagerung entzogen wird, „fallen“ aus dieser Bilanz. Diese sind als fossile Energieträger bekannt, die derzeit den Hauptteil der Energieversorgung der Anthroposphäre ausmachen.⁶⁹¹ Diese Darstellung ist grob vereinfachend, da sich die Strahlungsverhältnisse in der Natur aus einer Vielzahl von Strahlungen unterschiedlicher Frequenz und je nach geographischer Lage abweichender Intensität zusammensetzen, die somit energetisch bzw. thermodynamisch von unterschiedlichem Wert (Exergiegehalt) sind und im Laufe der Reflexions- und Lebensprozesse ineinander übergehen, wobei die entropisch letzte Stufe die Gleichverteilung von Wärmestrahlung im Raum darstellt. Die Quintessenz der thermodynamischen Betrachtung der Strahlungsbilanz ist auch bei dieser groben Vereinfachung, dass letztendlich ausschließlich die solar eingestrahelte Energie zur Aufrechterhaltung von Lebensprozessen zur Verfügung steht und dass das Maß der Entropiereduktion bzw. der Aufrechterhaltung eines Gleichgewichts fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht auf dem System Erde (Gaia) eine Funktion der Effizienz bei der Nutzung der eingestrahelten Energie ist.⁶⁹² Die Größenordnungen sind dabei von absoluter Bedeutung für die Energieversorgung einer IÖ, da sich daraus das Potenzial verfügbarer Energie ableitet. Die von der Sonne auf die Erde einstrahlende Strahlungsleistung beträgt ca. 178.000 TW, was einer jährlichen Energiemenge von $1,56 \times 10^{18}$ kWh/a entspricht. 80 % davon werden direkt wieder ungenutzt ins All reflektiert, ca. 40.000 TWa gehen in die Verdunstung von Oberflächenwasser, ca. 350 TWa wirken als kinetische Windenergie und ca. 100 TWa werden letztendlich als chemisch-organische Energie (E_{org}) in der Biomasse gespeichert.⁶⁹³ Aus diesem Potenzial unterschiedlicher nutzbarer Energieformen kann sich die IÖ speisen. Man erkennt leicht, dass das Potenzial der energetischen Nutzung von Bio-

⁶⁹¹ Die damit verbundenen Implikationen für eine Industrielle Ökologie werden an anderem Ort diskutiert.

⁶⁹² Mathematisch vertieft und differenziert wird dies bei Steinborn (2000), S. 18ff

⁶⁹³ Vgl. Davis (1990), S. 24

masse sehr eingeschränkt ist und kann sich ein Bild davon machen, welche Herausforderungen mit einer nachhaltigen Energieversorgung verbunden sind.

4.3.3.3 Gaia-Hypothese oder Gaia-Theorie?

Angela Weil weist in ihrer Dissertation sehr schlüssig nach, dass die Annahmen, es könne sich bei komplexen ökologischen Zusammenhängen innerhalb eines Ökosystems oder einer Biozönose um die Ausbildung eines individuell ausgeprägten „Superorganismus“ handeln, einer exakten naturwissenschaftlichen Prüfung nicht standhalten.⁶⁹⁴ Diese Erkenntnis kann man letztendlich auch auf die Betrachtung des gesamten Planeten Erde als Einzelorganismus „Gaia“ übertragen, wobei hier jedoch die Begrifflichkeit des lebendigen Organismus mit exakter Abgrenzung zu seiner Umwelt (dem Weltraum) noch naheliegender erscheint, als im Fall der untersuchten irdischen und durchaus als funktional und zweckmäßig identifizierten Subsysteme „Gaias“. Die starke Form der Gaia-Hypothese kann insofern als brauchbare Metapher für globale Zusammenhänge herangezogen werden, ist aber nicht falsifizierbar, weshalb sie sich außerhalb herkömmlicher Wissenschaft bewegt.⁶⁹⁵ Auch in der Ökosystemtheorie wurde der Begriff des Superorganismus bereits verwendet, doch fehlen den Ökosystemen einige charakteristische Eigenschaften lebender Organismen: Die klar definierte Abgrenzung von der Umwelt durch eine äußere Hülle, zentrale Selbstorganisation durch genetische Steuerung und die Fähigkeit zur Reproduktion. So bleibt im strengen Sinne die Verwendung des Begriffes Organismus in diesem Zusammenhang eine hilfreiches Bild, das die Ehrfurcht vor den Phänomenen der Natur vertieft und eine grundlegende Begründung für deren Erhaltungswürdigkeit liefert.⁶⁹⁶ Wissenschaftstheoretisch kann man dies so einzuordnen versuchen, dass die Grundhaltung bei der Begründung der Gaia-Hypothese tendenziell eine teleonomische ist, bei der Gaia-Theorie dagegen eine strikt kybernetische, was dem hier zu Grunde gelegten Wissenschaftsverständnis wesentlich näher kommt.⁶⁹⁷ So bleibt der Schluss, dass die Zuhilfenahme der Gaia-Theorie zur Ausgestaltung und Bewertung einer IÖ als Metapher für das Funktionieren des

⁶⁹⁴ Vgl. Weil (2004), S. 107ff

⁶⁹⁵ Vgl. Kirchner (2002), S. 393

⁶⁹⁶ Vgl. Reichholf (1998), S. 63

⁶⁹⁷ Vgl. Spaemann (1992), S. 367

Gesamtkomplexes Erde ein nicht zu unterschätzendes Hilfsmittel darstellt. Die Gaia-Hypothese dagegen soll dem Wissenschaftler und allen gestaltenden Akteuren dabei helfen, das Staunen über die Existenz der Welt und deren Phänomenen nicht zu vergessen. Daraus gewinnt die Umsetzung einer IÖ eine tiefgreifende Begründung und wesentliche Bewusstsein bildende Impulse für die praktische Umsetzung.⁶⁹⁸

4.3.4 Das geobiophysikalische System Erde und der anthropogene Einfluss

Die Erde, wie sie sich derzeit darstellt, ist ein komplexes geobiophysikalisches System, in dem eine Vielzahl von Vorgängen unter dem Einfluss endogener und exogener Kräfte ineinander greifen.⁶⁹⁹ Vegetation und Klima beeinflussen sich gegenseitig, was wiederum auf die großen Massenkreisläufe des Wassers, des Kohlenstoffs (in Form von CO₂ und Kohlenhydraten) und des Stickstoffes einwirkt. Eine weitere wichtige Variable ist der Energiehaushalt. Die Variablen, die die Lebensprozesse auf der Erde bestimmen, sind alle durch kybernetische Regelkreise verbunden.⁷⁰⁰ Je nach geobiophysikalischen Gegebenheiten wird ein bestimmtes Maß an Energie zum Antrieb dieser Kreisläufe von den Elementen der Erdoberfläche absorbiert.⁷⁰¹ Je nach Beschaffenheit der Erdoberfläche beträgt der Albedo, das Verhältnis von abgestrahlter zu eingestrahelter Sonnenenergie, zwischen 0,05 (Regenwald) und 0,95 (frischer Schnee auf ebener Fläche), was direkten Einfluss auf das regionale und globale Klima und über die globale Energiebilanz damit auch auf die Stoffkreislaufprozesse hat.⁷⁰² Der globale Durchschnitt liegt bei ca. 0,3. In Regelungsschleifen von unterschiedlichen Zeithorizonten wirken alle diese Größen gegenseitig aufeinander ein und bilden ein fragiles Spiel der Elemente, das in den letzten 600 Millionen Jahren Leben auf der Erde ermöglicht hat – trotz schwerer äußerer und innerer Störungen. Der naturwissenschaftliche Blick auf diese Sachverhalte soll den Blick für die Erfordernisse einer IÖ schärfen. Eine Möglichkeit ist die Auffassung, die elementaren geobiophysikalischen Ströme in Form von Input-Output-Beziehungen zu betrachten. Beteiligt sind hierbei die Basisprozessgruppen abiotische chemische Prozesse, Primärproduktion und Konsum sowie die

⁶⁹⁸ Vgl. Tibbs (1993), S. 14

⁶⁹⁹ Vgl. Lauterjung (2003), S. 318

⁷⁰⁰ Vgl. Strassert (2001), S. 15

⁷⁰¹ Vgl. Betts (2004), S. 25

⁷⁰² Vgl. Laine (2000), S. 2

Produktgruppen Sonnenlicht, Nährstoffe, pflanzliche Biomasse, tierische Biomasse und Abwärme.⁷⁰³ Der globale Metabolismus ist durch Bestandsgrößen und Flussgrößen der Produktgruppen bestimmt, die durch die Basisprozesse ausgelöst werden. Die Gesetze der Thermodynamik sagen dabei aus, dass die Bilanzen dieser Prozesse das Fließgleichgewicht aller Prozesse auf der Erde widerspiegeln. Allerdings kann dieses Fließgleichgewicht auch gestört werden. Die Erde als Gesamtsystem ist durch die menschliche Einwirkung nicht geringen Risiken unterworfen, die die geobiophysikalischen Regelkreisläufe betreffen.⁷⁰⁴ Man könnte das aktuelle erdgeschichtliche Zeitalter als Anthropozän bezeichnen, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die systemische Ordnung des Planeten durch die Menschen dominiert wird.⁷⁰⁵ Zwar gilt für die meisten Regelgrößen der globalen Kreisläufe, dass sie flexibel in Umfang und Geschwindigkeit sind und dass Schwankungen durch die Vielfalt der Prozesse in der Regel durch Rückkopplungen mit anderen Größen ausgeglichen werden, es treten jedoch regelmäßig Schwellenwerte auf, bei denen das komplexe Systemgefüge scheinbar plötzlich in einen neuen Zustand überspringt, der weitere schwerwiegende Folgereaktionen nach sich zieht. Gerade im globalen Kontext sind solche Reaktionen besonders gefährlich, da zumindest ein stoffliches Abpuffern durch das umgebende System Weltraum nicht möglich ist. Das frühzeitige Erkennen und die Berücksichtigung dieser Schwellenwerte und Wechselwirkungen sowie synergetische Effekte bei den Folgen wirtschaftender Tätigkeit muss also Teil des industrie-ökologischen Denkens werden. Eine holistische Perspektive soll die Einflussnahme des Menschen auf die globalen Stoff- und Energiehaushalte erhellen und Aufschluss über das Ausmaß der erforderlichen Anpassung an natürliche Gegebenheiten geben. Dafür bietet sich der Ansatz der Erdsystemanalyse (earth system analysis) an, ohne deren Erkenntnisse keine Eckpfeiler für eine IÖ aufgestellt werden können. Folgende Prinzipien liegen hierfür vor:

- Einnahme einer holistischen Perspektive auf die Erde, die als einheitliches dynamisches System fernab eines thermodynamischen Gleichgewichts betrachtet wird (Gaia-Theorie)⁷⁰⁶

⁷⁰³ Vgl. Strassert (2001), S. 18

⁷⁰⁴ Vgl. Steffen, Sanderson, Tyson u.a. (Hg 2004), S. 235ff

⁷⁰⁵ Vgl. Clark, Crutzen und Schellnhuber (2005), S. 1

⁷⁰⁶ Vgl. Piqueras (1998), S. 166

- Akzeptieren des Umstandes, dass angesichts von Nicht-Linearität, Komplexität und Irreversibilität der globalen thermodynamischen Prozesse eine hohe Unsicherheit des Wissens und der Erkenntnisfähigkeit die Regel ist⁷⁰⁷
- Wissenschaftliche Erkenntnissuche spiegelt auch den historisch-kulturellen Kontext wider und fordert im Fall der vorliegenden Krise ein transdisziplinäres Vorgehen beim Lösen der lebensweltlichen Fragestellungen in einer sich rapide verändernden Welt⁷⁰⁸

Allerdings steht eine Unzahl von Fragen noch offen, die hier nicht alle explizit behandelt werden können. Häufig führt erst das Zusammenwirken unterschiedlichster Faktoren zu katastrophalen Entwicklungen, die in ihrem Ausmaß und ihrer Wirkmächtigkeit nur schwer vorhersagbar sind, wie es z. B. die Entwicklung des Ozonloches zeigt.⁷⁰⁹ Die Rückwirkungen auf die Lebensbedingungen der Menschheit im regionalen und globalen Kontext sind für die Nachhaltige Entwicklung nicht zu vernachlässigende Größen, vor allem vor dem Hintergrund, dass sozio-ökologische Systeme integrierte komplexe Systeme sind, die sich durch Unregelmäßigkeit und Überraschungen aus Sicht wissenschaftlicher Erwartungen auszeichnen.⁷¹⁰ Die zunehmenden und weiterhin erforderlichen Anstrengungen, das globale geobiophysikalische Zusammenspiel aller Faktoren zu analysieren und zu verstehen, soll aber nicht dahingehend missinterpretiert werden, dass dementsprechende Kenntnisse auf ein vollkommen von Menschen gesteuertes Global-Management der Ökosphäre hin ausgeweitet werden könnten. Denn die Systemzusammenhänge bleiben auch bei wissenschaftlicher Durchdringung komplex, chaotisch und zumindest teilweise unprognostizierbar aufgrund der vielfältigen nicht-linearen Prozesse und Interaktionen.⁷¹¹ Eine solche Herangehensweise würde im schlimmsten Fall die Krise zwischen der Zivilisation und der „Natur“ nur weiter verschärfen, da Fehlsteuerungen nicht auszuschließen sind. Trotzdem ist es in Einzelfällen möglich, dass die industrialisierten Zivilisationen durch bewusstes Handeln im Rahmen des erarbeiteten Wissens regelnd in Naturkreisläufe eingreifen können, ohne diese irre-

⁷⁰⁷ Vgl. MEA (Hrsg. 2005), S. 88

⁷⁰⁸ Vgl. Clark, Crutzen und Schellnhuber (2005), S. 7; Dieser Umstand wird bei der Prämissenlegung der Ökologischen Ökonomik wieder auftreten.

⁷⁰⁹ Vgl. Crutzen (2004a), S. 237

⁷¹⁰ Vgl. Folke (2004), S. 287

⁷¹¹ Vgl. Schellnhuber (1998), S. 10

versibel zu schädigen. Das heißt, dass mit dem Entwicklungspfad einer ökologisch nachhaltigen Entwicklung aus Sicht der global vernetzten Stoff- und Energieströme ein gangbarer Pfad zwischen wissenschaftlicher Hybris und bescheidenem Öko-Pragmatismus zu finden sein muss. Dies vor dem Hintergrund der Größenordnungen, in denen sich anthropogene Einflüsse bewegen: Obwohl der Mensch nur 0,03 Promille der globalen Biomasse ausmacht, beansprucht er über zehn Prozent der gesamten globalen organischen Primärproduktion.⁷¹² Im Umkehrschluss darf die Hauptzielrichtung des Erkenntnisgewinns gar nicht darauf abzielen, den globalen Metabolismus gezielt steuern zu wollen, sondern darauf, den anthropogenen Metabolismus so zu gestalten, dass er keine irreversiblen Schäden im irdischen Gesamtsystem verursacht und späteren Generationen diesbezüglich ausreichend Handlungsspielraum lässt. Aus geobiophysikalischer Sicht lassen sich die Einflüsse des Menschen auf das Gesamtsystem Erde folgendermaßen kategorisieren:

- Inhaltliche Zusammensetzung (von Atmosphäre, Böden und Gewässern – regional sehr unterschiedlich)
- Form (Landschaftsformen, Topologie und Konnektivität von Ökosystemen)
- Räumliche Zusammensetzung (Arten, mengenmäßige Verteilung unterschiedlicher Biome)
- Künstlichkeit (artifizielle Veränderungen durch Kolonisierung natürlicher Ökosysteme)

All diese Veränderungen sind interdependent und führen im derzeit vorkommenden Maß zu Störungen der natürlichen Stoff- und Energiekreisläufe auf der Erde.

4.3.5 Abbildung in geobiophysikalischen Modellen

Zur naturwissenschaftlichen Abbildung und zum Verständnis der globalen geobiophysikalischen Zusammenhänge wurden verschiedene Modelle unter Beteiligung von Wissenschaftlern unterschiedlicher Disziplinen entwickelt. Als anwendungsbezogene transdisziplinäre Wissenschaftszweige haben sich dabei insbesondere die „Global Change Science“ und die „Earth System Science“ herauskristallisiert.⁷¹³ Damit können

⁷¹² Vgl. Reichholz (1998), S. 47

⁷¹³ Vgl. Graßl (2003), S. 81

hilfreiche Erkenntnisse über das Zusammenspiel natürlicher und menschlicher Einwirkungen auf das Gesamtsystem Erde gewonnen werden, um langfristige Interdependenzen zwischen natürlichen und anthropogenen Stoffflüssen aufzudecken und ggf. adäquat reagieren zu können.⁷¹⁴ Ziel bzw. Anspruch dieser Herangehensweise ist die Entwicklung eines globalen Managements im Rahmen des Leitbildes der Nachhaltigen Entwicklung.⁷¹⁵ Allerdings ist die daraus erwachsende Euphorie, mit einem „Earth System Engineering“ der ökologischen Krise begegnen zu können, ein an technokratisch induziertem Machbarkeitsglauben orientiertes Konzept.⁷¹⁶ Ob dieser Ansatz der Katastrophenvermeidung tatsächlich dienlich ist, ist nicht im engeren Sinn prognostizierbar, was der Notwendigkeit diesbezüglicher Maßnahmen wie bereits diskutiert jedoch keinen Abbruch tut, auch wenn der Ansicht der technischen Steuerbarkeit der komplexen geobiophysikalischen Vernetzungen mit Vorsicht zu begegnen ist, da sie mitunter an die Hybris früher Wissenschaftsgläubigkeit erinnert.⁷¹⁷ Das Erdsystem und das ökonomische Produktionssystem werden als gekoppeltes Gesamtsystem betrachtet, wobei es unterschiedliche Formen der analytischen Aufbereitung gibt. Strassert stellt in einer gekoppelten Input-Output-Tabelle die sieben ökonomischen Basisaktivitäten Gewinnung materieller Rohstoffe, Gewinnung von Energieträgern, Herstellung von Sachkapital und Instandhaltung, Herstellung von Konsumgütern, Finale Immaterielle Haushaltsproduktion, Sammlung und Entsorgung von Reststoffen und Wiedergewinnung von Rohstoffen aus Reststoffen mit ihren jeweiligen Transaktionen in Form von Stoff- und Energieströmen einer entsprechenden natürlichen Produktionsmatrix mit den Basisaktivitäten Ur-Produktion, Transformation pflanzlicher Biomasse in Baustoffe und Betriebsstoffe der Organismen der Herbivoren, Transformation der Biomasse von Beute in Bau- und Betriebsstoffe von Räubern, zwei Formen der Primärzersetzung, Regulation der Bodenfauna, zwei Formen der Sekundärzersetzung und Mineralisierung mit den entsprechenden Transaktionen über Stoff- und Energieströme gegenüber.⁷¹⁸ Transformationen zwischen den natürlichen und anthropogenen Konten spiegeln das Verhältnis und vor allem den Umfang der Mensch-Natur-Interaktion wider. Zwischen den einzelnen Konten gibt es in der Regel irreversible One-way-Beziehungen, die (im besten Fall)

⁷¹⁴ Vgl. Claussen (2004), S. 282

⁷¹⁵ Vgl. Sachs (1997), S. 105

⁷¹⁶ Vgl. Friedman (1999), S. 16

⁷¹⁷ Vgl. Allenby (1999a), S. 23

⁷¹⁸ Vgl. Strassert (2001), S. 27

in ihrer Gesamtheit in einen (geschlossenen) Kreislauf münden. Bei den Transaktionsprozessen geht nur die eingesetzte Energie in Form dissipierter Wärme verloren. Es gelten die Gesetze der Thermodynamik. Solch eine grobe Veranschaulichung, für die es noch weitere Beispiele in der Literatur gibt, können das Maß anthropogener Einflussnahme auf die natürlichen Prozesse quantitativ verdeutlichen.⁷¹⁹ Es lassen sich damit Prinzipien ableiten, die für Stoff- und Energieaustauschprozesse in jedem Zusammenhang gelten: Für die Aufrechterhaltung des betreffenden Systems bedarf es der temporären Zurückhaltung von Stoffen und Energie. Stoffströme finden rückgebunden über mehrere Umwandlungsstufen statt, wobei „unterwegs“ unvermeidliche Verluste auftreten, was durch ständigen Ersatz an Stoffen aus der Umwelt ausgeglichen werden muss. Die Tragfähigkeitsgrenze der Umwelt darf insgesamt bei keinem der beteiligten Stoffe überschritten werden, was wiederum durch geeignete Wiederherstellungsmechanismen gewährleistet sein muss.⁷²⁰ Diese Prinzipien müssen sich in einer IÖ wiedererkennen lassen. Für die Bestimmung der Qualität der Einflussnahme bedarf es feinerer und in der Regel weniger globaler Methoden, die hier nicht eingeführt werden sollen.⁷²¹ Sie werden über die damit einhergehenden wesentlich niedrigeren Tragfähigkeitsgrenzen für schwerwiegende qualitative Veränderungen abgedeckt. Als Informationsinstrument über Quantitäten für das industrielle Produktionssystem können in erster Näherung sogenannte physische oder ökologische Gesamtrechnungen, die in der Regel national angelegt sind, herangezogen werden.

4.3.6 Übertragbarkeit ökologischer Prinzipien auf anthropogene Systeme (Technosphäre)

Im Sinn der transdisziplinären Übertragung ökologischer Prinzipien auf kulturell-technologische Systeme braucht man die „*Essenz der Vorgänge, mit denen sich Ökosysteme selbst organisieren.*“⁷²² Diese beobachteten (nicht zwingend analytischen) Grundregeln ökologischer (natürlicher) Vorgänge sind am ehesten übertragbar, wenn sie sich so weit abstrahieren lassen, dass man sie in einzelne normative Regeln zur Operationalisierung im industriellen System übersetzen kann. Aber ist das überhaupt möglich?

⁷¹⁹ Vgl. z. B. Ayres (1999), S. 477

⁷²⁰ Vgl. Strassert (2001), S. 54

⁷²¹ Diese werden in Form der dafür entwickelten Managementinstrumente in Abschnitt 7.6 behandelt.

⁷²² Capra (2003), S. 50

Natürliche Prozesse zeichnen sich grundlegend dadurch aus, dass eine Vielzahl von Gesetzmäßigkeiten simultan und interdependent wirken. Diese Vorgänge müssen holistisch erfasst werden, da einzelne Gesetzmäßigkeiten keine eindeutige Regelmäßigkeit ergeben. Trotzdem sollen für die angestrebte Übertragung wichtige Prinzipien, so weit sie naturwissenschaftlich nachgewiesen bzw. nicht falsifiziert sind, hier nochmals aufgelistet werden⁷²³:

Vielfalt, Flexibilität (Resilienz), Interdependenz, Emergenz, Netzmuster, (negative) Rückkopplungsschleifen, Kreislaufführung von Energie und Materie, Wiederverwertung aller in Umlauf gebrachten Stoffe, Kooperation und Partnerschaft, die insgesamt die Selbstorganisation der Ökosysteme darstellen.

Es soll hier von einem aus anthropozentrischer Sicht vernunftorientierten Ansatz ausgegangen werden, der als Prämisse setzt, dass die ökologisch bestimmten Phänomene, die durch die wissenschaftliche Ökologie vermessen werden, einer vernunftäquivalenten Logik folgen, die durch eine Übertragung der o. g. Eigenschaften auf technosphärische Systeme eine stringente Struktur für deren nachhaltig ökologisch verträgliche Gestaltung vorzugeben vermag. Inwieweit dies möglich und sinnvoll ist, hat u. a. Isenmann ausführlich diskutiert.⁷²⁴ Einige Begriffe aus der ökologischen Wissenschaft haben bereits allgemein anerkannten Einzug in die Begriffswelt der Sozialwissenschaften gefunden, unter anderem auch der Begriff der Resilienz, der insbesondere im Zusammenhang mit nachhaltiger Entwicklung von großer Bedeutung ist. Die erste Verbindung zwischen natur- und sozialwissenschaftlicher Herangehensweise soll über den jungen Forschungszweig „Humanökologie“ stattfinden.

⁷²³ Vgl. ebda, S. 56

⁷²⁴ Vgl. Isenmann (2003), S. 6ff; Vergleiche auch Kapitel 3.

5. Humanökologie und angrenzende Wissenschaftsgebiete

Im Lauf seiner Entwicklung ist der Mensch in den meisten Regionen der Erde zum dominierenden ökologischen Standortfaktor geworden.⁷²⁵ Deshalb war es logisch, speziell aus ethnologischer Sicht die Phänomene des anthropogenen Metabolismus anhand des Ökosystem-Konzepts wissenschaftlich zu durchleuchten,⁷²⁶ auch wenn im eigentlichen Sinn bei der Untersuchung des Naturhaushaltes, wie ihn die Ökologie vorsieht, der Mensch als aktiver Bestandteil schon eingeschlossen ist.⁷²⁷ Die Menschen sind als Individuen Bestandteil ihres jeweiligen Ökosystems, trotzdem ist es angesichts der Unüberschaubarkeit der Einzelaktivitäten mit raumzeitlicher Wirkung auf die Ökosysteme sinnvoll, in der Humanökologie den Beobachtungsraum auf die Interaktion des „anthropogenen Systems“ mit der „Umwelt“ bzw. den Ökosystemen aufzuspannen.⁷²⁸ Das auch vor dem Hintergrund, dass Information sowohl in natürlichen als auch in anthropogenen Ökosystemen neben Energie und Materie eine besondere Bedeutung zukommt, die in der Anthroposphäre aber wesentlich anders gestaltet ist.⁷²⁹ Dies impliziert eine von der biologischen Ökologie abweichende Herangehensweise, um einen integrativen Denkansatz zu fördern, der die enge evolutionäre Kopplung von Mensch, Natur und Gesellschaft erfasst.⁷³⁰ Dies soll die Humanökologie leisten. Allerdings herrscht kein allgemeiner Konsens über die inhaltliche Bedeutung der Humanökologie. Als wissenschaftliche Herangehensweise changiert sie zwischen der Proklamierung einer eigenen wissenschaftlichen Disziplin, eines konzeptionellen Rahmens oder eines

⁷²⁵ Vgl. Wittig und Streit (2004), S. 214 und Vitousek, Mooney, Lubchenco u.a. (1997), S. 494

⁷²⁶ Vgl. Gönner (2001), S. 10

⁷²⁷ Vgl. Werlen und Weingarten (2003), S. 199; Dies auch unbenommen aller inhaltlichen Überschneidungen mit anderen am Menschen orientierten Wissenschaften mit Raumbezug, wie die Humangeografie (bzw. Anthropogeografie) oder Sozialökologie, die hier nicht näher behandelt werden sollen, sondern als transdisziplinär inhärente Bestandteile der Humanökologie betrachtet werden; Vgl. Valsangiacomo (1998), S. 164; er bezeichnet das Amalgam als „(Neue) Humanökologie“.

⁷²⁸ Vgl. Marten (2001), S. 1

⁷²⁹ Vgl. Stepp, Jones, Pavao-Zuckermann u.a. (2003), S. 3

⁷³⁰ Vgl. Hosang (2004), S. 57

Sets von Prinzipien.⁷³¹ Diese Lesarten bewegen sich zusammengenommen im unscharfen Raum zwischen deskriptiver und normativer Positionierung. Insofern ist jedoch auch eine starke Gemeinsamkeit mit den Positionen der Nachhaltigkeit und IÖ gegeben.

5.1 LOGISCHES BINDEGLIED HUMANÖKOLOGIE(N)

Die anthropogenen Wirkungen des Gesellschaft-Umwelt-Systems sind inzwischen ein so starker Faktor, dass die wissenschaftliche Spezialisierung gerechtfertigt erscheint und die Humanökologie ein ideales Bindeglied ökologischer und ökonomischer bzw. gesellschaftlicher Untersuchungen ist⁷³² – schon alleine vor dem Hintergrund, dass nur noch weniger als 10 % der festen Landoberfläche nicht oder nur wenig vom Menschen beeinflusst sind.⁷³³ Darüber hinaus sind die wenigen verbliebenen nahezu naturbelassenen Ökosysteme stark fragmentiert und häufig nicht mehr groß genug, um allen darin vorkommenden Arten die langfristige Existenz zu ermöglichen.⁷³⁴ Es bedarf also auf jeden Fall einer systematischen Herangehensweise an die Gesellschaft-Umwelt-Interaktion. Von Vorteil ist beim Versuch, die Kopplung zwischen dem Gesellschafts- und dem Umweltsystem zu beschreiben, dass zwischen ökologischen und gesellschaftlichen Systemen bemerkenswerte Ähnlichkeiten zu finden sind, was strukturierende Kräfte und die Ausbildung von strukturellen Mustern betrifft.⁷³⁵ Dies sind insbesondere Vernetzung, Selbstorganisation, Emergenz und ein ausgeprägter Metabolismus. Allerdings ist das Gebiet so vielfältig beforscht, dass man eigentlich von einem Bündel von Humanökologien sprechen müsste, die alle mit eigenen Konzepten der Fragestellung der Mensch-Natur-Beziehungen gerecht werden wollen, indem sie sich aus unterschiedlichen Wissenschaftsbereichen der Fragestellung annähern. Das gemeinsame Dach bietet die Suche nach interagierenden Regelkreisen für die Mensch-Umwelt-Relationen. Als Erkenntnismittel lässt sich diese Betrachtungsweise sowohl auf die naturwissenschaftli-

⁷³¹ Vgl. Lawrence (2005), S. 124

⁷³² Vgl. Teherani-Krönner (1992a), S. 154

⁷³³ Vgl. Kratochwil und Schwabe (2001), S. 19

⁷³⁴ Vgl. Jongman und Pungetti (2004), S. 5

⁷³⁵ Vgl. McMahon, Miller und Drake (2001), S. 1604

chen als auch auf die gesellschaftswissenschaftlichen Aspekte anwenden.⁷³⁶ Betrachtet man die Humanökologie mit der Brille des naturwissenschaftlichen Ökologen, so ist diese Disziplin zwischen der Autökologie des Menschen und der Demökologie der Menschheit anzusiedeln.⁷³⁷ Betrachtet man sie mit der Brille des Sozialwissenschaftlers, kommt der Begriff der Sozialökologie stärker zum Tragen, der sich von rein biologistischen Ansätzen abzuheben versucht.⁷³⁸ Hier geht es um die Durchdringung der im Sozialsystem verorteten umweltrelevanten Aspekte. Die kulturelle Umformung der Natur zu Artefakten prägt durch ihre zunehmende Dominanz die menschliche Wahrnehmung in industrialisierten Regionen. Dies geht mit einer verkümmerten Wahrnehmungsfähigkeit für natürliche Zusammenhänge in der Lebenswelt einher und erschwert die bewusste Steuerung der Mensch-Umwelt-Interaktion, da bedeutende Sachverhalte nicht mehr zum alltäglichen Erfahrungsschatz gehören, weil sie kulturell überformt sind.⁷³⁹ Der „gestörte“ Umgang mit Natur ist damit prägender Teil des kulturellen Verständnisses. Dies macht eine Umkehr umso schwieriger, da auch die Anreizsysteme, die sich mit der Industrialisierung entwickelt haben, die Naturblindheit als inhärenten Bestandteil verinnerlicht haben. Handlungsmuster, Sitten und Gebräuche sind durchweg geprägt von Nutzenüberlegungen im Umgang mit den gegebenen biophysischen Rahmenbedingungen. Insbesondere die Ausprägung der ökonomischen Strukturmerkmale beeinflusst die Handlungsmuster in industrialisierten Gesellschaften und bestimmt damit deren Adaptionfähigkeit an veränderte Situationen.⁷⁴⁰

Spielarten der Humanökologie

Im laufenden Erkenntnisprozess haben sich unterschiedliche sachverwandte Disziplinen herausgebildet, die sich inhaltlich jedoch nicht eindeutig vom Ansatz der Humanökologie abgrenzen können:⁷⁴¹ Sozial-Ökologie, Kultur-Ökologie, (systemische) Landschaftsökologie, Politische Ökologie, Ökologische Anthropologie und Humangeographie. Es existieren dabei ausreichende Analogien in Form der gleichlautenden

⁷³⁶ Vgl. Freitag (2001), S. 61; In unserem Fall liegt der Fokus auf dem ökonomischen Subsystem industrielle Produktion und dessen Interaktionsmustern mit der Umwelt.

⁷³⁷ Vgl. Reichholz (1998), S. 120 und Valsangiacomo (1998), S. 87 und S. 164

⁷³⁸ Vgl. Teherani-Krönner (1992), S. 21

⁷³⁹ Vgl. Peisl (1995), S. 24

⁷⁴⁰ Vgl. Beckenbach (1991), S. 64

⁷⁴¹ Vgl. Teherani-Krönner (1992), S. 32, Lawrence (2005), S. 124 und Adam, Kohout, Merk u.a. (2003), S. 9; Ohne Anspruch auf letztgültige Vollständigkeit.

Problemwahl (Forschungsfragen) sowie vergleichbarer Weltanschauungen und Philosophien, um die unterschiedlichen theoretischen Erklärungsansätze synthetisieren zu können.⁷⁴² In dieser Arbeit kann nicht jeder der zur Humanökologie zählenden Aspekte oder jeder ähnlich gelagerte Wissenschaftszweig explizit berücksichtigt bzw. ausführlich behandelt werden, sondern vor allem implizit diejenigen, die Aufschluss über die Beantwortung der Forschungsfragen versprechen. Sie werden unter dem umfassenden Ansatz der Humanökologie subsumiert. Dabei ist es der Fragestellung adäquat, ein Modell von Ordnungsstrukturen zu Grunde zu legen, das auf der ökologischen Ordnung als biotischer Grundstruktur aufbaut, und darauf die kulturellen Ordnungsebenen Ökonomie, Politik und moralische Fragestellungen aufsetzt,⁷⁴³ entsprechend dem Ansatz, der auch in der Ökologischen Ökonomik gewählt wird.⁷⁴⁴ Dabei sollen eindeutig naturalistische, soziozentrische oder konstruktivistische Extrempositionen vermieden werden, um den interaktiven Prozessen zwischen den materiellen und symbolischen Dimensionen der Regulierung gesellschaftlicher Naturverhältnisse gerecht werden zu können.⁷⁴⁵

Stark normativ orientiert und den Wert der natürlichen Lebensgrundlagen für ein „gutes Leben“ betonend, ist der Zweig „Politische Ökologie“.⁷⁴⁶ Hier stehen pragmatisch orientiert die legislativen, technologischen, ökonomischen und institutionellen Rahmenbedingungen der Kultur-Natur-Interaktion im Vordergrund, die dann mit ethischen Fragestellungen belegt werden.⁷⁴⁷ Häufig ist dies verbunden mit einer zwar heftigen, aber stets stringent vorgetragenen Kritik am industriellen Kapitalismus. Aufgrund letzterem kann diesem Ansatz trotz zumeist wissenschaftlicher Fundierung auf Grund der Tendenz zur subjektiven Wertung hier kein Raum eingeräumt werden.

Bei Uexküll bekommen die natürlichen Dinge vom handelnden Subjekt Merkmale zugeschrieben, die dann die Bedeutung der Umwelt für das Objekt spezifizieren, das heißt, die Ökologie wird hier etwas mehr in ihrer Dimension als Bedeutungslehre gehandhabt, als in ihrer Dimension einer rein „objektiven“ Beziehungslehre. Teilstränge dieser Argumentation liefern Erkenntnisse von der dauerhaften Verbindung aller materiell

⁷⁴² Vgl. Eisel (1992), S. 108

⁷⁴³ Vgl. Teherani-Krönner (1992), S. 27

⁷⁴⁴ Diese wird in Abschnitt 6.2 behandelt.

⁷⁴⁵ Vgl. Wehling (1997), S. 45

⁷⁴⁶ Vgl. Adam (2003), S. 23; Auch wenn deren Ideen von ihren Autoren häufig weniger wissenschaftlich als polemisch formuliert werden, was ihren „Wahrheitsgehalt“ jedoch nicht schmälert, auch im Hinblick auf den Anspruch, eine Handlungswissenschaft zu sein; Vgl. Vierecke (2003), S. 145

⁷⁴⁷ Vgl. Lawrence (2005), S. 123

wirksamen Vorgänge auf der Erde. In ihrer gesamten Bandbreite kann die Humanökologie mit den Grundlagen der Ökologie als idealer Brückenkopf für die transdisziplinäre Diskussion zwischen naturwissenschaftlichen und sozialwissenschaftlichen Konzeptionen des Mensch-Natur-Verhältnisses dienen.⁷⁴⁸ Dabei geht es in erster Linie darum, die naturwissenschaftlichen Konstrukte von „Natur“, die mit den Methoden der Ökologie exakt ermittelt werden können, mit den sozialwissenschaftlichen Konstrukten von Natur als kulturellem Nutzungsraum zu vereinbaren, um im komplexen Spannungsfeld von Natur und Kultur zu nachhaltigen Lösungsstrategien der ökologischen Krise beitragen zu können.⁷⁴⁹ So stellt sich die Humanökologie als eine transdisziplinäre Herangehensweise dar, die die Mensch-Umwelt-Interaktionen aus Sichtweisen behandelt, die sowohl anthropologische, ethnologische und urgeschichtliche als auch ökonomische, geographische, soziologische und psychologische Zugänge erfordern, um die letztendliche materielle Ausprägung der anthropogenen Interaktionen mit der Natur zu erforschen, weil diese sowohl technisch-soziale als auch stofflich-organische Seinsbereiche umfasst.⁷⁵⁰ Zwar wäre es darüber hinaus durchaus wünschenswert, zusätzlich z. B. evolutionshistorische Gedankengänge zur Beantwortung der Fragen heranzuziehen, wenn es darum geht, die gegenseitigen Bedingtheiten materieller und kultureller Entwicklungen abzuwägen. Detailfragen wie die Bedeutung der evolutionär einmaligen Gehirnentwicklung des Homo sapiens oder die Bedeutung des aufrechten Ganges für die Mensch-Natur-Interaktion müssen aber bei aller Plastizität ihres Erklärungsgehalts außen vor bleiben,⁷⁵¹ auch wenn eine Beantwortung der Frage, inwiefern die evolutionär gewachsene „Natur des Menschen“ zur Krise im augenblicklichen Umgang mit der Natur beiträgt, hilfreich wäre, weil nur mit diesem Wissen eine dauerhafte Lösung der Problematik angedacht werden kann.⁷⁵² Eine evolutionäre oder historische Sichtweise ist der Humanökologie jedoch ohnehin inhärent, da von rekursiven Beziehungen zwischen Kulturleistungen und Naturzuständen ausgegangen wird, deren gegenseitige Entwicklung erst im historischen Kontext erklärbar ist und damit eruiert werden kann, wie es zu der gegenwärtigen Situation gekommen ist.⁷⁵³

⁷⁴⁸ Vgl. Wilfing (2002), S. 226

⁷⁴⁹ Vgl. Alt und Rauschenberger (2001), S. 9

⁷⁵⁰ Vgl. Herrmann, (2002), S. 23, Borsdor (2002) S. 27 und Seidler (2002), S. 3

⁷⁵¹ Zur Bedeutung der menschlichen Gehirnentwicklung vgl. Teschler-Nicola (2002), S. 108

⁷⁵² Vgl. Huber (2002), S. 116

⁷⁵³ Vgl. Steiner (1992a), S. 196

Systemischer Ansatz

Ein systemischer Ansatz drängt sich trotz einer notwendigen Reduktion aufs Wesentliche geradezu auf, wenn es darum geht, den Stoff- und Energieaustausch der Anthroposphäre mit den natürlichen Ökosystemen zu untersuchen, modellhaft abzubilden und das Beziehungsgeflecht zwischen kultureller Umgestaltung von Materie, sozialen Phänomenen und natürlicher Umwelt genauer zu durchleuchten. Versucht man, eine frühe Definition für Humanökologie aufzustellen, so kann man darunter die „*Untersuchung der räumlichen und zeitlichen Beziehungen menschlicher Lebewesen, wie sie durch die selektiven, distributiven und akkomodativen Kräfte der Umwelt bewirkt werden*“ verstehen.⁷⁵⁴ Eine neuzeitlichere Definition sollte darüber hinaus die anthropogene Gestaltungskraft hinsichtlich der Umwelt explizit berücksichtigen und die erklärende Naturwissenschaft und anwendungsorientierte Technik als Momente verstehen, mit denen die Gesellschaft die Natur manipuliert und von denen eine „ökologische Modernisierung“ abhängt.⁷⁵⁵

5.1.1 Grundpositionen der Humanökologie

Die Gesellschaft (mit ihren Subsystemen) konstituiert das Verhalten der einzelnen Akteure, das wiederum direkt auf das Ökosystem einwirkt. Dabei definiert Technologie als sozial erworbene Handlungsfähigkeit zu einem großen Teil das menschliche Repertoire an ökologisch wirksamen Verhaltensweisen. Ist einmal die Entscheidung für eine Handlungsweise aus dem Repertoire gefallen, so verursacht diese ihre technologisch determinierte ökologische Wirkung.⁷⁵⁶ Humanökologisch betrachtet erfordert die Analyse der Wirkungsketten bzw. -kreise, die die letztendlichen ökologischen Auswirkungen determinieren, ein integratives Verständnis von den demographischen, sozialen, ökonomischen, ökologischen und technologischen Faktoren, die das Handeln einer Gesellschaft bzw. deren Akteure beeinflussen.⁷⁵⁷ Dies ist ein hehrer Anspruch, dem im Rahmen der vorliegenden Einzelarbeit jedoch nur ansatzweise Genüge getan

⁷⁵⁴ Glaeser (2002), S. 65

⁷⁵⁵ Vgl. Kluge (1991), S. 101

⁷⁵⁶ Z. B. die Investition in ein Solarkraftwerk statt eines herkömmlichen Daches auf einer Fabrikhalle.

⁷⁵⁷ Vgl. Liu (2001), S. 2

werden kann. Die aus einem humanökologischen Ansatz heraus abzuleitenden Wege zur Nachhaltigkeit, das sind sich ergänzende Innovationen in Technik, Verhalten und Institutionen (tvi),⁷⁵⁸ werden zwar als gleichwertig in ihrer Bedeutung für die gesamten ökologischen Wirkungen menschlichen Handelns betrachtet, als letztendlich umweltwirksam wird aber vor allem der Einsatz von Technologie mit spezifischem Ressourcenbedarf angesehen. Innovationen in sozio-ökonomischen Strukturen, Technologiepfaden und Produkten sind dabei nicht getrennt voneinander zu verstehen.⁷⁵⁹ Denn erstere führen zu neuen Entstehungs- und Verwendungswegen von (neuen) Produkten. Die Humanökologie versucht in diesem Beziehungsgeflecht die Ursachen und Konsequenzen anthropogener Aktivitäten als eine Kette von Effekten durch das soziale und das ökologische System zu analysieren. Hier soll versucht werden, diese Kette grob nachzuzeichnen.

5.1.2 Humanökologische Folgerungen für die IÖ

Die Humanökologie leistet mit der praxisorientierten Anwendung ökologischen Wissens auf gesellschaftliche Fragestellungen und mit der Bereitstellung einer ökologischen Perspektive auf menschliches Handeln (im kollektiven Sinn) einen nicht außer Acht zu lassenden Beitrag bei der Untersuchung des Konzeptes der IÖ.⁷⁶⁰ Dabei kommen unterschiedliche Sichtweisen in Betracht. Der Mensch kann als Einflussfaktor natürlicher Systeme, als Teil der natürlichen und kulturellen Systeme oder als in die ökosystemaren Abläufe integriertes Wesen bzw. Population angesehen werden. Letztere Prämisse kommt der Fragestellung der Erklärung und Entschärfung menschlicher, insbesondere industriell induzierter Eingriffe in den Naturhaushalt am ehesten entgegen, da es alle denkbaren „Rollen“ des Menschen als Verursacher, Betroffener und Gestalter von Natureingriffen abdeckt.⁷⁶¹ Dies erfordert jedoch, aus der engen wissenschaftlichen Disziplinierung auszutreten und die Betrachtung der kulturell-sozialen Phänomene auf der einen und den natürlichen Phänomenen auf der vermeintlich anderen Seite als voneinander getrennte Entitäten aufzugeben und durch eine integrative Sichtweise zu

⁷⁵⁸ Vgl. Majer (2002a), S. 44

⁷⁵⁹ Vgl. Green und Randles (2003), S. 6

⁷⁶⁰ Vgl. Katz (2004), S. 82f

⁷⁶¹ Vgl. Nüsser (2003), S. 327

ergänzen, die sowohl symbolische als auch realistische bzw. naturalistische Denktraditionen zu vereinen sucht.⁷⁶² Genau in dieser Breite der Diskussion liegt die Stärke der Humanökologie, die man in diesem Zusammenhang eher als eine erkenntnistheoretische Perspektive für einen offenen Erkenntnisprozess, denn als eigene wissenschaftliche Disziplin auffassen sollte.⁷⁶³ Dies erfordert, da man es in der Regel mit einer Mischung aus holistischer und hierarchischer (holarchischer) Strukturierung des Gesamtzusammenhangs zu tun hat, einige Prämissen zu berücksichtigen:⁷⁶⁴

- Die inhärenten selbstorganisatorischen Prozesse, nebst Schwellenverhalten und kreativer Zerstörung, erscheinen auf unterschiedlichen Ebenen sowohl im sozialen als auch im ökologischen System
- Zwischen all diesen Ebenen gibt es komplexe holarchische Rückkopplungen
- Vor allem emergente Strukturen im anthropogenen System schlagen sich in kulturellen und materiellen Strukturen bzw. Mustern nieder, die einer hohen (Eigen-)Dynamik unterliegen
- Dies erschwert die Prognostizierbarkeit des Verhaltens des vernetzten sozio-ökologischen Systems, was einen methodologischen Pluralismus und die Einnahme verschiedener Perspektiven erfordert, um überhaupt zu einem sinnvollen Steuerungsansatz zu gelangen
- Damit schließt sich der Kreis zum transdisziplinären Ansatz

Bei der Untersuchung der Sachverhalte anhand der Systemtheorie ist man mit weiteren theoretischen Implikationen konfrontiert: Wie steht es mit der Identität der beobachteten bzw. beschriebenen Systeme über einen längeren Betrachtungszeitraum, wo doch gerade der dynamische Wandel in unterschiedlichen Zeiträumen im Fokus steht? Wann geht ein System durch Veränderung in ein anderes System über, wann ändert es dabei nur charakteristische Zustandsgrößen, bleibt jedoch eine eindeutige Identität? In welchem Umfang ist es sinnvoll, prinzipiell über einen langen Zeithorizont von identischen Systemen auszugehen? Nicht zuletzt hängt die Systemdefinition von der Herangehensweise an die jeweilige Fragestellung ab.⁷⁶⁵ Am ehesten entspricht der funktionale Ansatz der Forderung nach langfristiger Identität der untersuchten Systeme. Dies gilt sowohl aus

⁷⁶² Vgl. Meusburger und Schwan (2003), S. 6

⁷⁶³ Vgl. Egger (1996), S. 157

⁷⁶⁴ Vgl. Waltner-Toews und Kay (2005), S. 9 und Trosper (2005), S. 3

⁷⁶⁵ Vgl. Cumming und Collier (2005), S. 2

ökologischer als auch aus sozialwissenschaftlicher Perspektive für die Kontinuität funktionaler Zusammenhänge über Zeit und Raum, die durch Schlüsselkomponenten und stabile Beziehungsmuster aufrecht erhalten werden. So ergeben sich vier (interdependente) Merkmale, nach denen ein sozio-ökologisches Systemgeflecht definiert werden kann:

- Systemkomponenten in differenzierten Detaillierungsgraden
- Die Beziehungen zwischen diesen Komponenten in Art und Umfang
- Lokalisierung und räumliche Ausdehnung der definierten (Teil-)Systeme
- Die zeitliche Ausdehnung, über die die Systemidentität gelten soll

5.1.3 Zu entwirrende Begriffsverwirrungen Natur – Umwelt

Die durch die Fragestellung bedingte Verwirrung der Begriffe „Natur“ und „Umwelt“ kann hierbei nur annähernd entwirrt werden. Uexküll verwendete 1921 den in der deutschen Sprache relativ jungen Begriff der Umwelt im wissenschaftlich biologischen Sinn und schärfte damit dessen Bedeutung:⁷⁶⁶

„Jede Umwelt eines Tieres bildet einen sowohl räumlichen als auch zeitlich wie inhaltlich abgegrenzten Teil aus der Erscheinungswelt des Beobachters. Jedes Tier trägt seine Umwelt wie ein undurchdringliches Gehäuse sein Lebtage mit sich herum.“

Umwelt wird damit kontextrelativ und ist nicht absolut zu verstehen wie der Begriff der Natur. Umwelt ist damit das Umsystem eines in sich geschlossenen Systems, wie z. B. eines Organismus oder einer Population. Umwelt nur als notwendiges konstituierendes Element für die Definition von Systemen zu betrachten⁷⁶⁷ greift hier insofern zu kurz, als durch die anthropogene Gestaltungskraft der Mensch selbst zum wirkungsmächtigsten Element ebenjener Umwelt geworden ist, die er durch die ausdifferenzierten artifiziellen Subsysteme des gesellschaftlichen und des ökonomischen Systems beeinflusst. Zwar werden diese Sub-Systeme konstituiert, doch in Anbetracht der prekären Lage ist das betroffene System der gesamte Planet und insofern Natur und Umwelt im metaphorischen Sinne eins. Die Anthroposphäre stellt sich allenfalls als emergentes

⁷⁶⁶ Zit. nach Jäger (1994), S. 1

⁷⁶⁷ Wie z. B. Eßbach (2001), S. 172

Subsystem des Gesamten dar. Dies deckt sich mit dem impliziten Verständnis der IÖ, die die menschlichen Artefakte der Produktion möglichst verträglich in Naturprozesse einzufügen anstrebt und dabei der komplexen Verflechtung von Kultur und Natur (als Umwelt in Form eines definierten Ausschnittes der Biosphäre⁷⁶⁸) gewahr zu sein hat.

5.1.4 Bezugsobjekt „Umwelt“ als relevante Natur

Schon die scherenschnittartige Gegenüberstellung von atomistisch-mechanistischem Weltbild der industrialisierten Gesellschaften mit einem holistisch-organismischen Weltbild verdeutlicht die Implikationen, die daraus für den Umgang mit der Natur folgen. Es ergeben sich vollkommen unterschiedliche Handlungsrationaltäten, die letztendlich zur Integration und Begründung der persönlichen und gesellschaftlichen Handlungsmuster herangezogen werden. Die Reduktion von Handlungsweisen auf ihre linearen Zusammenhänge führt unumgänglich zur Nichtbeachtung der aus der Umweltökonomie bekannten externen Effekte.⁷⁶⁹ Die normative Umsetzung einer IÖ bedarf auch, dass das zu Grunde liegende Weltbild der industriellen Gesellschaften daraufhin überprüft wird, ob es den Forderungen adäquat ist.⁷⁷⁰ Eine rein technokratische Lösung im Rahmen des Bisherigen wird kaum ausreichen, sondern würde einem Lösungsversuch unter Verwendung von „mehr desselben“ gleichen.⁷⁷¹ Solche Versuche sind jedoch empirisch gesehen bemerkenswert erfolglos.⁷⁷² Das mag unter anderem an der begrifflichen Ungenauigkeit des Terminus der „Umwelt“ liegen, denn Umweltschutz bezieht sich auf das Objekt Umwelt als gesamten kontextrelativen Entfaltungsraum des han-

⁷⁶⁸ Was man wiederum aus geographischer Sicht als Landschaft bezeichnen könnte.

⁷⁶⁹ Diese werden im entsprechenden Abschnitt 6.1.3 kurz angerissen.

⁷⁷⁰ Bildet man gedankliche Gegensatzpaare, um diese beiden Weltbilder zu differenzieren, so kommt man zu folgendem Ergebnis: (holistisch-atomistisch) Ganzes-Teile; Geist-Materie; Zwecke-Ursachen; Werte-Fakten; Vgl. Steiner (1995), S. 10

⁷⁷¹ Vgl. Watzlawick (1988), S. 28

⁷⁷² So genannte „Sunk-cost-effects“ führen bei zunehmender Komplexität von Gesellschaften beim Gebrauch von Ressourcen regelmäßig zu positiven Rückkopplungsschleifen aufgrund kapitalisierter Sachzwänge, verbunden mit negativem Grenznutzen, zu letztendlich unerwarteten Störungen bis dahin funktionierender Systemzusammenhänge und leiten dadurch nicht vorhergesehene bifurkative Prozesse ein, die zumeist den Zusammenbruch der Systemzusammenhänge nach sich ziehen; Vgl. Janssen und Scheffer (2004), Art. 6, S. 2; Bekannt ist der Effekt in anderem Zusammenhang aus der Psychologie als die Strategie „mehr desselben“, wobei eine betroffene Person versucht, durch gleichförmige Reaktionsmuster aus einer bestimmten Situation zu entkommen, was jedoch zu immer tieferer Verstrickung in die gegebene Problematik führt und letztendlich in einer Sackgasse ohne rationale Handlungsalternativen endet.

delnden Subjektes und entzieht sich somit einer exakten Definition ebenso wie der genauen Abgrenzung vom Begriff der „Natur“.⁷⁷³ Hier soll der Umweltbegriff als ökologischer Handlungsraum der menschlichen Aktivitäten mit stofflich-energetischer Verflechtung verstanden werden.⁷⁷⁴ Dies umfasst sowohl die Geo- und Biosphäre als auch die durch den Menschen kolonisierte Anthroposphäre.⁷⁷⁵ Mit Godelier wären dies insbesondere die ersten zwei Arten des Materiellen (bzw. von Umwelten):⁷⁷⁶

- Die erste, die allgemeine Natur, die sich außerhalb der direkten Einflussnahme des Menschen befindet, auf diesen jedoch einwirkt
- Die zweite, die Teile der Natur, die von Menschen bereits indirekt (unintendiert) verändert wurden

Aber auch die weiteren Arten des Materiellen (die intendiert artifizielle Umwelt):

- Die dritte, der Teil der Natur, der beabsichtigt umgestaltet wurde und ohne menschliche Pflege wieder in den ersten Zustand zurückfallen würde
- Die vierte, der Teil der Natur, den der Mensch gezielt für die eigenen Bedürfnisse qua kultureller Leistung materiell umgestaltet
- Die fünfte, den Elementen der Natur, die durch dauerhafte Umgestaltung die infrastrukturelle Basis für das kulturelle Leben darstellen

Das gesellschaftliche Naturverhältnis mündet also letztendlich in die Ausgestaltung eines Naturmanagements, das für die Befriedigung menschlicher Bedürfnisse gemäß der vorherrschenden Gesellschaftsform instrumentalisiert wird. Allerdings sind in der jüngeren Menschheitsgeschichte damit nicht-intendierte Folgen verbunden, von denen die ökologische Krise das wohl ausuferndste Beispiel darstellt, obwohl in Wissenschaft und Technologie ein hoher Wissensstand erreicht worden ist. Folgende Prinzipien liegen dem zu Grunde:⁷⁷⁷

- Wissenschaftliche Erkenntnis
- Technologische Planbarkeit
- Optimierende Planung

⁷⁷³ Vgl. Alt (2001), S. 23

⁷⁷⁴ Vgl. Eßbach (2001), S. 176 und seine ausführliche Diskussion des Umweltbegriffs.

⁷⁷⁵ Vgl. Huber (2002a), S. 641

⁷⁷⁶ Vgl. Godelier (1990) S. 15f

⁷⁷⁷ Vgl. Spehr (1996), S. 158

Den gleichen Grundprämissen unterliegt auch der Ansatz der IÖ, mitsamt der Gefahr, das organische Zusammenspiel des Lebendigen modellhaft zu einer kybernetischen Maschine zu reduzieren, die mit menschlichem Verstand durchschaut und durch Manipulation unter Berücksichtigung kybernetischer Kenntnisse beliebig gesteuert werden kann.⁷⁷⁸ Auch der Begriff der IÖ unterliegt der Gefahr, ökologische Worthülsen ohne den dahinter stehenden wissenschaftlichen Sachverstand auf sozio-ökonomische Sachverhalte zu übertragen. Dabei ist es die organisatorische Ausgestaltung der sozialen und ökonomischen Systeme, die letztendlich den Metabolismus mit der Umwelt bestimmt.⁷⁷⁹ So bleibt keine Wahl, als mit menschengemachten Konzepten für sozial-ökologische Zusammenhänge auf die menschengemachte Krise der Umwelt zu reagieren. Dies erfordert einen „Weg der Physis“, innerhalb dessen Begrifflichkeit menschliche Produktion sowohl die materielle Umgestaltung der Natur als auch die qualitative Produktion von Kunst, Werten, Ideen und anderen kulturellen Errungenschaften umfasst.⁷⁸⁰

5.2 HISTORISCHE HUMANÖKOLOGIE – UMWELTGESCHICHTE

Natürliche Umweltressourcen und die genetisch sowie kulturell vererbten Fähigkeiten sind die wichtigsten Determinanten der evolutionären menschlichen Anpassung an die verschiedensten Lebensbedingungen in unterschiedlichen Lebensräumen (Biomen) der Erde.⁷⁸¹ Schon in der Frühzeit des Auftretens des Menschen auf der Erde hat er durch seine Lebensweise starken Einfluss auf die Ökosysteme ausgeübt.⁷⁸² Ein Umstand, der andernorts auch als anthropologische Notwendigkeit bezeichnet wird, da anders das Überleben der Menschheit bis heute in dieser Form nicht möglich gewesen wäre.⁷⁸³ Diesen tautologischen Zirkelschluss lassen wir einmal so stehen und betrachten die Wirkungen dieser Entwicklung, wobei die entscheidende Frage vorerst unbeantwortet bleiben muss, nämlich welche Veränderungen (der ökologischen Umwelt) dem mensch-

⁷⁷⁸ Ein Ansatz, der sich auch in den earth sciences wiederfindet.

⁷⁷⁹ Vgl. Green und Randles (2003), S. 3

⁷⁸⁰ Vgl. Bargatzky (1992), S. 82

⁷⁸¹ Vgl. Campbell (1985), S. 18

⁷⁸² Vgl. Leakey und Lewin (1996), S. 212

⁷⁸³ Vgl. Renn (2004), S. 131

lichen Dasein angemessen sein könnten und welche dies definitiv nicht sind.⁷⁸⁴ Man kann nach Wegen suchen, wie man aus sozialwissenschaftlicher Perspektive mit der natürlichen Umwelt umgehen sollte, wenn man ausreichende Kenntnis über die Eigenschaften der Natur voraussetzt und darüber hinaus mit geeigneten Methoden Kenntnisse über die historische Entwicklung der Natur-Kultur-Interaktion erlangt.⁷⁸⁵ Das erfordert Indikatoren wie den Energie- und Stoffdurchsatz, Flächeninanspruchnahme nach bestimmten Mustern und zeitliche Beanspruchungsmuster.⁷⁸⁶ Dabei ist es schon schwer genug, die jeweiligen Einzel-Größen „objektiv“ zu rekonstruieren und aufeinander zu beziehen oder gar zu bewerten. Umweltveränderungen lassen sich nach drei Gruppen unterscheiden:⁷⁸⁷

1. Naturprozesse ohne Einwirkung des Menschen (Ökologie, Evolution)
2. Direkte menschliche Eingriffe (Kultur, Ökonomie)
3. Indirekte Einwirkungen (Folgewirkungen menschlicher Eingriffe)

Die menschlichen Einflüsse auf die Ökosphäre haben sich in der erdgeschichtlich gesehen kurzen Entwicklungszeit von den Anfängen des Homo sapiens bis zur heutigen Gegenwart immer mehr verstärkt und beschleunigt. Der Übergang vom Sammeln und Jagen natürlich vorzufindender Nahrung zu Ackerbau und Viehzucht nahm mit der neolithischen Revolution vor ca. 11000 Jahren ihren Anfang. Die menschlichen Eingriffe in den Naturhaushalt nahmen seitdem durch ordnendes und planendes Eingreifen erheblich zu.⁷⁸⁸ Allerdings kann man aus historischer Sicht davon ausgehen, dass noch bis vor 7000 Jahren die Einwirkungen des Menschen zwar schon eine große Flächeninanspruchnahme forderten, die Stoffflüsse aber größtenteils organisch dominiert waren, was sie zumindest als nachhaltig konsistent auszeichnete.⁷⁸⁹ Insbesondere jedoch in den

⁷⁸⁴ Vgl. Meyer-Abich (1997), S. 248

⁷⁸⁵ Vgl. Flitner (2003), S. 139; Wobei man dabei immer der Gefahr einer Vermischung von Kausal- und Intentionalprinzip unterliegt, ein Problem, das jedoch allgemein für den Versuch gilt, kausale Erkenntnisse aus der Naturwissenschaft auf intentionale Ansätze der Sozial- oder Wirtschaftswissenschaft zu übertragen; Vgl. Valsangiacomo (1998), S. 152

⁷⁸⁶ Vgl. Fischer-Kowalski, Krausmann und Schandl (2003), S. 10

⁷⁸⁷ Vgl. Jäger (1994), S. 6f

⁷⁸⁸ Vgl. Klix und Lanius (1999), S. 118

⁷⁸⁹ Vgl. Brüggemeier (2001), S. 206; Allerdings ändert das nichts an der Tatsache, dass trotzdem die später entwickelte Nachhaltigkeitsregel zum Abbau regenerativer Ressourcen weiträumig verletzt wurde, wie man noch heute z. B. im Mittelmeerraum am fehlenden ursprünglichen Baumbestand sehen kann, der durch anthropogene Einwirkungen irreversibel beseitigt wurde.

letzten 150 Jahren haben die menschlichen Natur-Zugriffe stoffliche Ausmaße angenommen, die⁷⁹⁰

- mit früheren globalen (natürlichen) Umweltkatastrophen vergleichbar sind und⁷⁹¹
- im Umfang auch die großen natürlichen Massenkreisläufe wie Kohlenstoff, Stickstoff, Schwefel und Phosphor weit überschreiten

und somit die natürliche Balance der globalen Stoffkreisläufe gefährden.⁷⁹² Bei derzeitigem wissenschaftlichen Stand ist kaum prognostizierbar, ob diese menschlichen Einflüsse auf das globale Ökosystem zu irreversiblen Veränderungen wie z. B. bifurkativen Prozessen führen, die das globale System in einen neuen Gleichgewichtszustand versetzen, von dessen Rahmenbedingungen bzw. Eckdaten wiederum nicht bekannt ist, welchen Einfluss sie auf den Weiterbestand hochentwickelten Lebens auf der Erde haben werden. Gesichertes Wissen ist, dass der industrielle Komplex einer historischen Transformation entspringt, die aufgrund positiver innergesellschaftlicher Rückkopplungen zwischen dem technischen und ökonomischen System sowie der Populationsentwicklung einen Wachstumsschub ausgelöst hat, der wie (bislang) jeder in die Ökologie eingebettete Prozess einer Sättigungsgrenze unterliegen muss.⁷⁹³ Die technisch-sozio-ökonomischer Neuerungen liefen hierbei in immer kürzeren Zeiträumen ab und die „Entfernung“ zwischen sozio-kulturellem und natürlich-ökologischem System nahm dabei stetig zu, da die technologische Entwicklung zu immer neuen Transformationen natürlicher Rohstoffe in verschiedenste Kulturgüter geführt hat. Maßgeblich beteiligt war daran die industrielle Revolution mit zwei Hauptsträngen der Entwicklung, die nur schwer wieder rückgängig zu machen sind, da sie gesellschaftlich strukturell verankert sind.⁷⁹⁴

- Nutzbarmachung fossiler und nicht-regenerativer Ressourcen

⁷⁹⁰ Vgl. Sieferle (1994), S. 63

⁷⁹¹ Vgl. Alt (2001), S. 19

⁷⁹² Vgl. Steffen, Sanderson, Tyson u.a. (2004), S. 131; So lag z. B. das *Maximum* der im 100.000 Jahre-Rhythmus ablaufenden Oszillation der CO₂ Konzentration in der Atmosphäre in den letzten 420.000 Jahren bei 280 ppmV; Dieser Wert ist im Verlauf der letzten 100 Jahre auf 380 ppmV angestiegen; Der Anstieg liegt neben dem Umfang auch von der Geschwindigkeit her weit außerhalb der bislang bekannten natürlichen Variation für den genannten Zeitraum, auch wenn die Klimageschichte durchaus extreme Schwankungen kennt, die mittels Bohrkernuntersuchungen rekonstruiert wurden; Vgl. Erbrich (2004), S. 177

⁷⁹³ Vgl. Schmid (1992), S. 244

⁷⁹⁴ Vgl. Erbrich (2004), S. 23

- Verbindung von Naturwissenschaft und Technik

Historisch betrachtet waren diese Stränge mit den Basisinnovationen der Nutzbarmachung des Feuers, der Landwirtschaft und der Dampfmaschine verknüpft, in der Neuzeit ergänzt durch die Revolution fordistischer Produktionsweisen, die das Verhältnis des Menschen zur Umwelt grundlegend verändert haben und zu einer immer komplexeren Ausgestaltung der Technosphäre geführt haben.⁷⁹⁵ Der Fordismus als neue Produktionsmethode mit zentralisierter Fließbandfertigung und ständiger Prozessrationalisierung ermöglichte die Produktion von immer mehr Gütern unter Aufwendung von immer weniger Arbeitsstunden.⁷⁹⁶ Standardisierung und Massenherstellung erlaubten eine immer günstigere Herstellung gleichförmiger Produkte durch „economies of scale“.⁷⁹⁷ Die Basisinnovationen waren jeweils mit großen und neuen Veränderungen der Biosphäre verbunden, da sie bei ihrer Diffusion große Kapital-Investitionen erforderten und immer größere Stoff- und Energiemengen benötigten.⁷⁹⁸ Die Akkumulation dieses Kapitalbestandes bildet die Technosphäre.

Technosphäre

Als Technosphäre werden die Areale der Biosphäre bezeichnet, die durch den Menschen zu seinem Nutzen und zur Befriedigung seiner Bedürfnisse umgeformt wurden. Dabei ist der Übergang fließend, da auch agrarisch genutzte Flächen durch den Menschen manipuliert sind, von vielen Autoren aber trotzdem als biosphärische Ökosysteme betrachtet werden. Hier sollen unter Technosphäre die menschengemachten nichtorganischen Artefakte technisch-kultureller Ausprägung verstanden werden. Die Technosphäre lässt sich folgendermaßen charakterisieren:⁷⁹⁹

- Dominanz menschlicher Biomasse gegenüber anderen Organismen
- Fehlen von naturnahen Ökosystemen
- Energetische Sonneneinstrahlung dient, wenn sie überhaupt genutzt wird, anthropogenen Anwendungen

⁷⁹⁵ Vgl. van den Bergh (2003), S. 14

⁷⁹⁶ Vgl. Braungart und McDonough (2003), S. 43

⁷⁹⁷ Vgl. Ayres (2002), S. 45

⁷⁹⁸ Vgl. Takács-Sánta (2004), S. 51

⁷⁹⁹ Vgl. Wittig und Streit (2004), S. 267f

- Störung der natürlichen Stoffkreisläufe durch menschliche Aktivitäten in Menge, Qualität und Emission von qualitativ und quantitativ nicht durch die Natur assimilierbaren Stoffen
- Verarmung biosphärischer und geosphärischer Ressourcen
- Bodenversiegelung und irreversible Umgestaltung natürlicher Elemente der Biosphäre

Dies sind Umstände, die auch im Hinblick auf die Entwicklung und Umsetzung einer IÖ zu berücksichtigen bzw. teilweise rückgängig zu machen sind.

5.2.1 Vielfalt und Einfalt

Das herausragende Element der industriellen Produktion ist ihre Eigenschaft, unter allen natürlichen Rahmenbedingungen mit den gleichen Anpassungsstrategien zu arbeiten, insbesondere der Verwendung endlicher fossiler Energieträger mit hoher Energiedichte. Schon im 19. Jh. wurden die Risiken dieser Vorgehensweise diskutiert.⁸⁰⁰ Trotzdem bewirkten die wohlfahrtssteigernden Effekte der Industrialisierung ihren Erfolg der rasanten Ausbreitung über (fast) alle Kulturregionen hinweg, weil die Prozesse und Strategien überall erfolgreich reproduzierbar waren. Diese Linearität und Gleichförmigkeit der Strategien ist jedoch der Auslöser der globalen ökologischen Krise, weil überall der gleiche homogene und monotone Nutzungsdruck auf die regionalen Ökosysteme und auf den globalen Stoffhaushalt ausgeübt wird.⁸⁰¹ Die Vielfalt, die allen sonstigen ökologischen Strategien in der Natur zu eigen ist, ist in der industrialisierten Kultur nicht vorzufinden.⁸⁰² Sie beschränkt sich auf folgende grundlegende Prinzipien: wachsendes Anspruchsdenken, Homogenisierung des Konsums, lineare Produktionsbeziehungen, ökonomische Optimierung von Prozessen, Verschwendung von Ressourcen. Die Gleichförmigkeit beeinträchtigt die produktive Ko-Evolution zwischen Mensch und Natur, die sich im Ergebnis der rekursiven Beziehungen zwischen sozialer Interaktion und den sozialen, technischen und ökologischen Strukturen wider-

⁸⁰⁰ Vgl. Brüggemeier und Toyka-Seid (Hrsg. 1995), S. 259

⁸⁰¹ Vgl. Braungart und McDonough (2003), S. 53

⁸⁰² Vgl. Scurrall (2002), S. 290

spiegelt.⁸⁰³ Mangelnde Vielfalt der Lebensstrategien führt in ökologischen Zusammenhängen regelmäßig zu einer Destabilisierung des Gesamtsystems, wie die Ökologie aufzeigt. IÖ sollte somit Strategien der Vielfalt anstreben, um den ökologischen Destabilisierungsprozess der industriellen Kultur aufzuhalten, indem eine zukunftsfähige Anpassung der technisch-kulturellen Artefakte an die regionalen und globalen natürlichen Rahmenbedingungen vorgenommen wird.⁸⁰⁴ Die zunehmende Abhängigkeit der Menschen von Geräten (z. B. Werkzeuge) und Vorrichtungen (z. B. Infrastruktur) hat mit der Besiedlung der Nordhalbkugel begonnen. In diesen Regionen war ein Leben ohne die technisch-kulturellen Artefakte nicht möglich.⁸⁰⁵ Die Industrialisierung ist die kulturevolutionäre Weiterentwicklung von dieser Ausgangsbasis her. Das geht einher mit einer potenzierten Wirkung und ganz neuer Qualität der anthropogenen Umwelteinwirkungen⁸⁰⁶:

- Ausweitung der Problemlagen von punktuellen zu universellen Problemen
- Zunehmend komplexe Wirkungen mit Synergieeffekten
- Häufig eingeschränkte Wahrnehmbarkeit der ausgelösten Wirkungen
- Zunehmende Irreversibilität der Folgeereignisse

Deshalb geht es hier zuvorderst um die Generierung von übergeordnetem Orientierungswissen und weniger um Rezeptwissen,⁸⁰⁷ wie es sich z. B. in der breiten Diskussion der IÖ als proaktivem Managementansatz darstellt.⁸⁰⁸ Eine reine Mentororientierung reicht als Zugang nicht tief genug. Das System industriell-ökonomischer Komplexe mit seinen gewachsenen Strukturen wird durch materielle und soziale Kohärenz aufrecht erhalten.⁸⁰⁹ Jeder Akteur ist in die Strukturen eingebunden, die gleichzeitig die persönliche Stellung definieren und den Zugriff auf Ressourcen gewährleisten. Die Triebkräfte der industrialisierten Welt sind in der Regel durch posi-

⁸⁰³ Vgl. Voß (2004), S. 70

⁸⁰⁴ Vgl. Majer (2003b), S. 33

⁸⁰⁵ Vgl. Campbell (1985), S. 96; Die größte Bedeutung wird hierbei allgemein der Nutzbarmachung des Feuers als Wärmequelle zugeschrieben, der ersten Form von Nutzenergie.

⁸⁰⁶ Vgl. Rogall (2002), S. 23

⁸⁰⁷ Vgl. Valsangiacomo (1998), S. 168

⁸⁰⁸ Vgl. Christesen, Scott, Krrishnamohan u.a. (1999), S. 405; In Kapitel 7 werden dann insbesondere diese operativen Aspekte behandelt.

⁸⁰⁹ Vgl. Spehr (1996), S. 135

tive Rückkopplung aneinander gebunden.⁸¹⁰ Jeder Ansatz, der den Fluss von Ressourcen und Machtmitteln abzuschneiden droht, wird mit Renitenz auf allen strukturellen Ebenen bekämpft. Wenn an den zu Grunde liegenden Machtstrukturen nicht gerüttelt werden soll (z. B. durch eine „ökologische Revolution“), so muss eine IÖ im Sinn der Zwecksetzung der Aufrechterhaltung einer industriellen Kultur an den herrschenden Regeln der vorliegenden Strukturen ansetzen.⁸¹¹ Dies ist notwendig, um einen möglichen Kollaps zu verhindern, der mit einem rapiden signifikanten Verlust an sozio-ökonomischer Komplexität einherginge.⁸¹² Ob das mit der IÖ angestrebte Festhalten an industriellen Produktionsweisen zu einer tatsächlich nachhaltigen, also im eigentlichen Sinn gerechten Verteilung der Naturressourcen beitragen kann, wäre aber noch zu prüfen. Denn gleichzeitig ist durch den Sachzwang, eine nachhaltige Entwicklung einzuleiten, auch die Prämisse gesetzt, zugleich nach den strukturellen Regeln der ökologischen Kreisläufe zu handeln. Die materiellen Grundbedingungen einer IÖ sind nur eine notwendige Bedingung dafür. Rückgängig zu machen, das zeigt die Historie anderer Kulturen, wäre die Industrialisierung nur durch einen völligen Zusammenbruch des Systems, der mit dem Ansatz der nachhaltigen Entwicklung abgewendet werden soll. Dies ungeachtet des verborgenen Zynismus, der in der Aufrechterhaltung der ungleichen Machtverhältnisse begründet liegt. Eine IÖ ist auch danach zu bewerten, wie die nötigen Ressourcen in den jeweiligen Ländern verfügbar gemacht werden und unter welchen Umständen die globale Verteilung stattfindet. Der historisch gewachsene polit-ökonomische Einfluss auf die häufig von Korruption und ungleichen Machtverhältnissen geprägten Ressourcen-Förderländer der südlichen Hemisphäre ist jedoch begrenzt. Der Zynismus beruht auf dem gewachsenen Sachzwang der Angewiesenheit auf den Verkauf von Ressourcen, über deren Bedingungen der Förderung und Verteilung der Gewinne zwar geurteilt werden kann, was jedoch nichts daran ändert, dass die Rohstoffe zur Aufrechterhaltung der Produktion gekauft werden müssen.⁸¹³ Der industrialisierte

⁸¹⁰ Vgl. Lewis (2003), S. 63 und Gowdy (2003), S. 83

⁸¹¹ Allein die gewählte Begrifflichkeit „Industrielle Ökologie“ impliziert unbestreitbar die Aufrechterhaltung der industriellen Kultur; Diese industrielle Kultur wird jedoch anderen Prämissen folgen müssen als bislang, wenn sie tatsächlich nachhaltig sein will und es muss akzeptiert werden, dass es nicht die einzige denkbare Kultur menschlicher Gesellschaften sein kann, die langfristig überlebensfähig sein will – hier soll aber nicht so weit gegangen werden, den Zusammenbruch der globalen Industriegesellschaft als für das langfristige Überleben der Menschheit notwendig zu erachten, wie Lewis (2003), S. 72 das tut.

⁸¹² Vgl. Janssen und Scheffer (2004), S. 1

⁸¹³ Vgl. Glüsing, Jung, Klussmann u.a. (2006), S. 125

Norden verfügt mit einem knappen Fünftel der Weltbevölkerung über mehr als 75 % der Weltproduktion an erschöpflichen Ressourcen, die zum Großteil im weniger entwickelten Süden des Globus gewonnen werden.⁸¹⁴ Diese vorherrschende Diktatur des Geldes unter dem neutralen Deckmantel der Marktökonomie hat sich als nicht nachhaltig herausgestellt.⁸¹⁵

5.2.2 Verlinkung – Menschliche Eingriffe in den Naturhaushalt

Die Komplexität der gesellschaftlichen Naturbeziehungen geht weit über das hinaus, was sich in der reduktionistischen Natur-Kultur-Dichotomie mit der Gegenüberstellung von rein „realistischen“ und „konstruktivistischen“ Ansätzen darstellen lässt.⁸¹⁶ Die historische Entwicklung ist durch die ko-evolutive Dynamik der gesellschaftlichen und natürlichen Verhältnisse geprägt, die sich nicht in einfache lineare Beziehungen fassen lassen.⁸¹⁷ Vielmehr lassen sich die interagierenden Umwelteinflüsse und menschlichen Bewusstseinslagen in Strukturen ausdrücken, die mit dem raumzeitlich vorherrschenden Weltbild der Menschen korrelieren.⁸¹⁸ Dieses Weltbild wiederum bildet sich in der entwicklungsgeschichtlichen Auseinandersetzung mit der Natur, die sowohl geprägt ist von persönlichen Natur-Wahrnehmungen des Einzelnen als auch durch die Sozialisation in einer mehr oder minder naturnahen oder -fernen Umgebung.⁸¹⁹ So ist es auch naheliegend, diese Interaktionsprozesse von sozialen mit natürlichen Systemen als eine strukturelle Kopplung sozialer Systeme mit den geobiophysikalischen Systemen aufzufassen, die in der Ökologie und teilweise in der Geographie systemisch erklärt werden.⁸²⁰ Diese Sichtweise deckt sich mit dem ökologischen Ansatz in der Betriebswirtschaftslehre, bei dem die Beziehungen zwischen Unternehmen und Umwelt rekursiv erklärt werden und Unternehmen als organische Stellvertreter des Produktionssystems in Form offener Systeme angenommen werden.⁸²¹ Die Wahrnehmung der menschlichen Systemrepräsentanten wird dabei ständig durch die Ergebnisse dieser Interaktion ge-

⁸¹⁴ Vgl. Massarat (1993), S. 12

⁸¹⁵ Vgl. Binswanger (1991), S. 194

⁸¹⁶ Vgl. Weichart (2003), S. 18

⁸¹⁷ Vgl. Fischer-Kowalski und Erb (2003), S. 263

⁸¹⁸ Vgl. Steiner (1995), S. 5; soziale Systeme sollen hier nicht nach einem engen soziologischen Verständnis aufgefasst werden sondern als phänomenologische Ereignisse gesellschaftlichen Werdens.

⁸¹⁹ Vgl. Bixler und James (2005), S. 24

⁸²⁰ Vgl. Fischer-Kowalski (2002), S. 244

⁸²¹ Vgl. Müller-Christ (2001), S. 110

prägt, was wiederum deren Verhalten beeinflusst, das wiederum die relevante Umwelt prägt. Verkürzt heißt das, dass die ständige Konfrontation mit den Artefakten der industrialisierten Welt eine Rationalität hervorbringt, die den natürlichen Erfordernissen aus ihrer kulturellen Entwicklung heraus zwangsläufig nicht (mehr) gerecht werden kann, weil diese gedanklich und emotional vollkommen entkoppelt sind. Die Sachzwänge der industrialisierten Welt dominieren die Handlungsoptionen und vor allem die zu Grunde liegenden Rationalitäten.⁸²² Des weiteren entsprechen die Ausgestaltungen der Soziosphäre den regulierenden, politischen und sozialen Institutionen, die auf entsprechenden Denkmustern und Ideologien aufbauen.⁸²³ Die grundsätzliche Abhängigkeit des offenen Systems von seiner Umwelt bleibt dabei immer bestehen, ohne dass es vollkommen von dieser determiniert wird. Hier wirken die autopoietischen Eigenschaften des Systems identitätsstiftend. Das System braucht jedoch eine gewisse Umweltsensibilität, da die Außenwirkungen (Umweltveränderungen) der internen Vorgänge auf das System selbst zurückwirken. Die Bewusstheiten innerhalb des sozioökonomischen Systems bedürfen somit der Selbstreflexion zur eigenen Aufrechterhaltung.⁸²⁴ Es entwickeln sich hochgradig rekursive Zusammenhänge, die einer starken Pfadabhängigkeit unterliegen, gerade was die Aufrechterhaltung der Systemidentität betrifft. Sicher ist, dass zivilisatorische Systeme durch ihre gesellschaftliche Dynamik dazu neigen, bei einer Entwicklung weg vom Gleichgewicht an einem Schwellenwert zu kollabieren.⁸²⁵ Die Komplexität der dahinter liegenden Beziehungsgeflechte zwischen sozialem und natürlichem System und innerhalb der jeweiligen Teilsysteme trägt dazu bei, dass der Zeitpunkt oder der genaue Schwellenwert dieser Bifurkation mit dem jeweiligen Stand der Einzelwissenschaften nicht genau prognostizierbar ist. Die Herangehensweise mit unterschiedlichen Disziplinen führt zu unterschiedlichen epistemologischen Vorstellungswelten, was die raumzeitliche Zusammensetzung der beobachteten Systeme sowie die verwendeten analytischen Dimensionen betrifft.⁸²⁶ Die jeweils zu Grunde liegende Skalierung beeinflusst allein durch die Maßgabe einer be-

⁸²² Sie werden in einem evolutiven Prozess in den gesellschaftlichen Anreizsystemen institutionalisiert.

⁸²³ Vgl. Bierter (1995), S. 10

⁸²⁴ Vgl. Müller-Christ (2001), S. 284; Das Ergebnis einer solchen Selbstreflexion könnte die Einsicht sein, dass die gegenwärtigen Wirtschaftsweisen zum langfristigen funktionalen Selbsterhalt in eine „Industrielle Ökologie“ zu transformieren sind – die Funktion wird hier vereinfachend reduziert auf die effiziente Güterversorgung.

⁸²⁵ Vgl. Klix und Lanus (1999), S. 9

⁸²⁶ Vgl. Cundill, Fabricius und Marti (2005), S. 3

stimmten Beobachtungseinheit die Beobachtbarkeit bestimmter Muster in der Mensch-Umwelt-Interaktion und damit auch die Ableitung bestimmter Kausalzusammenhänge.⁸²⁷ In vielen Fällen der untersuchten ökologischen Problemlagen zeigt sich, dass ökologische Größen zugleich die Möglichkeiten des ökonomischen Systems beeinflussen, wie im Falle der biologischen Vielfalt, da es sich zum einen um den Wert der „genetischen Ressourcen“ und zum anderen um das diskutierte Stabilitätskriterium der Ökosysteme handelt, die mit ihren natürlichen Leistungen auch einen ökonomischen Wert darstellen.⁸²⁸ Die Dichotomie ist in diesem Fall vollkommen aufgehoben und für die Untersuchung dieser Verschränkung natürlicher und kultureller Prozesse bietet sich ein systemischer Ansatz an.⁸²⁹ Gliedert man den gesamten „humanökologischen Komplex“ auf, so lassen sich vier existenzielle Säulen identifizieren, die in Interaktion treten:⁸³⁰

- Bevölkerung
- Sozialorganisation
- Technik
- Umwelt

Für eine IÖ wird damit verdeutlicht, welche Interaktionsebenen bei der Umsetzung für eine dauerhafte Lösung berücksichtigt werden müssen. Jede der Säulen ist durch explizites wissenschaftliches oder angewandtes Wissen abzudecken, das zur Lösung der Gesamtfrage beitragen kann. Wesentlich geht es darum, die Wechselwirkungen zwischen diesen Säulen zu durchdringen, was darauf hindeutet, dass der Rohstoff „Wissen“ als Fluss- oder Bestandsgröße der Anthroposphäre eine entscheidende Rolle spielt. Die jeweiligen strukturellen Muster müssen auf die Säule Umwelt und auch untereinander abgestimmt werden, um die biologischen Grundfunktionen „(über)leben“ und „reproduzieren“ nachhaltig gewährleisten zu können. Die Veränderungen der Umwelt gehen derzeit jedoch mit einer Geschwindigkeit vonstatten, wie sie von keinem natürlichen Ereignis außer dem Einschlag großer Himmelskörper oder dem Ausbruch sehr großer

⁸²⁷ Die wiederum nicht-linear sind.

⁸²⁸ Vgl. Görg (1997), S 117

⁸²⁹ Vgl. Abel (2000), S. 5

⁸³⁰ Vgl. Schmid (1992), S. 238; Dies deckt sich z. B. mit dem IPAT-Ansatz, ist hier jedoch stärker mit spezifischem qualitativem Wissen gegenüber der quantitativen IPAT-Gleichung abgedeckt (diese wird in Abschnitt 7.4.1 diskutiert).

Vulkane bekannt ist.⁸³¹ Z. B. sind die verfügbaren Analysen über die globale chemische Zusammensetzung und Verteilung der atmosphärischen Partikelgrößen sowie deren genaue Herkunft insbesondere der anthropogen verursachten Aerosole derzeit noch zu unvollständig, als dass man exakte Ursache-Wirkungs-Beziehungen ableiten könnte.⁸³² Dies ist nur näherungsweise möglich. Bekannt ist jedoch, dass es sich in der Regel um nicht intendierte Stoffverluste bei wirtschaftlicher Aktivität handelt, also um Stoffflüsse, die sich der derzeitigen Kontrolle ihrer Verursacher entziehen oder unter Inkaufnahme nicht intendierter Folgen absichtlich nicht kontrolliert bzw. nicht zurückgehalten werden. Die Phänomene bzw. Syndrome des „global change“ lassen sich, wenn auch nicht in linearen Ursache-Wirkungs-Ketten, in Umfang und Qualität ausreichend genau beschreiben, um den notwendigen Handlungsbedarf abzuleiten.⁸³³ Damit lassen sich aus der Humanökologie starke Argumente für die Unumgänglichkeit der Transformation industrieller Produktionssysteme ableiten.

5.3 BESTIMMUNGSELEMENTE FÜR EINEN BESCHREIBUNGSRAHMEN ANTHROPOGENER ÖKOSYSTEME

Zur Beschreibung anthropogener Ökosysteme eröffnet sich eine Vielzahl von Ansatzpunkten. Versucht man jedoch, die Schlüsselemente zu identifizieren, so stößt man entsprechend den oben genannten vier Säulen des ökologischen Komplexes auf die vier Grundgrößen Population (absolut und Dichte), Organisation (Institutionen), Umwelt und Technologie als universelle Bestimmungsgrößen des menschlichen Einflusses auf die irdische Natur.⁸³⁴ Allerdings ist darauf zu achten, nicht ausschließlich naturwissenschaftlich vorzugehen sondern gewahr zu sein, dass das anthropogene System als Ausdruck menschlicher Gesellschaften nicht reduzierbarer Hybriden zwischen der natürlichen Welt und einer kulturellen Welt rekursiver Kommunikation verstanden werden

⁸³¹ Vgl. Steffen, Sanderson, Tyson u.a. (2004), S. 101ff; In unterschiedlichen wissenschaftlichen Untersuchungen wird z. B. der anthropogen verursachte Anteil der Aerosole in der Atmosphäre auf 30-50% veranschlagt.

⁸³² Vgl. Heintzenberg (2004), S. 107

⁸³³ Vgl. Reusswig (1997), S. 80ff bzw. Abschnitt 1.2.1 mit der Begründung dieser Arbeit.

⁸³⁴ Vgl. Schellnhuber und Wenzel (1998), S. XIV

sollte.⁸³⁵ Zum einen offenbart sich die Kultur einer Gesellschaft als Teil der Natur in einem historischen Prozess, zum anderen kann Natur nur durch die Brille der vorherrschenden Kultur wahrgenommen werden.⁸³⁶ Dieser Zirkelschluss erfordert die erweiterte Sichtweise der Humanökologie, die auch die der Mensch-Umweltrelation zu Grunde liegende geistige Entwicklung von Gesellschaften berücksichtigt.⁸³⁷ Hierbei zeigen sich die Besonderheiten anthropogener Ökosysteme.⁸³⁸

- Information und Glaubenssysteme mit externalisierter Kognition (Wissenssysteme)
- Historische Vektoren der Information mit Technikdominanz, historischer Determinismus, Pfadabhängigkeit
- Neue (nicht-natürliche) Arten von Materialien, Energie- und Informationsflüssen mit Gesundheitsrisiken, destruktiver innerartlicher Aggression und Materialismus als Ausdruck kultureller Entwicklung

Als einer der wichtigsten Bestimmungsgründe auf gesellschaftlicher Seite kann man die das industriegesellschaftliche Handeln dominierende Kombination von technisch-ökonomischer Rationalität im Verbund mit dem Vollzug eben jener Rationalität auf rein monetär-ökonomischer Ebene identifizieren, durch die die industriellen Gesellschaften geprägt sind.⁸³⁹ Diese Paradoxien sind nur schwer zu durchschauen, latent jedoch ständig zu spüren. Was folgt daraus?

*„Es ist das Paradox der großen Industrie, dass es sie eigentlich nicht geben kann.“*⁸⁴⁰

Der jüngere Industrialismus erweist sich als Konzept, das den Transfer von Ressourcen zu sich hin erzwingt. Derzeit erfolgt die Hauptströmungsrichtung von den nicht oder wenig industrialisierten Ländern zu den industrialisierten. Die Beharrlichkeit dieser Strukturen und der zu Grunde liegenden Machtverhältnisse können nicht ohne Folgen für die Ausgestaltung einer IÖ bleiben. Erschwerend kommt hinzu, dass der Ressourcentransfer häufig die einzige, historisch zementierte Möglichkeit zum Lebensunterhalt

⁸³⁵ Vgl. Weichhart (2003), S. 25

⁸³⁶ Vgl. Glaeser (1992), S.59

⁸³⁷ Vgl. Steiner (1995), S. 4ff

⁸³⁸ Vgl. Stepp, Jones, Pavao-Zuckerman u.a. (2003), S. 6

⁸³⁹ Vgl. Knoll (2003), S. 120

⁸⁴⁰ Spehr (1996), S. 67

für die wenig entwickelten Länder darstellt. Die Frage die sich dabei stellt ist, ob eine IÖ auf die Aufrechterhaltung dieser offensichtlich ungerechten (und damit nicht nachhaltigen⁸⁴¹) Herrschaftsverhältnisse angewiesen ist, oder ob es ein Modell industrieller Produktionsweisen unter anderem Vorzeichen geben kann. Eine Aufrechterhaltung der überdimensionierten Ressourcenströme ist jedenfalls faktisch nicht möglich, was die Forderung nach der Transformation des industriellen Systems nach sich zieht.⁸⁴² Die grundlegenden Strukturen stellen sich jedoch mit einem ganzen Bündel von Sachzwängen gegen eine Änderung der herrschenden Strukturen und Handlungsweisen und stellen die tieferliegende kollektive Ursache für die Umweltkrise dar. Die Dominanz der technisch-kulturellen Artefakte bestimmt darüber hinaus die allgemeine Wahrnehmung in industrialisierten Gesellschaften. Die ökonomisch-marktwirtschaftlichen Zwänge, die durch die Monetarisierung sowohl der materiellen als auch der geistigen Dimension des menschlichen Daseins bestimmt werden, hat zu einer institutionellen Dominanz geführt, die ein Umsteuern der Gesellschaft-Natur-Relationen auf beiden Ebenen erschwert.⁸⁴³ Die Logik der Marktwirtschaft folgt mechanistisch den monetären Zwängen der Profitmaximierung und lässt nur wenig Reflexivität zu.⁸⁴⁴ Faktisch ist das ein gesellschaftlicher Zustand der absoluten Industrialisierung und Monetarisierung, in dem nicht mehr zwischen Natur und Artefakt unterschieden zu werden braucht, da alles in seinem Zweck für die Industrialisierung als objektiv und funktional nutzbar eingeordnet wird.⁸⁴⁵ Von diesem Standpunkt aus kann eine IÖ nicht mehr im Sinne einer naturalisierten Ökonomie gedacht werden, die mit einer (industrie-)systeminternen Lösungsstrategie direkt in eine nachhaltige Entwicklung mündet. Die tragfähige Ökologisierung der Industriegesellschaft braucht vielmehr eine kulturelle Unterfütterung, die aus dem Verständnis erwächst, dass die Industrie Teil der Natur ist, die sich jedoch im historischen Verlauf einen Großteil der Natur einverleibt hat und aus der angestammten systeminternen Eigenlogik heraus nicht in der Lage ist, diesen Zustand dauerhaft umzugestalten. Dies erfordert über die quantitativen Lösungsmuster hinaus noch unbekannte qualitative systemexterne Lösungsmuster, die inhärenter Bestandteil der nachhaltigen

⁸⁴¹ Vgl. Vorholz (2002), S. 29

⁸⁴² Vgl. Murphy (2001), S. 6

⁸⁴³ Vgl. Freitag (2001), S. 34

⁸⁴⁴ Vgl. Hawken (1996), S. 131

⁸⁴⁵ Vgl. Hassenpflug (1991), S. 132; dabei hat sich das Tauschmittel der Ökonomie im Laufe der Entwicklung zum Zweck ökonomischen Handelns entwickelt.

Entwicklung zur IÖ sind, jedoch entwicklungsgeschichtlich zu systeminternen Strategien werden müssen, will man den Status der industrialisierten Gesellschaft aufrecht erhalten.⁸⁴⁶ So kommt man zu dem Ergebnis, dass die mit der IÖ angestrebten infrastrukturellen Veränderungen der Industriekultur in Richtung nachhaltige Entwicklung ideologische, moralische und gefühlsmäßige Motivationshintergründe in der Gesellschaft brauchen,⁸⁴⁷ die sich nicht unbedingt mit den Motivationen der nach Auslastung des Produktionspotenzials strebenden „Global Players“ vereinbaren lässt.⁸⁴⁸ Die Reflexion des vorherrschenden Weltbildes vertieft den Erkenntnisprozess auf der Suche nach den treibenden Faktoren bei der Gestaltung anthropogener Ökosysteme. Das Leitbild der Nachhaltigkeit fordert die Einheit von Natur und Kultur als Grundvoraussetzung. Der Ansatz der IÖ hat zumindest den Anspruch, diese Verlinkung für die industrielle Kultur über das heuristische Konzept der Ökosystemtheorie herzustellen. Ob es damit jedoch gelingen kann, menschliches Handeln wieder etwas mehr am Maß der Natur auszurichten, ist beim derzeitigen Sachstand eine offene Frage.

5.3.1 Rückkopplung zwischen natürlichem und anthropogenem System

Die Einflüsse der Mensch-Umwelt-Systeme sind nicht ausschließlich deterministisch, sondern gegenseitig rückgekoppelt. Menschliche Einflüsse auf die Natur sind immer auch Antworten auf natürliche Einflüsse auf den Menschen.⁸⁴⁹ Trotzdem dominiert bei humanökologischen Ansätzen die Sichtweise der menschlichen Veränderungen der natürlichen Umwelt, da deren Wirkungen für die ökologische Krise als ursächlich identifiziert sind. Diese Krise wirkt nun auf die Anthroposphäre zurück und trägt zur Bewusstseinsbildung in Form gesellschaftlicher Resonanz bei.⁸⁵⁰ Die anthropogenen Ökosysteme spiegeln diese Resonanz materiell wider, indem auf materieller und organisatorischer Ebene Reaktionen erfolgen. Finden diese Reaktionen nicht statt, erfolgt auch keine anthropogene Resonanz auf die Veränderungen der Rahmenbedingungen in der

⁸⁴⁶ Was der Begriff der Industriellen Ökologie ja impliziert; Es wird hier versucht, fern einer revolutionären Ökoromantik zu argumentieren, die ein „Zurück zur Natur“ für möglich und erstrebenswert hält, auch wenn ein strikter Objektivismus hier nicht möglich erscheint; Die gesamte Konstruktion einer Industriellen Ökologie birgt diese intellektuelle Gratwanderung in sich.

⁸⁴⁷ Vgl. Chruscz (1992), S. 189

⁸⁴⁸ Vgl. Zängl (2003), S. 33

⁸⁴⁹ Vgl. Steiner (2003), S. 51

⁸⁵⁰ Womit eingangs der Zweck der vorliegenden Arbeit mitbegründet wird.

Natur. Die wirksamen Handlungsweisen sind dabei kaum bezogen auf Einzelpersonen analysierbar, sondern stehen in einem raumzeitlichen Zusammenhang aus Phänomenen, Akteuren und Settings, die den Handlungsrahmen bestimmen.⁸⁵¹ Das humanökologische Dreieck in Abbildung 5 versucht das in sehr einfacher Form zu verdeutlichen:

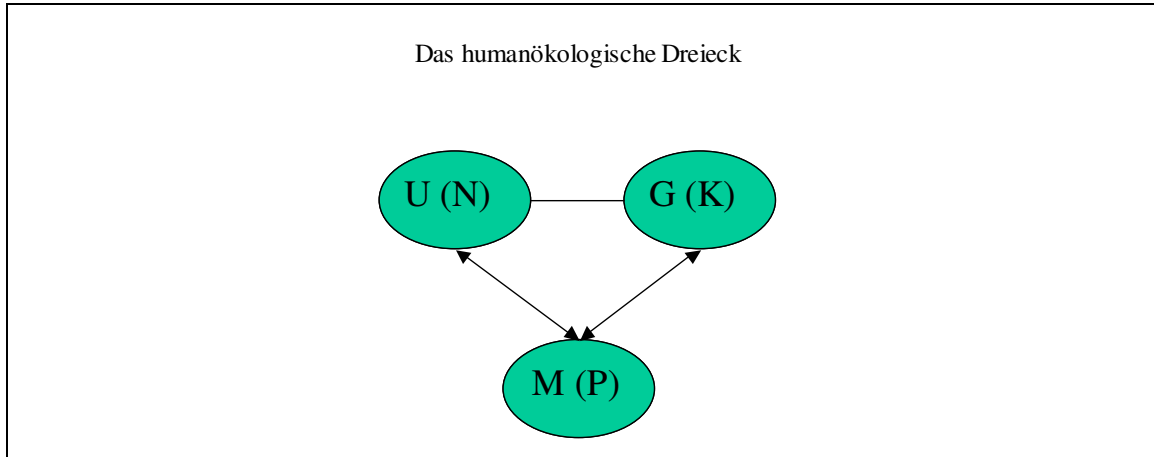


Abbildung 5: humanökologisches Dreieck; nach Steiner (2003), S. 51

Die Systemelemente Umwelt (U), Gesellschaft (G) und Mensch (M) stehen in ständiger Wechselwirkung.⁸⁵² Somit sind die Bestimmungsgründe anthropogener Ökosysteme durch dieses Spannungsfeld aufgespannt. Keine der Einflussgrößen kann unabhängig von einer der anderen beiden sein, was bei der Beschreibung und Analyse zu berücksichtigen ist. Je nach wissenschaftlichem Betrachtungsfokus konzentriert sich die Arbeit auf eine der Seiten des Dreiecks und je nach Prämissenlegung wird dabei eine bestimmte Betrachtungsperspektive eingenommen, welche Grundgröße wie auf die anderen wirkt und welche den Prozess der evolutionären Entwicklung bestimmen. Hier zeigt sich die Verlinkung der Systeme vor allem durch Subjekt-Objekt-Bedeutungsbeziehungen, die der „Umwelt“ vom „Subjekt“ (den Menschen) aufgeprägt werden.⁸⁵³ Diese strukturellen Prägungen, die sich durch reproduzierbare Muster bemerkbar machen, finden ihre Ursache in den zugehörigen gesellschaftlich-technologischen Strukturen, welche wiederum ein Ergebnis der Entwicklung in Wechselwirkung der Grundgrößen sind. Die Akteure, die auf Grund vorhandener Strukturen

⁸⁵¹ Vgl. Zierhofer (2003), S. 87

⁸⁵² Sie sind hierbei als disziplinär ausdifferenzierte Objekte wissenschaftlicher Beobachtung zu interpretieren, obwohl sie in diesem Zusammenhang ebenso phänomenologisch als existent zu betrachten sind. Vor dieser dualen Fragestellung steht die wissenschaftliche Beobachtung jedoch ständig.

⁸⁵³ Vgl. Wehrt und von Uexküll (1996), S. 233

und Anreizsysteme zu bestimmten Handlungen angeleitet werden, bestätigen diese Strukturen rekursiv durch ihre Handlungen.⁸⁵⁴ Die Strukturen wirken als Handlungsrestriktionen. Erkenntnisse aus der Umweltpsychologie können darüber hinaus das Spektrum möglicher Fragen und Antworten für den Bereich Mensch als handelndes Individuum erweitern und stellen ein ebenso wichtiges Kriterium für die Ausgestaltung anthropogener Ökosysteme dar.⁸⁵⁵ Allerdings ist gerade dieser Wissenschaftsbereich mit vorwiegend subjektzentrierten Handlungstheorien nicht annähernd in der Lage, ein eindeutiges rationales Bild von den menschlichen Handlungsweisen zu liefern, da eben jene stark von subjektiven und unterbewussten Vorgängen gesteuert sind.⁸⁵⁶ Dabei hat die stofflich materielle Welt über die sinnliche bewusste und unbewusste Wahrnehmung sowie die individuelle Informationsverarbeitung, Lernen, Gedächtnisbildung und Sinnzuschreibung einen direkten Einfluss auf die individuellen Handlungsweisen, auch wenn diese nur im Kontext der Gesellschaft stattfinden können.⁸⁵⁷ Siefert versucht diesen Zusammenhang durch eine systemtheoretische Sichtweise zu verdeutlichen.⁸⁵⁸ Er spannt das sozio-ökologische System (ähnlich dem humanökologischen Dreieck) zwischen den Systemelementen Natur (N), Population (P) und Kultur (K) auf, die er miteinander verknüpft⁸⁵⁹. Der Strang P-K ist das soziale System, geprägt von der kulturellen Evolution, die sich im historischen Ablauf der Industrialisierung sowohl strukturell als auch in ihren Wirkungen – insbesondere der Geschwindigkeit der Veränderungen – von der natürlichen Evolution abgekoppelt hat. Der Strang N-P ist als das daraus resultierende und gleichzeitig damit rückgekoppelte materiell wirksame humanökologische System zu betrachten. Aus dieser modelltheoretischen Konstellation heraus lassen sich die rückgekoppelten kulturell-materiellen Entwicklungsbedingungen humanökologischer Zusammenhänge mehrdimensional aufstellen. Die materiell wirksamen Größen lassen sich mit der kulturellen und technischen Entwicklung in kausalen Beziehungsmustern aufzeigen. Das Verhalten der menschlichen Einzelorganismen geht damit im Gesellschaftlichen des sozialen Systems auf. Kulturelle (und damit auch

⁸⁵⁴ Vgl. Frischknecht und Schmied (2002), S. 25

⁸⁵⁵ Diese können hier jedoch leider keinen vertieften Eingang in die Betrachtung finden, da sie den Rahmen dieser Arbeit sprengen würden.

⁸⁵⁶ Vgl. Schwan (2003), S. 169

⁸⁵⁷ Vgl. Meusbürger (2003), S. 287

⁸⁵⁸ Vgl. Siefert (1997), S. 38ff

⁸⁵⁹ Vgl. Abbildung 5: humanökologisches Dreieck

technische) Reaktionen in Form von Innovationen erfolgen im sozialen System und wirken auf das humanökologische System ein. Die wissenschaftlichen Grundlagen für den Bereich Umwelt liefert die Ökologie. Wie können diese Bereiche jedoch sinnvoll integriert werden, um einen Erkenntnisgewinn bezüglich anthropogen geprägter Ökosysteme zu erreichen? Die möglichen Aktivitäten bei der Ausgestaltung anthropogener Ökosysteme unterliegen den kontextrelativen Gesamtzusammenhängen, die im humanökologischen Dreieck aufgespannt sind, es kann nur situationsspezifische Gestaltungsmuster geben, die eine adäquate Untersuchungsstrategie erfordern, welche unangemessenen Reduktionismus so weit als möglich vermeidet.⁸⁶⁰ Dies wird dadurch erschwert, dass nicht allein die materiellen Komponenten der durch Menschen beeinflussten ökologischen Sphäre von Bedeutung sind, sondern auch immaterielle kulturelle Komponenten sowie hybride Mischformen aus beiden, die die Zusammensetzung der Anthroposphäre bestimmen.⁸⁶¹ Dazu kommt, dass der Raumbezug der Betrachtung von Umwelt und des darin stattfindenden anthropogenen Metabolismus nicht eindeutig ist, sondern von einer jegliche Analysetätigkeit erschwerenden Unbestimmtheit geprägt ist.⁸⁶² Von welchem Raum ist die Rede, wenn humanökologische Aussagen verortet werden sollen? Die Betrachtungsbrille der IÖ erfordert ein unterschiedliches Fokussieren sowohl auf globale als auch auf mikroökonomisch zu bestimmende Einflussgrößen. Die Frage des Raumbezugs ist damit kontextrelativ und kann nicht vereinheitlicht werden, was die Analyse des industriellen Metabolismus verkompliziert. Andererseits kann man nur so den realen Phänomenen industriell geprägter Stoff- und Energieströme gerecht werden, die durch vielfältige Verflechtungen mit unterschiedlichem Raumbezug geprägt sind und sich dadurch auszeichnen, dass die durch wirtschaftliche Aktivität versorgte Population zwar auf einer bestimmten Fläche verortet ist, diese Fläche jedoch raumgreifend durch Transportvorgänge mehrfach überspannt wird. Der zu Grunde liegende Raumbezug muss im besten Fall für humanökologische Erklärungsmodelle und lebensweltliche Phänomene industrieller Stoff- und Energieströme strukturell übereinstimmen.

⁸⁶⁰ Vgl. Zierhofer (2003), S. 87

⁸⁶¹ Vgl. Jöns (2003), S. 130

⁸⁶² Vgl. Klüter (2003), S. 225

5.3.2 Der anthropogene industrielle Metabolismus (deskriptive IÖ)

Letztendlich äußern sich die meisten Mensch-Natur-Interaktionen im gesellschaftlichen Rahmen materiell in Form von Stoff- und Energieströmen, die die Wechselwirkungen zwischen Mensch, Natur und Umwelt prägen.⁸⁶³ Die Reife des gesellschaftlichen Entwicklungsprozesses kann dabei an der Effektivität und Effizienz des Metabolismus abgelesen werden.⁸⁶⁴ Verglichen mit dem ökologischen Gesamtsystem Gaia ist das industrielle System unreif und nicht nachhaltig.⁸⁶⁵ Für ein Grundverständnis des Ansatzes der IÖ ist das Verständnis des dahinter liegenden industriellen Metabolismus unerlässlich.⁸⁶⁶ Für eine rationale Grundlegung von Entscheidungen über die Gestaltung und Steuerung von Stoffströmen ist die Kenntnis über deren Umfang, Qualität und deren Beziehungen in physikalischen Größen notwendig.⁸⁶⁷ Dieser relativ junge Forschungszweig wird somit zu einem wesentlichen Funktionsträger innerhalb der Umsetzung einer IÖ.⁸⁶⁸ Der industrielle Metabolismus ist dadurch gekennzeichnet, dass er offen ist, d. h. Stoffe verlassen den Wirtschaftskreislauf in nicht mehr ökonomisch nutzbarer, weil minderwertiger Form und werden in die Umwelt emittiert.⁸⁶⁹ Als stofflich geschlossenes System könnte es nur dadurch erscheinen, wenn es in einem stabilen Zustand konstanter Bestände gehalten würde. Das heißt, die Inputs müssten im Mittel den Outputs entsprechen. Es trifft jedoch auch zu, dass solch ein geschlossenes Stoffkreislaufsystem aus thermodynamischer Sicht nur unter Verwendung von außen zugeführter Energie aufrecht erhalten werden kann. Bemerkenswert ist, dass fast 80 % der Abprodukte, die die Anthroposphäre verlassen, in gasförmigem Zustand sind, hiervon ist ein Großteil wiederum CO₂.⁸⁷⁰ Diese Gase werden fast vollständig durch die Erzeugung von Nutz-Energie aus fossilen Energieträgern freigesetzt – ein Umstand, der den ganzheitlichen Ansatz einfordert, Stoff- und Energieströme nur gemeinsam zu betrachten, um einer IÖ gerecht werden zu können. Ein weiteres Merkmal der anthropogenen Stoffströme ist, dass die Nettozunahme an gebundenen Stoffen in der Anthroposphäre noch immer ansteigt, was bei Fortdauer der aktuellen Wirtschaftsweise

⁸⁶³ Vgl. Hein und Nissen (2001), S. 149

⁸⁶⁴ Vgl. Fischer-Kowalski (2002a), S. 19

⁸⁶⁵ Vgl. Ayres (1994), S. 6

⁸⁶⁶ Vgl. Manahan (1999), S. 26

⁸⁶⁷ Vgl. Ayres (1998), S. 2

⁸⁶⁸ Vgl. Bringezu (2003), S. 20

⁸⁶⁹ Vgl. Ayres und Simonis (1993), S. 5

⁸⁷⁰ Vgl. Fischer-Kowalski (2003a), S. 1

zukünftig zu weiterem Druck auf die Senken führen dürfte, wenn das gebundene Material keinen Nutzen mehr erbringt und als Abprodukt in die Ökosphäre entlassen wird.⁸⁷¹ Darüber hinaus ist das Phänomen nicht erfasster Stoffverluste aus der Anthroposphäre nicht zu unterschätzen. Diese „Missing Stocks“ können nur über eine exakte Materialflussanalyse aufgedeckt und adäquat behandelt, d. h. im Nutzenkreislauf gehalten oder durch geeignete Maßnahmen vermieden werden. Die (noch nicht endgültig gelöste) Frage ist vor dem Hintergrund der ethisch geforderten Verantwortung des Menschen für nachhaltige Entwicklung, wie dieser Metabolismus vor seinem historischen Hintergrund systematisch beschrieben und erklärt werden kann.⁸⁷² Angedeutet ist damit bereits, dass eine Beschreibung und Erklärung des anthropogenen Metabolismus mit der Natur wiederum eines transdisziplinären Ansatzes aus Sozial- und Naturwissenschaften bedarf.⁸⁷³ Die Anlehnung an die als Vorbild herangezogenen komplexen und holarchischen Systemzusammenhänge in natürlichen Ökosystemen kann nur über modellhafte Übertragung vorgenommen werden.⁸⁷⁴ Unter dem Blickwinkel des Verständnisses von Zustandekommen und Zusammensetzung dieser Stoffaustauschprozesse ist die Lösung der daraus resultierenden Krise erst denkbar. Dabei sind unterschiedliche Bereiche menschlicher Aktivitäten zur Aufrechterhaltung oder Weiterentwicklung der Lebensprozesse von Belang, wie Nahrungsversorgung, Schutz und Pflege des sozio-kulturellen Systems und Güterbereitstellung, wobei die vorliegende Betrachtung auf die Art und Weise der Güterbereitstellung fokussiert, da jene in jeden Lebensbereich hineinspielt. Letztendlich sind jedoch alle der genannten Bereiche materiell wirksam und haben ökologische Folgen. So kommt es, dass ca. 40 % des auf dem Land biologisch erzeugten Nettoprimärprodukts für menschliche Zwecke verwendet oder durch menschliche Aktivitäten beeinträchtigt wird.⁸⁷⁵ Es ist zu konstatieren, dass im Lauf der kulturellen Evolution die kulturelle Anpassung des Menschen an die naturräumlichen Gegebenheiten größtenteils der Anpassung des Naturraums durch den Menschen nach seinen Bedürfnissen gewichen ist. Dieser qualitative Unterschied in der Interaktion ist Auslöser und Teil der konstatierten ökologischen Krise und bedarf der analytischen Auflösung, denn auf dem Weg ist den industrialisierten Gesellschaften im wesentlichen eine um-

⁸⁷¹ Vgl. Hashimoto, Tanikawa und Moriguchi (2005), S. 188

⁸⁷² Vgl. Fischer-Kowalski und Erb (2003), S. 257

⁸⁷³ Vgl. Fischer-Kowalski (2003), S. 36

⁸⁷⁴ Vgl. Chadwick (1998), S. 21

⁸⁷⁵ Vgl. Geisendorf, Gronemann, Hampicke u.a. (1998), S. 1

weltbezogene Handlungskompetenz verloren gegangen, da das entstandene sozio-ökonomische System dies nicht mehr einfordert.⁸⁷⁶ Im Fortgang der industriellen Entwicklung zum fordistischen Prinzip hin, das zur Zeit weltweit vorherrscht, wurde die Natur zum Lieferanten unbegrenzt verfügbarer Ressourcen und zur Plattform der Verwirklichung menschlicher Vorstellungen von Fortschritt degradiert.⁸⁷⁷ Insofern kann man aus humanökologischer Sicht von einer Fehlevolution reden, da das rational geplante und gesteuerte sozio-ökonomische System (G) nicht konsistent mit dem ihm zugrunde liegenden natürlichen System (N) und somit nicht anschlussfähig ist. Die Umsetzung einer IÖ kann jedoch nur auf Basis einer Vorstellung von naturgemäßem ökologischem Handeln stattfinden, das heißt die Entfremdung von der ökologischen Dimension, wie sie von der Humanökologie diagnostiziert werden kann, ist als eine der Hauptursachen der dysfunktionalen Symptome industrieller Produktionsweisen identifiziert.⁸⁷⁸ Ein technokratisch aufgesetztes System einzelner Stoffkreislaufsysteme kann hierbei nur ein Teilschritt in Richtung einer aus humanökologischer Sicht wirksamen IÖ sein, da es allein das Syndrom nur symptomatisch behandeln, aber nicht das ursprüngliche sozio-ökologische Wirkungsgefüge hinterfragen würde. Denn die gesamte Menge an Rohstoffen, die in das ökonomische System eingeschleust werden, zeigt sich als eine der Hauptursachen des konstatierten Syndroms.⁸⁷⁹ Die Folgen für die globale Ökosphäre sind dabei nicht nur durch die Knappheit oder Endlichkeit der abgebauten Ressourcen bestimmt, sondern auch durch die Folgen ihres Abbaus und der Nutzung in Form von Eingriffen auf den globalen Metabolismus von Stoffen.⁸⁸⁰

5.3.2.1 Energieinduzierter Metabolismus

Der Antrieb der industriellen Produktionsweisen ist auf ein hohes Maß an Energie angewiesen, womit eines der Kernprobleme der industriellen Kultur angesprochen ist. Diese Entwicklung scheint der thermodynamischen Entwicklungsrichtung von offenen

⁸⁷⁶ Vgl. Steiner (1992a), S. 216

⁸⁷⁷ Vgl. Beherd und Döge (2001), S. 20

⁸⁷⁸ Vgl. Egger und Rudolph (1992), S. 222

⁸⁷⁹ Vgl. Schmidt-Bleek (1998), S. 55

⁸⁸⁰ Die Knappheit wird in Kapitel 6 als ein ökonomisches Phänomen bestimmt, das Mechanismen auslöst, die die inter- und intragenerationale Gerechtigkeit betreffen; Erst wenn das Funktionieren der Ökosphäre selbst als notwendige Ressource betrachtet wird, hebt sich diese Dichotomie auf, weil eben jene Funktion durch den übermäßigen Gebrauch von Rohstoffen gefährdet wird und es sich dabei um die knappe und empfindliche Ressource im eigentlichen Sinne handelt, da diese nach Annahme der starken Nachhaltigkeit nicht substituierbar ist.

Systemen fernab des thermodynamischen Gleichgewichts zu folgen, nach der höher entwickelten Strukturen einen höheren Durchsatz an Energie erfordern.⁸⁸¹ Umgekehrt kann davon ausgegangen werden, dass gerade die Verfügbarmachung von über die solare Einstrahlung hinausgehender nutzbarer Energie die technologische Entwicklung erst ermöglicht hat, da die verwendete Energie bei der Transformation von Stoffen in Form von Energie in diesen gespeichert wird und deren Transformabilität bzw. deren Nutzen für menschliche Anwendungen erhöht. Dies ist eine in historischen Zusammenhängen positive Rückkopplung, die nun durch die aufgetretenen ökologischen Nachhaltigkeitsgrenzen zu einem bedrohlichen Problem geworden ist, da ausgelöste Stoffströme wesentlich durch die Art der Gewinnung und Verwendung von Energie bestimmt werden.⁸⁸² Zwar kann technische Effizienzverbesserung zu einer besseren Ausnutzung der eingesetzten Energie beitragen, doch historisch hat sich gezeigt, dass diese Effekte im Lauf der Entwicklung regelmäßig durch höheren Konsum an Gütern und Dienstleistungen überkompensiert wurden.⁸⁸³ Wachstum und Intensivierungsprozesse bei der Nutzung von Energie zur Vervielfältigung der menschlichen Arbeitskraft haben dazu geführt, dass sich der globale anthropogene Energiedurchsatz der Größenordnung des gesamten Energieumsatzes der restlichen globalen Natur annähert.⁸⁸⁴ Dieser Umsatz konnte nur durch die massive Nutzung nichtregenerativer Energieträger erreicht werden, deren Energiegehalt aber auch nur der Ablagerung organischer Substanzen zu verdanken ist, die in Jahrtausenden akkumuliert wurden. Das eigentlich schädliche am Energiegebrauch ist jedoch nicht der Einsatz der Nutzenergie, sondern die Stoffströme, die durch die Bereitstellung der nutzbaren Energie ausgelöst werden.⁸⁸⁵

Stoffströme input- und outputseitig

Zur Gewinnung von Nutzenergie werden große Stoffmengen verfrachtet.⁸⁸⁶ Für Deutschland beträgt z. B. der Anteil des Abraumes vom inländischen Abbau der Energieträger ca. 78 % des inländischen ökologischen Rucksacks.⁸⁸⁷ Bei der Verbrennung

⁸⁸¹ Vgl. Ramos-Martin (2002), S. 82

⁸⁸² Vgl. Tainter, Allen, Little u.a. (2003), S. 1

⁸⁸³ Vgl. Dahmus und Gutowski (2005), S. 6

⁸⁸⁴ Vgl. Nentwig (1995), S. 213

⁸⁸⁵ Vgl. Bierter (1995), S. 22

⁸⁸⁶ Vgl. Marheineke, Krewitt, Neubarth u.a. (2000), S. 19

⁸⁸⁷ Vgl. Adriaanse, Bringezu, Hammond u.a. (1998), S. 63

der Energieträger wird das CO₂ wieder in die Atmosphäre freigesetzt, das der Atmosphäre vor Millionen von Jahren beim Aufbau der organischen Substanz entzogen wurde. Dadurch wird der natürliche Kohlenstoffkreislauf erheblich beeinflusst, wobei alle natürlichen Kohlenstoffsenken betroffen sind, und es werden Senken freigesetzt, die für lange Zeiträume dem Kreislauf entzogen waren, was ein wesentlicher Faktor für die Funktionsfähigkeit von Gaia darstellt.⁸⁸⁸ Dass dies zu einer rapiden stofflichen Veränderung der Zusammensetzung der Erdatmosphäre führt, ist ein wissenschaftlich nachgewiesener Effekt. Etwa 60 % des CO₂, das seit der Industrialisierung durch Verbrennung fossiler Energieträger freigesetzt wurde, ist noch in der Atmosphäre vorzufinden.⁸⁸⁹ Hier zeigt sich die Dualität stofflich-energetischer Prozesse bei der Ausgestaltung von Lebensprozessen. Der Mensch bildet dabei im Tierreich keine Ausnahme, nur dass dessen Energiedurchsatz ein Ausmaß angenommen hat, das für das gesamte globale System eine Gefährdung darstellt, da die Veränderungen im Gesamtsystem so schnell vonstatten gehen, wie dies von keiner anderen Art verursacht wird oder bisher verursacht wurde. Der CO₂-Strom ist damit der Stoffstrom, der am weitesten von den angestrebten Nachhaltigkeitszielen entfernt ist. Für den Effizienz-Fortschritt innerhalb des industriellen Systems spricht aber, dass sich der Anteil der produzierenden Industrie am Gesamtenergieverbrauch in Deutschland auf ca. 25 % reduziert hat. Außerdem ist zu beobachten, dass in hochindustrialisierten Ländern der Energieverbrauch pro produzierten Mehrwertes tendenziell sinkt.⁸⁹⁰ Allerdings ist dahinter ein ähnlicher Effekt wie der Verlagerungseffekt bei der EKC zu vermuten. Es sind also gerade von den industrialisierten Ländern Anstrengungen zu unternehmen, diesen Massenstrom erheblich zu reduzieren. Sonst ist eine IÖ nicht erreichbar.

5.3.2.2 Rohstoffinduzierter Metabolismus

Der Mensch greift beim industriellen Herstellen von Produkten zum größten Teil auf Lagerstätten nicht-nachwachsender mineralischer Rohstoffe zurück, die sich im Verlauf von Milliarden von Jahren durch unterschiedliche Prozesse in der Erdkruste angerei-

⁸⁸⁸ Vgl. Ayres, Schlesinger und Socolow (1994), S. 133

⁸⁸⁹ Vgl. Wittenberg (1998), S. 5

⁸⁹⁰ Vgl. Moomaw und Tullis (1994), S. 165

chert haben.⁸⁹¹ Die Zugriffsmöglichkeiten begrenzen sich dabei auf einen kleinen Bruchteil der krustennahen Ablagerungen vorwiegend im kontinentalen Bereich, die wiederum nur einen Bruchteil der gesamten Erdmasse ausmachen. Dabei werden so viele Massen bewegt, dass sich die geomorphologischen Strukturen an den Lagerstätten durch die Entfernung von Material wesentlich verändern.⁸⁹² Die Belastungen durch die Gewinnung der Rohstoffe liegen auf unterschiedlichen Ebenen.

Belastungsebenen der Rohstoffgewinnung

Mineralische Stoffe sind einer der mengenmäßig wichtigsten Grundbaustoffe der industriellen Produktion und tragen in vielen Bedürfnisfeldern zur Nutzenstiftung bei. Bei der Nutzbarmachung der Stoffe werden auf jeder Stufe bereits vielfältige Störungen der natürlichen Umwelt ausgelöst:⁸⁹³

- Exploration
- Gewinnung
- Aufbereitung und Verdichtung
- Entsorgung von „Kuppelprodukten“⁸⁹⁴
- Transportvorgänge
- Wirkungen nach der Schließung von Explorationsstätten

Dabei werden auf jeder Stufe unterschiedliche zusätzliche Stoff- und Energieströme ausgelöst, die die Umwelt belasten. Diese können zum einen durch ihre toxischen Eigenschaften schon in geringen Mengen schädlich sein oder stellen allein durch ihre Menge ein Problem dar.⁸⁹⁵ Vor allem die direkte Umgebung der Lagerstätten ist davon unmittelbar betroffen. Dies führt zu großen Stoffanreicherungen und -vermischungen in den industrialisierten Ländern, wo die eingebrachten Ressourcen durch Produktion und Verbrauch aber wieder dissipativ verteilt werden.⁸⁹⁶ Mühsam unter hohem energetischem Aufwand gewonnene und angereicherte Materialien werden zu einem großen Teil an anderem Ort wieder in die Lithosphäre eingebracht, allerdings in vermischter oder

⁸⁹¹ Vgl. Erbrich (2004), S. 99

⁸⁹² Vgl. Douglas und Lawson (2000), S. 10

⁸⁹³ Vgl. Townsend, Harper und Begon (2002), S. 567 und Mirinda, Burris, Bincang u.a. (2003), S. 7

⁸⁹⁴ Als Kuppelprodukte werden im Weiteren unerwünschte Nebenprodukte regulärer ökonomischer Aktivitäten bezeichnet, die mehr oder weniger zwangsläufig anfallen; Vgl. Leontief (1970), S. 262

⁸⁹⁵ Vgl. McEvoy, Ravetz und Handley (2004), S. 122

⁸⁹⁶ Vgl. Haber (1993), S. 68

weniger dichter Form als am Ursprungsort. Dies entspricht einer zunehmenden Entropie, die durch unachtsame Handhabung der Ressourcen verursacht wird, da einmal eingesetzte Produktionsenergie für immer verloren geht. Die ökologisch wirksamen Eingriffe am Ort der Gewinnung der Rohstoffe sind ähnlich gravierend, da häufig ein Vielfaches an Aushub vonnöten ist, als am Ende des Prozesses an nutzbaren Ressourcen zur Verfügung steht.⁸⁹⁷

Auf der anderen Seite werden die gewonnenen Rohstoffe in der Technosphäre angereichert und verändern dort ebenso die Geomorphologie. Der regelmäßige Zugriff des Menschen auf diese Lagerstätten begann vermutlich vor nicht mehr als 15000 Jahren. Der exponentielle Anstieg des Gebrauchs dieser Rohstoffe zeichnete sich jedoch erst mit der industriellen Revolution vor gut 200 Jahren ab. Seither nimmt die abgebaute Menge an nicht-regenerativen mineralogischen Rohstoffen kontinuierlich zu. Es ist also grundsätzlich eine Frage des zu Grunde gelegten Zeithorizontes, ob man von einer drohenden Rohstoffknappheit auszugehen hat. Die Reichweite der meistverwendeten Rohstoffe, die sich aus gesicherten und potenziellen Lagerreserven minus dem akkumulierten bisherigen und prognostizierten Verbrauch des Rohstoffes berechnet, reicht in den meisten Fällen zumindest bis zur Mitte des 21. Jh. Die Reichweite hängt dabei vom Einsatz der Rohmaterialien für die Endprodukte ab, der wiederum vom wirtschaftlichen Wachstum, der Ressourceneffizienz und dem Einsatz von recycelten Rohmaterialien bestimmt wird. Insbesondere die letzteren beiden Größen sind explizite Zielgrößen in einer IÖ. Zwischen den Größen, die die absoluten Stoffströme von der Rohstoffgewinnung bis zum Konsum der produzierten Güter beeinflussen, bestehen rückgekoppelte Beziehungen, die für die Umsetzung einer IÖ relevant sind. Effizienzsteigerungen und Recycling auf allen Ebenen der Stoffflüsse wirken als negative Rückkopplungen, die den Anstieg der Stoffströme zumindest abbremsen können. Dies zeigt die folgende Abbildung 6. In den kleinen Kreisen sind die Rückkopplungsbeziehungen bei zunehmender spezifischer Größe vermerkt. Die Wirkungen sind von „unten“ nach „oben“ (am Bild orientiert) multiplikativ, d. h. je näher am Konsum eine Effizienzsteigerung oder

⁸⁹⁷ Vgl. Wiggering und Hahn (2001), S. 49

Recycling stattfindet, desto größer ist die Gesamtwirkung und damit die Entlastung des Rohstoffhaushaltes.⁸⁹⁸

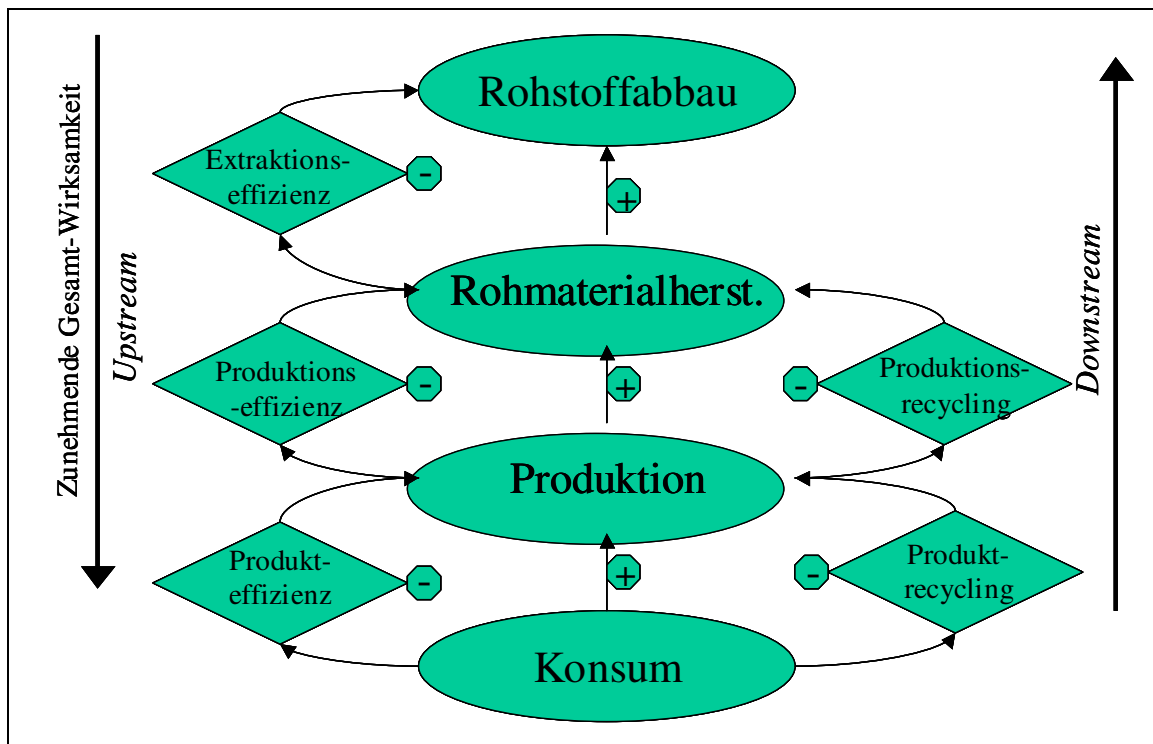


Abbildung 6: rohstoffliche Effizienzhierarchie; eigene Darstellung

Der Einflussbereich der IÖ umfasst idealerweise auch die Produktverantwortung über dessen kompletten Lebenszyklus. Derzeit sind jedoch die Anreize für Maßnahmen, egal auf welcher Ebene, so gering, dass der Ressourcenverbrauch auch bei anziehenden Rohstoff-Preisen weiter ansteigt. Für die Zeit nach Überschreitung des Peaks der Förderung mineralischer Rohstoffe bedarf es weitergehender Anstrengungen, um eine industrielle Kultur aufrecht erhalten zu können.⁸⁹⁹ Es ist in der Regel so, dass die schwerer abbaubaren potenziellen Reserven bei der Exploration immer größer werdende ökologische Folgen verursachen. Die Vorkommen werden immer unzugänglicher und der prozentuale Gehalt an der erwünschten Ressource im abgebauten Material nimmt tendenziell ab. Die Hoffnung auf „technische und ökonomisch tragbare Lösungen“ für knapper werdende Rohstoffe durch Erschließung der weniger zugänglichen und relativ

⁸⁹⁸ Vgl. Lehner und Schmidt-Bleek (1999), S. 184

⁸⁹⁹ Mit Peak ist hier das historische Fördermaximum einer Ressource umschrieben. Beispielhaft wird das Phänomen der Peaks beim Abbau nicht-regenerativer Ressourcen weiter unten in Abschnitt 5.4.1 am Beispiel Erdöl und Gas diskutiert.

unergiebigen Lagerstätten wird unumgänglich mit dem Risiko einer Verschärfung der ökologischen Problematik und mit zunehmendem Energieeinsatz erkaufte.

5.3.2.3 Produktionsinduzierter Metabolismus

Die kontinuierliche Erhöhung der Arbeitsproduktivität wurde mit einer Verringerung der Ressourceneffizienz erkaufte, oder anders herum formuliert: Die Modernisierung der Produktionsweisen ging historisch tendenziell mit einer Erhöhung der Material- und Energieintensität einher.⁹⁰⁰ Die Produktionsstrukturen sind dabei gekennzeichnet durch

- Konzentration technischer Anlagen mit zentralisierter Arbeitsorganisation
- Gezielte Sachkenntnis (Spezialistentum)
- Hohe technisch-organisatorische Integration
- Normierung
- Abgestimmte Zeitplanung (z. B. just-in-time)
- Hohe Kapitalisierung (Sunk-Cost-Effekte⁹⁰¹)
- Bewegung großer Massen an Materie

Konsuminduzierter Metabolismus

Das führt dazu, dass Industriegesellschaften hoch entropisch und durch eine starke Homogenisierung der strukturellen Rahmenbedingungen gekennzeichnet sind. Mangelnde gesellschaftliche Differenzierung wird durch die hochdifferenzierte energie- und stoffintensive Warenwelt ausgeglichen. Drohende Unzufriedenheit mit dem Leben und Inhaltsleere des Daseins können nur durch die Ablenkung über vielfältige Konsummöglichkeiten abgewendet werden, weshalb dem Konsum hohe politische Bedeutung zukommt.⁹⁰² Diese Triebkraft, positiv rückgekoppelt mit der zunehmenden Fähigkeit des Produktionssystems, große Mengen an Gütern für den Konsum mit technologischer Hilfe herzustellen, bildet den Antrieb für die überbordende Ausbeutung der natürlichen Ressourcen, die dieser Kraft von selbst wenig Widerstand entgegenbringen kann. Erst die drohenden sozialen und politischen Krisen im Gefolge der ausgebrochenen ökologi-

⁹⁰⁰ Vgl. Bierter (1995), S. 34

⁹⁰¹ Vgl. Janssen und Scheffer (2004), S. 1

⁹⁰² Vgl. Taylor (2005), S. 15

schen Knappheits-Krise wirken nun als negativ rückkoppelndes Moment, das die einseitigen Herrschaftsverhältnisse zu Gunsten der nordwestlichen Hemisphäre in Frage stellt.⁹⁰³

5.3.2.4 Sozio-kulturelle Perspektive

Als Beispiel für eine sozio-kulturelle Perspektive sei die industrielle Energieversorgung herausgegriffen, die für die IÖ eine bedeutende Rolle spielt. Für die Energiegewinnung und Bereitstellung sind umfangreiche technologische Strukturen angelegt, die hohen Kapitaleinsatz erfordern und einen beträchtlichen Anteil an der ökonomischen Leistungsfähigkeit der industrialisierten Volkswirtschaften einnehmen.⁹⁰⁴ Die daraus entstandenen Verflechtungen von Kapital und Technologie führen zu ökonomisch-technologischen Sachzwängen, deren Folgen für den anthropogenen Metabolismus bestimmend sind.⁹⁰⁵

- Zentralisierte Großtechnologien mit hoher Kapitalbindung
- Einsatz nicht-regenerativer Ressourcen im großen Maßstab
- Notwendigkeit von großtechnisch realisierten Überkapazitäten zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit
- Lange Versorgungsketten mit hohem zusätzlichem Ressourcenbedarf
- Große Eingriffstiefe in natürliche Vorgänge von der atomaren bis zur geophysikalischen Ebene

Da der industrialisierte Metabolismus derzeit auf hohe Energiedichte, also hohe potenzielle Leistungsfähigkeit je Raumvolumen angewiesen ist, kommt noch die Problematik der Speicherung von Energie hoher Dichte hinzu. Diese ist mit den fossilen Energieträgern natürlich gegeben, was deren Vorteile für die kulturell-technologisch-ökonomische Entwicklung charakterisiert. Der Griff zu den nicht-regenerativen Energieträgern erfolgt mit einer Zwangsläufigkeit, die kaum ein anderes Szenario für die historische Technik-Genese zulässt. Doch für die Zukunft muss ein solches entwickelt werden, da der derzeitige Metabolismus mit der Ökosphäre nicht dauerhaft aufrecht erhalten werden

⁹⁰³ Vgl. Spehr (1996), S. 11

⁹⁰⁴ Vgl. IW (Hrsg. 2005), S. 26 und 29; Energieerzeugung hat naturgemäß einen der höchsten Kapitalkoeffizienten, die Anlagen brauchen daher lange Laufzeiten bis zur Amortisation und ein Kurswechsel ist von den beteiligten Akteuren nicht erwünscht.

⁹⁰⁵ Vgl. Scheer (2005), S. 138

kann.⁹⁰⁶ Es kommt in den Abbaugebieten zu tiefgreifenden Veränderungen der Landschaftsformen oder der chemischen Zusammensetzung von Boden bzw. Wasser, zu unerwünschten Freisetzungen beim Transport zu den Energieerzeugungsanlagen und zu einem systematischen Verlust wertvoller organischer Rohstoffe, bis diese überhaupt erst ins anthropogene Produktions- und Konsum-System eingeschleust sind. Langfristig gesehen kommt es zu einer Erschöpfung der Vorräte, wobei es aus evolutionärer Sicht für die Natur irrelevant ist, ob dies in 50, 200 oder 1000 Jahren eintritt. Für den Menschen ist der Umfang dieses Zeithorizontes jedoch von beträchtlicher Bedeutung, denn er bestimmt den Zeitraum, der aus anthropozentrischer Sicht für den Kurswechsel zu einer IÖ in Hinsicht auf die Rohstoffquellen verbleibt. Dies gilt auch für die Senkenseite.

Technologische Perspektive

Die Entwicklung und der Einsatz von Technologie zur Erwirtschaftung von Nutzen für den Menschen hat gegenüber der Natur sowohl eine quantitative als auch qualitative Dimension.⁹⁰⁷ Erst die wissenschaftliche Entwicklung und die daraus folgende Technisierung der Lebenswelt haben zu der heutigen Fähigkeit des Menschen geführt, auf der einen Seite exorbitante Massenströme auszulösen und auf der anderen Seite hochgefährliche Substanzen freizusetzen, die eine extreme Eingriffstiefe in natürliche Prozesse darstellen. Beide Dimensionen können von den natürlichen Ökosystemen nicht mehr aus eigener Kraft bewältigt werden.⁹⁰⁸ Die Verquickung von Wissenschaft, Technologie, Produktionsweisen und Produkten mit immer neuen Nutzendimensionen, verbunden mit der Möglichkeit zum Massenkonsum durch die technologische Effizienzsteigerung bei der Herstellung, ergibt eine techno-soziale Gemengelage, deren zwangsläufige Pfadabhängigkeit beim Versuch der Umsetzung einer IÖ zu berücksichtigen ist. Die historisch gewachsene Technostruktur und -kultur mit der daraus

⁹⁰⁶ Man nehme nur die durch die zusätzlichen Treibhausgase ausgelöste Klimaerwärmung, was einem Großexperiment mit ungewissem Ausgang gleichkommt, und das innerhalb eines äußerst komplexen Wirkungsgefüges, das nur schwer prognostizierbar ist – es wäre jedoch fahrlässig, davon auszugehen, dass eine 20%ige Steigerung eines klimawirksamen Spurengases ohne merkbare Wirkung bliebe; Vgl. Schmidt-Bleek (1997), S. 55

⁹⁰⁷ Vgl. Gleich (1991), S. 239

⁹⁰⁸ Entsprechende Ansätze werden in der nachhaltigen Entwicklung mit der Effizienz-Strategie (Verringerung der Quantität des Stoffdurchsatzes) auf der einen und der Konsistenz-Strategie (Anpassung der Qualität der Technologie) auf der anderen Seite verfolgt.

induzierten Konsumkultur erweist sich durch die den Menschen ermöglichte Bequemlichkeit als zu überwindende Barriere, da sie Implikationen festsetzt, die sich nicht vollständig mit einer nachhaltigen IÖ in Einklang bringen lassen können.

5.3.2.5 Derzeitige Produktionsbedingungen

5.3.2.5.1 Produktionspraxis

Die derzeitige Art industriell zu produzieren, ist bei holistischer Betrachtung aller beteiligten Systeme keine Produktion im ursprünglichen Sinn, sondern vielmehr eine Dekapitalisierung der Naturbestände in Qualität und Umfang.⁹⁰⁹ Sie ist durch Ineffizienz der Energienutzung, unflexible zentrale Strukturen und einen hohen Verlust an Rohstoffen gekennzeichnet, also weit davon entfernt, sich gemäß einer IÖ an natürlichen Prinzipien zu orientieren.⁹¹⁰ Die jüngere und derzeitige Entwicklung der Produktionsbedingungen weist eine zunehmende Uniformität und Homogenisierung auf. Vielfältigkeit, wie man sie in natürlichen Systemen findet, wird in der globalen Industriekultur unterdrückt und verdrängt, was mitunter auch zum Verschwinden kultureller und biologischer Vielfalt beiträgt.⁹¹¹ Trotzdem wird ökonomischer Erfolg noch immer nur über den wachsenden Wert der Produktion bewertet, was lediglich einen kleinen Ausschnitt der Realität abbildet, jedoch das Anreizsystem für ökonomisches Handeln dominiert. Diesem unrealistischen Anreizsystem gemäß gestalten sich die Produktionsstrukturen in einem weitgehend selbstorganisatorischen Prozess aus. Produktionsstätten werden nach diesem ökonomischen Kalkül geplant und errichtet, ohne die externen Wirkungen der Stoff- und Energieströme zu beachten.⁹¹² Das führt zu thermodynamisch teilweise vollkommen irrationalen Handlungsweisen, die in der globalen Verflechtung des Produktionssystems als solche jedoch nicht auffallen, da die Preise, die dieses System steuern, diese Irrationalitäten nicht widerspiegeln. Jedes Produkt auf dem Markt durchläuft von der Rohstoffgewinnung bis zur „Entsorgung“ eine Reihe komplexer Fertigung- und Umwandlungsschritte, die durch die zunehmende Spezialisierung geographisch zumeist weit voneinander entfernt stattfinden und hohen

⁹⁰⁹ Vgl. Binswanger (1991), S. 28

⁹¹⁰ Vgl. Braungart und McDonough (2003), S. 38

⁹¹¹ Vgl. Shiva (1996), S. 29

⁹¹² Vgl. Peck & Associates (o. J.), S. 1

zusätzlichen Energieaufwand für Beförderungsvorgänge erfordern.⁹¹³ In der Regel ist dabei den Verantwortlichen der jeweils nachfolgenden Fertigungsstufe nur ein Bruchteil der vorangegangenen Fertigungsprozesse, der ökologischen Rucksäcke und der Inhaltsstoffe der Vorprodukte bekannt.

Nicht-nachhaltige Produktionsweisen

Industrielle Produktion ist derzeit nicht nachhaltig, weil:⁹¹⁴

- Über 90 % der Versorgung mit Nutzenergie wird durch fossile Primärenergieträger, zumeist in Verbrennungsprozessen, gewährleistet
- Fast alle Rohmaterialien der industriellen Produktion aus erschöpflichen mineralischen Quellen stammen
- Sie dem Prinzip der Durchflusswirtschaft folgt, was zur unwiederbringlichen Dissipation wertvoller Rohstoffe führt

Das industrielle Produktionssystem zeichnet sich dadurch aus, dass es den Prinzipien der Spezialisierung, des Wachstumszwanges, des Zwanges zum „Technischen Fortschritt“ mit Rationalisierungstendenzen und der Konzentration des Kapitals unterliegt. Besonders letzteres trägt dazu bei, dass die Transparenz sowohl der Produktionsprozesse als auch der damit verbundenen Geldströme abnimmt, wodurch langfristig die Resilienz des Systems stark vermindert wird.⁹¹⁵ Allein dieser Umstand widerspricht schon einer der Grundvoraussetzungen Nachhaltiger Entwicklung, die auf hohe Resilienz angewiesen ist.

5.3.2.5.2 Massenströme durch Rohstoffverbrauch

Die hochspezialisierten Produktionsweisen der Industriegesellschaften erfordern den Abbau nicht-regenerativer Ressourcen mit den für die Einsatzgebiete erforderlichen Eigenschaften, die beim derzeitigen Stand der Technik nicht durch regenerative Ressourcen erbracht werden können. Die eingesetzten Materialien und Stoffe werden künstlich aus natürlich vorkommenden Stoffen durch vielfältige Transformationsprozesse unter Einsatz unterschiedlichster chemo-physikalischer Prozesse hergestellt. Die

⁹¹³ Vgl. Hawken, Lovins und Lovins (2000), S. 84

⁹¹⁴ Vgl. Huesemann (2003), S. 23

⁹¹⁵ Vgl. Bartmann (1996), S: 212

Mechanisierung hat im Rahmen der Industrialisierung zu einer Effizienzrevolution geführt, stellt aber auch hohe Anforderungen an die Homogenität und Standardisierung der Ausgangsmaterialien, was damit einhergeht, dass natürliche Stoffe in der Regel nur noch in der ersten Produktionsstufe als ursprüngliche Ressource dienen.⁹¹⁶ Prozesse und (Zwischen-)Produkte entfernen sich dabei mit jedem Verarbeitungsschritt von natürlich vorkommenden Formen und sind hochspezifisch, was deren Wiedereinführung nach Ge- oder Verbrauch sowohl in den ökonomischen, als auch ganz besonders in den natürlichen Kreislauf erheblich erschwert. Dies ist die denkbar ungünstige Ausgangsposition, von der aus die Umsetzung einer IÖ auszugehen hat. Darüber hinaus ist durch das Mengenwachstum der Produktion eine Deckung des Materialbedarfs durch regenerative Ressourcen gar nicht denkbar. In den 80er Jahren betrug der Anteil der nicht-erneuerbaren Rohstoffe an den ökonomischen Primärmaterialströmen ca. 80 %.⁹¹⁷ Diese Massenströme aus der Umwelt (Quellen) und in Form von nicht (mehr) nutzbaren Ressourcen in die Umwelt (Senken) geht mit starken Eingriffen in den Naturhaushalt der betroffenen Regionen einher.⁹¹⁸ Besonders ins Auge sticht dabei die Dominanz der fossilen Energieträger, deren Massenströme die der stofflich genutzten Ressourcen um ein Vielfaches übersteigen.⁹¹⁹ Die historisch natürliche Umwelt wurde durch menschliche Eingriffe weitgehend in eine „kultürliche“ Umwelt umgewandelt, die nicht mehr in einen ursprünglichen Zustand im historischen Sinn versetzt werden kann. Grob eingeteilt werden kann diese kultürliche Umwelt in:

- Bautechnische Objekte
- Gebrauchsobjekte
- Verbrauchsobjekte

Diese Objekte durchlaufen die Phasen der Gewinnung von Rohstoffen, Umwandlung, Produktion, Verwendung und Entsorgung. All diese Phasen stehen direkt oder mittelbar in der Verantwortung der Produzenten, wobei der Einfluss auf die Ausgestaltung der Stoffströme bis zur Auslieferung des Produktes unmittelbar bei den produzierenden Einheiten liegt. Die Gebrauchsphase liegt in der Verantwortung der Konsumenten. Die Gebrauchs-Eigenschaften liegen dagegen in der direkten Verantwortung der Produzen-

⁹¹⁶ Vgl. Sartorius (1999), S. 442

⁹¹⁷ Vgl. Baccini und Brunner (1991), S. 24

⁹¹⁸ Vgl. Messner (2000), S. 160

⁹¹⁹ Vgl. Adriaanse, Bringezu, Hammond u.a. (1998), S. 30

ten, ebenso wie der Lebensweg der Produkte, die aus der Nutzung genommen werden. Es handelt sich im weitesten Sinn auch beim Lebenszyklus eines Produktes um einen Stoff- und Materialfluss, dessen Ausgestaltung nur von den verantwortlichen Produzenten strukturiert gestaltet werden kann. Diese wiederum haben bei ihren Entscheidungen die mit der Produktion verbundenen Phänomene, wie z. B. die Kuppelproduktion, in ihrem Management zu antizipieren. Das ist derzeit mit dem Vorherrschen reaktiver Strategien jedoch nicht der Fall. Ayres und Simonis fassen diese Erkenntnisse folgendermaßen zusammen:

*„Das industrielle System, so wie es heute existiert, ist deshalb ipso facto nicht nachhaltig.“*⁹²⁰

Dies lässt sich leicht nachweisen: Im Gegensatz zu biologischen Systemen, die durch geschlossene Kreisläufe gekennzeichnet sind, zeichnet sich das derzeitige industrielle System dadurch aus, dass (vorwiegend nicht-regenerative) Stoffe darin in für den Menschen nutzbare Produkte umgewandelt werden und am Ende des Gebrauchs in zumeist nicht mehr verwertbarer Form vorliegen. Darüber hinaus entstehen schon während des Produktionsvorganges nicht intendierte Nebenprodukte, die keinem weiteren Nutzen zugeführt werden. Dies entspricht keinesfalls der allgemein anerkannten Vorstellung von Nachhaltigkeit, nach der metabolisch betrachtet der Stoffdurchsatz und vor allem die stoffliche Ausstoßmenge in die Natur deren jeweiliger Tragfähigkeit entsprechen sollte.⁹²¹ Angesichts des Zustandes und der erforderlichen Entwicklung industrieller Produktionsweisen gilt es insbesondere, folgende Fragen zu beantworten:⁹²²

1. Wird sich das (globale) industrielle System, so wie es zu Beginn des 21. Jh. zu beobachten ist, selbst in einem nachhaltigen Zustand stabilisieren können, ohne gezielte Einflussnahme von „außen“?
2. Wenn ja, wie lange wird das dauern (müssen) und unter welchen Umständen kann dies geschehen, um nach derzeitigem Stand des Wissens als nachhaltig bezeichnet werden zu können?
3. Wenn nicht, kann es einen „Gleichgewichtszustand“ (z. B. geschlossener Stoffkreisläufe) geben, der den thermodynamischen Gesetzmäßigkeiten (Entropie)

⁹²⁰ Ayres und Simonis (1993), S. 6; Diese Aussage kann bis heute unverändert stehen bleiben.

⁹²¹ Vgl. Wittenberg (2001), S. 50

⁹²² Vgl. Ayres (1994), S.6

gerecht wird und der mit geeigneten technologischen, organisatorischen und verhaltenssteuernden Mitteln⁹²³ erreicht werden kann?

4. Wenn ja, wie könnte ein Konzept einer „nachhaltigen industriellen Produktion“ aussehen und was würde dessen Umsetzung kosten?
5. Wenn nicht, wie lange wird es dauern, bis der Planet Erde endgültig kollabiert und für den Menschen sowie die meisten anderen biologischen Lebensformen unbewohnbar geworden ist?

Eine weitere Dimension des Begriffes der IÖ ist der normative Ansatz. Er verlangt, den industriellen Metabolismus dem Maßstab der Natur anzupassen, indem deren metabolische Vorgänge als Vorbild für die technologisch-ökonomischen dienen soll.⁹²⁴ In diesem Zusammenhang kann der Einwurf, dass es sich bei o. g. Forderung lediglich um „normative Trautänzerei“ handle, die einer realistischen Umsetzung aufgrund vielfältiger Sachzwänge trotze, als auf status-quo-basiertem Weiterdenken des existierenden techno-ökonomischen Systems gelten.⁹²⁵ Es bedarf zumindest des Versuches, über als hinlänglich bekannte und erwartete Pfadabhängigkeiten hinaus zu denken, wenn man sich ernsthaft mit dem Begriff „Nachhaltige Entwicklung“ auseinandersetzt und diesen nicht als Worthülse einer modischen Strömung missbraucht, wie dies zum Beispiel die inflationäre Umbenennung von firmenbezogenen „Umweltberichten“ in „Nachhaltigkeitsberichte“ vermuten lässt.⁹²⁶

5.4 WIRKUNGEN DES ANTHROPOGENEN METABOLISMUS AUF DIE NATUR

Der industriell induzierte Stoff- und Energieumsatz zeitigt vielfältige Wirkungen auf alle ökologischen Grundgrößen. Die ökologische *Diversität* wird zum Beispiel durch folgende Größen bestimmt, die alle durch menschliche Einwirkungen beeinflusst werden:⁹²⁷

⁹²³ Majer unterscheidet drei Wege der Innovation in Richtung Nachhaltigkeit: Technik, Verhalten und Institutionen; Vgl. Majer (1998), insb. S. 235

⁹²⁴ Vgl. Isenmann (2003), S. 10ff

⁹²⁵ Vgl. Bartmann (1996), S.3

⁹²⁶ Vgl. KPMG (2002), S.5ff

⁹²⁷ Vgl. Tilman und Lehmann (2001), S. 5433f

- Ressourcenverfügbarkeit (Mineralstoffe, Licht, Boden, Wasser)
- Regenerationsfähigkeit
- Räuber und Krankheiten
- Physische Störungen
- Temperatur/Klima
- Zeitliche Variation von Limitfaktoren

Das bedeutet, dass der Druck der Anthroposphäre auf die Ökosphäre ein mehrdimensionales Phänomen interagierender Einflussgrößen darstellt,⁹²⁸ dessen Messung und Steuerung ein der damit verbundenen Komplexität adäquates Instrumentarium verlangt, da die eindimensionale Betrachtung von Veränderungen der Einflussgrößen keine ausreichende Aussagekraft über die letztendliche Wirkung auf die Ökosysteme erlaubt. Die eintretenden Wirkungen hängen von der Anzahl der veränderten Faktoren und dem Ausmaß der jeweiligen Veränderung ab.⁹²⁹ Zwar hat der Mensch auch schon in der Frühgeschichte insbesondere mit der Entwicklung der Landwirtschaft durch mechanische Einwirkungen stark auf die Umwelt eingewirkt und diese nach seinen Vorstellungen verändert,⁹³⁰ durch die Industrialisierung und die technische Entwicklung wurden diese Wirkungen jedoch in ihrem Ausmaß potenziert und umfassen weitere Aspekte wie großvolumige Stoffverfrachtung und Freisetzung toxischer Chemikalien.⁹³¹ Die Wirkungen lassen sich auf drei Hauptsyndrome zusammenfassen:⁹³²

- Überverbrauch von regenerativen und nichtregenerativen Ressourcen
- Überbeanspruchung natürlicher Senken
- Exorbitant steigende Flächeninanspruchnahme für menschliche Belange

Insbesondere die Flächeninanspruchnahme und Landschaftsveränderung durch industrielle Produktionsstätten sind durch ihre strukturbildende und lang anhaltende Wirkung von besonderer Bedeutung. Die Art der Bebauung zeichnet sich durch das induzierte Verkehrsaufkommen aus, den Versiegelungsgrad des Bodens, die Bauweise, die Arbeitsplatzdichte, den Nutzungsgrad der bebauten Fläche sowie durch Art und Menge der

⁹²⁸ Vgl. Western (2001), S. 5458

⁹²⁹ Vgl. Tilman und Lehman (2001), S. 5439

⁹³⁰ Vgl. Tyson, Fuchs, Fu u.a. (2002), S. 1

⁹³¹ Vgl. Goudie (1994), S. 414

⁹³² Vgl. Brühl und Simonis (2001), S. 4

auf der Fläche gelagerten Güter.⁹³³ Vollständige bzw. zumeist hohe Versiegelung, einhergehend mit sehr niedrigem ökologischen Wert der Fläche dominiert in den meisten Konglomeraten industrieller Produktionsstätten. Häufig sind die Flächen durch historische Entwicklung mehrfach versiegelt, modifiziert und zusätzlich toxisch kontaminiert. Auch bei nicht genutzten Industriebrachen ist der ökologische Wert bei mangelnder Renaturierung extrem reduziert. Darüber hinaus lassen sich Ökosysteme durchaus anthropozentrisch geprägt nach ihrer Serviceleistung im Allgemeinen, also für die Funktionalität von Gaia, als auch im Besonderen, also nach ihren direkten Nutzenwirkungen für die menschliche Gesellschaft, „bewerten“. Dieser Wert ist beim derzeitigen Niveau der Nutzung durch den Menschen einer ständigen Degradation unterworfen, die je nach angelegtem Zukunftsszenario noch einige Jahrzehnte anhalten wird.⁹³⁴ All dies sind Punkte, die bei der Gestaltung einer IÖ systematisch zu berücksichtigen sind. Differenziertere State-Faktoren ökologischer Wirkungen durch menschliche Aktivitäten sind die Anreicherung von klimawirksamen Gasen in der Atmosphäre, Schädigung der stratosphärischen Ozonschicht, Eutrophierung von Gewässern, Ausrottung biologischer Arten, Freisetzung bio-toxischer Stoffe, Freisetzung radioaktiver Strahlung, großräumige Veränderungen in der Bodenchemie, Flächenversiegelung mit zunehmendem Risiko von Flutkatastrophen sowie Zerstörung der natürlich dort vorkommenden Habitate, globale Klimaveränderungen, Herabsetzung natürlicher Regenerationsfähigkeit von Ökosystemen, Beeinflussung der natürlichen Evolution, Veränderung der geobiophysikalischen Kreisläufe, Manipulation der hydrologischen, chemischen und biologischen Faktoren in aquatischen Lebensräumen und noch viele hier nicht aufzählbare Sachverhalte.⁹³⁵

5.4.1 Rohstoffverknappung

Die Verfügbarkeit von Ressourcen ist ein Gradmesser, der alle Nachhaltigkeitsdimensionen umfasst. Verfügbarkeit von Ressourcen ist ein entscheidender Steuerungsfaktor für den Metabolismus ökologischer Systeme, sie betrifft sowohl intra- als auch intergenerationale Gerechtigkeit der Aneignung nutzbarer Ressourcen und sie stellt den

⁹³³ Vgl. Keidel und Mayr (2001), S. 16

⁹³⁴ Vgl. Alcamo, van Vuuren, Ringler u.a. (2005), S. 2

⁹³⁵ Ohne Anspruch auf Vollständigkeit; Vgl. u.a. Sobczak, Cloern, Jassby u.a. (2002), S. 8105 und WBGU (Hrsg. 1998), S.119

grundlegenden Produktionsfaktor für die Wirtschaft dar.⁹³⁶ Ein offenes System fernab des thermodynamischen Gleichgewichts bricht bei Versiegen einer benötigten Ressource entweder zusammen oder muss sich räumlich verlagern.⁹³⁷ Zwischen den Extrempositionen der Hochrechnung früherer Verbräuche von Rohstoffen auf eine begrenzte zeitliche Restverfügbarkeit und der Rückprojektion auf die Vergangenheit mit scheinbar unendlicher Rohstoffverfügbarkeit liegen die möglichen menschlichen Grundhaltungen zur Ressourcenfrage.⁹³⁸ Zwar kommen z. B. Pearce/Turner 1990 und Lomborg gar noch im Jahr 2002 zu dem Ergebnis, dass mittelfristig Knappheit kein Problem für die derzeit gebräuchlichen Rohmaterialien darstellen sollte,⁹³⁹ bei differenzierter Betrachtung kommt man jedoch zu einem etwas anderen Ergebnis. Manche wissenschaftlichen Autoren sehen die Menschheit bereits im „Zeitalter der Knappheit“.⁹⁴⁰ Die weltweite Herstellung von Metallen zeigt z. B. seit der Industrialisierung einen exponentiellen Verlauf, der erst langsam abzuflachen scheint.⁹⁴¹ Dass nicht-regenerative Rohstoffe ein wertvolles begrenztes Wirtschaftsgut sind, kann nicht negiert werden und dass die Nichtbeachtung dieser Begrenzung zu gesellschaftlichen, politischen und ökonomischen Verwerfungen führen kann, war sogar dem Nachrichtenmagazin SPIEGEL ein Titel wert. Das lässt darauf schließen, dass die soziale Resonanz auf das Thema zunehmend ernsthaften Charakter annimmt.⁹⁴² Die gegenwärtigen weltpolitischen Verwerfungen, die nichts anderem als einer Krise der sozio-ökonomischen Systeme entsprechen, sind mancherorts schon in handfeste Auseinandersetzungen gemündet und die Entfachung von weiteren „Ressourcenkriegen“ wird mit der zunehmenden Verknappung immer wahrscheinlicher.⁹⁴³ Damit gehen sozial relevante gesellschaftliche Verwerfungen einher, die sich in Migrationsbewegungen und damit verbundenen politischen und ethnischen Konflikten entladen können bzw. dies bereits tun.⁹⁴⁴ Das deutet darauf hin, dass es komplexe sozio-kulturelle Verflechtungen zwischen Bestrebungen nach nationaler Sicherheit, Waffenhandel und Militarisierung

⁹³⁶ Letzteres wird eingehender im anschließenden Kapitel 6 diskutiert.

⁹³⁷ Vgl. Spiegelman (2003), S. 20

⁹³⁸ Vgl. Nentwig (1995), S. 299

⁹³⁹ Vgl. Pearce und Turner (1990), S. 293f und Lomborg (2002), S. 178

⁹⁴⁰ Vgl. Roth (2003), S. 11; Er betont die Gefahr der zeitlichen Verknüpfung von Bevölkerungswachstum, Abnahme von Ackerland, Problem der Verfügbarkeit von Energie und Tragfähigkeit der Ökosysteme.

⁹⁴¹ Vgl. von Weizsäcker (1998), S. 45

⁹⁴² Vgl. Follath (2006), S. 70

⁹⁴³ Vgl. Peisl (1995), S. 93 und Massarat (1993), S. 138

⁹⁴⁴ Vgl. Hawken (1996), S. 45

mit ökologischen, ökonomischen und sozialen Faktoren gibt.⁹⁴⁵ Darüber hinaus ist durch die geographische Konzentration wichtiger Energieressourcen im politisch instabilen Mittleren Osten ein zusätzliches Gefahrenpotenzial zu sehen, das die Ziele nachhaltiger Entwicklung auf politischer Ebene gefährdet.⁹⁴⁶

Exkurs: Hubbert-Kurven am Beispiel Öl

Rein statistisch gesehen übersteigt seit 20 Jahren die Rohölförderung die neuen Funde, d. h. seit diesem Zeitpunkt befindet sich die globale Entwicklung der Ölförderung zumindest in einer abflachenden Tendenz.⁹⁴⁷ Dies liegt daran, dass die Ölförderung empirisch gesehen geologischen und statistischen Gesetzmäßigkeiten folgt, die sich in einer im Zeitablauf nach unten geöffneten Glockenkurve darstellen lassen, der Hubbert-Kurve.⁹⁴⁸ Damit ist z. B. für das Erdöl der Umkehrpunkt im globalen Fördermaximum (Peak Oil) zeitlich nicht mehr fern.⁹⁴⁹ Dieses Auftreten eines Peaks ist charakteristisch für alle nicht-regenerativen Ressourcen und ist statistischer Ausdruck der absoluten Knappheit dieser Ressourcen. Nach dem Peak ist mit einem stetigen Anstieg der negativen Differenz zwischen Angebot und Nachfrage zu rechnen, die sich mit dem kontinuierlichen Preisanstieg der letzten Jahre für viele Rohstoffe bereits andeutet. Dabei ist es letztendlich kaum relevant, wie genau die zeitliche Prognose des Auftretens ist, entscheidend ist die Tatsache, dass diese Art der Entwicklung unumgänglich ist.⁹⁵⁰ Die folgende Abbildung 7 zeigt exemplarisch das Auftreten des Peaks für die Aggregation von Erdöl- und Gasförderung. Ein wesentlicher Beitrag der IÖ wird dementsprechend in der Entschärfung der aus dieser offensichtlichen Knappheitsproblematik erwachsenden ökonomischen, ökologischen und sozialen Sachverhalte liegen.

⁹⁴⁵ Vgl. Robinson und Tinker (1996), S. 6

⁹⁴⁶ Vgl. Müller (2003), S. 5

⁹⁴⁷ Vgl. Piller (2002), S. 9

⁹⁴⁸ Vgl. Rechsteiner (2003) S. 2

⁹⁴⁹ Vgl. Ayres (2000), S. 11

⁹⁵⁰ Die Genauigkeit der Prognose nimmt erfahrungsgemäß mit dem Näherrücken des Peaks zu.

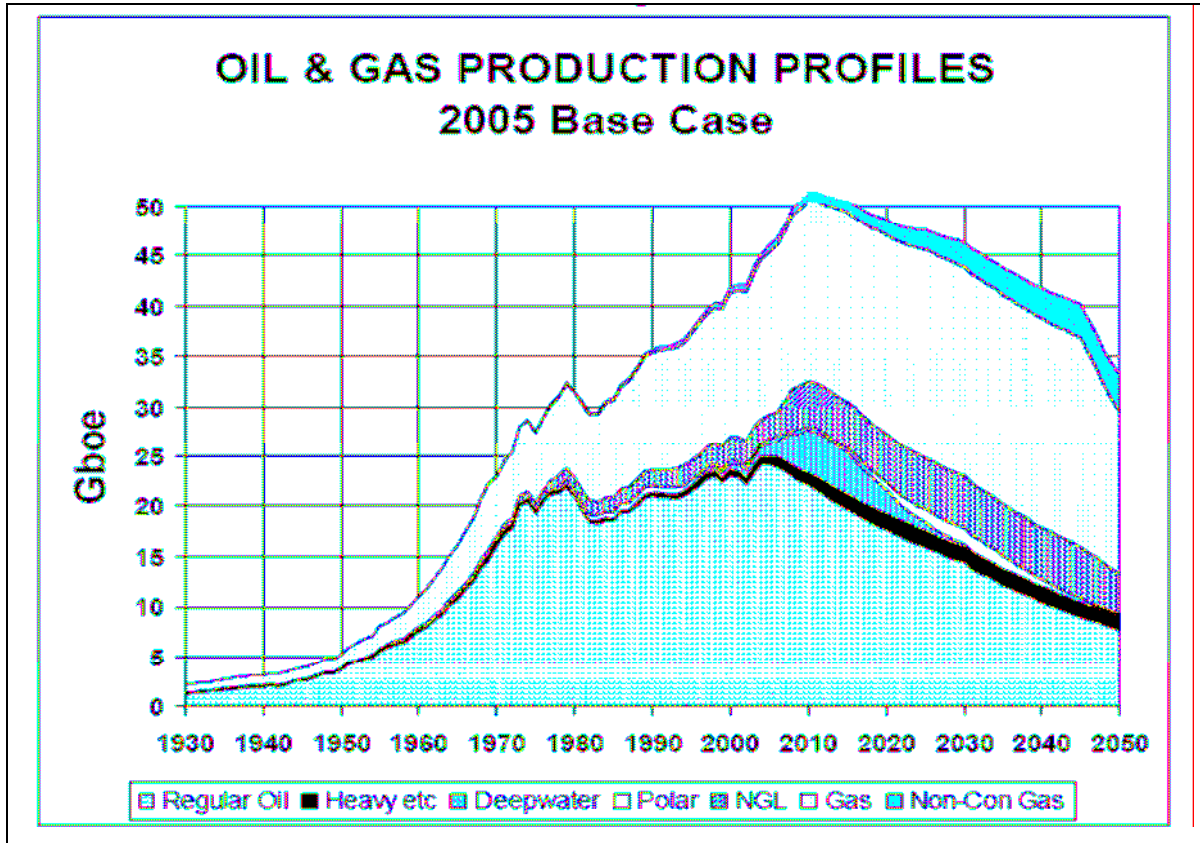


Abbildung 7⁹⁵¹: Hubbert Peak für Erdöl und Gas; Quelle: ASPO (Hrsg. 2006), S. 2

5.4.2 Degradation von Ökosystemen

Auf Basis unterschiedlicher Szenarien, die als Berechnungsgrundlage Daten verwenden, die sich strukturell weitgehend an der IPAT-Gleichung orientieren, lässt sich ein Trend zur Abnahme der Leistungsfähigkeit der globalen Ökosysteme ableiten.⁹⁵² Die Leistungsfähigkeit der Ökosysteme äußert sich für den Menschen in der Bereitstellung von Nahrung, Brennstoffen, Frischwasser, organischen Rohstoffen, genetischen Ressourcen (Vielfalt) und extrahierbaren biochemischen Substanzen für wirtschaftliche Zwecke. All diese nutzbringenden Eigenschaften werden derzeit durch menschliche Aktivitäten einerseits genutzt, andererseits gefährdet und unterliegen einer seit Jahrzehnten andauernden Verschlechterung, die in der näheren Zukunft anhalten wird.⁹⁵³ Die für die geobiophysikalische Funktionsfähigkeit ebenso wichtigen Eigenschaften zur Regulation der Ökosysteme lassen aber auch eine Verschlechterung der allgemeinen (nicht anthro-

⁹⁵¹ [Gboe] = Billion Barrels oil equivalent

⁹⁵² $I(\text{Impact}) = P(\text{Population}) \times A(\text{Affluence}) \times T(\text{Technology})$; nähere Erläuterung in Abschnitt 7.4.1

⁹⁵³ Vgl. Alcamo, Vuuren, Ringler u.a. (2005), S. 7ff

pozentrisch instrumentalisierten) ökologischen Situation auf der Erde erwarten. Dies sind vor allem die Klimasteuerung, Humusbildung und Erosionsschutz, Erhaltung der Luftqualität, der Wasserkreislauf nebst Reinigungsprozessen sowie die Steuerung pandemischer Krankheiten. Tatsächlich lassen sich durch menschliche Einwirkung, sei es landwirtschaftlicher, städtebaulicher, rohstoffgewinnender oder industrieller Art, in all diesen Bereichen wesentliche Beeinträchtigungen gegenüber einem „natürlichen“ Zustand feststellen.⁹⁵⁴ Besondere Bedeutung kommt der Biodiversität zu.

Reduktion der Biodiversität durch Überbeanspruchung

Das Verhalten der Spezies *Homo sapiens sapiens* auf der Erde folgt der einfachen natürlichen Gesetzmäßigkeit, das Maximum an Ressourcen für den eigenen Fortbestand zu sichern und auszunutzen. Dass über 6 Mrd. Individuen unserer Art mit jeweils hohen oder in den industrialisierten Ländern sogar exorbitant hohen Ressourcenansprüchen nicht ohne Wirkungen auf die „natürliche“ Verteilung aller (noch) vertretenen Arten auf der Erde bleiben können, ist mit der IPAT-Gleichung auf einfachste Weise gezeigt.⁹⁵⁵ Dass sich dies empirisch nachweisen lässt, zeigt der „Living Planet Index“, der sich in den letzten 4 Jahrzehnten um beinahe 40 % verschlechtert hat.⁹⁵⁶ Dieses Ungleichgewicht ist nichts anderes als eine strukturelle Störung in den natürlich vorkommenden Mustern der Ressourcenverteilung zwischen den Arten. Zudem werden die Zielkonflikte zwischen unterschiedlichen Nutzungsansprüchen durch die Menschen weiter zunehmen, d. h. eine höhere Nachfrage nach Serviceleistungen wird einem gefährdeten oder zurückgehenden Angebot gegenüberstehen, nicht zuletzt, weil die Ökosysteme in der Regel miteinander vernetzt sind und gegenseitige Rückwirkungen auftreten. Die zukünftige Entwicklung für das Ausmaß dieser Effekte hängt von der Ausgestaltung der IÖ ab. Da aktuelle und zukünftige Entscheidungen für die Belastung von Ökosystemen von sozio-kulturellen Wertmaßstäben abhängen, kommt der Bewertung von Nutzen und Kosten der Naturverwendung eine besondere Bedeutung zu, da bei steigender Weltbe-

⁹⁵⁴ Vgl. Goudie (1994), S. 31; Teilweise sind die menschlich verursachten Schäden jedoch so sehr in der Historie verwurzelt, dass man den „natürlichen“ Zustand mancher Weltregion, wie er sich ohne direkte menschliche Eingriffe darstellen würde, gar nicht mehr rekonstruieren kann.

⁹⁵⁵ Diese wird in Abschnitt 7.4.1 genauer eingeführt; Vgl. Huber (1999), S. 1

⁹⁵⁶ Vgl. Rainham, Mc Dowell und Wilson (2005), S. 181; In einer regelmäßigen globalen Erhebung, gefördert durch den WWF, werden Populationen von typischen Tierarten zu Wasser, zu Lande und in der Luft erhoben und statistisch ausgewertet.

völkerung kaum ein Weg daran vorbeiführen kann, die aktuellen und potenziellen Leistungen der Ökosysteme „optimal“ auszunutzen, ohne deren Degradation weiter zu beschleunigen. Wie aber kann man zu diesem Optimum gelangen? Hierzu können die Ansätze der Umwelt- und Ressourcenökonomik, besonders jedoch die Ökologische Ökonomik einen Beitrag leisten. Dass der Versuch, diese sozio-ökologischen Prozesse exakt zu modellieren, mit großen Ungewissheiten verbunden ist und Prognosen stark von den zu Grunde liegenden Prämissen abhängen,⁹⁵⁷ sind in Kauf zu nehmende Restriktionen. Im Fall des Erhaltes der Funktionsfähigkeit der Ökosysteme ist schon alleine aus anthropozentrischer Sicht eine bewusste Entscheidung unter ungenauer Information dem blinden Voranschreiten vorzuziehen.⁹⁵⁸ Aus ökozentrischer Sicht ist sie dies erst recht.

5.4.3 Globalisierung und Umweltveränderungen

Humanökologische Zusammenhänge gewinnen auch im Rahmen der zunehmenden Globalisierung von Massen- und Informationsströmen an Bedeutung. Im interkontinentalen Maßstab treten drei Punkte in den Austauschbeziehungen zwischen Gesellschaften und Umwelt in den Vordergrund:⁹⁵⁹

- Energie- und Materialflüsse an einem Ort der Welt sind durch die damit verbundenen Aktivitäten mit Chancen und Risiken an anderen Orten der Welt verbunden
- Umweltrelevante Informationsflüsse verbreiten sich sehr schnell über die gesamte Welt
- Durch die gesellschaftlichen Versuche, mit den zunehmenden Stoff- und Energieflüssen zurecht zu kommen, ändern sich die Strukturen von Akteuren, Normen und Erwartungen

Die Wirkungen der ökonomischen Prozesse, die der Globalisierung unterliegen, beschleunigen auch die Globalisierung der ökologischen Wirkungen.⁹⁶⁰ Regionale und nationale Maßnahmen verlieren hierbei an Gewicht, wenn sie nicht in ein globales Kon-

⁹⁵⁷ Vgl. Erbrich (2004), S. 26

⁹⁵⁸ Vgl. Ludwig, Brock und Carpenter (2005), S. 10

⁹⁵⁹ Vgl. Clark, Jäger und Kates (2004), S. 290

⁹⁶⁰ Vgl. Robinson und Tinker (1996), S. 10

zept eingebunden sind. Die Verhältnisse dieser Austauschprozesse untereinander werden vom Menschen im globalen Maßstab erheblich beeinflusst und man kann beobachten, wie Veränderungen an einem Ort der Welt sich kaskadenartig durch das komplexe globale Gefüge fortpflanzen. Chemikalien, die in den 60er und 70er Jahren in den Industrieländern verwendet wurden, finden sich auch in Regionen der Erde, deren Natur kaum unmittelbar durch Menschen kolonisiert wurde. Die natürlichen Massenströme verfrachten künstliche Erzeugnisse der Anthroposphäre über den ganzen Globus, was die Verantwortung des Menschen für sein wirtschaftendes Handeln im Raum und in der Zeit potenziert. Dies erfordert unter anderem verbesserte Technologie und verbessertes Ressourcenmanagement sowie Veränderungen in Politik, Institutionen und Wertesystemen.⁹⁶¹ Aus den akteursorientierten Ansätzen zur Lösung der Mensch-Umwelt-Krise hat sich die Zielstellung einer „Global Governance“ entwickelt, die die internationale Zusammenarbeit als Voraussetzung zur Erreichung von Nachhaltigkeitszielen in den Vordergrund rückt.⁹⁶² Ohne diese ließe sich auch eine IÖ nur rudimentär umsetzen. Technische Prozesse werden auf globaler Ebene nahtlos ineinander greifen müssen. Technologie allein erscheint damit für eine globale Fragestellung wie die vorliegende als zwar entscheidender, jedoch trotzdem zu kurz gegriffener Lösungsansatz.⁹⁶³ Es ist vielmehr zu beobachten, dass die technologisch getriebenen und zunehmend dominierenden wertrationalen Einstellungen der Naturbeherrschung so weit führen, dass regionale Selbstidentitäten, die stark an den gegebenen Naturverhältnissen orientiert sind, verloren gehen und den neoliberalen Sachzwängen der Globalisierung weichen.⁹⁶⁴ Dies fällt häufig mit einem fremdbestimmten Zugriff auf regionale Ressourcen zusammen, der mit den ansässigen Wirtschaftsformen nur insofern zu tun hat, als er herrschende Machtverhältnisse (technologischer und monetärer Art) zur Ressourcenausbeutung ausnützt und nur marginale Einkommen im Vergleich zum eigentlichen Wert der entnommenen Ressourcen ermöglicht. Zusätzlich verschärft sich tendenziell die Unkenntnis über die Entstehungsprozesse von Produkten in ihrem jeweiligen Umfeld.⁹⁶⁵ Es geht somit auch um die Rückbesinnung auf regionale Identitäten und deren Vielfalt, wenn es darum geht, einen humanökologischen Ansatz zu

⁹⁶¹ Vgl. Steffen, Sanderson, Tyson u.a. (2004), S. 292

⁹⁶² Vgl. Weizsäcker (2003), S. 14

⁹⁶³ Dies wird in Abschnitt 7.2.4 näher beleuchtet

⁹⁶⁴ Vgl. Katz, Müller und Winterfeld (2004), S. 5

⁹⁶⁵ Vgl. Hawken, Lovins und Lovins (2000), S. 463

verorten. Inwiefern sich dies jedoch konkret in den Ansatz einer IÖ integrieren lässt, ist noch zu prüfen. Besonders hoch ist die menschliche Verantwortung, weil Umweltveränderungen im globalen Maßstab nur noch systemimmanent ausgeglichen werden können. Es existiert kein weiteres Austauschsystem, das durch einen veränderten Metabolismus für Resilienz sorgen kann, da von „außen“ nur Energie in einem festgelegten Maß eingestrahlt wird, aber keine Stoffe ausgetauscht werden können. Außerhalb des globalen Systems gibt es keine Pufferzone, die die globalen Veränderungen ausgleichen könnte. Es fehlt also ein entscheidendes Prinzip, dem die ökologischen Subsysteme auf der Erde ihre bemerkenswerte Resilienz verdanken.⁹⁶⁶ Ausgleichsmechanismen müssen durch das sozio-ökonomische System geschaffen werden, wenn ein dem natürlichen System konformes Fortbestehen der Menschheit gewährleistet werden soll.⁹⁶⁷ Nichts anderes als diese Form der adaptiven Anpassung hat zum evolutionären Erfolg der Menschheit geführt, der nun mittelfristig in sein Gegenteil umschlagen könnte, weil eben diese Formen der Anpassung im entstandenen globalen sozio-ökologischen Systemgeflecht an ihre Grenzen zu stoßen scheinen.⁹⁶⁸ Als Beispiel einer (Teil-)Lösungsstrategie dient die IÖ, deren Diskussion durchaus unideologisch an den historischen gesellschaftlichen Ökologie-Diskurs anknüpft, in dem auch nach einem verträglichen Verhältnis zwischen menschlicher Gesellschaft und Natur gesucht wird.⁹⁶⁹

5.5 STEUERUNGSANSÄTZE FÜR HUMANÖKOLOGISCHE SYSTEME

Mit der Maßgabe, nachhaltige Entwicklung umzusetzen, und dem Bewusstsein, dass dies in den hochkomplexen, rekursiv verbundenen Systemen zwischen Ökologie und Ökonomie stattfinden soll, kommt die Frage nach der Steuerbarkeit solcher Prozesse auf. Polit-ökonomische, sozio-kulturelle und sozio-ökologische Dimensionen auf unterschiedlichen räumlichen Ebenen und die Pluralisierung der Akteure erfordern unterschiedliche Steuerungsformen, die für eine richtungssichere Entwicklung synerge-

⁹⁶⁶ Vgl. Gunderson, Holling, Pritchard u.a. (2002), S. 530

⁹⁶⁷ Was hier nicht als Forderung im Sinne einer „schwachen Nachhaltigkeit“ verstanden werden soll; Nach wie vor ist das Prinzip „starke Nachhaltigkeit“ bzw. zumindest „kritische Nachhaltigkeit“ das einer „Industriellen Ökologie“ adäquate.

⁹⁶⁸ Vgl. Godelier (1990), S. 52

⁹⁶⁹ Vgl. Oechsle (1991), S. 103

tisch zusammenwirken müssen.⁹⁷⁰ Hier beginnt der Versuch Kontur anzunehmen, die aus der Ökologie bekannten Prinzipien mit der Erweiterung durch den Zweig „Humanökologie“ auf das sozio-ökonomische System zu übertragen. Darin wird ein vielversprechender Ansatz gesehen, unvollständiges Wissen dadurch zu kompensieren, dass man seit Jahrtausenden wirksame Mechanismen als erprobten und erfolgreichen Standard setzt, ohne diese dabei vollkommen verstehen zu müssen.⁹⁷¹ Die unmittelbaren ökologischen Regelkreise zwischen allen Arten und ihrer Umwelt sind jedoch beim Menschen kulturell überlagert und müssen dort im anthropogenen System abgestimmt und auf ihre ökologische Wirksamkeit ständig überprüft und angepasst werden. Eine ursprünglich natürliche Funktion wird durch eine adaptive kulturelle Leistung ersetzt.⁹⁷² Angesichts der Komplexität der Verhältnisse ist dies eine Aufgabe, deren Lösung derzeit noch ungewiss ist. Dementsprechende Lösungsansätze können nur in Szenarien dargestellt werden.

5.5.1 Ökologische Bedeutung und politische Bedeutungen sind vernetzt

Der WBGU spricht bei der derzeitigen Art zu wirtschaften vom „Raubbau-Syndrom“.⁹⁷³ Die dadurch ausgelösten Friktionen und Verwerfungen auf allen Ebenen, die auch für die nachhaltige Entwicklung als relevant betrachtet werden, können bei einer ungebremsten Weiterentwicklung durchaus zum kompletten Zusammenbruch der industrialisierten Welt führen, da ein gleichzeitiger Kollaps des ökologischen, ökonomischen und sozialen Systems durch keinerlei Instanz abgefangen werden kann.⁹⁷⁴ In diesem Zusammenhang scheint die Rohstoffverknappung noch das kleinste Problem, da sie sich zumindest theoretisch (aus neoklassischer Sicht) früher oder später über den Markt regelt. Das tut sie jedoch derzeit nicht, da die langfristigen ökologischen Risiken

⁹⁷⁰ Vgl. Brunnengräber und Hirschl (2004), S. 25; Für diese Idealvorstellung globaler Steuerung wurde der Begriff der „Global Governance“ von einem ausgeprägten Steuerungsoptimismus geprägt, der in dieser Arbeit (angesichts des ansonsten erforderlichen Umfangs) nur implizit berücksichtigt werden kann – ohne das Vertrauen in die Steuerbarkeit der Transformation zur IÖ hätte diese Arbeit jedoch nicht verfasst zu werden brauchen – als universelles Steuerungsinstrument werden weiter unten „Anreizsysteme“ eingeführt, unter der Prämisse, dass nicht allein der Staat als Steuerungsinstanz auftritt; Vgl. Wissen (2004), S. 41

⁹⁷¹ Nichts anderes geschieht im Verlauf der Evolution; Die Gefahr eines naturalistischen Fehlschlusses wurde an anderem Ort kurz angerissen.

⁹⁷² Vgl. Rainham, Mc Dowell und Wilson (2005), S. 183

⁹⁷³ Vgl. WBGU (Hrsg. 1999), S. 271

⁹⁷⁴ Vgl. Lewis (2003), S. 60

der Stoffflüsse durch keine der Ökonomie intrinsische Logik eingepreist werden.⁹⁷⁵ Somit ist die Knappheit neben der Umweltkrise ein destabilisierender Faktor. Ein zunehmend ins Bewusstsein rückender Tatbestand sind die zu erwartenden ökonomischen Kosten der anthropogenen Klimaerwärmung, die in der „Stern Review“ für das kommende Jahrhundert auf bis zu 20 % des globalen BNE taxiert werden.⁹⁷⁶ Die empirisch bekannten Folgen einer steten Rohstoffverknappung sind insoweit belegt, als es einige historische Beispiele niedergegangener Hochkulturen gibt, bei denen es nach Erreichen einer „kritischen Komplexität“ schon bei verhältnismäßig kleinen Störungen zu einer Bifurkation mit Eintreten in ein neues Fließgleichgewicht kam. Dies ging in der Geschichte jeweils mit einer drastischen Reduktion der Bevölkerung einher, was einem Zusammenbruch der jeweiligen Zivilisation gleichkommt. Die folgende Abbildung 8 illustriert die Entwicklung mit den beiden Bifurkationspunkten P1 und P2, wobei P2 der kritische Punkt des Zusammenbruchs darstellt und P1 der möglichen Stabilisierung auf einem neuen („niedrigerem“) Fließgleichgewicht um einen neuen Attraktor entspricht.⁹⁷⁷

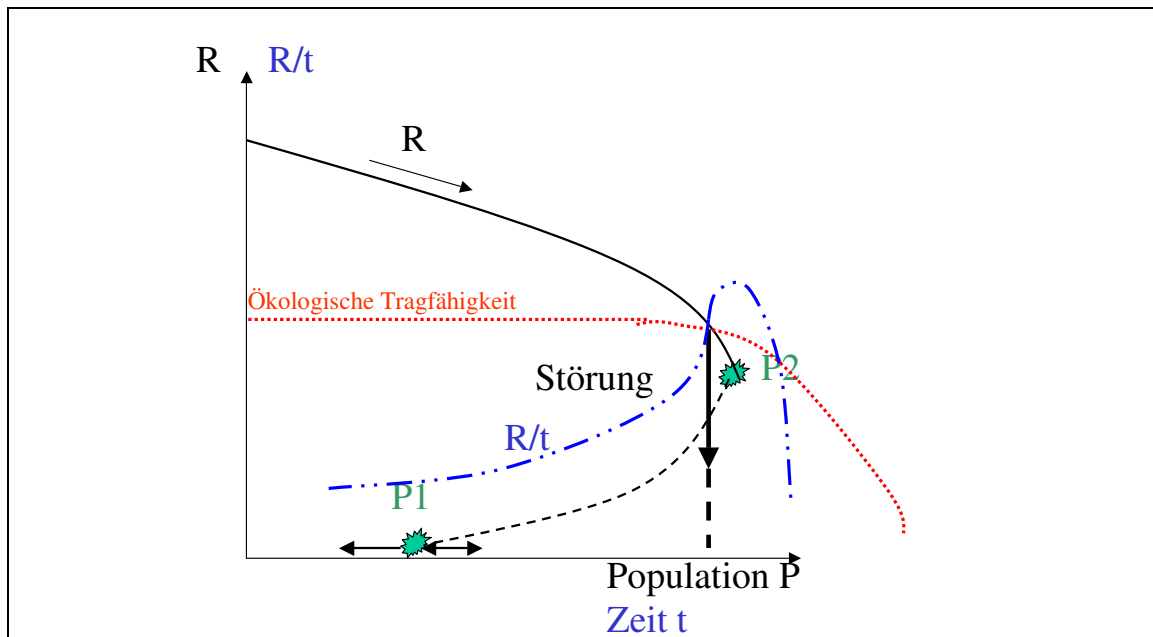


Abbildung 8: Bifurkation⁹⁷⁸

⁹⁷⁵ Vgl. Koenig und Cantlon (1999), S. 66

⁹⁷⁶ Vgl. Stern (2006), S. X

⁹⁷⁷ Vgl. Spiegelman (2003), S. 19

⁹⁷⁸ Quelle: nach Janssen and Scheffer (2004), S. 3 sowie Wackernagel und Rees (1987), S. 81

Der Ressourcenbestand R nimmt im Zeitverlauf ab, während der Periodenverbrauch R/t bis zum Bifurkationspunkt $P2$ kontinuierlich zunimmt, um dann zusammenzubrechen, was eine signifikante Abnahme der Population P nach sich zieht. Allerdings beziehen sich die historischen Beispiele auf regenerative Ressourcen, was die mögliche „Erholung“ in $P1$ relativiert, da eine solche bei Annahme nicht-regenerativer Ressourcenversorgung nicht anzunehmen ist, da $P2$ i. d. R. einer selbstausgelösten Störung durch Verknappung entspringt, so wie es auch das MIT-Modell berechnet, das Grundlage der Berichte an den Club of Rome war.⁹⁷⁹ Zwei weitere denkbare Szenarien wären „weiche Landungen“ von oben bzw. unten, mit einer asymptotischen Annäherung des relativen Ressourcenverbrauchs R/t an die ökologische Tragfähigkeitsgrenze (unter der Voraussetzung, dass diese *nicht* zusammenbricht oder sich unter Last verändert), was einem stabilen Fließ-Gleichgewicht und damit nachhaltiger Entwicklung entspräche. Hier sind die direkten Folgen der Interaktion zwischen anthropogenem und natürlichem System bei Nichtbeachtung natürlicher Grenzen zu erkennen.⁹⁸⁰ Inwiefern die IÖ eine „Absicherung“ gegenüber solchen Effekten ermöglichen kann, ist noch offen. Es sind auch in der Natur Phänomene großer Transformation bekannt, die ähnliche Entwicklungspfade nehmen wie im Schaubild angedeutet, die jedoch auf Grund basaler Rückkopplungsprozesse in eine Phase der Erneuerung mit Bildung eines neuen Fließgleichgewichts münden, statt in den ökologisch weniger wahrscheinlichen Kollaps. Sie durchlaufen dabei jedoch eine Phase der Instabilität, was in obiger Abbildung dem Verlauf bei $P1$ nach rechts entspricht.⁹⁸¹ Im Fall des anthropogenen Systems wäre die Verwirklichung einer IÖ, die auch diese Bezeichnung verdient, eine solche produktive Transformation. Als übergeordnete Gesetzmäßigkeit kann hierbei unterstellt werden, dass der mögliche Kollaps desto kritischer verläuft, je länger das System im ursprünglichen Zustand zu verharren versucht, was im Fall des sozio-ökonomischen Systems von den relevanten Akteuren abhängt, die die im Hintergrund ablaufenden ökologischen

⁹⁷⁹ Vgl. Erbrich (2004), S. 36

⁹⁸⁰ Ähnliche Effekte zeigen sich auch bei Bakterienkulturen in geschlossenen Nährlösungen (was der Verwendung nicht-regenerativer Ressourcen entspricht), wobei es hierbei zu einem vollkommenen Erliegen der Lebenstätigkeit kommt.

⁹⁸¹ Vgl. Holling (2004), S. 6; Man kann sich dies als das nach regelmäßigen Störungen sich wiederholende Münden in eine zweiseitige Schleife der Restrukturierung, ähnlich einem Möbius-Band, vorstellen; In der Geschichte der Ökonomik lässt sich damit vergleichbar am ehesten die „schöpferische Zerstörung“ bei Schumpeter anführen; Dieser Arbeit soll jedoch auch ein Prozessverständnis kontinuierlicher Innovation zu Grunde liegen; Vgl. Jaffe, Newell und Stavins (2000), S. 3

Prozesse entweder nicht kennen oder nicht zu deuten in der Lage sind.⁹⁸² Wann ein endgültiger Zusammenbruch stattfindet oder ob dieser wahrscheinlich ist, hängt von der „Robustheit“ bzw. Resilienz der sozio-ökologischen Systeme ab, wobei der Stand der Forschung derzeit darauf hindeutet, dass beide Subsysteme hohes Gefährdungspotenzial aufweisen, wobei deren synergetische Verbindungen kaum zu erschließen sind. Ökologische Krise und weltpolitische bzw. ökonomische Verwerfungen sind die deutlichen interdependenten Syndrome dafür.

5.5.2 Adaptionfähigkeit kultureller Systeme

Eine Grundvoraussetzung für den Erfolg einer IÖ ist, dass es sich beim anthropogenen System als Ganzem um ein adaptives, lernfähiges System handelt, das aus der Interaktion mit der Natur und deren Rückmeldung die richtigen Schlüsse zu ziehen in der Lage ist. Grundsätzliches und Vertiefendes zu dieser Fragestellung diskutiert Reichel.⁹⁸³ Hier sollen nur notwendige Grundbedingungen für die Umsetzung einer IÖ betrachtet werden. Zu diesen grundlegenden Prinzipien gehören:⁹⁸⁴

- Lernen, mit ständigem Wandel und Unsicherheit umzugehen
- Vielfalt fördern, um Erneuerung und Reorganisation zu ermöglichen
- Unterschiedliche Formen des Wissens zum Lernen einzusetzen
- Möglichkeiten zur Selbstorganisation offen zu halten

Daraus entwickelt sich die Fähigkeit zu adaptivem Verhalten unter sich wandelnden Rahmenbedingungen, die u. U. selbst verursacht sind, was für die ökologische Krise zutrifft. Damit geht idealerweise eine Erhöhung der Resilienz des sozio-ökologischen Systems durch kollektives Lernen einher, das in ein proaktives Management der sozio-ökologischen Resilienz überführt werden kann.⁹⁸⁵ Dies ermöglicht im Idealfall die Vermeidung unerwünschter Systemzustände und die systemische Reorganisation auch

⁹⁸² Hier eignet sich besonders die Abhängigkeit der industriellen Produktionsweisen von fossilen Energieträgern als Beispiel: Ein stures Festhalten an einer zur Neige gehenden Ressource führt zwangsläufig zu der im Kulminationspunkt P 2 dargestellten Entwicklung, da kurz- und mittelfristige Reaktionen in solch großem Umfang nicht mehr möglich sind, sondern frühzeitig einsetzende und langfristig angelegte Strategien gefragt sind.

⁹⁸³ Vgl. Reichel (2006), insb. S. 209 ff

⁹⁸⁴ Vgl. Davidson-Hunt und Berkes (2003), S. 1

⁹⁸⁵ Vgl. Walker, Carpenter, Anderies u.a. (2002), S. 7

nach schweren Störungen. Die Brisanz der Situation erfordert einen transformatorischen Prozess, der eine qualitativ neue sozio-ökologische Struktur zur Bewältigung der ökologischen Krise hervorbringt.⁹⁸⁶ Diesen Prozess gilt es mit einem transdisziplinären Ansatz so zu steuern, dass er tatsächlich zu Nachhaltiger Entwicklung führt. Diese Zielsetzung stößt naturgemäß an die Grenzen der Steuerbarkeit eines Systemzusammenhangs, dessen strukturelle und prozessuale Eigenschaften letztendlich niemals vollkommen bekannt sein können. Das liegt an der unbekanntem Anzahl von theoretischen Steuerungsvariablen, von denen nur ein Bruchteil unmittelbar beeinflussbar ist, was mit dem Treffen von Entscheidungen unter hoher Unsicherheit verbunden ist.⁹⁸⁷ So lassen sich zwar einzelne Indikatoren für Nachhaltige Entwicklung finden oder Größen aus einer umweltökonomischen Gesamtrechnung heranziehen, doch erstens ist nicht bekannt, in welcher Ausprägung diese wirklich Nachhaltigkeit widerspiegeln und zweitens gelten sie nur für einen begrenzten Ausschnitt des Ganzen.⁹⁸⁸ Insofern sind ehrgeizige Ansätze wie das „Erdsystemmanagement“ oder „Geoengineering“, aus dem sich die IÖ als Systemelement herauslösen lässt, zwar aus geowissenschaftlicher Sicht ernst zu nehmende Ansätze, es lässt sich jedoch nicht vermeiden, dass klare Steuerungsziele nicht zur Verfügung stehen, sondern allenfalls Handlungskorridore.⁹⁸⁹ Darüber hinaus kann konstatiert werden, dass vollkommen technokratische Ansätze zur Steuerung globaler Vorgänge an Hand „reparierender“ Maßnahmen im großen Maßstab wesentlich unrealistischeren Szenarien entspringen, als das vorsorgende Prinzip einer nachhaltigen IÖ, das von vornherein versucht, die menschlichen Aktivitäten in geobio-physikalische Kreisläufe einzupassen.⁹⁹⁰ Eines der wesentlichen Instrumente zur

⁹⁸⁶ Vgl. Holling (2004), S. 1

⁹⁸⁷ Vgl. Anderies, Janssen und Ostrom (2004), S. 2; Schon allein die lange anhaltende Diskussion um Ursachen und tatsächliche Wirkungen des Klimawandels (so er tatsächlich existieren sollte) ist ein Beispiel für die Notwendigkeit von Entscheidungen vor dem Hintergrund unvollständigen Wissens; Vgl. Graßl, (2003a), S. 122f

⁹⁸⁸ So unterscheidet z. B. die OECD drei Indikatorentypen: Pressure-Indikatoren für die menschlichen Wirtschaftsaktivitäten, State-Indikatoren für Umweltzustände und Response-Indikatoren für gesellschaftliche Maßnahmen für eine Verbesserung der Umweltsituation. Sie spiegelt damit gerade die epistemologische Auftrennung in unterschiedliche Systeme wider; Vgl. Bauer (1996), S. 131

⁹⁸⁹ Dies deckt sich jedoch mit dem bereits entwickelten „Nachhaltigkeitskegel“, der diese Informationsunsicherheit implizit berücksichtigt.

⁹⁹⁰ Vgl. Schellnhuber (2003), S. 136; Auf den darauffolgenden Seiten beschreibt Schellnhuber von anerkannten Wissenschaftlern ausgearbeitete technologische Maßnahmen, z. B. zur Verminderung der Klimaerwärmung, deren Umsetzungswahrscheinlichkeit um einige Dezimalstellen geringer ist als z. B. eine komplette globale Energieversorgung aus regenerativen Quellen, die letztendlich zum Ziel hat, sich dem globalen Kohlenstoffkreislauf anzupassen, anstatt durch massiven Einsatz von Technologie die

Generierung von Wissen über wirtschaftendes Handeln (im Allgemeinen) stellt die Ökonomik dar, die im nächsten Kapitel auf ihre Beiträge zur Umsetzung einer IÖ hin untersucht wird. Vorbereitend dazu werden im folgenden Abschnitt Ansätze für die Erfassung des anthropogenen Metabolismus vorgestellt.

5.5.3 Physische Gesamtrechnung (PIOT) und gesamtwirtschaftliche Stoffströme

Wie können die kleinräumig verursachten Stoffströme in einen größeren Kontext eingebunden werden? Im Gesamtzusammenhang geht es um die Zusammenführung von stoffstrombezogenen Informationen von zwei Seiten:

Nachhaltigkeit → Indikatoren → Information ← PIOT ← Umwelt-VGR

Wenn der gesamte Metabolismus des Industriesystems nebst seiner Subsysteme Produktionseinheiten und Produkte über alle Aggregationsebenen analytisch abgedeckt werden soll, um die Prozesse schlüssig zu beschreiben, sind Informationen aus all diesen Ebenen erforderlich. Eine PIOT deckt hierbei die volkswirtschaftliche Ebene ab. Berücksichtigt man dabei noch Import- und Exportströme, sind die globalen Stoffflüsse informatorisch vollständig abgedeckt.⁹⁹¹ Will man die Wechselwirkungen zwischen dem ökonomischen und dem ökologischen System hochaggregiert beschreiben und bewerten, so ist eine Gesamtrechnung in physischen Einheiten unabdingbar.⁹⁹² Nur mit einem physischen Bild der Gesamtströme kann eine Wirkung auf die natürlichen Stoffstromverhältnisse abgeschätzt werden. Allerdings bedarf es über die reine Tonnenbetrachtung hinaus qualitativer Gewichtungsfaktoren, da die ökologische Wirksamkeit von Stoffströmen nicht alleine über die Menge bestimmbar ist und gerade dies eine entscheidende Frage hinsichtlich der Konsistenz von Massenströmen ist. Die physische Input-Output-Rechnung ist als Teil der VGR jedoch allein für die reine Mengenbetrachtung erst in Ansätzen erarbeitet.⁹⁹³ Eine Integration mengenmäßiger,

Folgen des Ausstoßes von CO₂ zu lindern – da es sich dabei um den größten globalen Massestrom handelt, muss eine Industrielle Ökologie also insbesondere die Energieversorgung mit ins Kalkül nehmen.

⁹⁹¹ Vgl. Daniels (2002), S. 73

⁹⁹² Vgl. Stahmer (2000), S. 49

⁹⁹³ Vgl. Strassert (2000), S. 93; Auch in Japan gibt es entsprechende fortgeschrittene Projekte, dort wird die physische Bilanzierung an Hand einer Waste Input-Output Table (WIOT) dargestellt, Vgl. Fuse und Kashima (2005), S. 36f

qualitativer und dazu noch monetärer Daten (IUGR), die erst eine marktwirtschaftliche Steuerung ermöglichen können, ist zwar erstrebens- und wünschenswert, wird in ihrer Entwicklung aber noch einige Zeit beanspruchen.⁹⁹⁴ Das Statistische Bundesamt Deutschland hat erstmals 1997 eine PIOT für das frühere Bundesgebiet veröffentlicht.⁹⁹⁵ Die analytischen Aufgaben solcher Erhebungen liegen in der Identifikation umweltsensibler Schwerpunkte, der Berechnung kumulierter Emissionen unter Berücksichtigung der Verflechtungen der Stoffströme und der Überprüfung der Einhaltung von Selbstverpflichtungen oder gesetzlichen Vorgaben, gegliedert nach wirtschaftlichen Akteuren. Zwei notwendige Eigenschaften sind hervorzuheben:⁹⁹⁶

- Intersektorale physische Flüsse natürlicher Ressourcen werden detailliert aufgelistet
- Aus der entsprechenden Matrix lässt sich der kumulierte ökologische Druck (Pressure) aus direkten und indirekten Wirkungen der produktiven und konsumtiven Aktivitäten ableiten

Diese Informationen geben einen allgemeineren Überblick über die volkswirtschaftliche Ausdehnung von Stoffströmen und deren Wirkung. Von besonderem Interesse sind die Bereiche Energie, Wasser, Bergbau und die Entnahme von Rohstoffen für Produktionstätigkeit⁹⁹⁷ und deren Verbleib, wenn sie den Wirtschaftskreislauf verlassen. Die in der herkömmlichen VGR außer Acht gelassenen neuen Produktionsbereiche „Primärinputbereich III B“ (Rohstoffe) und „Endproduktionsbereich II B“ (Reststoffe) sollen diese Informationslücken schließen, die einen Großteil der durch industrielle Produktion verursachten Folgen nicht berücksichtigten. Eine extrem vereinfachte Strukturierung der verursachten Stoffströme stellt die folgende Abbildung 9 mit der Materialbilanz dar.

⁹⁹⁴ Vgl. Bartelmus und Vesper (2000), S. 129

⁹⁹⁵ Vgl. Heinze (2000), S. 211

⁹⁹⁶ Vgl. Daniels (2002), S. 73

⁹⁹⁷ Vgl. Stahmer (2000), S. 79 und S. 82f

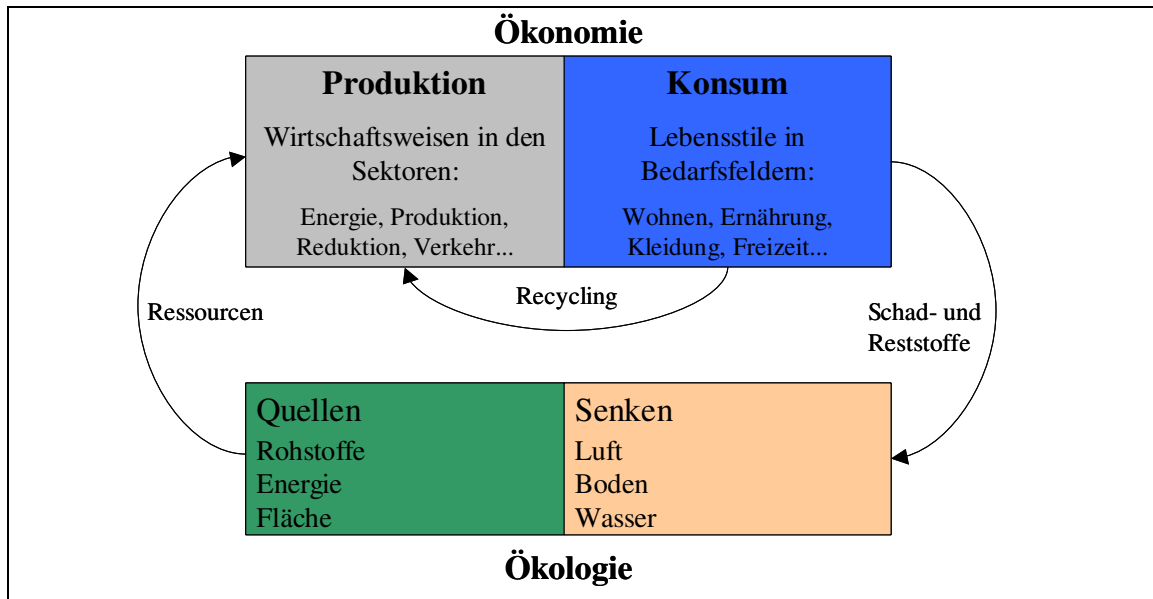


Abbildung 9: Materialbilanz; nach Majer (1998), S. 140 und Fleig (Hrsg. 2000), S. 10

Messung und Bewertung der Ressourcenflüsse durch das Wirtschaftssystem

Die Erhebung, Bewertung und Beurteilung der Stoffflüsse, die das industrielle Produktionssystem durchlaufen, ist eine für die ökologische Steuerung notwendige Funktion. Der industrielle Metabolismus durch die Anthroposphäre soll dabei so exakt wie mit vertretbarem Aufwand möglich abgebildet werden.⁹⁹⁸ Dafür gibt es unterschiedliche Ansätze, die für die informatorische Unterstützung einer IÖ von Nutzen sind. Besondere Aufmerksamkeit gilt hierbei jedoch grundsätzlich der Effizienz der einzelnen wirtschaftlichen Prozesse in Hinsicht auf Energie- und Ressourcenverbrauch je erbrachter Nutzeinheit. Der MIPS-Ansatz verfolgt solch eine Bewertung z. B. bezogen auf den Materialeinsatz.⁹⁹⁹ Hierbei wird über den kompletten Lebenszyklus von Produkten hinweg der Ressourceneinsatz für alle Produktionsschritte über die Verwendung bis hin zur Entsorgung ermittelt und zum durch das Produkt gestifteten Nutzen (Dienstleistungseinheiten) in Beziehung gesetzt.¹⁰⁰⁰ Daraus lassen sich Schlüsse über die Effektivität und Effizienz des Ressourceneinsatzes ziehen. Allerdings nicht über die Konsistenz der induzierten Ressourcenströme, da es sich um einen rein quantitativen

⁹⁹⁸ Vgl. Baccini und Bader (1996), S. 1

⁹⁹⁹ MIPS ist die Abkürzung für **M**aterial-**I**nput **p**ro **S**erviceeinheit; Vgl. Schmidt-Bleek (1998), S. 20

¹⁰⁰⁰ Vgl. Geisendorf, Gronemann, Hampicke u.a. (1998), S. 38

Ansatz handelt. Der qualitative Aspekt muss noch anderweitig abgedeckt werden.¹⁰⁰¹ Grundsätzlich ist dieser Ansatz auf die Datengrundlage einer UGR und auf betriebliche Stoffbilanzierungen angewiesen, weshalb er noch nicht auf breiter Basis zur Anwendung kommt. Die weniger aggregierten Ansätze finden sich in der betriebswirtschaftlichen Managementlehre und werden in Abschnitt 7.6 behandelt.

Naturvermögen

Das Naturvermögen als Produktionsfaktor, auf dem alle Wirtschaftsleistungen aufbauen, ist ein vielschichtiges komplexes Gebilde, das dem Potenzial entspricht, zum einen durch den Menschen in produktiv verwertbare Formen gebracht zu werden, zum anderen selbst-reproduktiv für das eigene Fortbestehen zu wirken. Aus anthropozentrisch bewertender Sicht sind dabei folgende Punkte von Belang:¹⁰⁰²

- Bestandserfassung ökonomisch genutzter Ressourcen (regenerativ und nicht-regenerativ), entsprechend der Materialbilanz sind das die Quellen Rohstoffe, Energie, Fläche
- Berücksichtigung eines weiter gefassten Ressourcenbegriffs, z. B. der lebensnotwendigen organischen Ressourcen Luft, Wasser, Boden und Ökosysteme, entsprechend der Materialbilanz sind das die Senken
- Erweiterung um potenzielle Ressourcen, die aktuell nicht genutzt werden
- Naturfunktionen der Selbst-Reproduktion (Erhaltungsregel)
- Versuch einer holistischen Betrachtungsweise der sozio-ökologischen Interaktionen und deren Wirkungen auf das Naturvermögen

Dies entspricht dem Versuch der Bewertung des natürlichen Kapitalstocks einer IÖ, wobei Arbeit, künstliches Kapital, Technologie und Informationen als entwicklungstreibende Faktoren natürlich nicht vergessen werden, auch wenn sie nicht in diesen physischen Teil der VGR gehören. Die Bewertung obliegt der Ökonomik.

¹⁰⁰¹ Zweifelsfrei ist die Freisetzung von Mist und Gülle aus der Nutztierhaltung als Dünger auch in großen Mengen eher mit der Natur konsistent als die Emission weniger Kilogramm hochtoxischer oder radioaktiver Gase.

¹⁰⁰² Vgl. Geisendorf, Gronemann, Hampicke u.a. (1998), S. 27

6. Ökologische Ökonomik – Umwelt- und Ressourcenökonomik

Die traditionelle Aufgabe der Ökonomik besteht in der Behandlung der Implikationen im Zusammenhang volkswirtschaftlicher Größen wie Wachstum, Arbeitslosigkeit, Finanzierung und Ausgeglichenheit des Staatshaushaltes sowie mikroökonomischer Verhaltensaspekte der wirtschaftlichen Akteure wie Unternehmen und Haushalte. Dabei werden in der zur Zeit dominierenden neoklassischen Theorie¹⁰⁰³ die natürlichen Gegebenheiten der bewirtschafteten Welt weitgehend außer Acht gelassen.¹⁰⁰⁴ Dies entspricht lebensweltlicher ökonomischer Praxis, die letztendlich die bereits beschriebene Umweltkrise der Menschheit mitzuverantworten hat. Die Prämisse von unbegrenzt zur Verfügung stehenden Ressourcen, sowohl auf Quellen- als auch auf Senkenseite ließ die Ressourcenfrage für die Neoklassik als reines Allokationsproblem erscheinen.¹⁰⁰⁵ Und dies, nachdem in der historischen Entwicklung der Ökonomik zu Anfang durchaus andere Prämissen gesetzt wurden. Die Physiokraten gingen zwar von einer kulturellen Naturherrschaft durch den Menschen aus, setzten jedoch den Boden als grundlegende Quelle wirtschaftlicher Tätigkeit mit Wohlfahrtsgewinn und damit die Natur zugleich als begrenzenden Faktor.¹⁰⁰⁶ Auch Malthus sah einen Widerspruch zwischen exponen-

¹⁰⁰³ Verstanden sei hier unter der „Neoklassik“ die wissenschaftliche Routineforschung mit den, wenn auch nicht widerspruchsfreien, Grundannahmen eigenverantwortlicher individueller Akteure, die sich, versorgt mit vollständiger Information, zugleich rational, zweckgebunden und myopisch verhalten, weshalb zukünftige Ereignisse abdiskontiert werden. Alle Transaktionen finden über Märkte statt, die die Tauschprozesse optimal zu steuern in der Lage sind; Vgl. Hampicke (1992), S. 21; Seiner Diskussion um die „richtige“ oder „falsche“ Neoklassik ist nichts hinzuzufügen.

¹⁰⁰⁴ Vgl. Reuter (2002), S. 131; Anders in der Klassik: Z. B. Podolonsky postulierte im späten 19. Jh. besonders durch Marx und Engels kontrovers diskutierte Ansätze, in denen die zur Verfügung stehende Energie sowohl als wesentlicher Antriebsfaktor als auch als ein limitierender Faktor für wirtschaftliche Entwicklung bzw. Wachstum dargestellt wird. Damit wird bereits lange vor Georgescu-Roegen und der modernen Ökologischen Ökonomik ein zumindest ansatzweise thermodynamischer Zugang zur ökonomischen Theorie gelegt; Vgl. dazu wiederum Foster und Burkett (2004), S. 33; Im weiter unten entwickelten Idealszenario wird dies bei der Diskussion der Energie-Stofffluss-Dualität wieder als entscheidender Zusammenhang auftreten, wobei Podolonsky vor allem dafür kritisiert wurde, dass er die materielle Basis zugunsten der energetischen vernachlässigt haben soll; Nutzenergie sah er jedoch für seine Zeit wegweisend als durch menschliche Tätigkeit genutzte akkumulierte Sonnenenergie.

¹⁰⁰⁵ Vgl. Ayres (2001), S. 7

¹⁰⁰⁶ Vgl. Nutzinger (2001), S. 26 und Cleveland (1999), S. 126; Diese Ansicht wird sich weiter unten für den Ansatz der Industriellen Ökologie als ausgesprochen bedeutsam erweisen.

tiellem Bevölkerungswachstum und nur arithmetischem Wachstum der Nahrungsproduktion auf begrenzter Fläche. Ricardos Theorie vom abnehmenden Grenznutzen des Bodens sprach ebenso für die Grenzen des Wachstums der Wirtschaft. So waren die ökonomischen Klassiker mit Mill der Ansicht, dass eine „normale“ wirtschaftliche Entwicklung in einen „Steady-State“ Zustand münde, in der das Wachstumspotenzial der Wirtschaft ausgereizt sei.¹⁰⁰⁷ Implizit berücksichtigte dies die Knappheit der natürlichen Ressourcen, die z. B. Jevons ebenso wie Lotka insbesondere auf die Verfügbarkeit von Energieträgern bezog. Adam Smiths „unsichtbare Hand“ und deren Rezeption durch die neoklassische Ökonomik vermochte durch die Betonung des Utilitarismus und der Kräfte des Marktes dieses Bewusstsein von der Bedeutung der natürlichen Faktoren erst einmal wegzuwischen und schürte den verbreiteten Glauben in der ökonomischen Theorie, dass der Erfindungsreichtum des Menschen das Potenzial für grenzenloses Wachstum bereit stelle.¹⁰⁰⁸ Erst mit den ersten naturwissenschaftlich prognostizierten Knappheiten wurde das Thema der natürlichen Begrenzung der Wirtschaft von der Neoklassik in Form von Umwelt- und Ressourcenökonomik wieder aufgegriffen.¹⁰⁰⁹ Das in der Neoklassik zuvor weit verbreitete und allgemein anerkannte, weil theoretisch scheinbar stringent untermauerte Wachstumsparadigma steht im Widerspruch zu natürlich gegebenen Prämissen der Begrenzung und Knappheit der natürlichen Ressourcen, die in den verbreiteten Modellen der neoklassischen Ökonomik nicht berücksichtigt werden bzw. wurden, obwohl es in ökologischen Fachkreisen längst als gesichertes Wissen gilt, dass das stetige Wirtschaftswachstum eine der größten Bedrohungen für die natürliche Umwelt darstellt, was wiederum in der ökonomischen Theorie zu berücksichtigen wäre.¹⁰¹⁰ Dies gilt sowohl für die Quellenseite natürlicher Ressourcen als auch für die Senkenseite natürlicher Regenerationsfähigkeit.¹⁰¹¹ Diese theoretische Lücke wurde

¹⁰⁰⁷ Vgl. Luks (2001), S. 37; Daly hat den Begriff des Steady State wieder aufgegriffen und auf die physikalischen Größen bezogen, die die Grundlage für das Weltbild der Ökologischen Ökonomik bilden und verwendete dafür den Begriff des „Scale“ als konstanten physikalischen Durchsatz einer Wirtschaft im Klimax-Stadium.

¹⁰⁰⁸ Vgl. Costanza, Cumberland, Daly u. a. (2001), S. 28

¹⁰⁰⁹ Vgl. Klepper (1999), S. 291

¹⁰¹⁰ Vgl. Czech (2000), S. 2

¹⁰¹¹ Nach dem Nichteintreten der in der Studie „Grenzen des Wachstums“ (vgl. Meadows, Meadows, Zahn u.a. (1972)) zeitlich prognostizierten Knappheitsprobleme auf der Quellenseite konnte zwar zwischenzeitlich angenommen werden, die Knappheit regenerativer und nicht-regenerativer Ressourcen sei im Gegensatz zur Umweltbelastung das kleinere Problem, neuere Studien deuten jedoch, wie im Kapitel Humanökologie gezeigt, darauf hin, dass der Druck auf die Ökonomie von beiden Seiten gleichermaßen zunimmt; Darüber hinaus hängen Entscheidungen auf der Quellenseite mit Entwicklungen auf der Sen-

mit der Entwicklung der Umwelt- und Ressourcenökonomik zumindest ansatzweise zu schließen versucht. Hier soll folgendes (präskriptives) Paradigma im Vordergrund stehen: Umweltökonomische Theorie bzw. Ökologische Ökonomik und daraus abgeleitete ökonomische Praxis erfüllen dann ihren Zweck, wenn sie dazu beitragen können, das Wirtschaftssystem mit dem natürlichen ökologischen System langfristig zu vereinbaren.¹⁰¹² Dies sollte ohnehin eine Grundprämisse sein, da gerade im Zusammenhang mit der ökologischen Situation der Praxisbezug ein konstitutiver und inhärenter Bestandteil der Ökonomik ist.¹⁰¹³

6.1 ÖKONOMISCHE THEORIE UND DIE NATÜRLICHE UMWELT

In diesem Abschnitt geht es um die Bewertung der Nutzung der natürlichen Ressourcen für ökonomische Zwecke. Je nach Sichtweise kann zwischen deskriptiven Ansätzen (Beschreibung der Ist-Situation) und präskriptiven Ansätzen (Modellierung eines „idealen“ Soll-Zustandes) unterschieden werden.¹⁰¹⁴ Die Methoden-Ansätze, die das ermöglichen sollen, lassen sich grob unter den zwei grundsätzlichen Herangehensweisen der Ökologischen Ökonomik und der neoklassisch orientierten Umwelt- bzw. Ressourcenökonomik aufteilen. Es soll gezeigt werden, dass die Verbindung lebensweltlicher Fragestellungen mit transdisziplinärer Herangehensweise besonders im Ansatz der Ökologischen Ökonomik verfolgt wird.¹⁰¹⁵ Beide Strömungen liefern jedoch wichtige analytische Instrumente zur Einschätzung der Kopplung von sozioökonomischen Systemen mit der Natur. Sie unterscheiden sich durch grundsätzlich differenzierte Herangehensweisen an den Umgang sowohl mit erschöpflichen als auch mit regenerativen Ressourcen.¹⁰¹⁶ Die mit der IÖ angestrebten organischen Verflech-

kenseite untrennbar zusammen und erbringen nur bei gemeinsamer Betrachtung aufschlussreiche Ergebnisse.

¹⁰¹² Vgl. Massarrat (1993), S. 44; Zwar scheint hier ein normativer Grundton im Hintergrund zu liegen, die dann die Wissenschaftlichkeit anzweifeln lassen (vgl. Manstetten und Faber (1999), S. 87), im Licht der empirischen Problemlage erscheint solch akademische Spitzfindigkeit jedoch unangebracht (vgl. Witt (1999), S. 107)

¹⁰¹³ Vgl. Pfriem (1999), S. 375

¹⁰¹⁴ Vgl. Müller-Fürstenberger (2002), S. 65

¹⁰¹⁵ Vgl. van den Bergh (2000), S. 2

¹⁰¹⁶ Vgl. Endres und Querner (2000), S. 3; Diese Unterscheidung ist natürlich nicht die einzige, nach der sich natürliche Ressourcen klassifizieren lassen. Höning findet in der Literatur folgende Unterscheidungen: nach der regenerativen Potenz, nach Qualität und Lage, nach dominierender Verwendungsart, nach der Möglichkeit, Eigentumsrechte definieren zu können und nach der Möglichkeit der Wiedergewinnung;

tungen zwischen ökonomischem und ökologischem System können damit auf ökonomischem Hintergrund analytisch erfasst und erklärt werden, woraus sich Steuerungsansätze ableiten lassen, die die organischen Verflechtungen nicht stören oder gar zerstören. Es geht damit um die Ableitung rational (ökonomisch) begründeter Entscheidungsregeln, die für den Erhalt des gesamten Naturressourcenkapitals stehen. Die industriell geprägte Ökonomie soll damit in Deckung mit der natürlichen Ökologie gebracht werden. Außer Acht gelassen werden darf dabei jedoch nicht, dass eine rein ökonomisch argumentierende Handlungslogik nur ein Teilbeitrag der Lösungsstrategie für die sozial-ökologische Krise sein kann. Praktizierte Ethik wäre eine andere.¹⁰¹⁷ Dies bezöge sich insbesondere auf verantwortliches Handeln der einzelnen Wirtschaftsakteure, die sich eine Nachhaltigkeitsethik als Grundlage schaffen, die für ökonomische Entscheidungen relevant ist.¹⁰¹⁸ Das schliesse mithin das Hinterfragen der dominanten ökonomischen Sachlogik(en) ein.¹⁰¹⁹ Noch ist nicht klar, ob sich auf Basis einer fordistisch organisierten Marktwirtschaft überhaupt eine industrielle Gesellschaftsform herausbilden kann, die eine nachhaltige Entwicklung ermöglicht. Sozio-ökologisch orientierte Studien bezweifeln dies in der Mehrheit, ressourcen- und umweltökonomische Ansätze gehen von einem weit optimistischeren Szenario aus.¹⁰²⁰ Aber auch hier gilt eine der Erkenntnisse aus der Humanökologie: Die sozio-ökologischen Verflechtungen, die sich im Laufe der vorwiegend marktwirtschaftlich organisierten industriellen Entwicklung herausgebildet haben, sind so komplex, dass sie sich einer Prognose entziehen, weshalb für das Entwicklungsmodell einer IÖ weiter unten auf die Szenario-Technik zurückgegriffen wird.

Vgl. Höning (1998), S. 30f; ich folge hier Hönings Argumentation, dass für die vorliegende Fragestellung die Unterscheidung nach den ersten beiden Kategorien sinnvoll ist.

¹⁰¹⁷ In diesem Zusammenhang als Begründung normativer bzw. handlungsanleitender Aussagen im Zusammenhang mit nachhaltiger Entwicklung; Vgl. Renn (2003), S. 194; Darüber hinaus ist zudem eine Wissenschaft, die sich mit entscheidenden Lebensfragen beschäftigt, wie es auch die Ökonomie tut, nur handlungsleitend, wenn ihr eine Ethik des Naturerhaltes inhärent ist; Vgl. Capra (1988), S. 8

¹⁰¹⁸ Vgl. Rogall (2002), S. 107

¹⁰¹⁹ Vgl. Müller-Christ (2001), S. 126

¹⁰²⁰ Vgl. Holstein (2003), S. 34 ; Letzteres sind vor allem Studien, die an der Steigerung der Ressourcen- und Energieeffizienz ansetzen, wie es der Faktor 10-Ansatz anstrebt, was eher dem Ansatz der „schwachen Nachhaltigkeit“ entspricht; Vgl. Schmidt-Bleek (1993) sowie Lehner und Schmidt-Bleek (1999), S. 16

6.1.1 Neoklassische ressourcenökonomische Ansätze – erschöpfliche Ressourcen

Die prominenteste Eigenschaft erschöpflicher Ressourcen ist, dass sie aus ökonomischer Sicht potenziell „*bestandsknapp*“ sind.¹⁰²¹ Die ökonomische Entscheidungsfrage besteht darin, den gegebenen (oder realistischer: vermuteten) Anfangsbestand einer Ressource auf einem optimalen Zeitpfad, der zwischen dem sofortigen Verzehr und dem Aufheben für später liegt, erlösmaximal abzubauen.¹⁰²² Zur ökonomischen Bewertung aktuell und potenziell verfügbarer erschöpflicher Ressourcen bedarf es dabei folgender Indikatoren:¹⁰²³

- geologische Bestandsaufnahme
- Reichweite der Ressourcen
- Abbaukosten
- Marktpreis der Ressource bzw. Preisentwicklung
- Nutzungs(grenz)kosten

Allerdings kann keiner dieser Indikatoren einen eindeutigen Aufschluss über die Knappheit einer Ressource und deren Wirkung auf das sozio-ökonomische System geben, d. h. die grundsätzliche Fragestellung einer nachhaltigen Industriellen Ökologie kann zumindest von ökonomischen Einzelindikatoren nur wenig Unterstützung erwarten, da letztendlich die vollkommene Ausbeutung einer Ressource angestrebt wird und die Ökonomik hier nur Aufschluss darüber gibt, wie dies pareto-optimal unter vollkommener Konkurrenz gewährleistet werden kann. Dem liegt die Sichtweise des Utilitarismus zu Grunde, die jedoch nicht unumstritten ist.¹⁰²⁴ In diesem Sinn entscheiden sich Individuen zweckrational den Nutzen optimierend über Tauschbeziehungen auf Märkten für eine bestimmte Verwendung von Ressourcen.¹⁰²⁵ Daraus ergeben sich die Abbaupfade, die in der formalen Theorie stringent erscheinen und für eine Marktlösung sprechen, intergenerationale Gerechtigkeit jedoch nicht langfristig gewährleisten.¹⁰²⁶ Knappheit äußert sich dabei als intertemporales Allokationsproblem, da jede Nutzung

¹⁰²¹ Vgl. Höning (1998), S. 31

¹⁰²² Vgl. Hampicke (1992), S. 98

¹⁰²³ Vgl. Endres und Querner (2000), S. 8ff; Geologisch unterscheidet man zwischen Reserven (bekannte gesicherte abbaubare Rohstoffe) und Ressourcen (potenziell abbaubare Rohstoffe), wir bleiben hier beim Begriff der Ressourcen.

¹⁰²⁴ Vgl. Weikard (1999), S. 26; Der strikte Anthropozentrismus erweist sich als eine der zu überwindenden Barrieren in der ökonomischen Theorie, wie weiter unten gezeigt wird.

¹⁰²⁵ Vgl. Bartmann (1996), S. 16

¹⁰²⁶ Vgl. Ayres (2000), S. 15

mit zukünftigen Nutzungsmöglichkeiten konkurriert. Es existieren darüber hinaus sachliche Verwendungsrivalitäten um spezifische Ressourcen, die mit ins Kalkül einfließen.¹⁰²⁷ Zusätzlich werden mit der grundsätzlichen Abdiskontierung zukünftiger Nutzen gegenwärtige Generationen systematisch bevorzugt. Dabei wird die mit jeder Ressourcenentnahme und -verwendung verbundene Senkenproblematik noch ausgeblendet, was einer Verkürzung der real auftretenden Phänomene entspricht. Der ökonomisch optimale Ausgleich zwischen gegenwärtigen und zukünftigen Nutznießern einer Ressource ist zwar eine sozial bedeutsame Fragestellung und insofern durchaus für die Umsetzung einer IÖ relevant, die rein ökonomische Herangehensweise verkürzt jedoch die notwendige Breite der Betrachtung, die die Nebenfolgen der Ressourcenausbeutung berücksichtigen muss, um tatsächlich eine ökologische Verträglichkeit gewährleisten zu können. Ressourcenökonomische Lösungsansätze liefern spezifische Antworten auf Teilprobleme einer holistischen Lösungsstrategie, indem sie versuchen, über vollkommene Marktpreise zu argumentieren, die neben den betriebswirtschaftlichen Produktionskosten (Grenzkosten der Extraktion) die volkswirtschaftlichen ökologischen Folgekosten und diskontierte Ressourcenkapitalkosten (Nutzungsgrenzkosten) berücksichtigen.¹⁰²⁸ Was ergibt sich daraus: Es ist ökonomisch rational, eine bekannte und Nutzen stiftende Ressource komplett bis zu deren Erschöpfung abzubauen. Die ökonomische Theorie liefert dafür pareto-optimale Abbaupfade, die auch zukünftige Interessen berücksichtigt, sei es mit sinkenden oder zunehmenden Abbauraten, was je nach den Modellannahmen variiert. Die Antworten unterscheiden sich bei Hotelling, Malthus oder Ricardo nicht grundsätzlich.¹⁰²⁹ Die Antwort, wie nach der vollkommenen Ausbeutung einer Ressource weiter zu verfahren ist, bleiben die Modelle jedoch schuldig, auch wenn grundsätzlich auf sogenannte Backstop-Technologien rekurriert wird, die die zur Neige gehende Ressource ersetzen werden.¹⁰³⁰ Die Preisrelationen zwischen Backstop-Technologie und den Kosten für die aktuell abzubauende Ressource können den optimalen Abbaupfad insofern beeinflussen, als der

¹⁰²⁷ Vgl. Rogall (2002), S. 52

¹⁰²⁸ Vgl. Massarrat (1993), S. 37

¹⁰²⁹ Vgl. Endres und Querner (2000), S. 52f

¹⁰³⁰ Vgl. Bartmann (1996), S. 62; Die Backstop-Technik soll idealerweise die „Gerechtigkeitslücke“ des Abbaus der Ressource durch hohen Kapitalbestand und weiterentwickelte Technologie für zukünftige Generationen ausgleichen – in der Theorie ist hierfür allerdings eine gegen unendlich strebende Ressourcen-Effizienz vorausgesetzt (die es in der Praxis nicht geben kann), was im Abschnitt 6.2.3.1 zur Thermodynamik näher diskutiert wird.

zeitliche Horizont des Abbaus „gestreckt“ wird und somit ein längerer Zeithorizont für die Nutzung erreicht wird.¹⁰³¹ Zusätzlich wird angenommen, dass technischer Fortschritt und zunehmendes akkumuliertes Kapital bei abnehmender Ressource langfristig ein konstantes Konsumniveau ermöglichen. Die Konsequenzen der eigenen Modellannahmen werden jedoch weitgehend ignoriert.¹⁰³² Noch unbekannter potenzieller zusätzlicher Nutzen einer endgültig abgebauten Ressource kann nicht mit ins Kalkül aufgenommen werden. Da trotzdem außer den unerwünschten möglichen Nebenfolgen keine rationalen Argumente zu finden sind, die gegen einen kompletten Abbau einer Ressource sprechen, kann man das Ergebnis unter der Prämisse stehen lassen, dass der komplette Abbau der spezifischen Ressource zu keinen untragbaren Beeinträchtigungen der Ökosysteme führt. Dies ist jedoch im Einzelfall zu entscheiden.¹⁰³³ Man kann die Ergebnisse ressourcenökonomischer Modelle nicht direkt auf die Realität übertragen, da sie einer eigenen Rationalität unterliegen, denn allein die einschränkende Prämisse der ökologischen Verträglichkeit des Ressourcenabbaus lässt sich in der Praxis nicht halten und auch über die Verteilungsgerechtigkeit ist noch nichts ausgesagt. Immerhin aber ist die ökonomisch erwünschte Verlängerung des Abbauhorizontes ein Ergebnis, das die Umsetzungswahrscheinlichkeit eines komplexen Vorhabens wie das der IÖ wesentlich erhöhen kann. Diese Rationalität ist für eine IÖ durchaus von Bedeutung und es wird sich zeigen, dass man IÖ als erweiterte Form einer Backstop-Technologie betrachten kann, jedoch im Sinn einer ganzheitlichen Backstop-Innovation mit übergreifenden Veränderungen. Ansonsten wartet die Neoklassik mit einigen fragwürdigen Prämissen

¹⁰³¹ Vgl. Höning (1998), S. 53

¹⁰³² Vgl. Hampicke (1992), S. 111; Allerdings sind bei diesen Modellannahmen Abschreibungen, also Kapitalverzehr und die naturwissenschaftlichen Grenzen der Substituierbarkeit, nicht berücksichtigt, weshalb es zwar formal funktioniert, nicht jedoch real, weil Komplementarität ein natürliches Phänomen darstellt, wie in der Ökologie (empirisch) aufgezeigt werden kann.

¹⁰³³ Die Überlegungen zu Rohöl und Eisenerz werden sich hier z. B. wesentlich unterscheiden, da Rohöl bei energetischem Gebrauch in nicht wieder rückgewinnbare Bestandteile aufgelöst wird (der Prozess ist also vollkommen irreversibel, die Zunahme an Entropie ist sehr hoch), wohingegen bei Gewinnung von Stahl aus Eisenerz sogar eine räumliche Anreicherung stattfindet, die eine Weiternutzung durch Recycling ermöglicht (der Prozess des Recycling ist, abhängig von der verfügbaren Technologie und Energie für die Rückgewinnung, nur zu einem Bruchteil irreversibel, die Zunahme an Entropie ist wesentlich geringer); So sind gerade bei der Verbrennung, also energetischen Nutzung des Öls die Opportunitätskosten in Bezug auf eine rohstoffliche Nutzung nicht annähernd abschätzbar. Z. B. kann die Nutzung von Rohöl zur Herstellung recycelbarer synthetischer Textilfasern große Flächen des Baumwollanbaus ersetzen, die sonst durch starke Erosion unwiederbringlich geschädigt werden (vgl. Hawken, Lovins und Lovins (2000), S. 253). Ein Produktionssystem, das der Bezeichnung „Industrielle Ökologie“ gerecht werden will, darf keine so hohe Zunahme an Entropie zulassen, da dies dem ökologischen Prinzip der Minimierung der inneren Entropie zuwider läuft.

auf, die stark von der beobachtbaren Realität abweichen, die durch Variabilität von Präferenzen, Technologie und Verhalten gekennzeichnet ist, in der nur in seltenen Fällen vollkommene Konkurrenz auftritt, in der Entscheidungen bei unvollständiger Information und Unsicherheit getroffen werden, in der ökonomische Entscheidungen durch weitere gesellschaftliche Konfliktfelder beeinflusst werden und in der externe Effekte auftreten, die nicht einmal annähernd monetär bewertet werden können.¹⁰³⁴ Darüber hinaus gilt es, Konzepte zu finden, wie mit endlichen Ressourcen umzugehen ist, die aus erschöpflichen Quellen in den Wirtschaftskreislauf gelangen, aber nach erfolgtem vollständigem Abbau nicht mehr in der Natur zur Verfügung stehen. Da thermodynamisch betrachtet diese Ressourcen nicht verloren sind, sondern nur Ort und Konzentration technisch verändert wurden, folgt daraus für eine IÖ die Aufgabe, diese Ressourcen oder die daraus gewonnenen Materialien auf einem nutzbaren Niveau im Wirtschaftskreislauf zu halten.¹⁰³⁵ Ökonomisch betrachtet kann dies sogar schon vor dem Aufbrauchen der natürlichen Reserven der Fall sein, sobald (bei nicht weiter steigender Nachfrage) die Grenzkosten der Kreislaufführung einer Ressource unter denen der Exploration liegen. Da das angestrebte Recycling der Stoffe bei zunehmender Recyclingquote (Quotient aus eingesetztem Sekundärmaterial und gesamtem Materialverbrauch der betreffenden Ressource) jedoch annähernd logarithmisch energieintensiver wird, ergibt sich der optimale Abbaupfad nicht-regenerativer Ressourcen aus der Kombination beider Funktionen, der des Ressourcenabbaus und der des Ressourcenrecyclings.¹⁰³⁶

6.1.2 Ressourcenökonomische Ansätze – regenerative Ressourcen

Regenerative Ressourcen sind natürlich vorkommende Ressourcen, die entweder kontinuierlich in einem gewissen Umfang ohne menschliches Zutun zur Verfügung stehen (wie das Sonnenlicht) oder die sich mit einer bestimmten Rate nach einer Entnahme wieder ohne menschliches Zutun regenerieren können (wie z. B. ein Wald). Da auch natürliche regenerative Ressourcen einer industriellen Nutzung unterliegen, sind die

¹⁰³⁴ Vgl. Bartmann (1996), S. 30ff

¹⁰³⁵ Vgl. Faucheux und Noel (2001), S. 100

¹⁰³⁶ Vgl. Manahan (1999), S. 122; Hieraus lässt sich ein großer Forschungsbedarf für die neue Modellierung von Abbauprozessen nicht-regenerativer Ressourcen ableiten, der in dieser Arbeit nicht abgedeckt werden kann.

dazu entwickelten ressourcenökonomischen Ansätze für die IÖ bedeutsam. Die Quellen vermitteln zwar den Anschein unendlicher Verfügbarkeit, was insbesondere im Zusammenhang mit der Sonnenenergie fälschlicherweise behauptet wird, die Nutzungs- bzw. Entnahmerate ist jedoch beschränkt und somit auch die (theoretisch) nachhaltig maximal zur Verfügung stehende absolute Menge der einzelnen Ressourcen, der sogenannte *maximum sustainable yield (MSY)*.¹⁰³⁷ Der MSY hängt zusätzlich von den Annahmen über den herrschenden Zinssatz ab bzw. gilt in seiner reinen Form nur bei $i = 0$.¹⁰³⁸ Tendenziell gilt, dass regenerative Ressourcen nur im Umfang bis zu einem bestimmten Grenzwert abgebaut und genutzt werden können, der von der absoluten Menge und der Wachstumsrate als Funktion von der absoluten Menge abhängig ist. Es sind potenziell „stromknappe“ Ressourcen.¹⁰³⁹ Entscheidungen in früheren Perioden beeinflussen bei den regenerativen Ressourcen den Entscheidungsspielraum späterer Perioden, wobei hinzu kommt, dass durch ökonomische Übernutzung die Regenerationsfähigkeit der Ressource beeinträchtigt werden kann. Diese Restriktionen müssen im Zusammenhang mit der angestrebten zunehmenden Nutzung regenerativer natürlicher Ressourcen im Kontext der IÖ berücksichtigt werden. Die ökonomische Fragestellung heißt dabei, einen Optimalpfad zu finden, der sich ab einer bestimmten Periode mit der biologischen Gleichgewichtslösung deckt, die dem MSY entspricht, der wiederum den größten gesellschaftlichen Nutzen ermöglicht, den man mit dieser Ressource verwirklichen kann.¹⁰⁴⁰ Allerdings gelten auch hier ähnliche Restriktionen wie im Bereich der erschöpflichen Ressourcen. Etwaige Nebenfolgen der „maximalen“ Ausnutzung regenerativer Ressourcen oder steigende Extraktionskosten bei abnehmender Ressourcendichte bzw. schwankende Marktpreise müssen noch mit ins Kalkül aufgenommen werden und führen zu einer Abweichung vom „rein ökonomischen Maximum“ der Gleichgewichtslösung bei gleichbleibender Abbaurate.¹⁰⁴¹ Der MSY ist in diesem Zusammenhang als eine Nutzbarkeits-Grenze von Ökosystemen zu verstehen, weniger als

¹⁰³⁷ Vgl. Tietenberg (2006), S. 288

¹⁰³⁸ Vgl. Hampicke (1992), S. 78

¹⁰³⁹ Vgl. Höning (1998), S. 32

¹⁰⁴⁰ Vgl. Kneese (1995), S. 9

¹⁰⁴¹ Vgl. Manahan (1999), S. 122; Je mehr man sich der maximalen Abbaumenge nähert, in desto geringerer Dichte liegt die erwünschte Ressource vor, der energetische Aufwand und die verursachten Stoffströme nehmen proportional zur Dichteabnahme zu, ebenso die Gewinnungskosten.

eine Belastungsgrenze, denn jeder nicht-natürliche Eingriff in die Natur ist im engeren Sinn mit potenziell schädlichen Veränderungen von Ökosystemen verbunden.¹⁰⁴²

6.1.2.1 Spezialfall Boden bzw. Fläche

Boden wird ökonomisch gemeinhin als regenerative Ressource betrachtet, da er zumindest in seiner Eigenschaft als zur Nutzung verfügbare Fläche nicht aufgebraucht werden kann. Allerdings ist die gesamte zur Verfügung stehende Fläche begrenzt und von unterschiedlicher Qualität. Für die Umsetzung einer IÖ kommt der Bewertung der Fläche dadurch eine besondere Bedeutung zu.¹⁰⁴³ Jegliche Lebensform ist naturgesetzlich zur Entfaltung der eigenen Lebensprozesse auf die Verfügbarkeit einer adäquaten Fläche angewiesen.¹⁰⁴⁴ Ökonomisch betrachtet treten konkurrierende Nutzungsmöglichkeiten für eine begrenzte Fläche auf. Diese Nutzungsmöglichkeiten können regional unterschiedlich verteilt sein und müssen ökonomisch (und ökologisch) abgewogen werden. Welche für eine IÖ relevanten ökonomischen Schlussfolgerungen lassen sich finden? Boden unterschiedlicher Qualität kann mit unterschiedlichen Technologien zur Erzeugung unterschiedlicher Waren verwendet werden. Es treten Faktorkombinationen auf, die zueinander in Konkurrenz stehen und eine optimale Allokation erfordern. Hierfür bietet die Klassik analytische Ansätze, deren qualitative Ergebnisse Eingang in die Flächendiskussion bei der Umsetzung einer IÖ in Abschnitt 6.1.2.2 finden.¹⁰⁴⁵ Die angestrebte Substitution erschöpflicher Rohstoffe durch regenerative Ressourcen, die technisch und ökonomisch zur Umsetzung einer IÖ angestrebt wird, führt zu einem unumgänglichen zusätzlichen Druck auf die zur Verfügung stehenden Flächen, da regenerative Rohstoffe grundsätzlich mengenabhängig von der Anbaufläche zur Verfügung stehen. Dabei sind der Steigerung der Flächeneffizienz natürliche und ökonomische Grenzen gesetzt. Zwar lassen sich durch regenerative Rohstoffe etwaige Engpässe in der Ressourcenversorgung abfedern, der Druck auf die Flächeninanspruchnahme durch

¹⁰⁴² Vgl. Heydemann (2001), S. 4

¹⁰⁴³ Dies geht in der Geschichte der Ökonomik auf die frühen Anfänge der Physiokraten zurück, trotzdem ist in diesem Zusammenhang das in der weiteren Geschichte entwickelte ökonomische Instrumentarium von Bedeutung; Vgl. Rogall (2002), S. 79; „Physiokratische“ und „materialistische“ Ansätze sollen im Weiteren synonym verwendet werden.

¹⁰⁴⁴ Vgl. Beese (2003), S. 31

¹⁰⁴⁵ Vgl. Höning (1998), S. 53ff; Eine Diskussion der formal-analytischen Herangehensweise kann hier aus Platzgründen nicht stattfinden.

verschiedene konkurrierende Anforderungen nimmt jedoch zu.¹⁰⁴⁶ Die Zahl und die Komplexität der gegenseitig verflochtenen Zielkonflikte steigt damit weiter an. Darüber hinaus sollten aus Sicht der Nachhaltigen Entwicklung ein ausreichender Anteil jeder spezifischen Landschaft (= Fläche) für den Naturschutz ausgewiesen werden, um die ökologische Funktionsfähigkeit gewährleisten zu können.¹⁰⁴⁷ Anders ließe sich der „politische Auftrag“ der Protektion des Gesamtsystems an das Umsetzungsinstrument IÖ schwerlich verwirklichen.¹⁰⁴⁸

6.1.2.2 Fläche und Energie

Eine entscheidende Rolle wird der Bodenkoeffizient bei der Umsetzung einer nachhaltigen Energieversorgung für die IÖ spielen, der ein Maß für die Flächeneffizienz einer Technologie in Bezug auf das darauf erzeugte Gut darstellt. Welche Renten mit welchem Gut unter welchem Flächeneinsatz zu erzielen sind, wird für die Lösung der zukünftigen Energie- und Ressourcenfragen eine ökonomisch relevante Fragestellung werden. Diese war fast vergessen, da die hohe Dichte der fossilen Energieträger die Frage obsolet werden ließ und sie deshalb in der Neoklassik ignoriert wird.¹⁰⁴⁹ Die zukünftige Energieversorgung mit regenerativer Energie wird sich jedoch nur über die zur Verfügung stehende Fläche verwirklichen lassen. Dies vor dem Hintergrund, dass mindestens ebenso drängende Fragen der Nachhaltigkeit wie Welternährung und Bodenversiegelung einen ebenso hohen Druck auf die Flächeninanspruchnahme bzw. die global verfügbare produktive Fläche ausüben. Die Lösung dieser Fragen wird wesentlich von analytischen Einflüssen aus der Ökonomik bestimmt werden, denn Fläche wird auf lange Sicht der bestimmende Faktor für die Bereitstellung von Nutzenergie sein und damit in direkte Konkurrenz zum derzeit dominanten Flächenverbraucher Landwirtschaft bzw. Nahrungsmittelerzeugung treten.¹⁰⁵⁰ Das bedeutet, dass sich aus evolutionärer Sicht die typischen regionalen Land- bzw. Flächennutzungsmuster erheb-

¹⁰⁴⁶ Dies sind Verkehrsflächen, Landwirtschaftsflächen, Industrieflächen, Siedlungsflächen u.a.

¹⁰⁴⁷ Vgl. Heydemann (2001), S. 10; Dieser Anteil ist je nach Ökotyp sehr spezifisch und bewegt sich nach ökologischen Feldstudien über ökosystemare Störungen zwischen 10 und 20 %.

¹⁰⁴⁸ Vgl. Strassert (2001a), S. 72

¹⁰⁴⁹ Vgl. Hubacek und van den Bergh (2006), S. 16

¹⁰⁵⁰ Dieser Ansatz befindet sich in direkter Folge zu den Physiokraten, weitet die Transdisziplinarität also auch auf die Geschichte der Ökonomie aus; Vgl. Ramos-Martin (2002), S. 12

lich werden ändern müssen und sich der regionenübergreifende Zugriff durch direkte oder indirekte Flächeninanspruchnahme in Folge dessen ebenso ändern wird.¹⁰⁵¹ Diese erforderliche Entwicklung gewinnt eine besondere Bedeutung vor dem Hintergrund, dass eine Übertragung des Anspruchsniveaus der industrialisierten Länder auf die gesamte Weltbevölkerung einen Flächenbedarf nach sich zöge, der bei heutigem Stand der Nutzungseffizienz die global nutzbare Landfläche um ein Vielfaches übersteigen würde.¹⁰⁵² Im Fall einer komplett auf regenerative Energieerzeugung bauenden Energieversorgung wird sich dieser Konflikt (auch bei kombinierter Flächennutzung) zwangsläufig verschärfen. Darüber hinaus erfüllt der Boden im ökologischen Kontext vielfältige Funktionen, die unverzichtbar sind und die ökonomisch nicht annähernd bewertet werden können.¹⁰⁵³ Darüber hinaus gibt es eine enge Korrelation zwischen Flächenverbrauch und ökologischer Degradation.¹⁰⁵⁴

6.1.3 Umweltökonomische Ansätze

Menschliches Wirtschaften ist in der Regel mit Nebenfolgen behaftet, die nicht in der ursprünglichen Intention der handelnden Akteure stehen. So zum Beispiel Umweltbelastungen, deren Kosten als externe Kosten nicht von den verantwortlichen Akteuren selbst getragen werden und in Form von Opportunitätskosten des entgangenen Nutzens, den eine unberührte Natur für die Gesellschaft erbringen würde, auftreten.¹⁰⁵⁵ Diese Kosten sind nicht Teil des nutzenmaximierenden Kalküls der Einzelakteure. Das wird z. B. unter dem Begriff der Kuppelproduktion eingehend diskutiert.¹⁰⁵⁶ Kuppelprodukte sind vom eigentlichen Systemzweck der Produktion (Hauptprodukt) abweichende Nebenprodukte, die unvermeidlich anfallen. Allerdings ist der Begriff der Kuppelproduktion in der neueren ökonomischen Theorie stark vernachlässigt, wenn nicht gar ignoriert worden, obwohl der Begriff in früheren Ansätzen berücksichtigt

¹⁰⁵¹ Vgl. Hubacek und van den Bergh (2006), S. 22; Analytisch vertieft wird dies weiter unten in Abschnitt 6.3.2.2 unter dem Stichwort „Ökologischer Fußabdruck“.

¹⁰⁵² Vgl. Trainer (2003), S. 98

¹⁰⁵³ Vgl. Lawrence (2005), S. 136

¹⁰⁵⁴ Vgl. Hubacek und van den Bergh (2006), S. 23

¹⁰⁵⁵ Vgl. Hampicke (1992), S. 126

¹⁰⁵⁶ Vgl. Petersen und Faber (2003), S. 16ff

wurde.¹⁰⁵⁷ Dies mag an der Ambivalenz der Bewertung zwischen „guten“ und „unerwünschten oder schlechten“ Kuppelprodukten liegen, was eine allgemeine Theoriebildung erschwert. Auch die Frage, ob Kuppelprodukte (B) in einem festen oder variablen Mengenverhältnis zum erwünschten Output (A) auftreten, ist nicht eindeutig zu beantworten, da dies abhängig von der Produktionstechnik zu ermitteln wäre.¹⁰⁵⁸ Allerdings ist die Frage nur für analytische Untersuchungen relevant, da auf konzeptueller Ebene davon auszugehen ist, dass Kuppelproduktion unvermeidlich ist, wie die Einführung der Thermodynamik zeigt.¹⁰⁵⁹ Damit ist die Grundprämisse gesetzt, dass zwangsläufig bei Produktionsprozessen mehrere (mindestens zwei) Outputs anfallen, da beim Versuch, Output B auf Null zu verringern auch Output A auf Null reduziert wird.¹⁰⁶⁰ Dabei ist wiederum zu berücksichtigen, dass der prozentuale Anteil unerwünschter Kuppelprodukte für Einzelprozesse eine aussagekräftige Effizienzgröße darstellt, die für den Erfolg einer IÖ entscheidend ist.¹⁰⁶¹ Die Definition der Unerwünschtheit der Nebenprodukte hängt jedoch von den gezogenen Systemgrenzen ab, die durch Ansätze der IÖ neu definiert werden.¹⁰⁶² Ein unerwünschtes Kuppelprodukt kann bei Aufdeckung einer wertschöpfenden Verwendung zu einem erwünschten Kuppelprodukt werden. Damit wird die Effizienzfrage des Einzelprozesses obsolet, weil dann die Effizienz des übergeordneten Systems relevant ist. Darüber hinaus ist die zeitliche Verteilung des Anfalles der verschiedenen Outputströme über unterschiedliche Zeithorizonte für die Ermittlung der Relationen von Bedeutung, da die Relation bei zeitlich variablem Verteilungsmuster je nach Betrachtungszeitraum und -punkt unterschiedlich ausfallen kann. Gerade das Phänomen der Kuppelprodukte, die unerwünscht in die Umwelt entlassen werden hat die ökologische Krise vakant werden lassen. Umso wichtiger ist es, die dadurch ausgelöst, aber einzelwirtschaftlich nicht berücksichtig-

¹⁰⁵⁷ Vgl. Baumgärtner (2002b), S. 143; In seiner Studie werden die wissenschaftshistorischen Zusammenhänge der unterschiedlichen Zugänge zu „joint production“ eingehend untersucht, was hier jedoch zu weit führen würde, da ohnehin vorwiegend die „schlechten“ Kuppelprodukte von Relevanz sind.

¹⁰⁵⁸ Vgl. Baumgärtner und Schiller (2001), S. 355; Deshalb unterscheidet man starre und flexible Kuppelproduktion, die analytisch vollkommen unterschiedlich zu behandeln sind.

¹⁰⁵⁹ Siehe Abschnitt 6.2.3.1

¹⁰⁶⁰ Vgl. Schiller (2002), S. 208; Später wird beim Konzept „Zero Emission“, das auch Teil der Strategie einer Industriellen Ökologie sein soll, darauf Bezug genommen.

¹⁰⁶¹ Gerade bei den weiter unten in Abschnitt 7.5.2 besprochenen „Eco Industrial Parks“ ist der Anfall von Kuppelprodukten eine entscheidende Planungsgröße, die das Systemverhalten bestimmt; allerdings sind hierbei insbesondere die verschiedenen betriebswirtschaftlichen Ansätze für den Umgang mit Kuppelproduktion von speziellem Interesse; Vgl. Baumgärtner (2001), S. 360

¹⁰⁶² Insbesondere im Zusammenhang mit Eco Industrial Parks (EIPs).

ten Kosten ins Bewusstsein zu rücken, damit sie überhaupt erst Teil ökonomischer Entscheidungsprozesse werden können. Das Problem ist hierbei jedoch die monetäre Bewertung der Umweltbelastungen, die sich nicht von allein über einen Markt regelt.¹⁰⁶³ Diese Bewertung ist unter anderem die Aufgabe der Umweltökonomik. Können deren Erkenntnisse zusätzliche Aufschlüsse über die Umsetzungsbedingungen einer IÖ geben? Es geht um die Suche nach Handlungsrationitäten, die zum einen dem den Menschen unterstellten ökonomischen Kalkül entsprechen, und somit anschlussfähig an bestehende Strukturen sind, die zum anderen jedoch auch zielführend für eine ökologische Umgestaltung industrieller Wirtschaftsweisen sind. Allerdings sind alle Versuche der Bewertung von Umweltgütern und Umweltschäden mit erheblicher Unsicherheit behaftet und stets von menschlichen Nutzenüberlegungen und Wertschätzungen überlagert.¹⁰⁶⁴ Es fehlt weiterhin am Verständnis für Gesellschaft-Ökosystem-Interaktionen und an validen Methoden zur Bewertung der Ökosysteme.¹⁰⁶⁵ Allein der Wert der global zurückgehenden ökologischen Vielfalt lässt sich nicht einmal abschätzen, da Optionen auf die Zukunft zerstört werden, die niemals mehr bekannt werden können wenn sie erst zerstört sind.¹⁰⁶⁶ Die Bewertung der verursachten Schäden unterliegt mannigfaltigen Unwägbarkeiten wie Einzelschadensbilanzierung und Aggregation, Auswahl repräsentativer Schäden, Wahrnehmbarkeit, Eintrittswahrscheinlichkeit von Störfällen und deren Versicherung.¹⁰⁶⁷ Eine wichtige Rolle bei der Bewertung spielen dabei gerade subjektive Einschätzungen der beteiligten Akteure.¹⁰⁶⁸ Volkswirtschaftlicher Nutzen und Schaden von Wirtschaftsweisen stehen Vermeidungskosten (der Schäden) und Zahlungsbereitschaften gegenüber und genau dieser Problematik wird sich die konsequente Umsetzung einer IÖ auch gegenüber sehen, denn die volkswirtschaftliche Wertschöpfung wird sich bei konsequenter Umsetzung strukturell nicht unerheblich zu Gunsten von Reduktionsprozessen verlagern müssen. Das hängt jedoch von der jeweiligen Bewertung der Sachverhalte ab. Eingesparte Umweltkosten stehen Vermeidungskosten gegenüber. Letztere lassen sich ökonomisch eindeutig beurteilen, da sie direkt den gesellschaftlichen Reaktionsweisen entspringen und über Märkte und

¹⁰⁶³ Vgl. Müller-Fürstenberger (2002), S. 82

¹⁰⁶⁴ Vgl. Lockwood (1997), S. 84

¹⁰⁶⁵ Vgl. Bockstael, Costanza, Strand u.a. (1995), S. 143f

¹⁰⁶⁶ Vgl. Wilson (1997), S. 298 und Meyerhoff (1997), S. 210

¹⁰⁶⁷ Vgl. Rogall (2002), S. 67

¹⁰⁶⁸ Vgl. Kaplowitz und Hoehn (2001), S. 245

Preise abgewickelt werden. Für erstere gelten oben genannte Einschränkungen. Damit ist davon auszugehen, dass Vermeidungskosten aus ökonomischer Sicht von den betroffenen Akteuren systematisch überbewertet und die Schadenskosten systematisch unterbewertet werden. Das ist das Dilemma unsicherer Information, das in der Umweltökonomik regelmäßig ignoriert wird. Die darin gewonnenen Entscheidungsregeln haben also grundsätzlich Modellcharakter und eignen sich nur bedingt zur Ermittlung lebensweltlicher Planungs- oder Entwicklungsvorgaben. Für die konsequente Umsetzung einer IÖ sind sie nicht operationalisierbar. Die Leitplanken bzw. Handlungskorridore müssen auf andere Weise ermittelt werden. Dies versucht zumindest Ansatzweise die Ökologische Ökonomik.

6.2 POLARISIERUNG UMWELTÖKONOMIK/ÖKOLOGISCHE ÖKONOMIK

Eine gewisse Polarisierung zwischen den neoklassischen Ansätzen der Umwelt- und Ressourcenökonomik und der Ökologischen Ökonomik ist nicht zu bestreiten. Ganz so einfach ist eine absolute Opposition der verschiedenen Standpunkte jedoch nicht zu konstatieren. Neben absolut gegensätzlichen Standpunkten gibt es durchaus Überschneidungen und Annäherungen.¹⁰⁶⁹ Vordergründig dominieren jedoch die Gegensätze. Umweltökonomien gehen grundsätzlich von der Berechenbarkeit des Wertes der natürlichen Ressourcen aus, deren Ergebnisse in die Preisfindung für die Verwendung natürlicher Ressourcen einfließen und diese dann marktgerecht steuern sollen. Das geschieht unter der Prämisse, dass die Verwendung der Natur ein Allokationsproblem zwischen Ressourcenknappheit (Input), begrenzten Möglichkeiten zur Emission von Reststoffen (Output) und der Erhaltung des Konsumgutes „Natur“ darstellt.¹⁰⁷⁰ In der Umweltökonomik stehen dabei die bei (mikro)ökonomisch motiviertem Handeln in der Regel nicht berücksichtigten externen Kosten der Umweltnutzung im Vordergrund. Diese sollten der Theorie weiter folgend berechnet und internalisiert werden, um die Nutzung der Natur den nun „alle“ Kosten berücksichtigenden Märkten zu unterwerfen, die mit dieser Information „naturgemäß“ zu handeln im Stande seien, wenn man der Regelung über Märkte geeignete Steuerungsinstrumente mit monetären

¹⁰⁶⁹ Vgl. Bergh (2000), S. 17

¹⁰⁷⁰ Vgl. Vornholz (1993), S. 39

Anreizen zur Seite stellt.¹⁰⁷¹ Das wird der lebensweltlichen Realität jedoch nicht gerecht. Insbesondere die offensichtlichen Schwächen der Neoklassischen Theorie bei der Abbildung der komplexen Wirkungsbeziehungen in der Wirklichkeit haben zu dem Wunsch der Erweiterung des Theoriegebäudes beigetragen.¹⁰⁷² Ökologische Ökonomen gehen davon aus, dass die Berechenbarkeit des Wertes der Natur nicht gegeben ist und dass als Steuerungsmechanismus für die Allokation natürlicher Ressourcen die physischen Indikatoren für Nachhaltige Entwicklung (insbesondere ökologische Tragfähigkeit) die Begrenzungsmarken setzen.¹⁰⁷³ Damit verlässt die Ökologische Ökonomik den analytischen Boden herkömmlicher Ökonomik und schlägt eine transdisziplinäre Denkrichtung ein, die zu anderen Schlussfolgerungen gelangt als die neoklassisch orientierte Umweltökonomik.¹⁰⁷⁴ Beiden gemeinsam ist jedoch zumindest die Ansicht, dass die historische „*Naturblindheit*“¹⁰⁷⁵ der Ökonomik als wissenschaftliche Begleiterin der industriellen Revolution zu der Entwicklung hin zur ökologischen Krise beigetragen hat und dass diese auch wissenschaftlich überwunden werden muss. Hinsichtlich der Unabdingbarkeit des Wirtschaftswachstums, das in der neoklassischen Theorie als notwendige Voraussetzung für wirtschaftliche Entwicklung und Stabilität angesehen wird, kommt man mit der Ökologischen Ökonomik zu sehr gegensätzlichen Einsichten. Hier wird davon ausgegangen, dass kontinuierliches wirtschaftliches Wachstum des BNE auf Dauer nicht möglich ist, da die damit verbundenen Eingriffe in die natürlichen Lebensgrundlagen langfristig nicht tragbar seien.¹⁰⁷⁶ Letztendlich bleiben aus Sicht der Ökologischen Ökonomik in der neoklassischen Diskussion die drei Grundfragen der Wachstumsdebatte offen:

- Ist kontinuierliches Wirtschaftswachstum wünschenswert oder gar notwendig?

¹⁰⁷¹ Vgl. van den Bergh (2000), S. 5; Das Motto lautet: Pareto wird's schon richten, wobei auf einer anthropozentrischen Sichtweise verharrt wird; Der Suche nach verbesserten Gesamtzuständen des industriellen Produktionssystems entspricht ohnehin eher das Kriterium der potenziellen Pareto-Verbesserung nach Kaldor und Hicks: Eine Veränderung im System stellt dann eine Verbesserung dar, wenn die Summe der zusätzlichen Nutzenstiftung die Summe der zusätzlichen Kosten übersteigt, unabhängig von deren Verteilung auf die Akteure – gerecht wird das Ganze dann, wenn ein Ausgleich zwischen Gewinnern und Verlierern der Veränderung stattfindet; Vgl. Endres und Holm-Müller (1998), S. 23 und Majer (2001a), S. 120

¹⁰⁷² Vgl. Rogall (2002), S. 69ff

¹⁰⁷³ Vgl. Bartelmus und Vesper (2000), S. 128

¹⁰⁷⁴ Vgl. Schmidt (2005), S. 20 und Costanza (1996), S. 981; Wobei zu bemerken ist, dass die neoklassisch anmutende „optimale Nutzung“ der Natur ein durchaus naturgemäßes Paradigma ist, solange es nicht ausschließlich anthropozentrisch interpretiert wird.

¹⁰⁷⁵ Busch-Lüty und Dürr (1996), S. 104

¹⁰⁷⁶ Vgl. van den Bergh (2000), S. 11f

- Ist kontinuierliches Wirtschaftswachstum möglich?
- Wenn ja, ist es kontrollier- und steuerbar?

Das im Kapitalismus verankerte Wachstumsprivileg des Kapitals geht in der neoklassischen Theorie einher mit der zunehmenden Verdrängung von Arbeit und Natur und wird damit theoretisch sogar vorbereitet.¹⁰⁷⁷ Dies ändert jedoch nichts daran, dass die drei oben gestellten Fragen tendenziell zu verneinen sind, da einige naturgesetzliche Restriktionen dagegen sprechen, wie weiter unten gezeigt wird.¹⁰⁷⁸ Dauerhaftes Wirtschaftswachstum verbunden mit konstantem Ressourcenverbrauch ist ohnehin nur denkbar, wenn im gleichen Maß die Ressourceneffizienz stetig ansteigt oder es ständige Veränderungen in der Wirtschaftsstruktur gibt.¹⁰⁷⁹ Zwar wird in der neoklassischen Theorie angenommen, dass durch eine Substitutionselastizität zwischen künstlichem und natürlichem Kapital von größer als 1 ($\sigma > 1$) kontinuierliches Wirtschaftswachstum auch bei begrenzten natürlichen Ressourcen möglich sein soll, doch dies basiert alleine auf einem grenzenlosen Glauben an den technischen Fortschritt, der alleine für sich betrachtet für das andauernde Wachstum des Pro-Kopf-Einkommens sorgen soll.¹⁰⁸⁰ Zweifellos kann technischer Fortschritt durch die Erhöhung der Ressourceneffizienz das Wohlfahrtsniveau bei gegebenen knappen Ressourcen positiv beeinflussen, Wirkungsgrade über 100 % bei der Nutzung natürlicher Ressourcen sind jedoch naturgesetzlich unmöglich, weshalb auch obige neoklassische Annahme ausgeschlossen werden kann.¹⁰⁸¹ Grenzenloses Wachstum kann also keine Option bei der Umsetzung einer IÖ sein, denn sonst verdiente sie diesen Namen nicht, da dort die naturgesetzlichen Grenzen explizit anerkannt werden. Dies soll nicht als pessimistisches Szenario missverstanden werden, wie es in der Neoklassik postuliert wird. Es steht viel mehr die Ansicht dahinter, dass wirtschaftliche Entwicklung auch ohne absolutes Wachstum

¹⁰⁷⁷ Vgl. Scherhorn (2004), S. 3;

¹⁰⁷⁸ Geld in seiner Eigenschaft als Tauschwert oder Maßgröße für die Wirtschaftsleistung (z. B. mit dem Wachstum des BNE) ist zuerst einmal eine virtuelle Größe – als solche kann sie theoretisch (und auch praktisch, wenn man ausreichend Inflation zulässt) unendlich wachsen – wird der Tauschwert jedoch für den Bezug von Gütern eingesetzt, so steht dem Tauschwert eine reale materielle Größe in Form von Produkten (oder Dienstleistungen, die produktgestützt erbracht werden) gegenüber – diese physikalische Größe kann nach den Gesetzen der Thermodynamik jedoch weder theoretisch noch praktisch unendlich wachsen – das Kartenhaus des Wachstumsparadigmas muss also in sich zusammenbrechen, wenn die reale Welt Einzug in die ökonomische Theorie hält.

¹⁰⁷⁹ Vgl. Priewe (2002), S. 160

¹⁰⁸⁰ Vgl. Klepper (1999), S. 303

¹⁰⁸¹ Georgescu-Roegen entlarvt diese Technikgläubigkeit als modernen Mythos; Vgl. Georgescu-Roegen (1975), S. 360; Die Einführung der Thermodynamik in Abschnitt 6.2.3.1 weiter unten wird dies beweisen.

möglich sein kann und dass dies ein positives Szenario darstellt, da Lebensqualität sich aus wesentlich vielfältigeren Quellen speist als den im BNE gemessenen volkswirtschaftlichen Größen. Reales Wachstum kann zumindest für die entwickelten Industrienationen mit ihrem hohen Konsumniveau sogar als kontraproduktiv, d. h. mit negativem Grenznutzen belegt, betrachtet werden.¹⁰⁸² Da es nur monetäre Transaktionen aufaddiert, ist über den volkswirtschaftlichen Nutzen, der für die Menschen dabei entstanden ist, noch nichts ausgesagt.¹⁰⁸³ Die sogenannten defensiven Ausgaben, die nur „Reparaturmaßnahmen“ von durch wirtschaftliche Tätigkeit ausgelöste Schäden abdecken, sind „heimliche Kosten des Fortschrittes“, die im BNE als wachstumssteigernd ausgewiesen werden.¹⁰⁸⁴ Der Ansatz der IÖ wird sich demnach intensiv mit der Fragestellung der natürlichen Begrenzung wirtschaftlichen Wachstums auseinandersetzen müssen und sich daran auszurichten haben. Der ökonomische und der ressourcenbezogene (zusätzliche) Aufwand bei der Umsetzung einer IÖ muss kompensiert werden.

6.2.1 Gegenentwurf aus der Ökologischen Ökonomik: Steady state economy

Der „Steady state-Ansatz“ einer nicht absolut wachsenden sondern um ein Klimax-Stadium leicht schwankenden jährlichen (materiellen) Wirtschaftsleistung erinnert nicht zufällig an die aus der Ökologie gewonnen Erkenntnisse und lässt sich thermodynamisch begründen. Der Wachstumsdebatte liegen hier nicht monetäre Größen, sondern der materiell-energetische Durchsatz einer Gesellschaft zu Grunde.¹⁰⁸⁵ Genau dies entspricht auch der Intention bei der Betrachtung einer IÖ, weshalb dieser Ansatz bei aller kontroverser Diskussion höchst relevant ist. Er ist auch global übertragbar, da für Regionen, die noch in einer Entwicklungsphase unterhalb der Klimax-Phase sind, Wachstum eine notwendige Bedingung für Entwicklung ist, bis der Steady state erreicht ist.¹⁰⁸⁶ Dieses (zeitweise) Wachstum unterliegt für das zu entwickelnde Szenario jedoch den Restriktionen der IÖ, damit der Pfad der nachhaltigen Entwicklung nicht verlassen

¹⁰⁸² Vgl. Majer (1999), S. 319

¹⁰⁸³ Vgl. Hawken, Lovins und Lovins (2000), S. 99

¹⁰⁸⁴ Vgl. Leipert (1989), S. 29

¹⁰⁸⁵ Vgl. Priewe (2002), S. 153

¹⁰⁸⁶ Vgl. von Hauff und Wilderer (2000), S. 2

wird.¹⁰⁸⁷ Der von Herman Daly geprägte Begriff des Steady state ist sehr dehnbar, was auch die breite Diskussion ähnlich gelagerter Ansätze anderer Autoren(gruppen) zeigt. Gemeinsam ist diesen, dass für jede Wirtschaft eine Obergrenze für den Durchsatz an Energie und Stoffen und damit für Produktion und Konsum angenommen wird, die von der ökologischen Tragfähigkeit des zu Grunde gelegten natürlichen Systems abhängt.¹⁰⁸⁸ Man kann dies als das Erreichen einer ökonomischen Sättigungsgrenze interpretieren, die nach dem Durchlaufen mehrerer Stufen ökonomischer Entwicklung erreicht wird und ab der die Bedürfnisse der beteiligten Akteure in einem Maß befriedigt sind, dass auch technischer Fortschritt kein weiteres Wachstum generiert. Die Wachstumskurve nähert sich asymptotisch dieser Sättigungsgrenze.¹⁰⁸⁹ Nachhaltig ist die entsprechende Volkswirtschaft, wenn diese Grenze unterhalb oder gleich wie die ökologische Belastungsgrenze liegt.¹⁰⁹⁰ Für den nachhaltigen Konsum (C_t) bedeutet dies, dass er absolut gesehen über einen langen Zeithorizont konstant gehalten wird. Der nachhaltige Pro-Kopf-Konsum ergibt sich aus dem Quotienten von C_t und der Bevölkerungszahl P . Gleichgewichtig wäre diese Bedingung bei Gleichsetzung der zeitlichen Diskontrate mit der Grenzproduktivität des Natur-Kapitals.¹⁰⁹¹ Dies bedeutet nichts anderes als die in der Nachhaltigkeitsdiskussion gern verwendete Floskel, man solle nicht vom natürlichen Kapital zehren, sondern von dessen „Zinsen“ leben.¹⁰⁹² Formal lässt sich das so darstellen, dass die ökonomische Produktionsaktivität pro Periode für eine stabile Aufrechterhaltung des globalen Gesamtsystems nicht größer sein kann als ein bestimmter Anteil (der sogenannte Nutzungsgrad der Natur) der periodischen natürlichen Produktionsaktivitäten.¹⁰⁹³ Mit der allgemeinen Systemtheorie lässt sich dies so beschreiben, dass sich ein komplexes lebendes System jeweils einem stabilen Attraktor annähert, der das System in einem lebensfähigen Zustand erhält. Dieser Attraktor ist in seiner absoluten Größe begrenzt. Es kann sich auch nicht um eine Wachstumsrate handeln, so wie es die neoklassische Theorie für die Stabilität des Wirtschaftssystems mit

¹⁰⁸⁷ Vgl. Wilderer (2003), S. 167ff

¹⁰⁸⁸ Vgl. Czech und Daly (2004), S. 599

¹⁰⁸⁹ Vgl. Majer (1999), S. 336

¹⁰⁹⁰ Es muss im Sinn der Nachhaltigkeit gewährleistet sein, dass sowohl die Primär- als auch die Sekundärfunktionen der natürlichen Umwelt nicht eingeschränkt werden.

¹⁰⁹¹ Vgl. Pearce, Atkinson und Dubourg (1994), S. 462

¹⁰⁹² Welche Bedeutung hierbei der Annahme der Substituierbarkeit des natürlichen Kapitals durch künstliches Kapital zukommt wird weiter unten diskutiert.

¹⁰⁹³ Vgl. Strassert (2001), S. 31; Diese Prämisse wird weiter unten in Abschnitt 7.2.2 bei der Energieversorgung der IÖ wieder aufgegriffen.

der relativen Steigerung des BNE zu Grunde legt. Ein Attraktor kann nur begrenzte absolute Größen (in Form von Grenzwerten) in Relation zu den das System konstituierenden Größen im Fließgleichgewicht annehmen. Dies ergibt einen begrenzten Bereich innerhalb eines Phasenraumes, in dem sich das System stabil verhält.¹⁰⁹⁴ Eine Wachstumsrate kommt dafür nicht in Betracht, da diese durch natürliche Gegebenheiten nicht langfristig aufrecht erhalten werden kann. Das System würde instabil, wenn nicht rechtzeitig eine negative Rückkopplung zu einer Annäherung an den Attraktor führt. Die IÖ muss durch geeignete Ausgestaltung der ökonomischen Basisaktivitäten gewährleisten, dass die natürlichen Basisaktivitäten nicht gefährdet werden.¹⁰⁹⁵ Dafür darf ein bestimmter (maximaler) Durchsatz an Materie pro Periode nicht überschritten werden.¹⁰⁹⁶ Im angestrebten Szenario einer Transformation zur nachhaltigen IÖ würde das mittelfristig bedeuten, dass der stagnierende oder zurückgehende Konsum durch die notwendigen Investitionen in eine adäquate Reduktionswirtschaft kompensiert würde, was für die Phase bis zur Reife der IÖ vorübergehend weiteres Wachstum bedeuten würde, weil eine entsprechende wirtschaftliche Infrastruktur, die dem neuen Produktionsparadigma entspricht, erst aufgebaut werden muss.¹⁰⁹⁷ Als Ergebnis kann dies durchaus ergeben, dass ein aktueller Konsumpfad erst durch Reduktion des absoluten Konsums C_t in der Zukunft als nachhaltig bezeichnet werden kann. Diese statische Größe bedeutet aber nicht, dass in einer solchen Ökonomie keine Entwicklung stattfindet, wie man neoklassisch argumentierend meinen könnte, wenn man Wachstum mit Entwicklung gleichsetzt. Entwicklung und selektives Wachstum einzelner Sektoren sind Teil des Modells. Es entspricht damit dem natürlichen Vorbild aus der Ökologie und wird zum Bindeglied industrieller Prozesse und dem Ansatz einer IÖ. Auch dort steht die Prämisse im Raum, dass der stofflich-energetische Durchsatz ein bestimmtes Maß nicht überschreiten darf. Die dynamischen Veränderungen einer solchen Ökonomie spielen sich eher auf einer qualitativen als auf der quantitativen Ebene wirtschaftlichen Wachstums ab. Effizienzsteigerungen durch die Umsetzung einer IÖ können den Spiel-

¹⁰⁹⁴ Vgl. Matthies (2002), S. 83; Auch bei relativen Beziehungen zwischen zeitlich variablen Größen werden letztendlich die absoluten Zielgrößen als Attraktor bezeichnet (Geburten- und Sterberate als Relationen \rightarrow Populationsgröße als Attraktor) – Systeme, in denen dies nicht der Fall ist, werden instabil.

¹⁰⁹⁵ Diese wurden in Kapitel 4 ausführlich gewürdigt.

¹⁰⁹⁶ Thermodynamisch wird dies weiter unten gezeigt.

¹⁰⁹⁷ Vgl. Liesegang (1996), S. 4

raum des nachhaltigen C_t innerhalb der absoluten physischen Grenzen nach oben verlagern.

6.2.2 Unterschiedliche Nachhaltigkeitsbegriffe?

Wie stellen sich die unterschiedlichen Ansätze zum Leitbild der Nachhaltigkeit, das mit dem Konzept der IÖ verfolgt wird? Als Reaktion auf den Bericht an den Club of Rome „Grenzen des Wachstums“, widmete sich die Neoklassische Theorie in der Ressourcenökonomik dem Wirtschaften mit endlichen Ressourcen. Die Grenzen der Senkenseite wurden mit der Umweltökonomik modelliert. Die Neoklassische Ökonomik geht dabei von einem im Zeitablauf nicht sinkenden Wohlfahrtsniveau aus, das durch einen konstanten Kapitalstock aus natürlichem und künstlichem Kapital gewährleistet wird.¹⁰⁹⁸ Dabei werden natürliches und künstliches Kapital als substituierbar betrachtet. Diese Betrachtungsweise wird gemeinhin als „schwache Nachhaltigkeit“ bezeichnet und impliziert weiterhin eine Art ökonomisches Herrschaftsverhältnis anthropozentrischer Prägung gegenüber der Natur.¹⁰⁹⁹ Das aus ökologischer und mathematisch-formallogischer Sicht unhaltbare Wachstumsparadigma exponentiell zunehmender Wirtschaftsleistung bleibt weitgehend unangetastet.¹¹⁰⁰ Die Nachhaltigkeitsfrage wird dabei auf ein intertemporales Allokationsproblem reduziert und die Berücksichtigung des künstlichen Kapitalstocks führt formallogisch dazu, dass rein rechnerisch bei dieser Betrachtungsweise – auch bei einer Abnahme des natürlichen Kapitalstocks – nachhaltig gewirtschaftet wird, so lange diese Abnahme durch zunehmende künstliche Kapitalbildung ausgeglichen wird. Außerdem wird impliziert, dass dies unbegrenzt geschehen kann.¹¹⁰¹ Das geht zwar mit hoher formallogischer Stringenz vonstatten, negiert jedoch alle Erkenntnisse, die aus sozio-ökologischen Studien und der Ökologie selbst gewonnen werden konnten. Auf Grund ersterem mögen analytische Ergebnisse aus der neoklassischen Umwelt- und Ressourcenökonomik trotz des mechanistischen Naturbezugs dennoch hilfreiche Entscheidungshilfen für Detailfragen bei der Umset-

¹⁰⁹⁸ Vgl. Holstein (2003), S. 39

¹⁰⁹⁹ Vgl. Beckmann (2003), S. 152

¹¹⁰⁰ Vgl. Reuter (2002), S. 132; Darüber hinaus zeigt sich, dass empirisch betrachtet wirtschaftliches Wachstum eher eine lineare Tendenz aufweist. Das bedeutet, ab einer bestimmten Entwicklungsstufe nehmen die Wachstumsraten einer Volkswirtschaft kontinuierlich ab; Vgl. ebda. S. 135f

¹¹⁰¹ Vgl. Holstein (2003), S. 45

zung einer IÖ liefern. Das neoklassische Wachstumsparadigma ignoriert jedoch lebensweltlich gegebene Probleme der Knappheit und erweist sich damit für die Beantwortung der Forschungsfragen als nur begrenzt geeignet. Es ist ausschließlich von wirtschaftswissenschaftlichem Interesse und kann bei sorgfältiger Interpretation zeigen, wohin ein unbegrenzter Glauben an eine faktisch nicht haltbare Prämisse führen kann. Künstliches Kapital kann nicht die einzige ökonomisch relevante Größe der Wachstumsfrage sein.¹¹⁰²

Gegenentwurf starke Nachhaltigkeit und Nachhaltigkeitsökonomik

Ist aber im Gegenzug starke Nachhaltigkeit, wie sie für eine IÖ eingefordert werden muss, ökonomisch überhaupt realistisch darstellbar? Die Ökologische Ökonomik versucht dies zumindest, auch wenn Manstetten und Faber eine Abgrenzung zwischen Nachhaltigkeits- und Ökologischer Ökonomik einfordern.¹¹⁰³ Das erscheint in der allgemeinen Diskussion der Ökologischen Ökonomik jedoch kaum notwendig, da das Konzept der Nachhaltigkeit hier bereits eine Kernprämisse darstellt.¹¹⁰⁴ Die weitere Entwicklung der Diskussion wird zeigen, ob sich eine solche zusätzliche Abgrenzung als sinnvoll erweist. Ohnehin wird noch ein großer Forschungsbedarf hinsichtlich der Ausgestaltung einer eigenen Nachhaltigkeitsökonomik gesehen, weshalb entsprechende neue Ansätze hier noch unter der Ökologischen Ökonomik verortet werden.¹¹⁰⁵

6.2.3 Erweiterungen in der Ökologischen Ökonomik gegenüber der Umwelt- und Ressourcenökonomik

Folgende zentrale Merkmale verdeutlichen den weiter gefassten Ansatz der Ökologischen Ökonomik gegenüber der neoklassischen Umwelt- und Ressourcenökonomik:¹¹⁰⁶

¹¹⁰² Vgl. Hawken (1996), S. 57

¹¹⁰³ Vgl. Manstetten und Faber (1999), S. 80; Der schmale Raum erlaubt diese Differenzierung hier nicht, es wird der weit verbreiteten Auffassung gefolgt, dass die Ökologische Ökonomik eine Entsprechung zum Leitbild der Nachhaltigkeit aus ökonomischer Sicht abbildet und es keiner Eröffnung einer neuen Subdisziplin bedarf.

¹¹⁰⁴ Vgl. van den Bergh (2000), S. 5

¹¹⁰⁵ DIW (Hrsg. 2004), S. 2

¹¹⁰⁶ Vgl. Radke (1999), S. 173; Ganz zu schweigen von der „herkömmlichen“ Ökonomik, in der die Natur überhaupt nicht als Phänomen vorzukommen scheint; Dieser durch totale Naturblindheit ausgezeichnete Ansatz wird hier nicht weiter behandelt, weil er für die vorliegende Fragestellung keinerlei brauchbare Antworten liefert und somit als nicht-relevant betrachtet wird.

- Die ethische Basis des neoklassischen Ansatzes der Umwelt- und Ressourcen-Ökonomik (Anthropozentrismus, Güterabwägung und Konsumentensouveränität) und das Konzept der intertemporalen Wohlfahrtsmaximierung (Utilitarismus) werden angezweifelt und das Leitbild der starken Nachhaltigkeit wird in den Vordergrund gestellt
- Es werden verstärkt Erkenntnisse anderer Disziplinen einbezogen, was die Modellierung zwar komplexer macht, diese aber näher an der vorzufindenden Lebenswelt ausrichtet
- Der Fokus wird von der getrennten analytischen Betrachtung der Quellen- und Senkenseite der Ökonomie auf die holistische Betrachtung der ökonomischen Vorgänge im ökologischen Umfeld gelegt, auf Basis einer historischen (evolutionären) Perspektive des Zusammenspiels aus Quellen, Transformation und Senken
- Ökologie wird zu einem fundamentalen Faktor im sozio-ökonomischen Gesamtzusammenhang¹¹⁰⁷

Letzteres ist für eine ökonomische Grundlegung der IÖ unabdingbar.¹¹⁰⁸ Hier findet sich auch die Verbindung zwischen der Theoriebildung der Ökologischen Ökonomik und der Suche nach „möglichen Zukünften“ („*utopias*“)¹¹⁰⁹ im Spannungsfeld zwischen wissenschaftlicher Erkenntnissuche und Wissensstand über den Zustand der Welt. Dieser Zustand der Welt ist, was den ökologischen Anteil betrifft, vor allem durch die nicht intendierten externen Effekte von Wirtschaftsweisen und Lebensstilen verursacht. Diese externen Effekte oder Kosten sollten zwar nach Maßgabe der neoklassischen Umweltökonomik berücksichtigt und internalisiert werden, doch dies ist nur unzulänglich möglich, da¹¹¹⁰

- Ungewisse externe Effekte nur ungenau in gegenwärtiges Kalkül aufgenommen werden können¹¹¹¹
- Ursache-Wirkungsbeziehungen zumeist nicht linear sind und somit keine Tendenzen und keine marktfähigen Bewertungen ableitbar sind

¹¹⁰⁷ Vgl. Common und Stagl (2005), S. 4

¹¹⁰⁸ Vgl. Binswanger (1989), S. 152

¹¹⁰⁹ Proops (1989), S. 60

¹¹¹⁰ Vgl. Bartmann (1996), S. 209

¹¹¹¹ Dies erfordert die Berücksichtigung von möglichen (erlaubten) Handlungskorridoren.

- In den Fällen, in denen eindeutige Beziehungen erkennbar sind, die den externen Effekten zugewiesenen Kosten nur Schätzwerte sein können

Das heißt, Ansätze zur Steuerung unter Verwendung der neoklassischen Umwelt- und Ressourcenökonomik erfordern in der Regel ex post Nachbesserungen. Grundsätzlich herrscht unter den ökologischen Ökonomen Konsens darüber, dass sich das derzeitige Verhältnis des ökonomischen Systems zur Natur durch krisenhafte Syndrome auszeichnet, dass sich daraus logisch die Forderung nach Nachhaltiger Entwicklung ableiten lässt und dass die ökonomischen Rahmenbedingungen diesen Umständen Rechnung tragen müssen.¹¹¹² Hierfür genügt die unzureichende Internalisierung nur annähernd bekannter externer Kosten alleine nicht aus. Darüber hinaus gewinnt die physische Dimension des Wirtschaftens gegenüber der abstrakt wertökonomischen Dimension eine hervorstechende Bedeutung.¹¹¹³ Das heißt, Ökologische Ökonomik erfordert rückgekoppelte ökologische Denkweisen.¹¹¹⁴ Letztendlich wird anerkannt, dass nicht das ökonomische System beliebig über das ökologische System (die „Natur“) verfügen kann, sondern dass die Ökologie die Rahmenbedingungen setzt, an der sich die Ökonomie (und damit die Ökonomik) zu orientieren hat, wenn sie langfristig funktionsfähig bleiben will.¹¹¹⁵ Hier gewinnt das weiter oben angesprochene Phänomen der Kuppelproduktion konstituierende Bedeutung für die Ökologische Ökonomik, da es gerade die unerwünschten Outputs von Produktion und Konsum sind, die für Umweltwirkungen verantwortlich zeichnen.¹¹¹⁶ Die vor-analytische Vision der Ökologischen Ökonomik betrachtet die Eingebundenheit des menschlichen Wirtschaftens in das materiell geschlossene globale Ökosystem, das sich im Laufe der Evolution durch die eingestrahelte Sonnenenergie entwickelt (hat), jedoch nicht an materieller Substanz zunehmen kann.¹¹¹⁷ Die Grundvoraussetzung, dass nur in einem bestimmten Ausmaß Energie eingestrahlt wird, findet Eingang ins ökonomische Kalkül. Die Versorgung mit fossiler Energie als Antriebskraft der Ökonomie wird als historisch kurzes Zwischenspiel, aber

¹¹¹² Vgl. Rogall (2002), S. 84

¹¹¹³ Vgl. Hofmeister (1998), S. 213

¹¹¹⁴ Vgl. Strassert (2001a), S. 71

¹¹¹⁵ Vgl. Bartmann (1996), S. 13

¹¹¹⁶ Vgl. Baumgärtner, Dyckhoff, Faber u.a. (2001), S. 365; Außerdem erweisen sich der Ansatz der Kuppelproduktion und die Einführung der Thermodynamik als zwei Seiten einer Medaille.

¹¹¹⁷ Vgl. Busch-Lüty und Dürr (1996), S. 114

nicht als langfristig aufrechterhaltbarer Umstand akzeptiert.¹¹¹⁸ Dies bedingt den *bewussten* Umgang mit den begrenzten stofflichen und den begrenzt eingestrahltener energetischen Ressourcen des globalen Ökosystems, derer sich das Wirtschaftssystem als untergeordnetes Sub-System bedient.¹¹¹⁹ Dementsprechend ist die wissenschaftliche und lebensweltliche Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele im Sinn der starken Nachhaltigkeit der Grundkonsens, an dem sich das Forschen und Wirken ausrichtet.¹¹²⁰ Das ökonomische System hat sich den naturgesetzlichen Gegebenheiten anzupassen, ohne dass es selbst durch diese vollständig erklärbar ist.¹¹²¹ Auch versagen in der Neoklassik die Versuche, über eine Monetarisierung aller Umweltgüter rechtzeitig steuernd einzugreifen, weshalb eher Qualitäts- und Handlungsziele ausgearbeitet werden sollen, die durch geeignete Instrumente zu begleiten sind.¹¹²² Hier erhält das Prinzip der Nachhaltigen Entwicklung über seinen normativen Charakter hinaus die Bedeutung einer notwendigen ökonomischen Bedingung. Der Begriff des Wachstums muss dabei mit neuen Bedeutungshorizonten versehen werden oder dem Begriff der Entwicklung weichen. Faktisch kann eine erfolgreiche Umsetzung der IÖ nicht als Hoffnungsträger zur Lösung der inhärent vorhandenen Wachstumsproblematik in Form des Wachstumszwanges neoklassischer Prägung verwendet werden. Vielmehr wäre sie Ausdruck einer konsequenten qualitativen Veränderung mit einer neuen Art zu wirtschaften.

¹¹¹⁸ Vgl. Weikard (1999), S. 48

¹¹¹⁹ Vgl. Strassert und Wittenberg (2001), S. 1

¹¹²⁰ Vgl. Holstein (2003), S. 69

¹¹²¹ Das ist ein Umstand, den die Humanökologie analytisch aufgreift und daraus Erkenntnismodelle zu entwickeln versucht.

¹¹²² Vgl. Rogall (2002), S. 75

6.2.3.1 Der Kern des Wirtschaftens mit knappen Ressourcen¹¹²³ – Einführung der Thermodynamik

Produzierende Tätigkeit fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht ist auf die Zufuhr von Energie angewiesen. Dies gilt sowohl für ökologische als auch ökonomische Systeme.¹¹²⁴ Deshalb ist die Berücksichtigung der Thermodynamik eine bedeutsame Erweiterung der Ökonomik.¹¹²⁵ Dabei ist nicht das absolute Maß an Entropie, die in einem System herrscht ausschlaggebend, sondern die Menge an Negentropie, die ein System aufnehmen muss, damit es in seinem spezifischen Fließgleichgewicht gehalten wird.¹¹²⁶ Muss ein System mehr niedrige Entropie (Negentropie) aufnehmen, als zur Verfügung steht, kann es seine Identität nicht langfristig aufrecht erhalten. Das Bewusstsein vom ursprünglich und dauerhaft eigentlichen Kern des Wirtschaftens – der effizienten und effektiven anthropogenen Steuerung von Stoff- und Energieströmen auf Basis knapper oder begrenzter Ressourcen (Negentropie) zur Erzeugung menschlicher Wohlfahrt¹¹²⁷ – lässt sich theoretisch am ehesten anhand der Thermodynamik erfassen, womit ein naturwissenschaftlicher Fokus in die wirtschaftliche Analyse Einzug hält, der der Begrenztheit der zur Verfügung stehenden natürlichen Mittel sowohl auf Quellen- als auch auf Senkenseite gerecht zu werden versucht.¹¹²⁸ Damit liefert dieser Ansatz wesentliche Erkenntnisse für die IÖ. Knappheit lässt sich als limitierender Faktor in der Mensch-Umwelt-Interaktion sowohl ökologisch als auch ökonomisch interpretieren und

¹¹²³ Allein in der Ökonomik erfährt bzw. erfuhr der Begriff der Knappheit bereits viele unterschiedliche Lesarten, die hier nicht erschöpfend diskutiert werden können – ich verweise auf Höning (1998), S. 7-37; In der vorliegenden Arbeit bezieht sich der Begriff auf die Begrenztheit (sprich Endlichkeit) der nicht-regenerativen natürlichen Ressourcen und die begrenzte Rente bei regenerativen natürlichen Ressourcen, sofern sie einem (oder mehreren) ökonomischen Nutzen zugeführt werden sollen; Das Spannungsfeld der Knappheit entsteht gerade zwischen der begrenzten Verfügbarkeit und theoretisch unbegrenzten ökonomischen Verbrauchsansprüchen, somit ist Knappheit je nach Bewertungsansatz relativ; Vgl. Baumgärtner (2002c), S. 2, der wiederum auf die ebenfalls gegebene ökologische absolute Knappheit von Ressourcen dezidiert hinweist → hier scheint die Frage nach Substituierbarkeit und Komplementarität von natürlichen Gütern auf und es wirft angesichts absoluter Knappheit die Frage nach der Angemessenheit derzeitiger industrieller Verbrauchsmuster und Konsumansprüche auf, was hier leider nicht weiter vertieft werden kann, das sei anderen vorbehalten (angedeutet wurde dies im Kapitel Nachhaltigkeit im Abschnitt über Suffizienz).

¹¹²⁴ Vgl. Baumgärtner (2002a), S. 14

¹¹²⁵ Vgl. Luks (2006), S. 32

¹¹²⁶ Vgl. Binswanger (1994), S. 172

¹¹²⁷ Vgl. Desrochers (1998), S. 20 und Luks (2006), S. 39

¹¹²⁸ Vgl. Geisendorf, Gronemann, Hampicke u.a. (1998), S. XV und Höning (1998), S. 7; Höning zählt hierbei eine Anzahl klassischer und neoklassischer Autoren auf, für die die Knappheit der natürlichen Ressourcen eine konstitutive Voraussetzung für ökonomisches Denken darstellt, darunter Malthus, Ricardo, Marx und andere.

ist ein Maß für das Spannungsfeld zwischen menschlichem Verfügungswillen über Ressourcen und deren Begrenztheit.¹¹²⁹ Insofern ist die Frage nach der integrierten ökonomischen und ökologischen Analyse und Bewertung des Knappheitsphänomens für die Umsetzung der IÖ sehr bedeutsam. Dabei ist der Begriff der relativen Knappheit der Ökonomie um den der absoluten Knappheit der Ökologie zu erweitern, der in die Frage der Weiterexistenz des Lebens mündet und frei von Wahlmöglichkeiten ist.¹¹³⁰ Das Naturvermögen stellt sich als eine im Umfang unveränderliche Bestandsgröße dar, deren Qualität für das menschliche Wirtschaften essenziell ist. Bei fehlender Substituierbarkeit ist die Knappheit absolut und ein Verlust oder die Minderung der Qualität nicht hinnehmbar.¹¹³¹ Die Analyse anhand der in der Ökologischen Ökonomik erweiterten Sichtweise zeigt, dass es keine Wahl gibt zwischen einer nachhaltigen Entwicklung und einer anderen und dass das Mittel der (fehlenden) Wahl u. a. die IÖ darstellt. Natur ist nicht beliebig substituierbar, nichts zeigt das besser als die Thermodynamik.¹¹³² Allerdings handelt es sich beim wissenschaftlichen Zweig der Thermodynamik um eine vielfältige Ansammlung von Theorien, die nicht alle nahtlos Eingang in die Ökonomik finden können.¹¹³³ Es bietet sich an, die bildhaften und auch für Nicht-Physiker nachvollziehbaren Systemzusammenhänge der Thermodynamik auszuwählen, die einen neuen tiefgreifenden Einblick in die systemischen Zusammenhänge zwischen Natur und Ökonomie zulassen. Zuvorderst steht die Unterscheidung definierter Systeme:¹¹³⁴

- Ein isoliertes System kann weder Energie noch Materie mit seiner Umwelt austauschen (idealisiertes Gedankenmodell)
- Ein geschlossenes System kann Energie, aber keine Materie mit seiner Umwelt austauschen (wie die Erde, der Sonnenenergie zufließt¹¹³⁵)
- Ein offenes System kann sowohl Energie als auch Materie mit seiner Umwelt austauschen (wie die Ökonomie, die der Erde Energie und Materie entnimmt, dabei allerdings auf ein geschlossenes System – die Ökologie der Erde – zu-

¹¹²⁹ Vgl. Baumgärtner, Becker, Faber u.a. (2004), S. 3

¹¹³⁰ Leben ist logisch betrachtet bekanntlich ein binärer Zustand (zumindest für ein Individuum).

¹¹³¹ Vgl. Dasgupta, Levin und Lubchenco (2000), S. 343

¹¹³² Allerdings ist dies mit Einschränkungen verbunden, denn die Thermodynamik gibt zwar sehr gute Anhaltspunkte für die dissipative und irreversible Verteilung von Energie und Materie, aber über die direkten ökologischen Wirkungen von verteilten Stoffen in der Umwelt können damit keine Erkenntnisse gewonnen werden; Vgl. Pastowski (1994), S. 229

¹¹³³ Vgl. Vavruch (2002), S. 271

¹¹³⁴ Vgl. Gillett (2006), S. 59 und Faber, Manstetten und Proops (1998), S. 99

¹¹³⁵ Meteoriteneinschläge werden hier vernachlässigt.

greift, welches wiederum mit dem Weltraum gekoppelt ist und damit die Frage der Kopplung interdependenter Systeme auftritt¹¹³⁶)

Folgende Abbildung 10 soll insbesondere den letzten Punkt veranschaulichen.

Ein System befindet sich im thermodynamischen Gleichgewicht, wenn keinerlei Kräfte mehr auftreten können, die den Zustand des Systems verändern.¹¹³⁷ Die damit verbundenen Implikationen beschreiben die Hauptsätze der Thermodynamik.

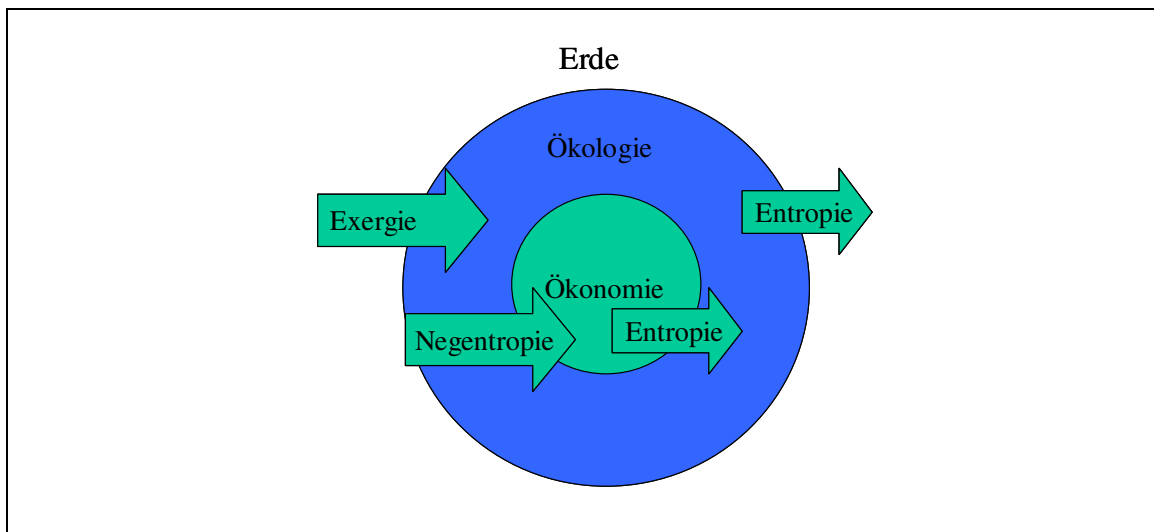


Abbildung 10: thermodynamische Zusammenhänge

Exkurs: Die Hauptsätze der Thermodynamik und deren Bedeutung für die Ökonomik

Der erste Hauptsatz der Thermodynamik sagt aus, dass die Energie in einem isolierten System konstant ist (Energieerhaltungssatz). Es kann keine Energie erzeugt oder vernichtet werden. Sie kann aber in (qualitativ) unterschiedlichen Formen vorliegen. Ähnliches gilt hier für Materie.¹¹³⁸ Der zweite Hauptsatz der Thermodynamik, das Entropiegesetz, sagt aus, dass Transformationsprozesse in isolierten Systemen nur bei gleichbleibender oder zunehmender Entropie in der Zeit ablaufen können.¹¹³⁹ Man bezeichnet diesen irreversiblen Vorgang auch als „ersten Zeitpfeil“, da er in der Zeit nur in

¹¹³⁶ Vgl. Common und Stagl (2005), S. 2

¹¹³⁷ Vgl. Baumgärtner (2002a), S. 16

¹¹³⁸ Vgl. Sterr (2003), S. 163

¹¹³⁹ Gleich bleiben kann die Entropie (in einem isolierten System) nur bei vollkommen reversiblen Prozessen, die allerdings nur theoretisch möglich sind – deshalb gibt es in der Realität auch kein Perpetuum Mobile (das ein isoliertes System darstellt).

eine Richtung zunehmender Entropie ablaufen kann. Die Analogie zwischen den Gesetzen der Thermodynamik und der Ökonomik findet sich in dem Umstand, dass die Hauptsätze strukturell einer ökonomischen Formulierung physikalischer Beziehungen entsprechen.¹¹⁴⁰ Die Entropie in einem System nimmt zu, wenn für Arbeit verfügbare Energie in nicht mehr nutzbare Wärme umgewandelt wird. Der Link zur Ökonomik ist dadurch offensichtlich, dass wirtschaftende Handlungen auf nutzbare freie Energie (Exergie) angewiesen sind, wenn Transformationen an Materie vorgenommen werden.¹¹⁴¹ Materie-Input wird im Produktionsprozess in Materie-Output transformiert, der durch spezifische Masse und Entropiegehalt gekennzeichnet ist.¹¹⁴² Aus dem zweiten Hauptsatz der Thermodynamik folgen für die Ökonomik besonders zwei Implikationen:¹¹⁴³

- Jede ökonomische Handlung verändert die Umwelt irreversibel und steigert die Entropie
- Die Effizienz der Verwendung von Materie und Energie unterliegt natürlichen thermodynamischen Grenzen

Aus ersterem folgt, dass besonderes Augenmerk auf die Effektivität der wirtschaftenden Aktivitäten und deren zu vermeidende Nebenfolgen gelegt werden muss, aus letzterem folgt, dass der in der IÖ angelegte Idealzustand von „Zero-Emission“ nur relativ zu bewerten ist, da die Entstehung von Abfall als eigentlich unerwünschtem Nebenprodukt industrieller Produktionsweisen unvermeidlich ist.¹¹⁴⁴ Dies ist spätestens dann festzustellen, wenn alle in das Produktionssystem eingehenden Ressourcen und alle Outputs berücksichtigt werden.¹¹⁴⁵ Allerdings hängt das Ausmaß verlorener Stoffströme von der thermodynamischen Effizienz der Produktionsprozesse ab und deren Minimum wird durch die thermodynamische Notwendigkeit markiert.¹¹⁴⁶ In der Bewertung der damit verbundenen Relationen von erwünschten und unerwünschten Outputs liegt eine zentra-

¹¹⁴⁰ Vgl. Cleveland (1999), S. 130

¹¹⁴¹ Vgl. Faber, Manstetten und Proops (1998), S. 95

¹¹⁴² Vgl. Baumgärtner, Dyckhoff, Faber u.a. (2001), S. 366; Dabei ist davon auszugehen, dass die erwünschten Produkte durch niedrige Entropie ausgezeichnet sind, die unerwünschten Kuppelprodukte durch hohe Entropie.

¹¹⁴³ Vgl. Ramos-Martin (2002), S. 26

¹¹⁴⁴ Vgl. Baumgärtner (2002a), S. 13

¹¹⁴⁵ Vgl. Schiller (2002), S. 215

¹¹⁴⁶ Vgl. Baumgärtner (2003), S. 113

le Aufgabe der Ökologischen Ökonomik.¹¹⁴⁷ Auf die Relationen wird später eingegangen, ebenso auf die Streitfrage, ob denn nun Energie (Odum) oder Materie (Georgescu-Roegen) der letztendlich limitierende Faktor für die Ökonomie darstellt. Letztere Frage wird mit dem Ansatz der Energie-Stofffluss-Dualität zu lösen versucht, der auch die thermodynamische Grundlage der Randbedingungen für eine IÖ sein wird.¹¹⁴⁸ Hierbei spielt „Zeit“ als (energie)limitierender Faktor eine entscheidende Rolle.

6.2.3.2 Irreversibilität in der Zeit

Im Zentrum steht die Irreversibilität von thermodynamischen Vorgängen in Systemen. Sie führt zwangsläufig zu einer Entropiezunahme, und zwar wenn Exergie bei den ablaufenden Prozessen in Wärme umgewandelt wird oder Materie dissipiert wird, entweder innerhalb des eigenen Systems oder „auf Kosten“ des umgebenden Systems. Die dissipierte Energie kann nicht zurückgewonnen werden, weshalb reale Prozesse irreversibel sind. Die Entropie kann jedoch mit unterschiedlicher Rate zunehmen und genau hier können ökonomische Überlegungen ansetzen, denn die Entropiezunahme hängt nicht nur von der Menge der für Arbeit eingesetzten Energie ab, sondern wird von der Effizienz der Nutzung bestimmt. Direkte Entropiezunahme kann dabei nur durch den Wärmeverlust stattfinden, da diese Größe in direkter Relation zur Entropie steht.¹¹⁴⁹ Je geringer die Rate der Entropiezunahme bei einer bestimmten Nutzenerzeugung ist, desto effizienter ist ein ökonomischer Prozess aus thermodynamischer Sicht. Damit wird die Entropie eine physikalische Währung für die wirtschaftenden Aktivitäten.¹¹⁵⁰ Voraussetzung für diese Betrachtungsweise ist, dass Makrozustände in beliebige Mikrozustände einteilbar sind und überall die gleichen thermodynamischen Gesetzmäßigkeiten wirksam sind. Allerdings herrschen hierzu unterschiedliche Ansichten und Theorien, die thermodynamische Vorgänge zwischen mikroskopischer und makroskopischer Ebene unterscheiden, weshalb der Ansatz unter Ökonomen auch noch

¹¹⁴⁷ Hohe Effektivität der ökonomischen Handlungen korreliert dabei wiederum positiv mit dem Konsistenz-Prinzip der Nachhaltigkeit, hohe Effizienz ermöglicht es, innerhalb des Zielkorridors nachhaltiger Entwicklung zu agieren; Dies betrifft insbesondere die nicht-regenerativen Ressourcen.

¹¹⁴⁸ Siehe Abschnitt 7.2.1

¹¹⁴⁹ Vgl. Gillett (2006), S. 60

¹¹⁵⁰ Vgl. Weisheimer (2000), S. 8

heftig diskutiert wird.¹¹⁵¹ Für die vorliegende Betrachtung ist diese explizite Unterscheidung jedoch nicht notwendig, da die grundsätzlichen Tendenzen davon unbeeinflusst gleich bleiben, auch wenn sich manche der Prämissen bezüglich möglicher Gleichgewichte unterscheiden. Zu betrachten sind inputseitig niedrigentropische Energie und Stoffe, outputseitig recycelbare Stoffe sowie dissipierte und somit entwertete Energie und Stoffe.¹¹⁵² Die Grundfragen der Berechnung sind allerdings noch nicht geklärt und bedürfen noch einigen Forschungsaufwandes. Dies ändert aber nichts an der grundsätzlichen Verdeutlichung der langfristigen Wirkungen ökonomischer Aktivitäten bei Nichtbeachtung der thermodynamischen Gesetzmäßigkeiten. Immerhin gibt es eine enge Korrelation zwischen der Entropiezunahme und den externen Kosten wirtschaftlicher Aktivitäten, die die Verwendung des Entropiebegriffs für ökonomische Fragestellungen untermauert. Die Mitberücksichtigung der Erkenntnisse der Thermodynamik führt zu neuen Implikationen für eine ökonomische Theorie, die die Grundlage für die IÖ sein sollen. So ist die zur Aufrechterhaltung ökonomischer Prozesse nutzbare Energie, sogenannte „Exergie“,¹¹⁵³ untrennbar mit Transformationsprozessen und zwangsläufig mit der Änderung der Entropie des Systems verknüpft, wobei die Entropie als negatives Ordnungsmaß aufgefasst werden kann:¹¹⁵⁴

$$W_{\text{lost}} = T_0 \times S_{\text{gen}}$$

W_{lost} umschreibt dabei die bei einem Transformationsprozess verlorene potenziell nutzbare Energie (Exergie)¹¹⁵⁵, T_0 bedeutet die Temperatur des umgebenden Systems und S_{gen} zeigt die durch den Prozess verursachte Entropie. Das heißt, Arbeit kann nur über den Verlust von Exergie und damit über die Zunahme der Entropie eines Systems geleistet werden.¹¹⁵⁶ Entropie ist damit auch ein Maß für die Entwertung von Energie und

¹¹⁵¹ van den Bergh und Gowdy (1998), S. 16

¹¹⁵² Vgl. Georgescu-Roegen (1984), S. 28

¹¹⁵³ Vgl. Austrem (2003), S. 9; Exergie ist das maximal nutzbare energetische Arbeitspotenzial von in einem System verfügbarer physikalischer oder chemischer Energie (potenzielle atomare Energie wird hier der Einfachheit halber ausgeklammert); Irreversibilität ist daran anschließend eine Folge des Verlusts an Exergie.

¹¹⁵⁴ Vgl. Baumgärtner (2004), S. 111; Wobei dieser Term nur bei isothermen Bedingungen gilt; Vgl. Gillett (2006), S. 65

¹¹⁵⁵ Das Exergie-Konzept berücksichtigt die beiden ersten Hauptsätze der Thermodynamik und ist ein Maß für die Energie, die in einem System nutzbare Arbeit verrichten kann. Es ist geeignet, sowohl materiale als auch energetische Vorgänge abzubilden, weshalb es sich besonders eignet, die thermodynamische Effizienz industrieller Prozesse abzubilden.

¹¹⁵⁶ Exergie hat in der Thermodynamik zweierlei Bedeutung: Zum einen ist sie ein Maß für die freie Energie, die im System noch Arbeit verrichten kann, zum anderen ist sie auch ein Maß für die strukturelle

Exergie ist die limitierende Ressource für ökonomische Prozesse.¹¹⁵⁷ Exergie ist die ultimative Quelle für alle Vorgänge innerhalb von geschlossenen Systemen, die fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht der Entropie des isolierten Gesamtsystems entgegenwirken, wobei die Entropie die grundlegende hierarchisch höchste Triebkraft aller thermodynamischen Prozesse ist.¹¹⁵⁸ Dies gilt grundsätzlich auch für die Ökonomie auf der Erde und der thermodynamische Wert eines Gutes lässt sich an niedriger Entropie bemessen. Niedrigere Entropie lässt sich in einem gegebenen System fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht nur durch Zuführung von Exergie erzeugen. Damit handelt es sich um eine notwendige Bedingung für ökonomischen Wert.¹¹⁵⁹ Anders herum lässt sich das ökonomische System nur so lange aufrecht erhalten, wie es Entropie an seine Umgebung, das ökologische System, abgeben kann.¹¹⁶⁰ Jede Zustandsänderung (und nichts anderes sind Produktionsprozesse) des ökonomischen Systems ist somit auf die Zuführung der pro Zeiteinheit begrenzt verfügbaren Exergie angewiesen und muss zur Aufrechterhaltung von Stabilität fern vom thermodynamischen Gleichgewicht Entropie exportieren.¹¹⁶¹ Damit wird die Entwertung von nutzbarer Energie zu einem bestimmenden Faktor der Bewertung ökonomischer Prozesse und deren intendierter und nicht-intendierter Ergebnisse.¹¹⁶² Die Kosten eines ökonomischen Prozesses sind aus thermodynamischer Sicht die durch ihn verursachte Zunahme an Entropie, da Negentropie (insbesondere in Form von Exergie) der knappste Faktor auf der Erde ist und darüber hinaus der einzige, der Stabilität fern vom thermodynamischen Gleichgewicht (ergo Wirtschaften) überhaupt möglich macht. Genau genommen ist Exergie die Quelle für die Arbeitsfähigkeit der Wirtschaft und nicht negative Entropie.¹¹⁶³ Der geschaffene Wert in der betrachteten Wirtschaft ist hingegen Ausdruck der geordneten Strukturen, die durch die Wirtschaftsaktivitäten geschaffen wurden. Er entspricht auf das Wirtschaftssystem bezogen einer internen Reduzierung der Entropie auf

Ordnung von Materie relativ zu einer zufälligen Verteilung, hier wird sie jedoch vorwiegend in ersterer Bedeutung verwendet; Vgl. Cleveland (1999), S. 138

¹¹⁵⁷ Vgl. Ramos-Martin (2002), S. 23

¹¹⁵⁸ Vgl. Lozada (2006), S. 75

¹¹⁵⁹ Jedoch ist es keine hinreichende Bedingung.

¹¹⁶⁰ Vgl. Bartmann (1996), S. 234

¹¹⁶¹ Vgl. Ramos-Martin (2002), S. 56

¹¹⁶² Vgl. Faucheux und Noel (2001), S. 447 ; Dieser «zweite Zeitpfeil» gilt im Besonderen für die nach obiger Definition geschlossenen Systeme und widerspricht somit nicht den Hauptsätzen der Thermodynamik, die sich auf isolierte Systeme beziehen – beide Zeitbeziehungen existieren parallel.

¹¹⁶³ Vgl. Gillett (2006), S. 59

Kosten der Erhöhung der externen Entropie. Man kann diese Entwicklung auch dem sogenannten „zweiten Zeitpfeil“ zuschreiben, der bei Zuführung von Energie in ein System fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht evolutionär zu einer Zunahme strukturierter Komplexität führt, was einer Verringerung der Entropie im Vergleich zur Umgebung entspricht. Die dabei ablaufenden selbstorganisatorischen Prozesse zeichnen sich dadurch aus, dass sie (bei Ausbleiben exogener Störungen¹¹⁶⁴)

- mehr Ressourcen (Energie und Materie) verwenden,
- diese Ressourcen effektiver und effizienter nutzen (zusätzlich verfügbare Energie zeitnah umsetzen),
- immer komplexere Strukturen aufbauen und
- die (globale) Überlebensfähigkeit des Systems erhöhen.

Insbesondere letzteres deckt sich mit der Gaia-Theorie und verdeutlicht gleichzeitig die in jüngster Zeit auftretenden kontraproduktiven Wirkungen menschlicher Aktivitäten, da diese im ökologischen System eine entgegengesetzte Wirkung entfalten.

6.2.3.3 Wirtschaften und Irreversibilität

Insbesondere die Irreversibilität entropischer Prozesse beim Wirtschaften erfordert adäquate Strategien, was eine zukunftsfähige Beschreibung und Gestaltung der Wirtschaftsweisen in Form einer IÖ betrifft.¹¹⁶⁵ Zum einen ist die Aufrechterhaltung dieser Prozesse auf die Zuführung von Energie angewiesen, zum anderen sind Prozesse nur unter Aufwendung von noch mehr Energie rückgängig zu machen.¹¹⁶⁶ Umwandlungs- und Rückgewinnungsprozesse sind nach dem Zweiten Hauptsatz der Thermodynamik grundsätzlich nur mit einem Wirkungsgrad von weniger als 100 % möglich.¹¹⁶⁷ Eine Zunahme der Entropie ist also bei allen wirtschaftlichen Prozessen unvermeidlich bzw. es wird niedrigere Entropie aus dem umgebenden biophysikalischen System abgeschöpft und höhere Entropie abgegeben.¹¹⁶⁸ Dieser Vorgang ist nicht ad infinitum aufrecht zu erhalten, solange die abgegebene Entropie die Negentropieproduktion der

¹¹⁶⁴ Wobei man das Auftreten des Menschen als endogenes Ereignis auffassen kann.

¹¹⁶⁵ Vgl. Stephan und Alheim (1996), S. 25

¹¹⁶⁶ Vgl. Holstein (2003), S. 72

¹¹⁶⁷ Vgl. Rogall (2002), S. 155

¹¹⁶⁸ Vgl. Gowdy (2003), S. 84

Natur übersteigt. Die ausgelösten Wirkungen sind irreversibel. Das heißt, dass die Aufgabe der Ökonomik mithin neu definiert werden muss oder zumindest neue Fragestellungen relevant werden. Es geht um die ökonomische Abwägung von Rückgewinnung relevanter Ressourcen und dem dafür benötigten Energieaufwand. Hier helfen durchaus die Ansätze der utilitaristischen neoklassischen Ökonomik weiter, um optimale Entwicklungspfade bei der Nutzung nicht-regenerativer stofflicher Ressourcen zu finden. Allerdings müssen sie um das Postulat der Nachhaltigkeit erweitert werden.¹¹⁶⁹ Zwar muss man aus der Irreversibilität ökonomischer Prozesse nicht schließen, dass das Ende jeglicher ökonomischer Tätigkeit damit vorgezeichnet ist, aber es sind notwendige Schlüsse zu ziehen, in welcher Form eine Ökonomie langfristig aufrecht erhalten werden kann.¹¹⁷⁰ Denn auch die Entwicklung des Lebens auf der Erde, das letztendlich als Vorbild für die Gestaltung einer nachhaltigen IÖ dienen soll, zeichnet sich gerade dadurch aus, dass es sich das Entropiegefälle bei der eigenen Evolution zu Nutze macht. Genau dieses Prinzip muss sich eine nachhaltige Wirtschaftsweise in Form einer IÖ zu Eigen machen und dabei die evolutionäre Entwicklung sowohl ökologischer als auch ökonomischer Systeme berücksichtigen, die beide darüber hinaus aus ihrer inneren Dynamik heraus pfadabhängig sind. Hier finden auch Theorien aus der Evolutorischen Ökonomik Eingang, die darauf aufbauen, dass eine evolutionäre Entwicklung des ökonomischen Systems auf dissipative Strukturen, Informations- bzw. Wissenssysteme und Verwirklichung dieser Elemente in komplexen Systemen angewiesen ist.¹¹⁷¹ Selektion und Innovationsprozesse verändern kontinuierlich die Struktur der Wirtschaft auf allen Ebenen, wie Produkten, Produktionsprozessen, Firmen und regionalen Beziehungen. Einmal eingeschlagene Wege beeinflussen alle weiteren Zukunftsoptionen und schränken diese ein.¹¹⁷² Es bleiben aber dennoch eine Anzahl nicht vorhersehbarer Entwicklungswege offen, wobei die Entwicklungsfähigkeit bei unvorhergesehenen Ereignissen von der Resilienz abhängig ist, die weiter oben besprochen wurde. Die Grenzen der Handlungsfähigkeit sind in der Humanökologie diskutiert

¹¹⁶⁹ Vgl. Weikard (1999), S. 50

¹¹⁷⁰ Diese Aussage ist nicht ganz richtig, denn mit dem Verlöschen der Sonne wird auch keine ökonomische Aktivität mehr auf der Erde stattfinden.

¹¹⁷¹ Vgl. Weissmahr (2001), S. 235; Allerdings gibt es sehr unterschiedliche Ansätze, orientiert an ihren biologischen Vorbildern Lamarck, Darwin, Gould und anderen, die hier nicht in ihrer vollen Bandbreite gewürdigt werden können; einen kurzen Überblick geben van den Bergh und Gowdy (1998).

¹¹⁷² Vgl. Ramos-Martin (2002), S. 4

worden. Die Langzeitbeziehungen zwischen Umwelt, Technologie und Entwicklung zeichnen sich aus evolutionsökonomischer Sicht durch folgende Punkte aus:

- Die Nutzung nicht-regenerativer Ressourcen ist irreversibel in der Zeit – darauf basierende Technologie muss sehr anpassungsfähig sein
- Innovationen führen zu steigender Effizienz bei der Nutzung von bekannten Ressourcen und zur Nutzung „neuer“ Ressourcen
- Die notwendigen Innovationen erfordern den Aufbau dafür spezifischen Kapitalbestandes, der einer ko-evolutionären Entwicklung gerecht werden kann

Hier liegt eine der Grundfragen, wie innerhalb einer sich solchermaßen entwickelnden Ökonomie wachsendes immaterielles Wissen zu einer Steigerung des Nutzens beitragen kann, ohne den Korridor des entropisch langfristig Möglichen zu verlassen und somit Ko-Evolution von ökonomischem und natürlichem System zu ermöglichen.¹¹⁷³ Ko-Evolution in dem Sinn, dass die gemeinsame evolutionäre Entwicklung in einem stetigen rekursiven Prozess abläuft, in dem die Existenz beider Systeme nicht gefährdet wird.¹¹⁷⁴ Dies erfordert (wenigstens) eine neue Basisinnovation auf dem unten dargestellten evolutionären Zeitpfad, die im engeren Sinn (noch?) nicht bekannt ist. Die Skizze zeigt exemplarisch den historischen Weg, auf dem die neoklassische Annahme wachsen konnte, dass immer zur rechten Zeit neue technologische Wege gefunden werden, um die Weiterentwicklung der Menschheit zu sichern. Wenn dies gelingen soll, sind in der Ökonomie jedoch einige grundlegende Änderungen vonnöten. Als die regenerativen Energieträger (Feuer und Landwirtschaft) nicht mehr ausreichten, kamen als Ersatz die fossilen (Dampfmaschine). Was nach diesen kommen wird, ist noch offen, bekannt und anwendbar sind derzeit jedoch nur die potenziell regenerativen Energieträger. Abbildung 11 soll dies verdeutlichen.¹¹⁷⁵

Variation und Diversität spielen dabei auf beiden Ebenen sowohl für zufällige als auch geplante und zielgerichtete Entwicklungen eine große Rolle, weil eine evolutionäre

¹¹⁷³ Vgl. van den Bergh (2003), S. 6; Beim aktuellen Stand der Entwicklung lässt sich daraus die Zielsetzung der Industriellen Ökologie ableiten, mit einem strukturellen und technologischen Wandel in den ko-evolutionären Entwicklungskegel zurückzukehren, der im Laufe der Industrialisierung verlassen wurde. Dies betrifft auch eine Lösung des Konflikts zwischen ökonomischem Wachstum und ökologischer Gefährdung.

¹¹⁷⁴ Dies entspräche wiederum einer Nachhaltigen Entwicklung.

¹¹⁷⁵ Wobei die Zeitdimension nicht als maßstabsgetreu zu interpretieren ist.

Entwicklung darauf angewiesen ist, dass das evolutionäre Potenzial maximiert wird.¹¹⁷⁶ Ökonomische und ökologische Dynamik und das zu Grunde liegende Zeitmaß müssen zur Erfüllung der Prämisse der Langfristigkeit in Deckung gebracht werden. Beide Systeme verdanken ihre Existenz dem stabilen Austarieren von Fließgleichgewichten.

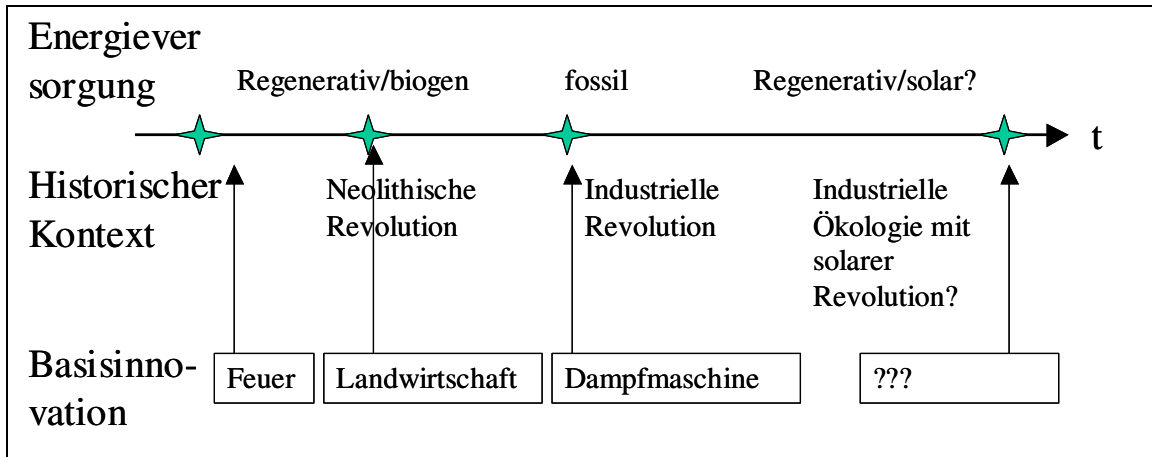


Abbildung 11: evolutionäre Entwicklung der Ökonomie; eigene Darstellung

Diese Erkenntnisse zu berücksichtigen haben alle ökonomischen Akteure die Wahl, weshalb mechanistische Modelle der Ökonomik hier nicht mehr greifen können. Wissen kommt neben der Natur als ökonomischer Antrieb eine mindestens ebenso starke Bedeutung zu wie der eindimensionalen Maximierung von Profit oder individuellem Nutzen.

6.2.4 Implikationen für die Ökonomik

6.2.4.1 Thermodynamik und ökonomisches Kalkül

Thermodynamisch ist nach den vorangegangenen Überlegungen das Wirtschaften auf der Erde nur in Form einer „Spaceship-“¹¹⁷⁷ oder „Spaceman-Economy“¹¹⁷⁸ möglich. Der Ökologischen Ökonomik kommt hier zur reinen wissenschaftlichen Analyse auch die Aufgabe einer Steuerungswissenschaft zu, indem die gewonnenen Erkenntnisse Eingang in die wirtschaftliche Praxis finden. Dies soll in dieser Arbeit nach der Methode der „rekursiven Verkopplung von Lebenswelt und Planungswelt (Realität und

¹¹⁷⁶ Vgl. van den Bergh und Gowdy (1998), S. 5

¹¹⁷⁷ Vgl. Rogall (2002), S. 89 und Boulding (2006), S. 9; Der erste diesbezügliche Aufsatz erschien von letzterem Autor im Jahr 1966.

¹¹⁷⁸ Vgl. O'Connor (1996), S. 323

Vorstellung)¹¹⁷⁹ in Form eines Szenarios für die Umsetzung einer IÖ versucht werden. Begrenzte materielle Vorräte können mit einer begrenzten Menge an Energie pro Periode in den ökonomischen Kreislauf geschleust und zu Produkten verarbeitet werden, da die Thermodynamik offen legt, dass Transformationsprozesse in der Regel irreversibel sind, nur begrenzt Substituierbarkeit vorliegt, grundsätzlich Kuppelprodukte anfallen und Wachstum nur begrenzt möglich ist.¹¹⁸⁰ Hier kommt die Material-Bilanz zwischen Natur und Wirtschaft zum Tragen und es lassen sich in Verbindung mit dem normativen Ansatz einer nachhaltigen Entwicklung thermodynamische Grundregeln für die Industrielle Ökologie ableiten.¹¹⁸¹

- Man vermeide stoffgebundene Energieträger zur Erzeugung von Exergie (Nutzenergie)
- Stoffe sollten im Wirtschaftskreislauf gehalten werden und es sollte möglichst nur Wärme dissipiert werden
- Bei allen Prozessen ist höchstmögliche (bzw. optimierte) thermodynamische Effizienz anzustreben
- Der Energieeinsatz für Reduktion muss langfristig den der Produktion übersteigen

Für die Ökonomik bedeutet das insbesondere die Forderung, irreversible Verluste durch „Safe Minimum Standards“ zu minimieren und bei Gefahr der Verletzung dieser Prämisse(n) rein neoklassische Prämissen außer Kraft zu setzen, zumindest bis das dafür zu erbringende „ökonomische Opfer“ gesellschaftlich nicht mehr tolerierbar ist.¹¹⁸² Daraus ist schon zu erkennen, dass die Umsetzung einer IÖ nicht ohne Opportunitätskosten vonstatten gehen kann, wenn man die obigen vier Punkte als Grundpfeiler setzt. Ressourcen, die bislang für die Erstellung von konsumierbaren Gütern bereitgestanden haben, werden für die konsequente Umsetzung der unterschiedlichen Strategien zur Aufrechterhaltung des Produktionssystems nebst Ressourcenversorgung eingesetzt werden müssen.¹¹⁸³ Es zeigen sich darüber hinaus ökonomisch wirksame Gesetzmäßig-

¹¹⁷⁹ Strassert (2001a), S. 73; Damit wird in dieser Arbeit nur eine konstituierende Vorstufe eines steuernden Regelkreises durchlaufen.

¹¹⁸⁰ Vgl. Baumgärtner, Dyckhoff, Faber u.a. (2001), S. 367

¹¹⁸¹ Vgl. Baumgärtner (2002a), S. 31; Die Thermodynamik selbst liefert „nur“ deskriptive phänomenologische Erkenntnisse.

¹¹⁸² Vgl. Radke (1999), S. 174

¹¹⁸³ Vgl. Endres und Holm-Müller (1998), S. 2

keiten beim Abbau nicht-regenerativer Ressourcen wie der Umstand, dass bei abnehmender Ressourcenqualität im Abbaugbiet der Energieaufwand pro nutzbarer Einheit überproportional ansteigt, was sowohl die ökonomischen als auch ökologischen Kosten der Ressourcengewinnung ansteigen lässt bzw. den Nettoertrag an Nutzenergie beim Versuch des vollständigen Abbaus der Trägerressource lange vor dessen Erschöpfung gegen Null tendieren lässt.¹¹⁸⁴ Dem kann jedoch entgegengewirkt werden, indem die in den sich bereits im Umlauf befindlichen aufgewerteten Materialien gespeicherte Energie durch geeignete Technologien, sprich Investitionen, verfügbar gehalten wird.¹¹⁸⁵ Allerdings sagen die Gesetze der Thermodynamik aus, dass eine völlige Rückgewinnung nicht-regenerativer Ressourcen durch Recycling nicht möglich ist.¹¹⁸⁶ Genau dieses Spannungsfeld zwischen Wunsch und Wirklichkeit ist bei der Umsetzung einer IÖ und dem damit verbundenen Bestreben nach vollkommener Kreislaufführung aller Stoffe zu berücksichtigen. Dazu wird die alleinige Lenkungsfunction von Preisen und Märkten für ökologische Fragestellungen bezüglich ihrer Effektivität in Zweifel gezogen. Da auch das ökonomische System kein Perpetuum Mobile sein kann, das mehr Energie generiert als ihm zugeführt wird, kann es auch nicht unbegrenzt wachsen. Dass die Ökonomie dies, zumindest dem Wert nach, in der neoklassischen Theorie kann, ist ein Denkfehler in eben jener Theorie.¹¹⁸⁷ Es kann keine realistische rein monetäre Bewertung ökonomischer Tätigkeit geben, da das monetäre Wachstum theoretisch unbegrenzt ist. Die thermodynamischen Kosten gehen jedoch bei unbegrenztem Wachstum gegen unendlich, weil sowohl W_{lost} als auch T_0 kontinuierlich ansteigen. Der Zustand und damit der „Wert“ der Natur bestimmt sich nach dieser Auffassung durch physische Größen, die nicht vollständig in monetäre Werte übersetzbar sind. Das Abband nehmen von rein ökonomischen Lösungen als Teil einer als ökonomisch zu betrachtenden Strategie führt somit zu Ambivalenzen in der Argumentation, die einem

¹¹⁸⁴ Vgl. Cleveland (1999), S. 137

¹¹⁸⁵ Vgl. Gillett (2006), S. 62; Unter Energie wird hier die in Produkten „gespeicherte“ Prozessenergie in Form höherer Ordnungsstrukturen verstanden. Recycling lohnt sich thermodynamisch also so lange, wie der Wärmeverlust des Wiedergewinnungsprozesses unter dem Wert der Energie bleibt – dies ist z. B. einer der Gründe dafür, dass das Recycling von Aluminium sehr lukrativ ist, da bei dessen Gewinnung aus Erz sehr viel Energie aufgewendet wird (wogegen nichts spricht, solange der Wärmeverlust minimiert wird).

¹¹⁸⁶ Vgl. Huesemann (2003), S. 24

¹¹⁸⁷ Vgl. Binswanger (1989), S. 151

neoklassisch orientierten Ökonomen die Haare zu Berge stehen lassen können.¹¹⁸⁸ Aber gerade bei solchen zukunftsrelevanten Fragestellungen unter nicht vollständiger Information lässt sich ein solcher Sachverhalt formallogischer Dissonanzen nicht ausschließen und ist zwangsläufig Teil der wissenschaftlichen Erkenntnissuche. Dies gilt somit auch für die ökonomischen Restriktionen und Rahmenbedingungen bei der Umsetzung einer IÖ. Berücksichtigt man überdies die weiteren Schwächen der neoklassischen Theorie in der Abbildung des Verhältnisses von Ökonomie und Natur, rundet sich das Bild ab:¹¹⁸⁹

- Die Irreversibilität der ökonomischen Prozesse wird nicht berücksichtigt
- Die Wichtigkeit von Energie, Exergie und Entropie findet keine explizite Berücksichtigung
- Die thermodynamische Stoff-Energie-Dualität wird nicht wahrgenommen¹¹⁹⁰
- Die neoklassische Produktionsfunktion negiert, dass es ausschließlich Kuppelproduktion geben kann
- Technischer Fortschritt wird als unbegrenzt angenommen, aber genau hier setzen die Gesetze der Thermodynamik natürliche Grenzen

Somit führt an der Ökologischen Ökonomik zur Unterstützung der IÖ kein Weg vorbei.

6.2.4.2 Was trägt die Ökologische Ökonomik zur Fragestellung bei?

In dem Kapitel „Naturverständnisse“ wurde gezeigt, dass das Naturbild der Ökologischen Ökonomik eine neue Herangehensweise an den Umgang mit den Ressourcen der Natur erfordert. Wirtschaft wird als Teil der Natur betrachtet und nicht anders herum, wie z. B. bei neoklassischen Annahmen.¹¹⁹¹ Die Natur wird aus ihrer Rolle als Objekt menschlicher Handlungen herausgehoben und erhält den Status eines eigenwerten Subjekts. Die Sachverhalte sozio-ökologischer Systeme bedürfen damit eines weiter gefassten ökonomischen Ansatzes, der transdisziplinär unterschiedliche lebensweltlich

¹¹⁸⁸ Dies, da sich eine umfassende Problemlösung nicht in eine rein formallogische Analyse überführen lässt; Die „Gleichungen“ eines solchen analytischen Lösungsversuchs enthalten zu viele Unbekannte.

¹¹⁸⁹ Vgl. Baumgärtner (2004), S. 118

¹¹⁹⁰ Dies wird in Abschnitt 7.2.1 nachgeholt.

¹¹⁹¹ Vgl. Becker (2005), S. 92

relevante Perspektiven einnimmt.¹¹⁹² Aus dieser theoretischen Stellungnahme heraus liefert die Ökologische Ökonomik Erkenntnisse, die für die Gestaltung einer IÖ von großer Bedeutung sind. Manche Autoren postulieren die IÖ sogar anders herum bereits als neue gleichwertige Denkrichtung neben der Ökologischen Ökonomik.¹¹⁹³ So weit soll hier nicht gegangen werden, denn IÖ ist eher als materiell orientierte Denkhaltung gegenüber industriell induzierten wirtschaftlichen Prozessen zu verstehen, die dem Theoriegebäude der Ökologischen Ökonomik eine adäquate strukturelle Basis für die lebensweltlichen Phänomene der industriellen Stoff- und Energieströme zu Grunde legt. So finden sich die wesentlichen Umsetzungsstrategien der IÖ, die weiter unten eingehender untersucht werden, bereits strukturell und funktional in der Ökologischen Ökonomik.¹¹⁹⁴

- Effizienzrevolution bei Nutzung von Ressourcen
- Förderung regenerativer Energieträger
- Förderung des Recycling und ökologischer Produktpolitik
- Neubewertung der lokalen Dimension und ihrer holarchischen Beziehungen zu räumlich größeren Ebenen

Neu gegenüber der Ökologischen Ökonomik ist bei der IÖ jedoch, dass die Natur nicht mehr nur als limitierender Faktor für wirtschaftliche Aktivitäten angesehen wird, sondern dass ihre vorbildhafte strukturell-funktionale Ausgestaltung eine positive Vision für die Interaktion zwischen Ökonomie und Ökologie darstellen soll, auf der wirtschaftliche Strategien (der Zukunft) aufbauen können.¹¹⁹⁵ Somit entspricht eine konsequent umgesetzte IÖ einer ko-evolutorischen Ökonomik, die die Rückkopplungsschleifen zwischen sozialem und ökologischem System als Grundlage für eine nachhaltige Entwicklung in den Vordergrund stellt.¹¹⁹⁶ Die Erkenntnisse aus der Ökologischen Ökonomik bleiben dabei unbeschränkt gültig. Aus deren Sicht ist es sowohl ökologisch als auch ökonomisch sinnvoll, die Emissionen der wirtschaftlichen Tätigkeit auf das Höchstmaß des Selbstreinigungspotenzials der Natur zu begrenzen, wenn man sich

¹¹⁹² Vgl. Costanza, Daly und Bartholomew (1991), S. 3

¹¹⁹³ Vgl. Becker (2005), S. 93

¹¹⁹⁴ Vgl. Bartmann (1996), S. 232

¹¹⁹⁵ Vgl. Heydemann (2001), S. 2; Die damit verbundene Gefahr, einem naturalistischen Fehlschluss zu unterliegen, wurde bereits an anderem Ort diskutiert.

¹¹⁹⁶ Vgl. Radke (2001), S. 64

einen zukünftigen Handlungsspielraum offen halten will.¹¹⁹⁷ Allerdings gilt auch hier das Vorsichtsprinzip, da nicht alle potenziell möglichen Wirkungen der Emissionen und deren Synergieeffekte bekannt sein können. Es ergänzen sich beide Denkhaltungen, ohne dass die eine auf die andere verzichten könnte und der Methodenstreit um die wissenschaftliche Relevanz der unterschiedlichen Denkrichtungen ist nicht immer nachvollziehbar.¹¹⁹⁸ In beiden Fällen geht es um die Gestaltung diverser Strategien, Regeln, Denk- und Verhaltensweisen zur nachhaltigen Ankopplung des ökonomischen Systems an die Natur unter dem Bewusstsein, dass die entscheidenden Produktivkräfte Kapital, Arbeit und Natur als gleichgewichtig betrachtet werden. Die Überbewertung der menschlichen Arbeitskraft sowie des Kapitals gegenüber den natürlichen Produktivkräften wird aufgegeben.¹¹⁹⁹ Nichtsdestotrotz wird sich zeigen, dass gerade menschliche Arbeitskraft und Kapital, in Form technologischen Potenzials, unverzichtbare Kernelemente einer IÖ darstellen werden, jedoch unter den Prämissen der Ökologischen Ökonomik und mit den analytischen Erkenntnissen aus der neoklassischen Theorie. Die Bedeutung der unterschiedlichen ökonomischen Zugänge zu Natur und Umwelt werden in folgender Tabelle zusammengefasst.¹²⁰⁰

ökonomischer Ansatz →	Neoklassische Umwelt- und Ressourcenökonomik	Ökologische Ökonomik
Kriterien ↓		
Naturbezug	beliebige Substituierbarkeit natürlichen Kapitals durch künstliches	Komplementarität mit partieller Substituierbarkeit
Stellungnahme	anthropozentrisch – Natur als Teil des ökonomischen Systems → eingreifende Nutzung	anthropozentrisch bis gleichgewichtig – ökonomisches System als Teil der Natur → Respektieren der Grenzen
Methodenwahl	(mono)disziplinär: Ökonomik, Gleichgewichtsmodelle	interdisziplinär: Ökonomik, Ökologie, Thermodynamik

¹¹⁹⁷ Vgl. Sartorius (1999), S. 445

¹¹⁹⁸ Vgl. Hampicke (1999), S. 179

¹¹⁹⁹ Vgl. Immler (1991), S. 152

¹²⁰⁰ Womit nicht impliziert werden soll, dass sich alle dargestellten Sachverhalte so exakt abgrenzen lassen, dass sie nur in den Kasten gehören, in dem sie stehen – es handelt sich vielmehr um eine ungefähre Verortung auf einem bipolaren Kontinuum mit vereinfachender Tendenz; Majer (1999) spricht in solchen Zusammenhängen von „stylized facts“, vgl. ebda. S. 344

Knappheitspostulat	relativ	absolut
Orientierung	utilitaristisch	ökologisch
Fokus	mikroökonomische Optima	globale Entwicklungspfade
Zeithorizont	(mehr)generational	(mehr)generational
Zeitvorstellung	Zeit ist messbar (linear)	Zeit ist relativ (historisch)
Zeitpräferenz	Gegenwart (zukünftige Nutzen werden abdiskontiert)	Gleichgewichtung (zukünftiger Nutzen ist gleichwertig)
Entwicklungsperspektive	parasitäres bzw. nachhaltiges Wachstum	ko-evolutorisch bzw. nachhaltige Entwicklung
Nachhaltigkeitsbegriff	schwache Nachhaltigkeit	starke bzw. kritische NH
Naturbewertung	monetär	physisch
Menschenbild	Homo oeconomicus	Homo sustinens
Kausalitätslogik	weitgehend linear	holistische Wirkungsketten mit Irreversibilität
Dimensionalität	zwei Dimensionen: Kosten/Nutzen	multidimensionale Evaluation
Wissens- bzw. Informationsparadigma	partielle Sicherheit (weiche Unsicherheit) mit konstanten (bekannten) Parametern	Unsicherheit auf Grund evolutionärer Dynamik der Parameter
Wissenschaftliche Position	positivistisch	normativ
Relevanz für IÖ	partiell analytisch	konzeptionell deskriptiv
Zielvorgabe	Ressourcenverwaltung	Zukunftsgestaltung
Maßgabe für Zielerreichung	Effizienz	Effektivität bzw. Konsistenz gepaart mit Effizienz
Metaphern	Wohlfahrts- bzw. Nutzenmaximierung	sozio-ökologische Kreisläufe, Resilienz, Stabilität, Nachhaltigkeit

Tabelle 1: Vergleich neoklassischer Ansätze mit der Ökologischen Ökonomik¹²⁰¹

¹²⁰¹ In Anlehnung an Majer (1999), S. 345f

Die darin suggerierte Polarisierung lässt sich in dieser reinen Form nicht in der Wissenschaftslandschaft feststellen und dient vor allem der Übersichtlichkeit.¹²⁰²

Ein Beispiel: Eine grundsätzlich konzeptionelle Fragestellung ist die der langfristigen Energieversorgung, die die IÖ antreiben soll. Die strategisch relevante Antwort liefert die ÖÖ mit der einzig langfristig vertretbaren Konzeption der Energieversorgung: mit regenerativen Energieträgern.¹²⁰³ Eine daraus folgende analytische Fragestellung zur Umsetzung dieser Strategie ist, wie dies unter unterschiedlichen sozio-ökologischen Rahmenbedingungen möglichst effizient gewährleistet werden kann. Hier können klassische oder neoklassische Ansätze der Optimierung der Ressourceneffizienz oder des Einsatzes gegebener Produktionsfaktoren wie Fläche, Technologie, Kapital und Arbeit entscheidende Werkzeuge darstellen, um durch effiziente Umsetzung zur Gesamtlösung beizutragen. Beide Modellwelten beschreiben hierbei wichtige Gesetzmäßigkeiten und Steuerungsansätze, wobei die Ökologische Ökonomik grundsätzliche konzeptionelle Analyseergebnisse liefert, die die Neoklassik so nicht leisten kann. Der notwendige Umgang mit der Unsicherheit bei der Modellierung lehrt darüber hinaus Bescheidenheit in Bezug auf die Forderung exakter Planbarkeit sozio-ökologischer Prozesse.¹²⁰⁴ Insofern ist die Mahnung aus den Modellen der Ökologischen Ökonomik, die Grenzen der natürlichen Belastbarkeit nicht über Gebühr zu beanspruchen, eine minimale Maßgabe. Die darüber hinaus gehende Aufgabe besteht in der Ermittlung von Handlungskorridoren, die dies ermöglichen.¹²⁰⁵ Die ökonomische Entwicklung, umgesetzt durch eine IÖ, kann mit Hilfe der Ökologischen Ökonomik zumindest ansatzweise dahingehend gesteuert werden, dass die Auswirkungen der prinzipiellen Unsicherheit bei der Umsetzung nachhaltiger Entwicklung minimiert werden.¹²⁰⁶ Dies hängt nicht zuletzt von der Qualität der Modellierung ab, die mit der Informationsunsicherheit adäquat umzugehen hat.¹²⁰⁷ Als ein Beispiel sollen zweidimensionale dynamische Räuber-

¹²⁰² Vgl. Hampicke (1999), S. 154

¹²⁰³ Allein die Thermodynamik und ihre Gesetzmäßigkeiten deuten auf die exorbitant (sowohl ökologisch als auch ökonomisch nicht hinnehmbar) niedrige Effizienz bei Verbrennungsprozessen und deren Beschleunigung der Entropiezunahme auf der Erde hin; Vgl. Gillett (2006), S. 68

¹²⁰⁴ Vgl. Geisendorf (2001), S. 36

¹²⁰⁵ Diese wären wiederum mit den Maßgaben des „Nachhaltigkeitskegels“ in Einklang zu bringen, der einen ebensolchen Handlungskorridor darstellt.

¹²⁰⁶ Vgl. Weisbuch (2000), S. 381

¹²⁰⁷ Vgl. Funtowicz und Ravetz (1991), S. 143

Beute-Modelle dienen.¹²⁰⁸ Gerade bei der Nutzung regenerativer Ressourcen zeigen diese Modelle zunehmende Varianz, wenn man deterministische Prämissen aufgibt und bei den natürlichen Wachstumsgrößen Fluktuationen zulässt. Auch bei Festlegung einer begrenzten Spannweite, um die ein Wert schwanken darf, ist man weit von einem stabilen System entfernt, damit jedoch wesentlich näher an der Abbildung realer Sachverhalte.¹²⁰⁹ Zusätzlich lassen sich bei der Annahme fluktuierender natürlicher Systeme bei regenerativen Ressourcen nur wesentlich geringere Nutzungsniveaus realisieren als in deterministischen Modellen. Diesen Phänomenen kommt im Rahmen der zunehmenden Bedeutung regenerativer Ressourcen sowohl im stofflichen als auch im energetischen Metabolismus eine tragende Bedeutung zu. Der zeitliche Verlauf ökonomischer Größen wird bei zunehmender Amplitude der Schwankungen weniger planbar und durch die Reaktionen des ökonomischen Systems zunehmend abhängig von der Interaktion zwischen ökonomischem und natürlichem System und der daraus resultierenden gekoppelten Dynamik.¹²¹⁰ Dies betrifft insbesondere Art, Umfang und Reaktionsgeschwindigkeit des ökonomischen Systems mit dessen Gewinnansprüchen und erneuten Rückwirkungen auf die ressourcenrelevanten natürlichen Größen. Letztendlich gilt es, die Resilienz des Gesamtsystems sicherzustellen, die gleichzeitig durch die ökonomische Nutzung in Anspruch genommen oder gar gefährdet wird. Grundsätzlich ist damit jedoch insbesondere das ökonomische System selbst durch die Schwankungen gefährdet. Dies geschieht thermodynamisch betrachtet in der Form, dass das wesentliche Merkmal des Phänomens „Leben“ – die Verlangsamung der entropischen Prozesse durch Ausnutzung des Exergiegefälles zwischen Sonne, Weltall und Erde – ins Gegenteil verkehrt wird: Beschleunigung der Zunahme von Entropie auf der Erde und dadurch Gefährdung der evolutionären Weiterentwicklung des Lebens.¹²¹¹ Selbstgefährdung führt in evolutorischer Sicht in der Regel zum Ausschluss durch Selektion. Insofern stellt die Modellbildung der Ökologischen Ökonomik ein evolutionär fortgeschrittenes Denkgebäude gegenüber der Neoklassik dar, da es diese wesentlichen Sachverhalte zu berücksichtigen versucht. Damit wird es zur Vorlage für die Umsetzung einer IÖ.

¹²⁰⁸ Vgl. Anderies (2000), S. 396

¹²⁰⁹ Vgl. Geisendorf (2001), S. 115

¹²¹⁰ Vgl. Peterson (2000), S. 327

¹²¹¹ Vgl. Gillett (2006), S. 68

6.3 INHALTLICHE ANNÄHERUNG VON IÖ UND ÖÖ

Im Grunde geht es in der Ökologischen Ökonomik darum, zum einen den eigentlichen Begriff des Lebens als Schlüsselbegriff für ökonomische Werte und Kriterien zu erkennen, zum anderen geht es aus dieser Kenntnis heraus um die Generierung von ökonomisch orientierten institutionellen Steuerungsansätzen, die der normativen Vorgabe der Nachhaltigen Entwicklung in Form einer IÖ gerecht werden können.¹²¹² Dies geschieht jedoch in einem vielfältigen Beziehungsgeflecht. Ebenso vielfältig sind die theoretischen Zugänge und Modellbildungen der Ökologischen Ökonomik, deren Gemeinsamkeit jedoch zumindest die kritische Haltung gegenüber der neoklassischen Theorie ist.¹²¹³ Diese Vielfalt der Ansätze ist in jenem Sinn nicht problematisch, als sie eine Antwort auf die Vielfalt der aufgeworfenen Fragestellungen darstellt und sich damit wissenschaftlich als Vorteil erweist.¹²¹⁴ Holarchischen Interdependenzen auf und zwischen unterschiedlichen Ebenen der Gesellschaft-Umwelt-Interaktion stehen Steuerungsansätze auf eben jenen Ebenen gegenüber, die im schlechtesten Fall ebenenübergreifend konterkarierend wirken können. Es kann also auch aus Sicht der Ökologischen Ökonomik keine eindimensionale Vorstellung von der Steuerungsmöglichkeit einer IÖ zu erwarten sein. Hinzu kommt die Aufgabe, in Zeit und Raum weitgehend eindeutige Maßnahmen zur Gewährleistung einer nachhaltigen Entwicklung ableiten zu können – noch ein multi-dimensionales Puzzle für die Zukunft.

6.3.1 Evolutionäre Imperative?

Die Ökonomie kann keinen Selbstzweck verfolgen, der an der Entfaltung des Lebens vorbei geht. Sie hat die Aufgabe, diese Lebensprozesse zu ermöglichen und langfristig zu gewährleisten.¹²¹⁵ Wachstum bekommt in dieser Diskussion eine ganz andere Bedeu-

¹²¹² Vgl. Paavola und Adger (2005), S. 353

¹²¹³ Vgl. DIW (Hrsg. 2004), S. 1

¹²¹⁴ Als Nachteil erweist sich, dass die vielen Untergruppen und aus rein ökonomischem Blickwinkel häufig recht exotisch anmutenden Zugänge der Ökologischen Ökonomik einer breiten, in sich geschlossenen Phalanx der Neoklassik gegenüber stehen.

¹²¹⁵ Vgl. Dasgupta, Levin und Lubchenco (2000), S. 340

tung und ebenso die ökonomischen, strukturellen und technologischen Restriktionen, die eine Umsetzung der IÖ aus ökonomischer Sicht unmöglich oder zumindest extrem schwierig erscheinen lassen. Diese scheinbare Unmöglichkeit ist eine Folge der beschränkten Weltsicht herkömmlicher Monetär-Ökonomik und soll mittels eines erweiterten Blickwinkels, wie ihn die Ökologische Ökonomik aufspannt, in seiner Widersprüchlichkeit aufgelöst werden. IÖ wird somit zu einem lebensweltlichen Umsetzungsinstrument, das den theoretischen Implikationen der Ökologischen Ökonomik gerecht werden kann. Dies schließt eine dynamische Wirtschaftsentwicklung fernab statischer Vorstellungen eines „Nullwachstums“ mit ein, deren Richtgrößen und Begrenzungen in den natürlichen Lebensgrundlagen zu finden sind.¹²¹⁶ Diese wiederum stellen in mehrfacher Hinsicht sowohl von der Quellen- als auch von der Senkenseite her die wesentliche Restriktion für ein absolutes quantitatives Wachstum der Wirtschaft bzw. den quantitativen Umfang der durch wirtschaftende Tätigkeiten induzierten Stoff- und Energieströme dar.¹²¹⁷ An diesen Restriktionen hat sich die IÖ auszurichten, wenn sich die ökologische und die damit einhergehende ökonomisch-soziale Krise nicht verschärfen soll, was wiederum auf das Prinzip der Nachhaltigkeit verweist. Genau wie bei der Betrachtung der tatsächlichen lebensweltlichen Phänomene (siehe Humanökologie) zeigen sich mehrdimensionale „holarchische“ Rückkopplungsschleifen, die äquivalent zur praktischen Problemstellung theoretisch mehrfach (unendlich?) zu durchlaufen sind. Kein Prozess ist ohne den anderen möglich, keine Theorie kann bei holistischem Ansatz auf die Rekursivität mit anderen relevanten Theorien verzichten.¹²¹⁸ Wissen wird immer bruchstückhaft sein und Überraschungen die Regel. Dies erfordert, genau wie die Fähigkeit zu evolutionärer Entwicklung, Vielfalt der Denkgebäude, Methoden und Werkzeuge bei der Umsetzung der IÖ.¹²¹⁹

¹²¹⁶ Vgl. Pestel (1988), S. 45

¹²¹⁷ Vgl. Gordon, Bertram und Graedel (2006), S. 1214

¹²¹⁸ Das Plädoyer für Transdisziplinarität wurde bereits ganz zu Anfang dieser Arbeit gehalten.

¹²¹⁹ Das heißt auch, dass hier das Kriegsbeil zwischen Neoklassik und Ökologischer Ökonomik wieder begraben werden soll, da beide Ansätze wertvolle Erkenntnisse und Werkzeuge liefern.

6.3.2 Mess-Werkzeuge

Da es kein eindeutiges monolithisches Messinstrument für die nachhaltige Umsetzung einer IÖ geben kann, ist eine spezifizierende Methodenvielfalt angebracht, um die Umsetzung evaluativ begleiten zu können. Hier wird eine Auswahl von Informationsinstrumenten vorgestellt, die die Entwicklung einer IÖ sowohl mit Wertabschätzungen als auch mit konkreten Informationen über die Wirkungen von Stoff- und Energieströmen unterstützen, da das größte Defizit bei der Umsetzung ressourcenschonender Praktiken in einem Mangel relevanter Informationen liegt.¹²²⁰

6.3.2.1 Die „Bewertung“ der Natur

Für ökonomische Ansätze bei der Gestaltung der Mensch-Natur-Interaktion bedarf es verschiedener Methoden zur Wertfindung, auf deren Basis richtungssichere Entscheidungen getroffen werden können. Dazu gehört auch eine Art von Kenntnis über den Wert der Natur bzw. der Bewertung von Naturveränderungen aus anthropozentrischer Sicht.¹²²¹ Diese können dann im Entscheidungsfall den Werten der konkurrierenden markt-ökonomischen Güter entgegengestellt und ökonomisch abgewogen werden.¹²²² Dieser Ansatz ist jedoch sehr unzulänglich, da die Übersetzung ökologischer Größen in einen ökonomischen Tauschwert erstens komplex ist und zweitens die Bereitschaft für diesen Tausch voraussetzt.¹²²³ Darüber hinaus kann mit menschlichen Bewertungsmethoden nur eingeordnet werden, was für menschliche Belange als relevant betrachtet wird. Die ökologischen Kosten können also monetär allenfalls geschätzt werden.¹²²⁴ Wertsetzung ist a priori anthropozentrisch, da sie Substituierbarkeit voraussetzt.¹²²⁵ Die Bewertung einer ökologisch wirksamen Maßnahme im Rahmen der Umsetzung einer IÖ hängt dabei sowohl von der angewendeten Bewertungs-Methode als auch von den Präferenzen der an der Bewertung beteiligten Akteure ab und ist insofern subjektiv.¹²²⁶ Was die Ökonomik dazu beitragen kann, ist die Objektivierung der Erhebung, um zeit-

¹²²⁰ Vgl. Hawken, Lovins und Lovins (2000), S. 399

¹²²¹ Vgl. Marggraf (1999), S. 189

¹²²² Vgl. Bartmann (1996), S. 244

¹²²³ Vgl. Getzner (1999), S. 223

¹²²⁴ Vgl. Faber und Petersen (2003), S. 3

¹²²⁵ Allein schon die Fragestellung nach dem Wert der Natur ist tendenziell neoklassisch orientiert.

¹²²⁶ Vgl. Weikard (1998), S.18

liche und räumliche Vergleichbarkeit sicher zu stellen.¹²²⁷ Es wird aber immer einen breiten Korridor unterschiedlicher Wertmaßstäbe für jeden einzelnen Fall geben. Für die angestrebten Optimierungsprozesse ist das insofern schwierig, als man das eigentliche, nämlich sozio-ökologische Optimum, wenn überhaupt, nur annähernd feststellen kann.¹²²⁸ Es müssen also Entscheidungen unter Unsicherheit getroffen werden. Ökologische Zusammenhänge stellen sich (mindestens) zweidimensional in ihrem potenziellen „Wert“ dar¹²²⁹:

- Die eigentlichen lebenserhaltenden Funktionen der Natur, die man aus Sicht der Ökologischen Ökonomik als *Primärwert* bezeichnen kann und¹²³⁰
- die daraus abzuleitenden Nutzungsmöglichkeiten für den Menschen in Form von Ressourcen, die man als *Sekundärwert* bezeichnen kann.¹²³¹

Beide Werte gilt es gleichermaßen zu erhalten, da sie unverzichtbarer Bestandteil des natürlichen Kapitals sind, das für eine nachhaltige Entwicklung die Grundlage bildet.¹²³² Der Primärwert ist der grundsätzlich unverzichtbare, der Sekundärwert der aus anthropozentrischer Sicht unverzichtbare. Die Managementregeln der Nachhaltigkeit versuchen sich daran zu orientieren.¹²³³ Es ist nicht widerlegt, dass diese beiden Nutzenkategorien weitestgehend komplementär sind, was sich mit dem Ansatz der starken Nachhaltigkeit deckt. Hohe Nutzung des Sekundärwertes führt zu einer Gefährdung des Primärwertes. Künstliches Kapital lässt sich nicht beliebig aus dem natürlichen formen,

¹²²⁷ Vgl. Endres und Holm-Müller (1998), S. 28

¹²²⁸ Neoklassische Ansätze suggerieren, ein exaktes Pareto-Optimum anstreben zu können, solange sie einen von vielen möglichen ökologischen Werten als eindeutig bestimmt annehmen, der den Präferenzen der beteiligten Akteure entgegen kommt – die Sumpfhühner werden dabei aber nicht gefragt, ob sie eine Deponie in ihrem Brutgebiet stört, womit der Eigenwert der Natur ins Spiel kommt, den die Ökologische Ökonomik einfordert, der jedoch auch nur subjektiv ermittelt werden kann, woraus sich wiederum das Vorsichtsprinzip ableiten lässt.

¹²²⁹ Vgl. Gren, Folke, Turner u.a. (1994), S. 55; Insbesondere Letztere lässt sich unterteilen in die Produktionsfunktion (Quellenseite der Materialbilanz), Aufnahmefunktion (Senkenseite der Materialbilanz) und Reproduktionsfunktion (ästhetischer Wert); Vgl. Rogall (2002), S. 48; Beese (2003), S. 33 unterscheidet in diesem Zusammenhang analog zwischen Naturfunktionen (primär) und Kulturfunktionen (sekundär).

¹²³⁰ Dies wären z. B. Konstanthaltung der Atmosphärenzusammensetzung, Selbstreinigungsprozesse des Bodens und des Wassers und andere in Verbindung mit der Gaia-Theorie stehende Eigenschaften; Vgl. Heydemann (2001), S. 9

¹²³¹ Man kann diese auch als Fremdleistungen für den Menschen bezeichnen, wobei sie nicht exklusiv für menschliche Zwecke erbracht werden, sondern eine anthropozentrische Interpretation darstellen – ökonomisch betrachtet sind es die natürlichen Ressourcen und die Senkenleistungen, die gleichzeitig Teil der Primärleistung sind.

¹²³² Dies entspringt keiner normativen Forderung, sondern der binären Wertsetzung des biologischen Lebens und hat somit eine naturwissenschaftliche Grundlage.

¹²³³ Vgl. Geisendorf, Gronemann, Hampicke u.a. (1998), S. 16 und Abschnitt 2.2.2

ohne einen Substanzverlust hinnehmen zu müssen. Substituierbarkeit ist zwar in begrenztem Umfang gegeben, doch jede Substitution natürlichen Kapitals durch künstliches Kapital schmälert dessen Potenzial zur Erfüllung der Primärfunktionen. Absolute Grenzen (so genannte Nachhaltigkeitslücken) für die damit verbundenen Restriktionen sind jedoch in den seltensten Fällen exakt festzulegen und stellen in erster Linie ökologische Größen dar.¹²³⁴ Somit fehlen wesentliche Anhaltspunkte für eine exakte ökonomische Wertsetzung. Außer Frage steht jedoch, dass der aktuelle Handlungsspielraum einer Gesellschaft vom physischen Bestand der kurz-, mittel- und langfristig zur Verfügung stehenden Ressourcen abhängt, was unabhängig von deren monetärer Wertsetzung gilt. Das Naturvermögen und dessen Erhaltung ist damit ein selbstverständlicher Bestandteil der Diskussion einer IÖ, ohne dass sein endgültiger monetärer Wert bekannt sein muss. Doch wenn im Sinn der ökonomischen Steuerung der Wert von Natur oder deren Kompartimenten berechnet werden soll, so ist eine genaue Vorstellung davon erforderlich, was bewertet werden soll.¹²³⁵ Diese Vorstellungskraft wird durch die Einführung der Thermodynamik zumindest geschärft, da sie erlaubt, die stofflich-energetischen Zusammenhänge ökonomischer Tätigkeit in ein gemeinsames Maß zu übersetzen: die Entropie. Die Entropiezunahme in der natürlichen Umwelt ist eine direkte Folge der externen Effekte, die für eine Steuerung ökonomischer Aktivitäten möglichst genau bekannt sein sollten.

Eigenwert der Natur

Auch die Diskussionen um den Eigenwert der Biodiversität ist politisch bereits weit fortgeschritten, ohne dass eine Möglichkeit in Aussicht steht, den stetigen Verlust an Artenreichtum auch nur annähernd ökonomisch ausdrücken zu können.¹²³⁶ Dennoch gibt es vielversprechende Ansätze in diese Richtung, die nachzuweisen versuchen, dass Biodiversität sich als ökonomisches Gut auffassen lässt, dem ein Wert beigemessen werden kann und dass genau daraus ökonomische Argumente für den Erhalt der natürlichen Vielfalt abgeleitet werden können.¹²³⁷ Welche Rolle dabei die Vielfalt im ökonomischen System spielt, das durch Integration und Globalisierung eher einem

¹²³⁴ Vgl. Baumgärtner, Becker, Faber u.a. (2004), S. 12

¹²³⁵ Vgl. Baumgärtner (2004), S. 106

¹²³⁶ Vgl. Simonis (2003), S. 93 und 95

¹²³⁷ Vgl. Baumgärtner (2002), S. 73f

Trend zur Vereinheitlichung unterliegt, ist dabei weitgehend ungeklärt. Der damit einhergehende Rückgang an Wahlmöglichkeiten bei ökonomischen Entscheidungen deutet jedoch darauf hin, dass Reaktionsfähigkeit und Resilienz auch im ökonomischen System ab einem bestimmten Vereinheitlichungsgrad signifikant abnehmen und damit das Nachhaltigkeitsprinzip verletzt wird.¹²³⁸ Das selbe gilt innerhalb des ökonomischen Systems für eine Abnahme der zur Verfügung stehenden natürlichen Ressourcen. Mit dem Rückgang der Vielfalt kommt es zu einer zunehmenden Entfernung vom möglichen Nutzenniveau. Unter Unsicherheit, die sich bei langen Zeithorizonten nicht vermeiden lässt, kommt der Wahlfreiheit zukünftiger Entscheidungen und der Vielfalt eine instrumentelle Bedeutung und somit ein eigener Wert zu. Die herkömmliche Wertsetzung bzw. Preisbildung für natürliche Ressourcen (als öffentliche Güter) wird erst bei kurzfristiger Knappheit eines Gutes verbrauchsmindernd wirksam, was in keiner Weise einer langfristigen (nachhaltigen) Entwicklungsperspektive gerecht wird. Diese muss also strategisch unabhängig von aktueller Wertsetzung begründbar sein, damit die adäquate Umsetzung einer IÖ gewährleistet ist. Die Dominanz der Preise im Anreizsystem sozio-ökologischer Systeme ist also vehement in Frage zu stellen, es sei denn man möchte warten, bis die Preise die „ökologische Wahrheit“ ausdrücken, was natürlich gemäß ökonomischer Theoriebildung zu einer Anpassung führen wird.¹²³⁹ Für das Szenario einer „sanften Landung“¹²⁴⁰ wird der dann noch verfügbare Zeitrahmen jedoch kaum ausreichen. Trotz allem mögen ökonomische Gesetzmäßigkeiten beim Umgang mit nicht-regenerativen Ressourcen aufschlussreiche Erkenntnisse für eine nachhaltige Verwendung im Rahmen einer IÖ liefern. Massarat knüpft drei umweltorientierte Ansätze zu einem Ricardo-, Marx-, Hotelling-Theorem zusammen, nach dem sich die Preisbildung bei erschöpfbaren Ressourcen neben den betriebswirtschaftlichen Kosten der Gewinnung insbesondere aus folgenden Komponenten ergibt:¹²⁴¹

¹²³⁸ Vgl. Baumgärtner und Schiller (2001a), S. 144

¹²³⁹ Vgl. Schmidt-Bleek (1997), S. 73, auch wenn hier nicht die Ansicht geteilt wird, dass sich vieles bei ökologisch wahren Preisen „fast von selbst“ regeln würde. Überhaupt ist die Dominanz monetärer Größen als einzige Vergleichsgröße innerhalb von Märkten insofern fragwürdig, als es als Lenkungsinstrument linear-mechanistischen Prinzipien folgt, die ökologischen Zusammenhängen nicht gerecht werden können.

¹²⁴⁰ Das wurde im Kapitel „Humanökologie“ kurz umrissen.

¹²⁴¹ Vgl. Massarat (1993), S. 70

- Die natürliche Produktivität (Ricardo)
- Die fehlende Reproduzierbarkeit mit Tendenzen zur Monopolbildung (Marx)
- Die kapitalorientierte Funktion aus Zins und Zeit (Hotelling)

In der Theorie ergibt sich daraus für erschöpfbare Ressourcen tendenziell ein ansteigendes Preisniveau in der Zeit. Dies ergibt sich jedoch auch ohne ökonomische Theorie aus der Logik der Erschöpfbarkeit selbst, wenn die Nachfrage nach einer Ressource in der Zeit konstant bleibt oder gar ansteigt. Das ändert darüber hinaus nichts an der Tatsache, dass profit- oder wohlfahrtsmaximierendes ökonomisches Kalkül zum vollständigen Abbau der Ressource führt. Auch darauf sucht die IÖ (noch) Antworten. Überlegungen der Ökologischen Ökonomik führen regelmäßig zu dem Ergebnis, dass nicht die Erhaltung der Umwelt in ihrer Qualität unbezahlbar wäre, sondern dass umgekehrt deren Zerstörung langfristig nicht bezahlbar ist.¹²⁴² Allerdings erfordert der ökologische Umbau grundlegende Strukturveränderungen industrieller Produktions- und Wirtschaftsweisen, die über die Frage des Wertes der Natur weit hinaus gehen. Insofern beinhaltet ein Umbau bzw. Kurswechsel Kostenerwägungen, die im Umfang einer großen Transition mit ungewissem Ausgang entsprechen und es ist fraglich, ob sich dies durchgehend über Win-win-Lösungen erreichen lässt.¹²⁴³ Allein über das Prinzip der Monetarisierung möglicher Folgen unseres Wirtschaftens wird sich dieser Prozess kaum erschöpfend darstellen lassen.¹²⁴⁴ Sie kann aber als quasi-objektive Grundlage für die Grenzen der externen ökonomischen Wirkungen industrieller Produktion dienen.

¹²⁴² Vgl. Schmidt-Bleek (1998), S. 44

¹²⁴³ Unter einer großen Transition soll hier ein epochaler historischer, gesellschaftlicher und technologischer Strukturwandel verstanden werden, der in seinen langfristigen Auswirkungen mit den Veränderungen zwischen Steinzeit, Frühkulturen und dem Wandel durch die Industrialisierung vergleichbar ist; Vgl. Raskin, Banuri, Gallopin u.a. (2002), S. 5; Der Begriff wird somit gleichbedeutend mit dem der „Industriellen Transformation“ verwendet; Vgl. Vellinga und Wieczorek (2001), S. 4; Wobei es durchaus empirisch nachweisbare positive Korrelationen zwischen ökologisch verträglichem Wirtschaften und ökonomischer Performance gibt, allerdings lässt sich die Kausalitätsrichtung nicht eindeutig feststellen; Vgl. King und Lenox (2001), S.113

¹²⁴⁴ Vgl. Bartmann (1996), S. 246

6.3.2.2 Der ökologische Fußabdruck

Flächeninanspruchnahme ist einer der wichtigsten Faktoren, die über das Gelingen einer IÖ entscheiden werden.¹²⁴⁵ Vor allem da der ökologische Fußabdruck der industrialisierten Länder schon jetzt deren eigene zur Verfügung stehende Fläche übersteigt und damit ein wichtiges Kriterium für Nachhaltigkeit verletzt wird.¹²⁴⁶ Um die Richtungssicherheit der Umsetzung einer IÖ zu bestimmen, eignet sich daher der Ansatz des ökologischen Fußabdrucks sehr gut. Die Berechenbarkeit eines Wertes für die Flächeninanspruchnahme eines Produktes, einer Dienstleistung, von Produktionsweisen und Lebensstilen basiert auf den Prämissen, dass¹²⁴⁷

- Informationen über den erforderlichen Ressourceneinsatz zur Verfügung stehen,
- der Umfang der entsprechenden Ströme auf die Bezugsgröße Flächeninanspruchnahme umgerechnet werden kann,
- man jeder Fläche eine biologische Produktivität zuweisen kann,
- man diese normierten Flächen bzw. deren Inanspruchnahme nutzerbezogen aufaddieren kann,
- der ökologische Nutzen in biologisch produktiver Fläche ausgedrückt werden kann,
- die Nachfrage nach produktiver Fläche das (regionale) Angebot an Flächenäquivalent übersteigen kann (ecological overshoot) und
- es andersherum möglich ist, die Effizienz einer Technologie in Flächenproduktivität zu übersetzen.

Soll eine Gesellschaftsform bzw. deren Produktionsweisen nachhaltig sein, so hat sich deren Fußabdruck (oder Trittspur) flächenmäßig unterhalb der tragfähigen Fläche zu bewegen, die wiederum in der Regel kleiner ist, als das insgesamt zur Verfügung stehende Territorium.¹²⁴⁸ Erhebungen auf dieser Basis ergeben eine allgemeine Überbeanspruchung der globalen Flächenkapazität insbesondere durch die Industrieländer seit spätestens 1980.¹²⁴⁹ Würden derzeit alle menschlichen Bewohner der Erde Wirtschaftsweisen und Lebensstile wie die industrialisierten Länder betreiben, wäre

¹²⁴⁵ Vgl. Binswanger (1989), S. 151

¹²⁴⁶ Vgl. Huber (1998), S. 10

¹²⁴⁷ Vgl. Wackernagel, Schulz, Deumling u.a. (2002), S. 9266

¹²⁴⁸ Vgl. Strassert (2001), S. 55

¹²⁴⁹ Vgl. WWF (Hrsg. 2006), S. 2

nach diesen Berechnungen die Tragekapazität der Erde um mindestens den Faktor 3 überschritten.¹²⁵⁰ Das heißt, industrialisierte Gesellschaften greifen mehr oder minder gewaltsam durch die gegebenen Machtstrukturen unterstützt auf Territorien zu, die außerhalb ihres eigenen Hoheitsgebietes liegen, um ihre Wirtschaftsweisen und Lebensstile zu verwirklichen. Strassert spricht hier von ökologischem Kolonialismus.¹²⁵¹ Da diese Lebensstile und Wirtschaftsweisen jedoch als für alle Menschen erstrebenswertes Modell propagiert werden und aus Sicht der nachhaltigen Entwicklung intragenerationale Gerechtigkeit gewährleisten werden soll, heißt das nichts anderes, als dass die IÖ vor der Aufgabe steht, als global anwendbares Modell die industriellen Produktionsweisen diesem Sachverhalt anzupassen und den Weg der Verminderung der ökologischen Fußabdrücke zu verfolgen. Der globale ökologische Fußabdruck darf langfristig die Summe der zur Verfügung stehenden Erdoberfläche nicht überschreiten, da nicht mehr als ein erdähnlicher Planet in akzeptabler Nähe bekannt ist und sich dies in absehbarer Zeit auch nicht ändern wird.¹²⁵²

Fußabdruck operational

Allerdings gibt es verschiedene Ansätze der Input-Output-Analyse und unterschiedliche Berechnungsgrundlagen, nach denen ein solcher Fußabdruck berechnet werden kann. Das macht einen Regionen übergreifenden Vergleich des Konzeptes oder die Anwendung auf verschiedenen Ebenen der Produktion und des Konsums schwierig.¹²⁵³ So lässt es sich auf die Herstellung und den Gebrauch eines Produktes (ähnlich einer LCA),¹²⁵⁴ auf eine Volkswirtschaft, auf industrielle Sektoren oder auf den Lebensstil einer Person anwenden, deren Fußabdrücke sich jeweils überschneiden oder Teilmengen eines anderen Fußabdrucks darstellen. Solch ein Instrument ist jedoch nur sinnvoll, wenn richtungsweisende Aussagen damit möglich sind. Für eine Vergleichbarkeit kommen also nur exakt durch Standardisierung abgestimmte Methoden in Frage oder z. B. die

¹²⁵⁰ Vgl. Wackernagel und Rees (1997), S. 31; Das WWF errechnet einen Wert von 1,5 – diese Abweichungen sind den komplexen Zusammenhängen zwischen Ressourcenverbrauch und Umweltwirkungen geschuldet, die längst nicht vollständig erforscht sind.

¹²⁵¹ Vgl. Strassert (2001), S. 56

¹²⁵² Die einzige denkbare Lösung in Form einer Backstop-Technologie wäre interplanetare Raumfahrt mit Zugriff auf extraterrestrische Territorien – dagegen spricht nicht nur der derzeitige Stand der Technik, sondern auch der damit verbundene Ressourcenaufwand, der nur einen geringen Nettoertrag solcherlei Anstrengungen erwarten ließe.

¹²⁵³ Vgl. Wiedmann, Minx, Barrett u.a. (2006), S. 32

¹²⁵⁴ Life Cycle Analysis/Assessment – diese wird näher in Abschnitt 7.6.1.3 dargestellt.

Zeitreihenanalyse einer festgelegten Vorgehensweise. Ist es also sinnvoll, den ökologischen Fußabdruck der industriellen Produktion zu berechnen und die Entwicklung einer IÖ an der Verbesserung dieses Indikators zu messen? Den Zweck des Bewusstmachens des Umfangs ökologischer Belastungen erfüllt dieses Konzept wohl am ehesten in seinen meso-ökonomischen Ausprägungen. Für die Feinanalyse der Wirkungen einer Industriellen Ökologie eignen sich eher am Nutzen orientierte Kategorien wie das MIPS-Konzept.

6.3.2.3 MIPS

MIPS ist ein Maß, das den Materialinput (MI) einschließlich des Materialeinsatzes für die Erzeugung der benötigten Energie dem Endnutzen eines Produktes (PS = per Service-Unit) gegenüber stellt. In ähnlicher Form ist dieser Begriff auch als „ökologischer Rucksack“ bekannt.¹²⁵⁵ Wobei die ökologischen Rucksäcke in manchen Studien als die Stoffe behandelt werden, die für die Produktion von Gütern zwar bewegt werden, aber nicht in die monetäre Wirtschaft einfließen.¹²⁵⁶ Ein weiteres verwendetes artverwandtes Maß stellen Indikatoren zur Abfallintensität von Produkten oder Produktionsstätten dar.¹²⁵⁷ Gerade im Rahmen der Umsetzung einer IÖ ist MIPS ein Maß, das über die Umfänge der Stoffströme, die in Verbindung mit der Leistungserbringung ausgelöst werden, zielgerichtete Informationen über den Erfolg von Maßnahmen liefert. Allerdings sagt es für sich genommen nichts über den Exergiegehalt der bewegten und abgelagerten Stoffe aus.¹²⁵⁸ Wird es noch verbunden mit qualitativen Aussagen über die bewegten Stoffmengen und dabei verursachten Emissionen und deren ökologische Wirkungen, ergibt sich die Ökobilanz des Produktes oder Prozesses. Aus der Tatsache, dass der Lebensstil in den industrialisierten Ländern mit zu hohen MIPS-Werten einhergeht, lässt sich auch die Forderung ableiten, die Wirtschaftsweisen und Lebensstile in den

¹²⁵⁵ Vgl. Schmidt-Bleek (1998), S. 82; *MI* ist die Summe aller eingesetzten und bewegten Rohmaterialien (einschließlich der zur Energieerzeugung verwendeten) bis zur Fertigstellung des Produktes oder Werkstoffes, der *ökologische Rucksack* ist die gleiche Größe abzüglich des Eigengewichts des Produktes; Da im Rahmen einer Industriellen Ökologie auch intelligentes Design von Produkten eine große Rolle spielen wird, ist für die produktbezogene Steuerung das MIPS-Konzept aussagekräftiger, da es das Eigengewicht des Produktes berücksichtigt.

¹²⁵⁶ Vgl. Adriaanse, Bringezu, Hammond u.a. (1998), S. 19

¹²⁵⁷ Vgl. NRTEE (Hrsg. 2001), S. 21; Vorgehensweise und angedachte Systemabgrenzungen sind quasi identisch.

¹²⁵⁸ Vgl. Ayres (2001), S. 3

industrialisierten Ländern müssten um einen Faktor zwischen 10 und 4 ressourceneffizienter werden.¹²⁵⁹ Nur auf Basis ökologisch annähernd richtiger Informationen können die entsprechenden Entscheidungen für die Gestaltung einer IÖ getroffen werden, die dazu beitragen sollen, die Effizienz zu steigern. Deshalb wird die Frage der Effizienz in der unten folgenden Diskussion der konzeptionellen Ausgestaltung der IÖ eine tragende Rolle spielen.

¹²⁵⁹ Vgl. von Weizsäcker, Lovins und Lovins (1995), S. 15 für Faktor 4 und The Factor 10 Club (Hrsg. 1999), S. 4 für Faktor 10; Die Diskussion um die notwendige Effizienzsteigerung der Industriegesellschaften entspringt unter anderem den Erkenntnissen der Ökologischen Ökonomik, die große Bandbreite der als notwendig erachteten Verbesserungen liegt an den unterschiedlichen zu Grunde liegenden Wohlstandsmodellen und deren zukünftiger Entwicklung. In ihrer grundlegenden Tendenz gleichen sich die beiden Ansätze Faktor 4 und 10 für die reichen Industrieländer und kommen beide zu der Forderung, dass Effizienz- und Dematerialisierungsstrategien unerlässlich sind. Global wird ein Faktor 2 als Minimum angenommen, d. h. für Entwicklungsländer bleibt dem Nachhaltigkeitsprinzip nach noch ein kleiner Wachstumsspielraum, während die Industrieländer in der Pflicht stehen, die Ressourceneffizienz wesentlich zu verbessern.

7. Industrielle Ökologie – ein Idealszenario

7.1 INDUSTRIELLE ÖKOLOGIE – VERSUCH EINER DEFINITION

Eine eindeutige Definition des Begriffes Industrial Ecology (Industrielle Ökologie) zu finden ist ähnlich schwierig wie beim Begriff der Nachhaltigen Entwicklung, wahrscheinlich ist es sogar vermessen, dies exakt oder in einem Satz zu versuchen, da IÖ als Forschungsfeld, Leitbild bzw. Philosophie oder als Entwicklungsmodell zur Operationalisierung nachhaltiger Entwicklung betrachtet werden kann.¹²⁶⁰ Es handelt sich damit um einen vielfach belegten Begriff, der auf unterschiedlichen Theorien und Methoden aufbaut, mit dem Ziel, Antworten auf die lebensweltlichen Fragen der industriellen Entwicklung zu finden.¹²⁶¹ Gemäß dem hier zu Grunde liegenden Ansatz können bei der IÖ zwei grundlegende Herangehensweisen unterschieden werden: einen deskriptiven und einen normativen Ansatz.¹²⁶² Der deskriptive Ansatz untersucht, wie industrielle Systeme funktionieren, wie sie gesteuert werden und welchen Metabolismus mit der Umwelt dies auslöst.¹²⁶³ Gleichzeitig wird betont, dass das industrielle Produktionssystem nicht isoliert betrachtet werden kann, sondern ein Teil des irdischen Gesamtsystems (Gaia) darstellt.¹²⁶⁴ Der normative Ansatz schließt direkt an den deskriptiven an und macht eine industrielle Entwicklungsstrategie im Sinne der Nachhaltigkeit ableitbar.¹²⁶⁵ Damit ist eine enge Verwandtschaft mit dem Konzept „Greening of Industry“ verbunden, das in der IÖ vollkommen aufgeht.¹²⁶⁶ Die Verbindung beider Ansätze soll durch die Ableitung von ökoindustriellen Strategien vorgenommen werden, die die „strategische Lücke“¹²⁶⁷ zwischen deskriptivem Zustand und präskriptivem Szenario schließen sollen. Als grundlegende Metapher fungiert der Ökosystem-Ansatz mit den Mustern

¹²⁶⁰ Vgl. Fleig (2000), S. 1 und Erkman (2001), S. 531

¹²⁶¹ Vgl. Brattebo (2001), S. 1 und Andrews (2000), S. 36

¹²⁶² Vgl. Boons und Roome (2000), S. 51 und Lifset und Graedel (2002), S. 12

¹²⁶³ Vgl. Sonnemans, Castells und Schuhmacher (2004), S. 10; Wobei der Begriff des industriellen Metabolismus eine längere Geschichte hat als der der Industriellen Ökologie, welcher jedoch bereits in seiner rein deskriptiven Auffassung wesentlich umfassender zu verstehen ist; Vgl. Erkman (2002), S. 27

¹²⁶⁴ Vgl. Su, Chen und Hwang (1999), S. 423

¹²⁶⁵ Vgl. Peck & Associates (o. J.), S. 1

¹²⁶⁶ Vgl. Januskevicius, Kildisas und Amundsen (2003), S. 3

¹²⁶⁷ Liesegang (1999), S. 183

adaptiver Entwicklung, Nahrungsnetzen, limitierenden Faktoren (Ressourcen) und den begrenzten Budgets von Energie und Materie.¹²⁶⁸ Der Ökosystem-Metapher folgend wird die Entwicklung des industriellen Systems von einem Typ I Ökosystem (junge Natur mit hohen materiellen Verlusten und geringer Effizienz) zu einem Typ III-Ökosystem (reife Natur im Klimax-Stadium mit hoher Effizienz und geschlossenen Stoffkreisläufen) angestrebt.¹²⁶⁹ Dies soll sowohl durch Einpassung in die Natur (Konsistenz) als auch durch Anpassung an die Natur (strukturelle Ähnlichkeiten) erreicht werden.¹²⁷⁰ Dass das industrielle Ökosystem derzeit einem Typ I Ökosystem mit hohen energetischen und stofflichen Verlusten entspricht, wird der strukturell-technologischen Ausgestaltung dieses Systems zugeschrieben, die auf dem Weg zu Typ III transformiert werden soll.¹²⁷¹ Dies umfasst unterschiedlich dimensionierte Ansätze:¹²⁷²

- technologische Innovationen
- kooperatives Umweltmanagement
- neue Produkt- und Produktnutzungskonzepte
- neue Energiekonzepte
- Recycling und Wiederverwendung
- innovatives Produktdesign
- Einsatz neuer (weniger umweltschädlicher) Rohstoffe

Grundsätzlich finden alle bislang angedachten Strategien ökologisch verträglicher Produktionsweisen hierbei Anwendung:¹²⁷³

- Betriebliche Einzelmaßnahmen und End-of-pipe-Technologien
- Ökologische Modernisierung der Produktion mit CP und P2
- Restrukturierung bzw. Transformation der Produktionsstrukturen

Hierbei soll IÖ insbesondere als Forschungsfeld zur Umsetzung nachhaltiger Entwicklung betrachtet werden.¹²⁷⁴ Es wird davon ausgegangen, dass das Forschungsfeld und

¹²⁶⁸ Vgl. Wernick und Ausubel (1997), S. 7

¹²⁶⁹ Vgl. Korhonen (2005), S. 40; Die raumzeitliche Komplexität nimmt auf diesem Entwicklungsweg stetig zu und damit die Erklär- und Analysierbarkeit des Systems stetig ab; Vgl. Graedel (1994), S. 24

¹²⁷⁰ Vgl. Wallner (1998), S. 92

¹²⁷¹ Vgl. Erkman (2002a), S. 31

¹²⁷² Vgl. Thomas, Theis, Lifset u.a. (2003), S. 2

¹²⁷³ Vgl. Nill und Petschow (2003), S. 224; Mit CP = Cleaner Production und P2 = Pollution Prevention

¹²⁷⁴ Vgl. Erkman (2003), S. 338

das Praxisfeld der IÖ aus transdisziplinärer Sicht nicht strikt getrennt voneinander betrachtet werden können oder zumindest rückgekoppelt agieren.¹²⁷⁵ Eine direkte Verbindung zum Leitbild der Nachhaltigkeit ist unter anderem durch die Betonung des Konsistenz-Ansatzes gegeben, der wie die IÖ die Anpassung industrieller Stoffströme an den natürlichen Metabolismus anstrebt, indem dessen erfolgreiche Muster (z. B. Nahrungsnetze) nachgeahmt werden.¹²⁷⁶ Damit würde sich IÖ besonders als produktionsseitige Umsetzung nachhaltiger Entwicklung auszeichnen.¹²⁷⁷ Das dahinter stehende und der Natur entlehnte „Ideal“ besteht darin, dass alle Produktionsprozesse so in einem Netz verwoben sind, dass die Kuppelprodukte jedes Prozesses als Rohstoffe für andere Prozesse dienen und das System alleine durch regenerative Energie angetrieben wird.¹²⁷⁸ Alle der Litho- und Ökosphäre entnommenen Stoffe zirkulieren entweder im Produktions- und Konsumsystem (als „technische Nährstoffe“) oder werden in konsistenter Form an die Natur zurückgegeben (als „natürliche Nährstoffe“).¹²⁷⁹ Damit wird das Mensch-Natur-Verhältnis von zwei Seiten systematisch angegangen: Zum einen wird der Mensch als Teil der Ökosysteme aufgefasst, und die Natur wird im ökonomischen Kalkül nicht (mehr) ignoriert.¹²⁸⁰ Damit ist ein idealisiertes Bild möglicher Zukünfte gezeichnet, in dem der herkömmliche Abfallbegriff sich auflöst in einer ständigen Suche nach Verwertungsmöglichkeiten aller industriellen Kuppelprodukte und abgenutzter Produkte.¹²⁸¹ IÖ ist damit auch ein vielgestaltiger sozio-ökonomischer Lern- und Gestaltungsprozess, der sich nicht auf eine Kurzformel reduzieren lässt, weil damit verschiedene Standpunkte und Sichtweisen miteinander verbunden werden sollen.¹²⁸² Als Grundsatz steht die Prämisse, dass das industrielle System als ein Teilsystem der Ökosphäre aufgefasst wird.¹²⁸³ Damit kommen Implikationen ins Spiel, die IÖ zu einem Paradigmenwechsel hinsichtlich des menschlichen Wirtschaftens werden lassen.

¹²⁷⁵ Vgl. Boons und Roome (2000), S. 53

¹²⁷⁶ Vgl. Huber (1998), S. 21 und Tibbs (1993), S. 6

¹²⁷⁷ Vgl. O'Rourke, Conelly und Koshland (1996), S. 91

¹²⁷⁸ Vgl. Allen (2003), S. 1

¹²⁷⁹ Vgl. Lifset (2001), S. 1

¹²⁸⁰ Vgl. Isenmann (2002), S. 28

¹²⁸¹ Vgl. Korhonen, Malmorg, Strachan u.a. (2004), S. 290

¹²⁸² Vgl. Harris und Pritchard (2004), S. 90

¹²⁸³ Vgl. Erkman, Francis und Ramaswamy (2001), S. 2

Da der Versuch, ein konkretes Szenario für die ökoindustrielle Zukunft aufzustellen auf Grund der Komplexität der Verhältnisse wenig Erfolg versprechend erscheint, soll für die normative Ausgestaltung ein flexibles Idealszenario entwickelt werden, das sich an grundlegenden Strukturen und Mustern der als erforderlich erachteten Entwicklungsrichtung orientiert.¹²⁸⁴ Diese wird Anleihen aus der Ökologie in Form von Analogien und Metaphern nehmen und so die (theoretische) Integration des industriellen Metabolismus in den natürlichen gewährleisten.¹²⁸⁵ Damit ist die Einnahme unterschiedlicher Blickwinkel verbunden:¹²⁸⁶

- Systemische Sichtweise der Mensch-Natur-Interaktion
- Lineare Zustandsbeschreibungen weichen zirkulären
- Transdisziplinäre Herangehensweise
- Zukunftsorientierung (langfristig)
- Anpassung der industriellen Systemarchitektur an die natürliche

Der Versuch, die daraus abgeleiteten Entwicklungsziele einer IÖ in die Praxis umzusetzen, wird gemeinhin als Eco-Industrial Development (EID) bezeichnet.¹²⁸⁷ Letzterer Ansatz steht in diesem Kapitel im Vordergrund und erfüllt alle Nachhaltigkeitskriterien durch seine Zielsetzung, die Reduzierung ökologischer Wirkungen des Wirtschaftens über die Steuerung sozialer Netzwerke zwischen Firmen und deren Stakeholdern umzusetzen.¹²⁸⁸ Dies stellt bei der Operationalisierung alle beteiligten Akteure vor große Herausforderungen, da lineare Lösungen für solch komplexe Aufgaben zumeist nicht im nachhaltigen Sinn zielführend sind.¹²⁸⁹ Die gesuchten Lösungen sind zwar im Endeffekt technischer Art, aber sie entstehen aus dem kreativen Umfeld sozialer Verflechtungen im Netzwerk aus Firmen, Kommunen, Stakeholdern und Umwelt. Die erforderlichen Innovationen entstehen aus dieser Interaktion in den Köpfen der Beteiligten und sollen dann umgesetzt werden. Sie sind mit einer Vielzahl von Einzelentscheidungen an den

¹²⁸⁴ Vgl. Huber (1999), S. 3; Die Bezeichnung Idealszenario generiert sich zum einen aus der möglichen Vielfalt zukünftiger Entwicklungsszenarien und zum anderen aus der als Ideal angenommenen „erwünschten“ Zukunft, die das Szenario der IÖ mit seinen raumzeitübergreifenden Konzepten darstellt; Vgl. Korhonen (2005), S. 41

¹²⁸⁵ Vgl. Fleig (2000), S. 2

¹²⁸⁶ Vgl. Garner und Keoleian (1995), S. 3 und Wilderer (2003), S. 180ff

¹²⁸⁷ Vgl. Scharb (2001), S. 3

¹²⁸⁸ Vgl. Lowe, Moran und Holmes (1996), S. xv

¹²⁸⁹ Vgl. Proctor (2003), S. 4

Knotenpunkten des Netzwerkes verbunden und haben somit eine starke soziale Verhaltenskomponente.

Metapher „Natur als Vorbild“

Im Vordergrund stehen letztendlich jedoch die ökologischen Wirkungen. Als grundlegende These liegt die Metapher der natürlichen Ökosysteme zu Grunde, deren struktureller und funktionaler Aufbau als Vorbild für industrielle Ökosysteme dienen soll.¹²⁹⁰ Besonders vier ökologische Grundprinzipien stehen dabei als Metaphern im Vordergrund: Kreisläufe, Diversität, regionale Orientierung und beständiger Wandel.¹²⁹¹ Darin ist eine konsequente Weiterentwicklung der betrieblichen Umweltschutzansätze wie „Cleaner Production“ (CP) oder „Pollution Prevention“ (P2) zu sehen.¹²⁹² Das Konzept der Industriellen Ökologie liefert den Rahmen, in dem die bisherigen Ansätze von Umweltmanagement mit neuen Ansätzen zu einem ganzheitlichen Konzept verflochten werden.¹²⁹³ Die Verbindung Industrieller Ökologie mit dem Prinzip der Nachhaltigkeit lässt sich dadurch erreichen, dass man die Strategien und Konzepte der IÖ in einem 5-stufigen Modell der strategischen nachhaltigen Entwicklung verortet. IÖ wird so zu einem Umsetzungskonzept nachhaltiger Entwicklung.¹²⁹⁴ Die Zuordnung lässt sich wie folgt vornehmen:¹²⁹⁵

Ebene	Inhalte	Entsprechung in der IÖ
I. Prinzipien der NH	ganzheitliche Versöhnung der NH-Dimensionen Ökonomie, Ökologie und Soziales	IÖ-Metapher der Funktionalität natürlicher Ökosysteme, nach der sich das Industrielle System zu entwickeln hat
II. NH-Ziele	NH-Regeln sind erfüllt	das industrielle Ökosystem setzt die NH-Regeln um durch geschlossene Kreisläufe, ökologische

¹²⁹⁰ Vgl. Ehrenfeld (2004), S. 827

¹²⁹¹ Vgl. Korhonen (2001), S. 254

¹²⁹² Vgl. Gibbs, Deutz und Proctor (2002), S. 2; Die Begriffe CP und P2 werden weiter unten nochmals ausführlicher aufgegriffen – es handelt sich um betriebliche Ansätze, bei denen Produktionsmethoden darauf überprüft werden, welche Abfälle bereits im Produktionsprozess durch Änderungen im Prozess vermieden oder vermindert werden können.

¹²⁹³ Vgl. Deppe und Schlarb (o. J.), S. 7

¹²⁹⁴ Vgl. Spiegelman (2000), S. 2

¹²⁹⁵ Vgl. Korhonen (2004a), S. 809

		und ökonomische Effizienz und Konsistenz
III. Planung der NH-Prozesse	Prinzipien des „Backcasting“ ¹²⁹⁶ und der flexiblen zukunftsfähigen Investitionen	Verwendung der Metaphern aus der Natur (Kreisläufe, Vielfalt, Interdependenz, Netzwerke) führt zu einem positiven Zukunftsszenario
IV. NH-Projekte	Durchführung von Projekten, die die Stufen I-III erfüllen	Umsetzung über Elemente der IÖ wie EIP, EIN, DfE, neue Werkstoffe, CP, P2 ¹²⁹⁷
V. NH-Evaluation	Instrumente zum Management und zur Überprüfung der Zielerreichung der NH-Projekte	Instrumente zur Steuerung und Messung von IÖ-Aktivitäten: EIP-Management, Recyclingbörsen, SSM, LCA, MFA, MIPS

Tabelle 2: Nachhaltigkeit und IÖ; nach Korhonen (2004a), S. 817

IÖ ist damit mehr als nur die Vermeidung von Abfall oder dessen Recycling – es geht auch (oder vielmehr) um die optimale Verwendung aller Rohstoffe und Energieformen im konzeptionellen Rahmen der Wissenschaft Ökologie, die die Vorgaben des natürlichen Metabolismus erklärt.¹²⁹⁸ Es handelt sich um einen holistischen Ansatz, der die gesamten systemischen Zusammenhänge industrieller Produktion und des Konsums der Produkte als Ausdruck der wirtschaftenden Mensch-Natur-Interaktion auffasst.¹²⁹⁹ Hierbei wird zusätzlich zur herkömmlichen betrieblichen Perspektive des Umweltmanagements eine ganzheitliche Perspektive eingenommen, die darauf abzielt, das gesamte industrielle System hinsichtlich einer Minimierung der ökologischen Wirkungen zu optimieren und nicht nur den Metabolismus eines einzelnen Unternehmens.¹³⁰⁰ Es wer-

¹²⁹⁶ Backcasting geht von erwünschten idealen Zukunftsszenarien aus und versucht diese in rückwärtigen iterativen Schritten bis zur gegebenen Realität zu entwickeln – das hier vorgestellte Ideal-Szenario entspricht dem ersten Schritt dieser Vorgehensweise; es geht vor allem um eine strategische Positionierung von Zielvorstellungen von der ausgehend Maßnahmen geplant werden können, unter dem Bewusstsein, dass die Zukunft nicht vorhersehbar ist; Vgl. Park (2002), S. 3

¹²⁹⁷ Alle Elemente werden weiter unten ausführlich behandelt.

¹²⁹⁸ Vgl. Erkman und Ramaswamy (2003), S. VII

¹²⁹⁹ Vgl. Backhouse, Clegg und Staikos (2004), S. 273

¹³⁰⁰ Vgl. Deutz, Gibbs und Proctor (2003), S. 3

den wie in der Ökologie auf unterschiedlichen Größenebenen Überlegungen zu deren Struktur und Funktion angestellt und diese in den Gesamtkontext gestellt. Bei der Übertragung natürlicher Gesetzmäßigkeiten auf industrielle Systeme stehen insbesondere die folgenden phänomenologischen Attribute im Vordergrund:¹³⁰¹

- Energieintensitäten (Effizienz)
- Produktion und Reproduktion (Recycling)
- Diversifikation (historisch zunehmende Nutzung von Ressourcen)
- Evolutionäre Entwicklung (Geschichtlichkeit der Transformation)
- Homöostase (gleichgewichtiger Metabolismus mit Selbststabilisierung)

Hierbei gibt es jedoch auch Übertragungsprobleme der Theorie in die Praxis, da IÖ völlig neue Denkweisen einfordert und über die schrittweise Verbesserung bestehender Methoden und Prozesse hinausgeht.¹³⁰² Der Abgleich des Idealszenarios mit der vorgefundenen Realität erfordert ein Vorstellungsvermögen für komplexe Systeme, um zielführende Aktivitäten im Rahmen der Transformation ausgehend vom Status Quo richtungssicher festzulegen. Angelehnt an die systemische Betrachtung der natürlichen Kreisläufe liegt das Grundprinzip der deskriptiven Herangehensweise im Verständnis der systemischen Beziehung aller industriellen Stoff- und Energieströme. Industrielle Produktionssysteme werden als industrielle Ökosysteme betrachtet, die wie die natürlichen Ökosysteme auf den Metabolismus von Materie und Energie angewiesen sind, der aus Quellen gespeist wird, die Teil des Metasystems sind.¹³⁰³ Die zu Grunde liegenden Zusammenhänge und Mechanismen wurden im Kapitel Humanökologie analysiert. Als Maßstab werden Prinzipien der Ökologie angelegt. Verbindet man diese Prinzipien mit dem normativen Ansatz der nachhaltigen Entwicklung, erweitert sich das Panorama von IÖ: Das industrielle System muss in seinen Ressourcenströmen der es umgebenden Umwelt (die es zum Teil auch vereinnahmt) so angepasst werden, dass beide „Systeme“ langfristig störungsfrei koexistieren können. Dabei sollen von der Natur „abgeschaut“ Prinzipien als „Vorbild“ für die Gestaltung der industriellen Produktionsprozesse dienen.¹³⁰⁴ Die Folgerung daraus ist, alles verfügbare Wissen der Ökologie über natürliche

¹³⁰¹ Vgl. Baldwin, Murray, Winder u.a. (2004), S. 843

¹³⁰² Vgl. Allenby (2004), S. 833

¹³⁰³ Vgl. Manahan (1999), S. 20

¹³⁰⁴ Vgl. Johnson, Steward, Tierney u.a. (2002), S. 215; Die Grenzen und Möglichkeiten dieser Vorgehensweise wurden ausführlich in Kapitel 3 erörtert.

Ressourcenströme auf das industrielle System zu übertragen und dessen Gesetzmäßigkeiten, die aus der Ökonomie und der Technologie als deskriptiv bekannt angenommen werden, an die deskriptiven Gesetzmäßigkeiten der „Natur-Ökologie“ anzupassen und daraus präskriptive Vorgaben für die Ausgestaltung des industriellen Systems abzuleiten.¹³⁰⁵ Da diese Übertragung kaum vollkommen exakt vorgenommen werden kann, geht es hierbei insbesondere um die Generierung von Orientierungswissen. Hierfür ist aus operativer Sicht die Kenntnis der bisherigen Entwicklung ökologisch orientierter industrieller Produktion vonnöten. Ein neues Konzept heißt nicht, dass dafür auf bereits bewährtes Wissen verzichtet werden soll, vielmehr geht es darum, die Methodenbausteine, die in der historischen Entwicklung weniger umweltbelastender Produktionsmethoden zum Einsatz kamen, in die weiter gefasste Konzeption von IÖ zu integrieren, sofern dies erfolgsversprechend ist. Man kann IÖ als das „ganzheitliche“ Amalgam aus den bislang zur Anwendung gekommenen und neuen Ansätzen zur Verminderung der Umweltbelastung durch industrielle Produktionsweisen bezeichnen. Ebenso wie in der naturwissenschaftlichen Ökologie, die nicht in ihrer Gesamtheit beschreibbar ist, ohne verschiedene Perspektiven einzunehmen, insbesondere, wenn man einen Ansatz wählt, der versucht, die Vorgänge und Wechselwirkungen der natürlichen Stoff- und Energiekreisläufe als Zusammenspiel vieler Ökosysteme auf unterschiedlichen Daseinsebenen zu beschreiben,¹³⁰⁶ kann auch Industrielle Ökologie als Erklärungsansatz der anthropogen erzeugten Stoff- und Energieströme auf Seiten der Produktion (was auch nur ein Ausschnitt aus der Gesamtheit ist) am ehesten über einen systemischen Ansatz beschrieben werden, der das Spezialistenwissen aus verschiedenen Ebenen und Perspektiven der Betrachtung zu einem Gesamtbild zusammen zu fassen versucht.¹³⁰⁷ Ein natürliches Ökosystem wird dabei z. B. durch ein Netzwerk von interagierenden Firmen simuliert und Grundregeln für die Gestaltung und Steuerung des

¹³⁰⁵ Erarbeitet wurden diese Grundlagen in Kapitel 4; Die sachlogische Begründbarkeit dieses Ansatzes wird zwar von verschiedenen Wissenschaftstheoretikern angezweifelt, vgl. u.a. Grübler (2004), S. 186ff, doch scheint dieses Vorgehen aus sozialwissenschaftlicher Sicht durchaus angebracht, wenn es um die Darstellung möglicher Lösungswege lebensweltlicher Probleme geht, was im Fall der Nachhaltigkeitsforschung per se gegeben ist. Die Gefahr, dabei einem naturalistischen Fehlschluss aufzusitzen, ist dabei als lebensweltlich von geringerer Relevanz anzusehen als die Gefahr, die vom menschengemachten Experiment mit der Ökosphäre potenziell ausgeht. Ausführlich bespricht Isenmann (2003) diese Fragestellung und kommt zu einem ähnlichen Ergebnis.

¹³⁰⁶ Vgl. Bick, H.(1998), S. 23f

¹³⁰⁷ Vgl. Mumford, L. (1986), S. 30

Netzwerkes abgeleitet.¹³⁰⁸ Beteiligte und interagierende Ebenen sind hierbei Technologie und Stoffströme über die materielle Infrastruktur, ökonomische Verflechtungen und Management sowie sozio-ökologische Beziehungen zur Umwelt.¹³⁰⁹ Unterstellt man bei der Beobachtung natürlich-ökologischer Vorgänge einen systemorientierten Ansatz, so treten für bestimmte Sachverhalte regelmäßig wiederkehrende Muster auf, die für bestimmte raum-zeitliche Skalen typisch sind. Dabei können die Muster auf zeitlicher oder räumlicher Verteilung basieren oder auf Beziehungen zwischen Systemelementen beruhen. Werden diese (holarchischen) Muster modelliert und in abbildbare Strukturen gefasst,¹³¹⁰ so muss sich aus der normativen Forderung an eine IÖ das Prinzip der „Strukturähnlichkeit“ zum einen auf vergleichbarer Ebene, zum anderen bei Zugrundelegung unterschiedlicher (Beobachtungs-) Skalen ergeben. Dies wird sich in den Umsetzungsstrategien der IÖ widerspiegeln. Alle hierfür zur Verfügung stehenden wissenschaftlichen Ansätze gilt es zu harmonisieren und zu einem funktionellen Ganzen zu integrieren. Zur Umsetzung dieser Zielvorstellungen bieten sich unterschiedliche (modellhafte) Betrachtungsebenen an, die man in 5 Hauptströmungen unterteilen kann:¹³¹¹

- Die Produktlebenszyklus-Perspektive
- Die Material- bzw. Stofflebenszyklus-Perspektive
- Die geographische bzw. räumliche Perspektive
- Die sektorale Perspektive
- Die „allumfassende“ Perspektive, die die Grenzziehungen der oberen Perspektiven integriert

All diese Sichtweisen bringen unterschiedliche Implikationen mit sich, wenn mit ihrer Hilfe eine IÖ modelliert und operationale Handlungsstrategien abgeleitet werden sollen. Jede dieser Perspektiven kann einen Beitrag zur Umsetzung der IÖ liefern. Letztendlich erfasst die „allumfassende“ Perspektive alle vorherigen Standpunkte, indem sie sie zu einem Ganzen integriert und kommt damit der anfangs begründeten Forderung nach

¹³⁰⁸ Vgl. Peck & Associates (o. J.), S. 2

¹³⁰⁹ Vgl. Côté und Cohen-Rosenthal (1998), S. 185

¹³¹⁰ Vgl. Zeibig (2004), S. 45

¹³¹¹ Vgl. Baldwin, Ridgway, Winder u.a. (2004), S.45; Trotz der Forderung nach holistischer Perspektive kann nicht auf eine Vereinfachung verzichtet werden, um das Ganze darstellbar gestalten zu können.

holistischer Herangehensweise am nächsten.¹³¹² Es geht um die Frage, wie der industrielle Metabolismus ausgestaltet sein sollte, um den normativen Grundregeln der (ökologischen) Nachhaltigkeit gerecht zu werden. Aus betriebswirtschaftlicher Perspektive ist in stoffstromorientierter Sicht die langfristige Versorgung mit Ressourcen ein wichtiger Erfolgsfaktor der Nachhaltigkeit.¹³¹³ Dies erfordert sowohl die Optimierung des Material- bzw. Stoffeinsatzes, als auch der Produkte und des Einsatzes von Energie.¹³¹⁴ Dabei gibt es potenziell eine Vielzahl von Ansatzpunkten und Steuerungsansätzen. Die Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und Umwelt“ des Deutschen Bundestages spricht hierbei zum Beispiel von „Stoffpolitik“ und umreißt damit die staatlichen Eingriffsmöglichkeiten bei der „ökologisch nachhaltigen“ Gestaltung der industriellen Stoffströme.¹³¹⁵ Andere Steuerungsansätze finden sich in marktwirtschaftlichen Lösungen und in der Bildung von Netzwerken. In diesem Spannungsfeld unterschiedlicher Steuerungsvorstellungen und Zielstellungen gilt es ein Konzept zu entwickeln, das all diesen Rahmenbedingungen und Herangehensweisen gerecht wird und letztendlich zu „nachhaltigen“ Produktionsweisen führt, die die Management-Regeln ökologischer Nachhaltigkeit erfüllen. Dies versucht der Ansatz der IÖ. Dabei lassen sich folgende Schlüsselemente ableiten:¹³¹⁶

- IÖ ist eine systemische, umfassende und integrierte Sichtweise auf alle Komponenten des industriellen Systems und dessen Beziehungen zur Ökosphäre
- IÖ betont die geobiophysikalische Grundlage industrieller Aktivitäten, insbesondere die komplexen Muster der Material- und Energieströme innerhalb und außerhalb des industriellen Systems; dies im Gegensatz zu herkömmlichen Ansätzen, die die Wirtschaft unter abstrakten monetären oder energetischen Gesichtspunkten abbilden
- IÖ berücksichtigt die technologische Dynamik des industriellen Systems, insbesondere die langfristige Evolution von Schlüsseltechnologien als einen entscheidenden Schlüssel (aber nicht den einzigen) beim Kurswechsel von der

¹³¹² Holistisch hier jedoch auch nur in eingeschränktem Sinn, da die materielle Seite der Nachhaltigen Entwicklung im Vordergrund steht – man könnte dies als materialistischen Holismus bezeichnen, auch wenn diese Benennung gewisse Widersprüche in sich bergen mag. Auch physiokratische Gedankengänge aus der Frühzeit der Ökonomik finden hier wieder Einzug.

¹³¹³ Vgl. Müller-Christ (2001), S. 163

¹³¹⁴ Vgl. Baldwin, Ridgway, Winder u.a. (2004), S. 41

¹³¹⁵ Vgl. Enquete-Kommission (1994), S. 33f

¹³¹⁶ Vgl. Erkman und Ramaswamy (2003), S. 3

aktuellen nicht nachhaltigen industriellen Produktion zu einem entwicklungsfähigen industriellen Ökosystem

Dies wiederum soll über verschiedene Wege der Nachhaltigkeitsinnovationen erreicht werden, die sich folgendermaßen zusammen fassen lassen:¹³¹⁷

- Radikale Erhöhung der Ressourcenproduktivität (Innovationen in Technik, Verhalten und Institutionen)
- Biomimikry (Wirtschaften nach dem „Vorbild der Natur“ in Kreisläufen bezogen auf Prozesse und Produkte)
- Von der Produkt- zur Dienstleistungsorientierung (Strukturwandel der Wirtschaft)
- Bewusste Investition in „natürliches Kapital“ („neue“ Wirtschaftsethik)
- Umsetzung einer Kreislaufwirtschaft

Kreislaufwirtschaft kann sich dabei grundsätzlich auf zwei vollkommen unterschiedliche Dimensionen beziehen:

1. Produktionsebene – wobei das Idealszenario die sogenannten Eco-Industrial Parks (EIPs) sind
2. Produktebene – wobei das Idealszenario für ein (oder alle) Produkt(e) darin besteht, dass alle darin verwendeten Komponenten wieder Eingang in den Wirtschaftskreislauf finden

Beide Dimensionen versprechen bei Verwirklichung eine Annäherung an nachhaltige Entwicklung, jede für sich alleine wird aber nicht hinreichend sein. Bei einer IÖ wird es sich idealerweise um die gleichzeitige Umsetzung beider Strategien handeln.¹³¹⁸ In einer Übersicht lassen sich die Ansätze folgendermaßen kategorisieren:

Ziel	Industrielle Ökologie			
	produktorientiert		prozessorientiert	
Strukturierung	inhaltlich	materiell	funktional	räumlich
Lebensweltliche Ausprägung	Dienstleistungsmodelle Leasing Miete	neue Produkte neue Werkstoffe DfE	Produzieren Konsumieren Reduzieren	P2 IS EIP EIN

¹³¹⁷ Vgl. Hawken, Lovins und Lovins (2000), S. 29f

¹³¹⁸ Vgl. Socolow (1994), S. 3

	Sharing			KLW
--	---------	--	--	-----

Tabelle 3: Kategorisierung von IÖ

Konsequente Umsetzung

Mumford steht nicht alleine mit seiner Einschätzung, dass die Fähigkeit, die unerschöpfliche Kreativität der Natur aufzunehmen und zu gebrauchen, eine der Grundbedingungen für die menschliche Entwicklung ist.¹³¹⁹ Daraus leitet sich die berechnete Forderung ab, dies auch mit letzter Konsequenz zu tun und nicht auf halbem Weg stehen zu bleiben, wenn man einen Begriff wie IÖ prägt und normative Handlungsanweisungen für die Weiterentwicklung des industriellen Systems abzuleiten bestrebt ist. Zusammenfassend ergeben sich folgende fünf Grundprinzipien:¹³²⁰

- IÖ ist ein systemischer Ansatz
- IÖ betrachtet die Lebenszyklen aller Produkte
- IÖ basiert auf einem transdisziplinären Ansatz
- IÖ zielt auf die Optimierung des Einsatzes von Ressourcen, Energie und Kapital
- IÖ stellt die Interaktion zwischen Mensch und Natur in den Vordergrund

Manahan fasst die operativ-normativen Aspekte wie folgt zusammen:¹³²¹

“Industrial Ecology is an approach based upon system engineering and ecological principles that integrates the production and consumption aspects of the design, production, use and termination (decommissioning) of products and services in a manner that minimizes environmental impact while optimizing utilization of resources, energy and capital.”

Das Feld der IÖ ist zwar schon weitgehend etabliert, jedoch noch nicht ganz institutionalisiert, da einige der folgenden Grundbedingungen noch nicht vollkommen erfüllt sind:¹³²²

- Ein gemeinsames normiertes System von Prämissen und Theorien
- Verallgemeinerbare Strategien und Normen für die Umsetzung einzelner IÖ-Projekte in der Praxis und deren breite Anwendung

¹³¹⁹ Vgl. Mumford (1986), S. 53

¹³²⁰ Vgl. Roine (2000), S. 5

¹³²¹ Manahan (1999), S. 23

¹³²² Vgl. Ehrenfeld (2004), S. 828

- Gemeinsame normierte Instrumente und Techniken zur Umsetzung
- Anerkannte und legitimierte Autoritäten

Gerade daraus leitet sich jedoch der noch ausstehende Forschungsbedarf ab. Als Essenz bleibt festzuhalten, dass mit der IÖ ein Ansatz vorliegt, wie das industrielle Produktionssystem idealerweise zu gestalten ist, damit es nachhaltig mit natürlichen Ökosystemen harmoniert.¹³²³ Alle damit verbundenen Strategien erfordern ein institutionenübergreifendes Umweltmanagement.¹³²⁴ Eine stoffflussorientierte räumliche Gliederung der Ansätze zeigt die folgende *Abbildung 12*:

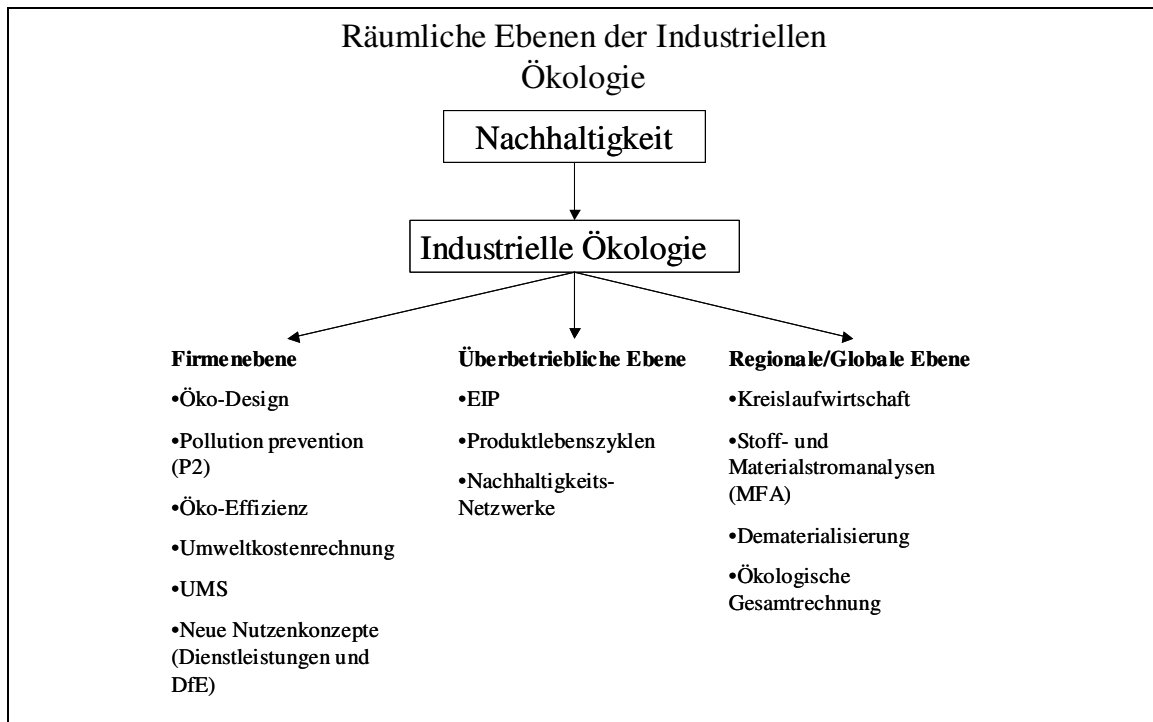


Abbildung 12: räumliche Ebenen der Industriellen Ökologie; nach Harris und Pritchard (2004), S. 91

Industrielle Ökologie – geht das überhaupt?

Industrielle Ökologie – welch unwahrscheinliche semantische Kombination.¹³²⁵ Was wird mit diesem scheinbaren Oxymoron bezweckt?¹³²⁶ Handelt es sich um eine „reine“ deskriptive Wissenschaft wie die biologische Ökologie? Kann von einer solchen erzäh-

¹³²³ Vgl. Kay (2002), S. 84

¹³²⁴ Vgl. Korhonen, Savolainen und Ohlström (2004), S. 1088

¹³²⁵ Vgl. Spiegelman (2000), S. 2; Ähnliches konstatiert Hawken (1996), S. 17, wenn er die „ökologische Marktwirtschaft“ als ein Amalgam zweier sich widersprechender Begriffe bezeichnet.

¹³²⁶ Vgl. Erkman (2001), S. 531

lenden Wissenschaft auf eine normativ angelegte „ökologische Industrie“ geschlossen werden? Ist nicht jede anthropogene Ressourcenverwendung per se ökologisch, da sie Wechselwirkungen mit der belebten und unbelebten Umwelt verursacht? Ist also innerhalb der gleichen Begrifflichkeit der Sprung vom Sein (dem Seienden), also einem deskriptiven Zugang, zum Sollen, ergo einem normativen Zugang, nicht absurd?¹³²⁷ Muss es gleich ein Sollen sein? Im Fall der IÖ lassen sich diese Sichtweisen nicht wirklich trennen und das ist durchaus beabsichtigt.¹³²⁸ Überleben ist evolutionär „richtig“, also nicht normativ konstituierbar. Anders argumentiert ist Nachhaltigkeit im ökonomischen Kontext ein rationales Entscheidungskriterium.¹³²⁹ Geht man den Umweg über das Überlebensprinzip „nachhaltige Entwicklung“, was gar kein Umweg ist, sondern eine notwendige Bedingung, sowohl im lebensweltlichen als auch im wissenschaftlichen Sinn, so relativiert sich die rüchbar gewordene Absurdität von selbst, denn überleben ist binär und entzieht sich streng wissenschaftlicher Logik.¹³³⁰ Dieses Überleben ist von vielen Faktoren und Einflussgrößen abhängig, die für eine Industrielle Ökologie als Überlebensstrategie von Belang sind. Dies ergibt verschiedene Betrachtungsebenen. Industrielle Ökologie als Ansatz ist gerade insofern neu, als es dem Versuch entspricht, das gesamte System aus Produzieren mit all seinen Vorleistungen und Konsumieren als zu optimierendes System zu betrachten und alle notwendigen Einzelmaßnahmen als Teil einer Gesamtlösung zu nehmen und sie aufeinander abzustimmen. Jedes hier zu beschreibende Element mag bekannt vorkommen, die konsequente Zusammenbindung der Aktivitäten ist jedoch noch weitgehend unerforscht, was ein Beitrag des wissenschaftlichen Spezialistentums ist, der nur durch transdisziplinäres Vorgehen aufgelöst werden kann. Zwei der wichtigsten Prämissen bei der Entwicklung einer Industriellen Ökologie stehen dabei im Vordergrund:¹³³¹

- Industrie im weitesten Sinn menschlicher Produktionsweisen kann nur im übergeordneten Kontext des Energie- und Materieaustausches mit der natürlichen Umwelt betrachtet werden (dies ergibt den Link zur Ökologischen Ökonomik)

¹³²⁷ So meint zumindest Lohrberg (2002), S. 1, bezogen auf den Begriff der „ökologischen Stadt“ und bleibt im tautologischen Zirkelschluss der „reinen“ Wissenschaft gefangen, um eben diese Reinheit im selben Aufsatz später wieder zu relativieren.

¹³²⁸ Vgl. Lifset und Graedel (2002), S. 3 und Erkman (1997), S. 1

¹³²⁹ Vgl. Müller-Christ (2001), S. 267

¹³³⁰ Vgl. Hawken, Lovins und Lovins (2000), S. 171

¹³³¹ Vgl. Cleveland (1999), S. 145

- Für die Umsetzung werden Modelle hoher Ressourceneffizienz aus der Natur herangezogen („Natur als Vorbild“)

Andererseits besteht bei allen Ansätzen zur IÖ die Gefahr, das Konzept als ein technokratisches Naturmanagement zu interpretieren, das zwischen Irrtum und grenzenlosem Steuerungsglauben changiert.¹³³² Diese Gefahr ist letztendlich nicht auszuschließen.

7.2 GRUNDLAGEN FÜR EIN IDEAL-SZENARIO INDUSTRIELLER ÖKOLOGIE

Mit dem Ansatz der IÖ ergibt sich nach der hier entwickelten Vorstellung eines transdisziplinären Ansatzes ein Idealszenario, das die bislang gefundenen Erkenntnisse in ein System für eine nachhaltige Produktionsweise zu gießen versucht und das einen Rahmen für zukünftige Entwicklungen in Form von Szenarien abzuleiten erlaubt. Betrachtet man die Immobilisierung der Rohstoffe und deren Umwandlung in anthropogene Artefakte als einen Prozess, der zur Bildung techno-organischer Materie beiträgt, so wie es die Ökologie für die natürlichen Umwandlungsprozesse nahe legt, sind für die rückläufigen Prozesse der Zersetzung auch die ökologischen Prinzipien gültig und müssen dementsprechend als Grundprinzip industrieller Produktion integriert werden.¹³³³ Alle jemals gebildeten organischen Verbindungen bis auf die fossilen Ablagerungen werden von den Nekrophagen, Kokrophagen und Phytosaprophagen¹³³⁴ auf unterschiedlichen Ebenen entweder zu weiterverwendbarer organischer Materie oder zum anorganischen Ursprungsmaterial zersetzt. Dies geschieht allerdings mit sehr unterschiedlichen Zeithorizonten. Für einen industriellen Metabolismus, der sich konsistent zum natürlichen verhält, gilt grundsätzlich das gleiche.¹³³⁵ Die Grundlage einer IÖ muss die komplette Rückführung aller eingebrachten Stoffe letztendlich bis zur rohstofflichen Basis hinab gewährleisten, wenn man die in der Natur vorzufindenden ökologischen Zusammenhänge ernsthaft auf das anthropogene Produktionssystem übertragen will. Dies wird nur möglich sein, wenn sich ein ökonomisches Äquivalent zur ökologischen Nischenbil-

¹³³² Vgl. Spehr (1996), S. 154

¹³³³ Vgl. Sterr (2002), S. 6

¹³³⁴ Vgl. Wegmann (1987), S. 371

¹³³⁵ Vgl. Huber (1998), S. 2

dung entwickelt, das dafür sorgt, alle in den Wirtschaftskreislauf gelangten Materialien in gebrauchsfähige Form zu bringen.¹³³⁶ Da die Materie- und Energieströme des offenen Systems Industrie im Fokus stehen, ist davon auszugehen, dass wie im Fall der natürlichen Systeme die Hauptsätze der Thermodynamik zur Geltung kommen.¹³³⁷ Hier stößt die These auf die Grenzen des Energieaufwandes, der zum vollständigen technischen Recycling aller Stoffe betrieben werden müsste. Da Energie langfristig nur über regenerative Quellen gedeckt werden kann,¹³³⁸ wird sie aus Sicht der Nachhaltigkeit die kritische Engpass-Ressource sein – spätestens dann, wenn alle nicht-regenerativen Energieträger verbraucht sind.¹³³⁹ Energie geht bei jedem Umwandlungsprozess in Wärme über und steigert so die Entropie. Dieser „Verlust“ nutzbarer Energie einerseits und nutzbarer Materie andererseits muss zur Erreichung nachhaltiger Entwicklung minimiert werden.¹³⁴⁰ Diesen offensichtlichen Zielkonflikt gilt es bei der Umsetzung einer IÖ aufzulösen, vor allem vor dem Hintergrund, dass beide Fragen, sowohl die der Energieversorgung als auch die der Versorgung mit Materialien und Rohstoffen zur Herstellung von Produkten, ein ökonomisches Grundproblem darstellen.

7.2.1 Exkurs IV: Berücksichtigung der Energie-Stofffluss-Dualität

7.2.1.1 Energie im industriellen Produktionssystem

Energie ist der funktionale gemeinsame Nenner aller Ökosysteme.¹³⁴¹ Letztendlich gilt das genauso für alle anthropogenen Strukturen, weshalb das Thema Energie ein wichtiger Bestandteil eines stoffstromorientierten Ansatzes mit dem Ziel nachhaltiger Entwicklung ist, weil sie in jedem Zusammenhang eine ultimative Ressource darstellt.¹³⁴² Zum einen funktioniert ein wesentlicher Teil der natürlichen Energieversorgung stoffgebunden, sobald die Konsumenten und Destruenten auf den Plan treten, zum anderen ist jeder Stofffluss einer Wirtschaft gleichzeitig ein Energie-

¹³³⁶ Vgl. Deutz, Gibbs und Proctor (2003), S. 3

¹³³⁷ Vgl. Baldwin, Murray, Winder u.a. (2004), S. 842

¹³³⁸ Vgl. Koroneos, Xydis und Moussiopoulos (2005), S. 54

¹³³⁹ Vgl. Francois und Ulloa (2000), S. 51; Die Eigenschaft der Endlichkeit ist gerade bei nicht-regenerativen Energieträgern eklatant, da sie nach dem Gebrauch nicht recycelt werden können wie materialgebundene Rohstoffe.

¹³⁴⁰ Vgl. Zvolinschi (2005), S. 56

¹³⁴¹ Vgl. Odum (1999), S. 39

¹³⁴² Vgl. Ayres (2001), S. 5

fluss. Thermodynamisch betrachtet besteht ein direkter Zusammenhang zwischen Ressourcenkonzentration vor und nach der Extraktion, der Extraktionsenergie und der dabei erzeugten Entropie.¹³⁴³ In den extrahierten Rohstoffen wird Energie in Form gespeicherter Prozessenergie weitergegeben. Diese gilt es möglichst effizient zu nutzen. Des Weiteren ist Energie die grundlegende Quelle ökonomischer Prozesse, da dissipierte Materie grundsätzlich nur zurückgewonnen werden kann, wenn genügend Energie zur Verfügung steht.¹³⁴⁴ Umgekehrt ist es nicht möglich, dissipierte Energie zurück zu gewinnen, egal wie viel Materie vorhanden ist.¹³⁴⁵ Die Entwicklung natürlicher Systeme auf der Erde ist seit ihrem Bestehen auf die Sonnenenergie angewiesen. Das humanökologische System dagegen hat seine rasante Entwicklung erst mit der Verwendung fossiler Energieträger antreten können. Aus einem technisch-kulturell geschaffenen relativen Überangebot an Energie ergaben sich stark erweiterte Handlungsräume für den Menschen und die Grundlage für den technologischen Fortschritt. Damit wurden natürliche Grenzen eines systemverträglichen Metabolismus überschritten, denen sich eine „Low-energy-society“ mangels Technologie zuvor zu unterwerfen hatte.¹³⁴⁶ Das heißt, eine Forderung nach nachhaltiger Gestaltung von Energie- und Stoffumsätzen einer Gesellschaft bedarf eines umfassenden Betrachtungsansatzes, der energetischen und stofflichen Metabolismus gleichgewichtig in Betracht zieht, da beide untrennbar miteinander verwoben sind. Man kann daraus schließen, dass erst mit der Lösung des Energieproblems der industrialisierten Gesellschaften auch Lösungen für das Ressourcenproblem nachhaltig umgesetzt werden können.¹³⁴⁷ Dabei ist zu berücksichtigen, dass die seit der Industrialisierung vorhandene hohe Energiedichte der fossilen Energieträger nur für begrenzte Zeit zur Verfügung steht und somit eine nachhaltige Entwicklung industrieller Strukturen nur auf Basis einer Energieversorgung mit regenerierbaren Energieträgern möglich ist.¹³⁴⁸ Anders ausgedrückt ist die derzeitige, auf fossile

¹³⁴³ Vgl. Binswanger (1994), S. 184

¹³⁴⁴ Vgl. Templet (2004a), S. 856

¹³⁴⁵ Vgl. O'Rourke, Conelly und Koshland (1996), S. 105

¹³⁴⁶ Vgl. Fischer-Kowalski und Weisz (1998), S. 156

¹³⁴⁷ Vgl. Fritsch (1994), S. 59

¹³⁴⁸ Es liegt in der Natur der Sache, dass die fossilen Energieträger (einschließlich spaltbaren Materials), die sich im Laufe der (belebten) Erdgeschichte durch Akkumulation (und gleichzeitig Konzentration) der eingestrahlten Sonnenenergie aus abgestorbener organischer Materie gebildet haben, begrenzt sind, da auch der Zeitraum, in dem sie gebildet wurden, begrenzt war – die intensive Ausbeutung dieser Vorkommen mag kurzfristig ökonomisch rational sein, für die Zeit „danach“ sind jedoch nur Konzepte auf Basis erneuerbarer Energieträger sowohl ökonomisch als auch ökologisch denkbar, die letztendlich auf der

Energieträger ausgerichtete Wirtschaftskultur nichts weiter als ein kulturelles (und wenn man so will evolutionäres) Zwischenspiel von begrenzter Dauer. Damit wird die Energiefrage zum Schlüsselement der Nachhaltigkeit, da eine Aufrechterhaltung des ökonomischen Niveaus von einer kontinuierlichen Energieversorgung abhängt, die Funktionsfähigkeit des ökologischen Systems stark von Art und Umfang der verwendeten Energieerzeugung beeinflusst wird und eine langfristig gerechte globale Entwicklung nur durch eine ausreichende Energieversorgung aller Weltregionen gewährleistet werden kann.¹³⁴⁹ IÖ geht also weit über die Frage der Kreislaufführung von Stoffen hinaus und erfordert vollkommen neue Denkansätze, die den Stoff- und Energiegedanken integrieren.

7.2.1.2 Verflechtung von Stoff- und Energieflüssen

Das Leben ist durch eine Neuorganisation von Materie durch Einsatz von Energie entstanden. Dabei auftretende evolutionäre Vorgänge sind durch Reproduktion des existierenden Lebens gekennzeichnet, die ebenso durch Neuorganisation von Materie mittels Energieeinsatz aufrecht erhalten werden. Energie und Materie treten immer gemeinsam auf.¹³⁵⁰ Die Aufrechterhaltung des Lebens ist also durch energetisch angetriebene Organisation von Materie in vielfältigen Strukturen bestimmt und ist grundsätzlich auf die gleichzeitige Bereitstellung beider lebensbestimmender Faktoren angewiesen. Genauso sind in der IÖ der stoffliche und der energetische Metabolismus

konstanten Sonneneinstrahlung und ein wenig Geothermie sowie Ausnutzung von Gezeitenkräften beruhen können – andere Energiekonzepte sind derzeit nicht bekannt und die Kernfusion ist zwar als Lösung „aller Energie-Fragen“ angedacht, steht aber auf absehbare Zeit nicht zur Verfügung (nach Expertenmeinung jedenfalls nicht vor dem Jahr 2055; Vgl. Antworten von Prof. Bradshaw auf einer Anhörung Kernfusion im Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages am 28.03.2001) und stellt darüber hinaus voraussichtlich ein zusätzliches technologisches Großrisiko dar, wobei die tatsächliche Umsetzbarkeit noch nicht erwiesen ist; Vgl. Grunwald, Grünwald, Oertel u.a. (2002), S. 51ff sowie Deutscher Bundestag (Hrsg. 2002), S. 19ff; Dahingegen ist bei Ausnutzung des realisierbaren Potenzials an erneuerbaren Energien in Deutschland eine jährliche Stromerzeugung von 400 TWh/a realistisch (vgl. Quaschnig (2000), S. 56), dem steht zum Vergleich ein Verbrauch von 600 TWh für 2004 in Deutschland gegenüber (vgl. IW (Hrsg. 2005) S. 91); Je nach Verbrauchs-Szenario wäre also eine Deckung des deutschen Strombedarfs bei zusätzlichen Anstrengungen zur Erhöhung der Energie-Effizienz aus regenerativer Erzeugung bis 2050 durchaus möglich; Damit ist jedoch nur ein Teil des Gesamtenergiebedarfs (Primärenergiebedarfs) dieser Volkswirtschaft abgedeckt; Wenn dieser also komplett regenerativ abgedeckt werden soll, müssen weitere Anstrengungen zur Energieeinsparung und Effizienzsteigerung unternommen werden sowie Import-Szenarien berücksichtigt werden.

¹³⁴⁹ Vgl. Huber (1999), S. 4

¹³⁵⁰ Vgl. Cleveland (1999), S. 138

grundsätzlich zusammengehörende Aspekte ökonomischer Prozesse.¹³⁵¹ Energie geht dabei grundsätzlich in einen höheren entropischen Zustand über. Dabei kann man insbesondere den globalen Kohlenstoffkreislauf als einen der chemischen Motoren des Lebens bezeichnen, der sowohl Energiespeicher als auch stofflicher Grundbaustein für eine Vielzahl lebender Strukturen ist.¹³⁵² Für industrielle Ökosysteme ergeben sich daraus analog zu den natürlichen Ökosystemen drei Schlüsselfaktoren:¹³⁵³

- Erneuerbare Energie
- Vollständige Kreislaufführung von Stoffen
- Diversität zur Aufrechterhaltung der Resilienz¹³⁵⁴

Der stofflich-energetische Zusammenhang weist in den meisten Fällen Zielkonflikte auf, wenn sowohl die für die Entwicklung benötigten Stoffe als auch die zur Gewinnung der Stoffe notwendige Energie knapp sind.¹³⁵⁵ Somit wird die eingangs geführte Diskussion, ob es sich bei dem Paradigma um ein anthropozentrisches, ökozentrisches oder physiozentrisches Prinzip handelt, obsolet. Betrachtet man es als ein vivizentrisches Paradigma, so kommt man um die energetisch-stoffliche Betrachtung nicht herum. Die Ökologie zeigt auf, dass die Stoff- und Energieflüsse in den Ökosystemen tatsächlich untrennbar durch vielfältige Interaktionen und Verbindungen in Nahrungsnetzen miteinander verwoben sind.¹³⁵⁶ Für die Umsetzung einer IÖ kommt man nicht umhin, grundsätzlich eine solche Gesetzmäßigkeit zu Grunde legen, unabhängig davon, ob man die Übertragung in Form von Metaphern, Analogien oder Homologien ansetzt. Die allen Prozessen fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht zu Grunde liegende Dualität des Metabolismus von Energie und Materie wird für das industrielle System in Abbildung 13 grob vereinfachend skizziert. Die dahinter verborgenen Strukturen und

¹³⁵¹ Vgl. Haberl (2001), S. 13

¹³⁵² Vgl. Scholes (2004), S. 43

¹³⁵³ Vgl. Manahan (1999), S. 31

¹³⁵⁴ Allerdings kommt es bei diesem letzten Punkt auf die Definition von Diversität an; Bezeichnet sie die absolute Anzahl von (auch ähnlichen) Akteuren, so trifft diese Korrelation eindeutig zu, betrifft sie die Anzahl unterschiedlicher Akteure (was Rohstoffverwendung, Produktionsprozesse, Kuppelprodukte oder auch die Firmengröße betrifft) oder Akteursgruppen, so kann eine Störung unter Umständen schlechter abgefedert werden als im ersten Fall, da das Ausfallen eines Elements schwieriger zu kompensieren ist; Vgl. Korhonen (2005), S. 51

¹³⁵⁵ Vgl. Janssen und van den Bergh (o. J.), S. 1

¹³⁵⁶ Vgl. Baldwin, Murray, Winder u.a. (2004), S. 843

Muster sind der wissenschaftlichen Ökologie entlehnt.¹³⁵⁷ Die Kontenbildung für unterschiedliche ökonomische Prozesse erfolgt hoch aggregiert.¹³⁵⁸ Für die modellhafte Betrachtung, die speziell die nicht-regenerativen Rohstoffe und Energiebereitstellung aus regenerativen Quellen betrifft, werden damit folgende Prämissen gesetzt und Thesen abgeleitet:

- Wie in den ökosystemaren Vorbildern fließt die Energie dissipativ durch das System, während die Materie zwischen den Depots zirkuliert¹³⁵⁹
- Als Agenzien werden Energieerzeugung, Rohstoffgewinnung, Produktion, Konsum, Recycling (Reduktion) und Beseitigung gesetzt,¹³⁶⁰ alle Agenzien sind Subsysteme des ökologischen Gesamtsystems (Gaia); die Agenzien werden aus ihrer Funktion heraus definiert, analog zu den ökosystemaren „funktionellen“ Organismengruppen
- Der Agens Produktion enthält auch private Produktion (die nicht monetär erfasst wird, aber rohstoffliche und energetische Wirkungen hat) und Gütertransporte
- Die Produktion beinhaltet auch intermediäre In- und Outputs, die innerhalb des Produktionskontos gedacht werden
- Direkte Stoffentnahme aus der Natur findet im Agens Rohstoffgewinnung statt (äquivalent zur Quellenseite der Materialbilanz)
- Direkte Stoffabgabe an die Natur findet sowohl im Agens Beseitigung als auch durch freie Diffusion statt (äquivalent zur Senkenseite in der Materialbilanz)
- Alle Agenzien sind mit künstlichem Kapital ausgestattet, das durch materielle und energetische Ströme instand gehalten werden muss¹³⁶¹
- Landwirtschaft und deren Energiebedarf wird aus Gründen der Vereinfachung des Modells nicht berücksichtigt; die rohstoffliche Betrachtung bezieht sich hier nur auf nicht-regenerative mineralische Rohstoffe R

¹³⁵⁷ Vgl. Husar (1994), S. 24

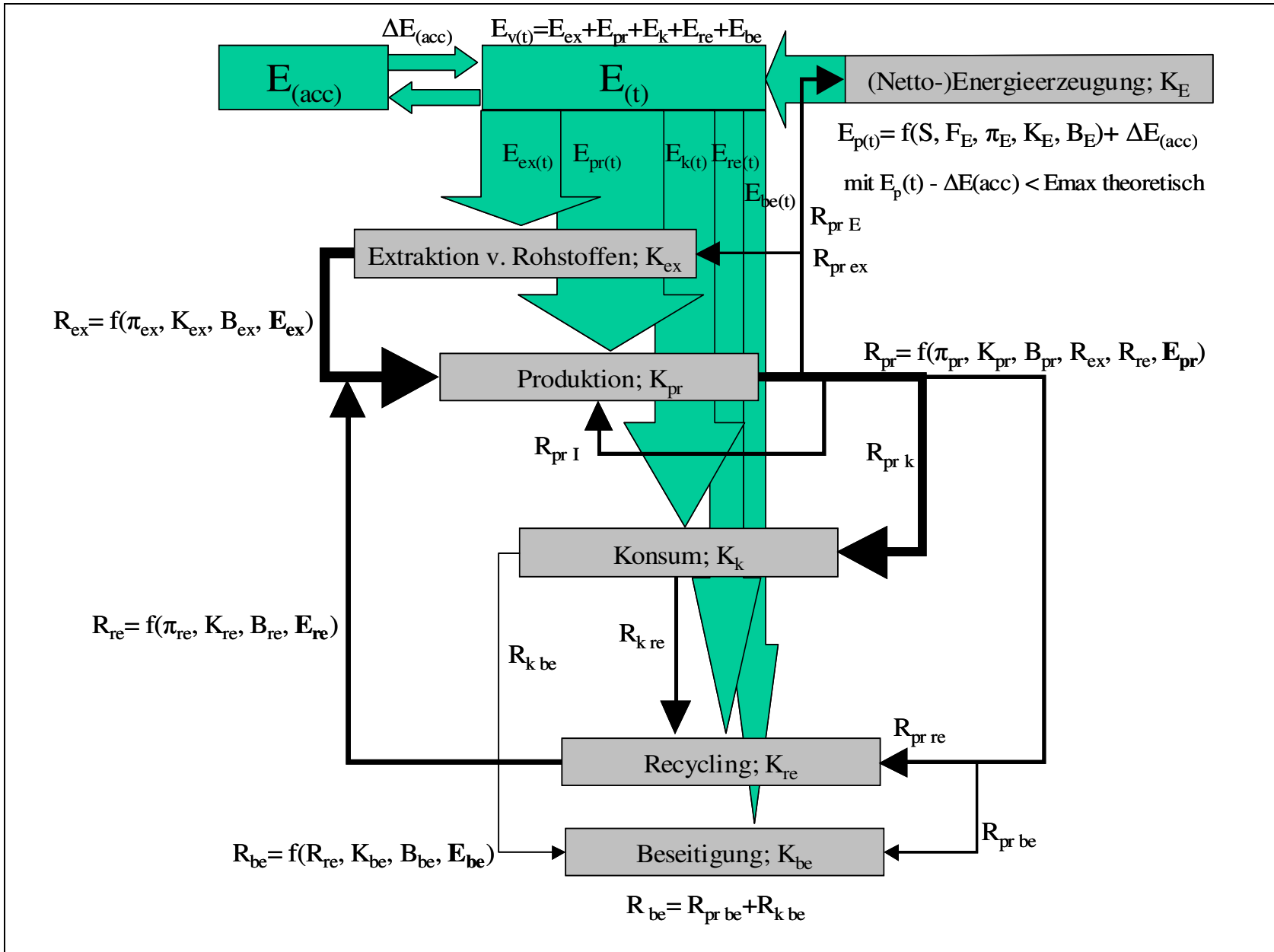
¹³⁵⁸ Vgl. Janssen und van den Bergh (1999), S. 11

¹³⁵⁹ Vgl. Chadwick (1998), S. 21; Diese Aussage kann natürlich nicht als Analogie gemeint sein, sondern will ihre Übertragung in Form einer Metapher verstanden wissen – dies wird weiter unten nochmals diskutiert.

¹³⁶⁰ Vgl. Roberts (2004), S. 999; Für die Basisprozesse einer Industriellen Ökologie wird hier eine ähnliche Einteilung gewählt.

¹³⁶¹ Vgl. Strassert (2000), S. 99

Abbildung 13: Energie-Stofffluss-Dualität; eigene Darstellung



- Der Bezugsraum ist global; das Prinzip lässt sich aber auch auf kleinräumigere Betrachtungen übertragen, dann muss noch Im- und Export von Rohstoffen und Energie berücksichtigt werden
- Es kann nur ein Teil des natürlichen Potenzials (insb. Fläche bzw. Boden als natürliches Agens) zur Erzeugung regenerativer Energie verwendet werden; ein weiterer Teil bleibt der Erzeugung regenerativer Rohstoffe vorbehalten, die hier nicht weiter betrachtet werden; ein weiterer Teil der verfügbaren Naturfläche darf zur Aufrechterhaltung der natürlichen Regenerationsfähigkeit der Ökosphäre nicht kolonisiert werden und bleibt im „natürlichen“ Zustand
- Weitere Flächeninanspruchnahme findet durch die Technosphäre und die Landwirtschaft statt
- Aus der Sicht einer nachhaltigen Industriellen Ökologie steht langfristig im Modell nur regenerative Energieerzeugung zur Verfügung
- Es kann pro Periode nur eine begrenzte Menge an Nutz-Energie $E_{p(t)}$ erzeugt werden, die nachhaltig nur aus regenerativen Energieträgern zu gewinnen ist;¹³⁶² Die erzeugte (Nutz-)Energienmenge $E_{p(t)}$ ist eine Funktion aus Flächeninanspruchnahme und Flächenproduktivität.¹³⁶³ $E_{p(t)}$ hängt von der eingestrahelten spezifischen Sonnenenergie S/F , der verfügbaren Technologie π_E mit einer spezifischen Flächenproduktivität $E/F \cdot a$, der verwendeten Fläche F_E , dem künstlichen Kapitalstock zur Energieerzeugung K_E und den Beschäftigten in der Energieerzeugung B_E ab: $E_{(t)} = f(S/F, \pi_E, F_E, K_E, B_E)$; Geothermie als Energiequelle bleibt der Einfachheit halber unbeachtet, da über deren Potenzial derzeit nur unzureichende wissenschaftliche Information zur Verfügung steht, aber auch für diese gilt grundsätzlich das Postulat der Flächeninanspruchnahme gemäß

¹³⁶² Zwar schreiben manche Autoren von unendlich verfügbarer Energie (vgl. Korhonen (2004), S. 71), doch ist dies thermodynamisch betrachtet nicht richtig; Solarenergie trifft mit einer bestimmten Intensität auf der Erdoberfläche auf, was vom Einstrahlwinkel und optischen Hindernissen abhängt; Multipliziert man diese Intensität mit der verfügbaren Fläche und der Einstrahldauer, so erhält man einen endlichen Wert für die eingestrahelte Energie; Das zusätzlich vorhandene Potenzial an Geothermie und möglicher (flächenintensiver) Nutzung von Gezeitenkräften gehen darin auf.

¹³⁶³ Vgl. Wackernagel und Rees (1997), S. 94; Dieser Umstand ist direkt mit dem ökologischen Fußabdruck durch seinen inversen Wert verbunden – bedeutsam wird er für die Industrielle Ökologie dadurch, als nach dem Versiegen der nicht-regenerativen Energiequellen eine nutzenbezogene Konkurrenz um die begrenzt verfügbare Fläche auf der Erde unvermeidlich wird; Allerdings ist zu berücksichtigen, dass ökologisch betrachtet der Flächenbedarf nach CO₂-Senken bei der Verbrennung fossiler Energieträger einzubeziehen ist! Wackernagel und Rees (1997) kommen bei ca. 80-100 Gigajoule pro/Jahr auf 1 ha, vgl. ebda. S. 97

Flächenproduktivität, und die Dichte des Energieflusses durch den Erdmantel macht nur einen Bruchteil der eingestrahnten Sonnenenergie pro Fläche aus¹³⁶⁴

- Es gibt einen theoretischen Maximalwert für die pro Periode erzeugbare Nutz-Energie auf der Erde (oder einer Teilregion) $E_{\max \text{ theoretisch}}$, der nicht überschritten werden kann (solange keine über die Sonne, Wasserkraft, Wind, Wellenkraft und Geothermie hinaus gehenden außer- oder innerirdischen Energiequellen erschlossen werden¹³⁶⁵)
- In $E_{\max \text{ theoretisch}}$ sind bereits etwaige Konversions-, Transport- und Verteilungsverluste der Energieversorgung berücksichtigt; diese können je nach systemarerer Zusammensetzung des Agens Energiegewinnung zwischen 20 und 30 % betragen¹³⁶⁶
- Der Ausnutzungsgrad der Energie kann durch Kaskaden innerhalb bzw. zwischen den verschiedenen Agenzien erhöht werden, $E_{\max \text{ theoretisch}}$ bleibt davon unberührt
- Energie kann als $E_{(\text{acc})}$ gespeichert werden, wenn $E_{p(t)}$ den Energiebedarf $E_{v(t)}$ der Periode übersteigt; $E_{(\text{acc})}$ kann in einer späteren Periode eingesetzt werden
- Der Energiebedarf $E_{v(t)}$ muss auf die Wirtschaftsbereiche Energiegewinnung (direkte Rückwirkung), Extraktion von Rohstoffen E_{ex} , Produktion E_{pr} , Konsum E_{k} , Recycling E_{re} und Beseitigung E_{be} verteilt werden: $E_{v(t)} = E_{\text{ex}} + E_{\text{pr}} + E_{\text{k}} + E_{\text{re}} + E_{\text{be}} + E_{\text{E}}$ (relativer Energieeinsatz) – Nahrungsenergie für Menschen und domestizierte Tiere bleibt hier unberücksichtigt

¹³⁶⁴ Wobei davon auszugehen ist, dass bei Lösung noch gegebener technischer Probleme ein großer Vorteil der Geothermie in deren hoher Flächenproduktivität liegen wird, da das Volumen des Erdmantels zur Energiegewinnung verwendet wird und die Erdoberfläche größtenteils anderen Nutzungen verfügbar bleibt.

¹³⁶⁵ Am Rande der Atmosphäre trifft Sonnenenergie mit einer Dichte von fast 1,4 kW pro m^2 auf, der natürliche Wärmestrom vom Erdinnern an die Erdoberfläche beträgt 0,06 J oder 0,06 W pro m^2 , also etwa ein Zwanzigtausendstel davon – durch technologische Nutzung der Geothermie zur Energiebereitstellung lässt sich dieser Wert jedoch erhöhen, da das Nutzen des Wärmereservoirs unterhalb der Erdoberfläche mit geringer Inanspruchnahme von (Ober-)Fläche verbunden werden kann. Die weiteren aufgeführten regenerativen Energieträger außer Gezeitenkraft werden letztendlich von der eingestrahnten Sonnenenergie angetrieben.

¹³⁶⁶ Vgl. Conrad (1995), S: 64; Ebenso „hidden flows“, die zwar in Bewegung gesetzt werden, aber nicht in die Anthroposphäre gelangen; Vgl. Haberl (2001a), S. 72

- Das jeweils akkumulierte künstliche Kapital der unterschiedenen Wirtschaftsbereiche setzt sich aus den in den Investitions- bzw. Konsumgütern gebundenen Rohstoffströmen der Vorperioden – abzüglich der rohstofflichen Abschreibungen, die ins Recycling (z. B. $R_{k\ re}$) oder die Beseitigung (z. B. $R_{k\ be}$) gehen [z. B. $K_{pr} = \sum R_{pr} - (R_{pr\ re} + R_{pr\ be})$] – zusammen. Dies sind Rohstoffe, die in Gütern zum Gebrauch gebunden sind und erst nach Abnutzung dem Kreislauf wieder zur Verfügung stehen; die dissipativen Verluste während des Gebrauchs werden in der Regel direkt an die Naturkreisläufe abgegeben und können aufgrund ihrer feinen Verteilung kurzfristig nicht technisch rückgewonnen werden (z. B. Reifenabrieb eines LKW)
- Die Produktionskapazität von Konsum- und Investitionsgütern hängt von der für die Produktion bereitgestellten Energie E_{pr} , den zur Verfügung stehenden Rohstoffen aus Extraktion R_{ex} und Recycling R_{re} , der verfügbaren Technologie π_{pr} , dem Kapitalstock K_{pr} und der Beschäftigung B_{pr} ab.
- Der Konsum verursacht einen Metabolismus, der von den in den Konsumgütern gebundenen Rohstoffen R_k , und der für den Konsum zur Verfügung stehenden Energie E_k abhängt; unter Konsum sind hier alle Energie und Rohstoffe verbrauchenden menschlichen Tätigkeiten außer Produzieren (inkl. Dienstleistungen) zusammengefasst wie Wohnen, Mobilität, Freizeitaktivitäten etc.
- Das Recycling hängt insbesondere von der für das Recycling zur Verfügung stehenden Energie E_{re} , der Menge an abgeschriebenen gebundenen Rohstoffen $R_{k\ re}$ sowie der recyclingfähigen Produktionsabfälle $R_{pr\ re}$, der Technologie π_{re} , dem Kapitalstock K_{re} und der Beschäftigung im Recyclingbereich B_{re} ab. Die Effizienz der Recyclingtechnologie bemisst sich am Quotienten aus wieder verwendbaren Materialien und eingesetzter Energie
- Die verfügbaren Energiemengen für die in einzelnen Wirtschaftsbereichen geltenden Produktionsfunktionen sind über den Energiefluss und Rohstoffaustausch interdependent; eine Veränderung in einem der Bereiche hat Veränderungen in allen anderen Bereichen zur Folge
- Wird das Modell mit Zahlenwerten belegt, gibt die jeweilige Pfeildicke die Flussgrößen maßstabsgetreu wieder; in der vorliegenden Darstellung ist dies nur qualitativ dargestellt

Für die Entwicklung einer IÖ ergeben sich daraus verschiedene Implikationen (Thesen):

- Die begrenzte Menge an Energie muss möglichst effizient auf die einzelnen Wirtschaftsbereiche verteilt werden. Damit wird durch den Ansatz der IÖ die Ökonomie wieder auf ihre ursprüngliche Bedeutung zurückgeführt: Das effiziente (und effektive) Haushalten mit begrenzten physischen Mitteln.¹³⁶⁷ Das ökonomische Optimierungskalkül zielt auf die optimale Gesamtnutzengenerierung aus den begrenzt verfügbaren natürlichen und künstlichen Ressourcen ab
- Jede der ökonomischen Grundfunktionen ist mit der Schaffung oder Verwendung künstlicher dissipativer Strukturen verbunden, die dafür Energie aufnehmen müssen – die Summe dieses Energieaufwandes kann die verfügbare Energie nicht überschreiten
- Je effizienter die Energie in allen anderen Agenzien eingesetzt wird, desto höher ist das Potenzial an Energie, das für das Recycling (Reduktionswirtschaft) zur Verfügung steht
- Da angestrebt wird, möglichst wenig der nichtregenerativen Rohstoffe aus dem Wirtschaftskreislauf zu verlieren und mit zunehmender Recyclingquote der energetische Aufwand ansteigt, muss der relative Energieeinsatz innerhalb des industriellen Systems zu Gunsten des Recycling umgewichtet werden¹³⁶⁸
- Ebenso muss sich der Kapitaleinsatz im Recyclingbereich relativ zu den anderen Wirtschaftsbereichen wesentlich erhöhen; es wird zu einer strukturellen Umverteilung der natürlichen und künstlichen Ressourcen zu Gunsten des Recyclings bzw. der Reduktionswirtschaft kommen¹³⁶⁹
- Die nicht mehr zirkulierbaren Stoffe gehen als R_{be} in die Beseitigung; aus Sicht einer IÖ muss R_{be} unter dem maximal vertretbaren energetischen (E_{re}), technologischen (π) und ökonomischen Aufwand (K_{re}) minimiert werden;

¹³⁶⁷ Vgl. Immler und Hofmeister (1998), S. 115f und Radke (1999), S. 160f

¹³⁶⁸ Vgl. Conrad (1995), S. 63

¹³⁶⁹ Übersetzt in die VGR hieße das, dass alle Input-Output-Tabellen des „magischen Dreiecks“ monetäre (MIOT), physische (PIOT) und zeitliche (ZIOT) eine signifikante Verschiebung zu höheren Anteilen in der „Destruktions- und Reduktionswirtschaft“ zeigen werden müssen; Vgl. Stahmer (2000), S. 43

- Unterbleibt dieser Schritt, wird auf lange Sicht die Versorgung der Produktion mit nicht-regenerativen Stoffen gefährdet
- Es wird immer technische Anwendungen geben, die auf nicht-regenerative Rohstoffe angewiesen sind
- Langfristig wird R_{re} gegenüber R_{ex} relativ an Gewicht zunehmen und in einem Klimaxstadium der IÖ die Rohstoffseite (bei nicht-regenerativen Ressourcen) der Produktionsfunktion nominal dominieren: $R_{re} > R_{ex}$ für $t \rightarrow \infty$
- Der Zeitfaktor bekommt eine neue (zusätzliche) Dimension in der Ökonomie: Zeit ist Energie, da die Sonnenenergie pro Zeiteinheit eingestrahlt wird. Verfügbare Energie bedeutet zugleich Arbeitspotenzial, das zur Verfügbarmachung von Rohstoffen, für die Produktion, die Reduktion und für den Konsum aufgewendet werden kann
- Der Ansatz lässt sich mit den im Abschnitt 2.3 diskutierten Innovations-Ansätzen inhaltlich kombinieren und ausgestalten
- Die Strategien der Effizienzsteigerung und Verlängerung der Produktlebensdauer erhalten eine neue strategische Bedeutung; frei werdende Energiepotenziale können in die Recyclingprozesse eingebracht werden und sichern die Rohstoffbasis der Zukunft; länger genutzte Produkte entlasten die Produktion; bei jeder operationalen Entscheidung sind stets die Zielkonflikte zwischen stofflicher Dissipation und Energieaufwand (energetischer Dissipation) abzuwägen; Zielsetzung ist, die Entropiezunahme im globalen Maßstab zu minimieren und die Produktivität des Naturhaushaltes sowie das Naturkapital zu bewahren
- Die Subsistenzstrategie verringert den Anspruch der Bereiche Produktion und Konsum auf Energie und Rohstoffe und ist somit ein unerlässliches Begleitinstrument bei der Entwicklung einer nachhaltigen Industriegesellschaft
- Das Konsistenz-Paradigma setzt an der eigentlichen Problematik der Umsetzbarkeit einer IÖ an: nur die mit der verfügbaren Technologie und der Natur konsistenten Stoffströme lassen sich (nahezu) rückstandsfrei recyceln
- Eine IÖ kann nur in einer Steady State Economy umgesetzt werden, da unbegrenzt zunehmender Konsum zugleich die energetische Basis belastet und den Umfang der im Kreislauf zu haltenden Materie und die dafür aufzuwendende Energie erhöht – eine solche positive Rückkopplung wäre nicht dauerhaft trag-

bar, da die Ressourceneffizienz nach den thermodynamischen Gesetzen nicht unendlich erhöht werden kann¹³⁷⁰

- Die wirtschaftlichen Umweltschutzaktivitäten im herkömmlichen Sinn werden ergänzt durch das allgemeine Prinzip der ökologischen Verträglichkeit aller Produktions- und Wirtschaftsweisen (Konsistenz-Ansatz); Umweltschutz im engeren Sinne wird relativ an Bedeutung verlieren
- Erfahrungsgemäß ist die Arbeitsintensität in den Bereichen der regenerativen Energieerzeugung und in der Recyclingbranche höher als in der Produktion von Massengütern;¹³⁷¹ es sind strukturelle Verlagerungen mit positiven Arbeitsmarktwirkungen zu erwarten¹³⁷²

Darüber hinaus bedarf es erweiterter Überlegungen zu den im System verwendeten Stoffen bezüglich deren Eigenschaften (regenerativ – nicht-regenerativ).

Die herkömmliche Unterscheidung von regenerativen und nicht-regenerativen Ressourcen muss zumindest im Bereich der materiell genutzten Rohstoffe überdacht werden.

Die Natur, die die regenerativen Rohstoffe periodisch bereitstellt, greift beim Wachstum auf nicht-regenerative Ressourcen im anthropogenen Sinn zurück. Mineralische Stoffe werden dem Boden und der Luft entzogen und in die morphologischen Strukturen eingebaut, gebunden in organische Materie durch die trophischen Stufen weitergereicht und am Ende von den Destruenten wieder aufgeschlüsselt. Es handelt sich also um einen rhythmischen Zugriff auf endliche stoffliche Substanzen, die durch die Einwirkung der eingestrahlten Sonnenenergie in Bewegung gesetzt, strukturiert und wieder dissipiert werden. Dies alles geschieht unter beträchtlichem (regenerativem) Energieaufwand. Es kann also nicht die Forderung an eine nachhaltige Produktionsweise folgen, gänzlich auf mineralische nicht-regenerative Rohstoffe zu verzichten, sondern diese nur in dem Umfang anzuwenden, wie sie unter vertretbarem, regenerativ zu erzeugendem Energieaufwand im Kreislauf, also in ökonomischer Nutzung gehalten werden können. Solange letzteres auf sie zutrifft, sind nicht-regenerative Ressourcen wie regenerative zu behandeln, so wie die Natur auch nicht zwischen regenerativen und

¹³⁷⁰ Es gibt zwar tatsächlich eine mit steigendem Pro-Kopf-Einkommen stattfindende empirisch nachweisbare Erhöhung der Energieeffizienz, das ändert jedoch nichts an deren grundsätzlicher Begrenzung; Vgl. Templet (2004a), S. 861

¹³⁷¹ Vgl. Hinterberger, Omann, Schmitz u.a. (2000), S. 26ff

¹³⁷² Vgl. Bierter (2001), S. 176

nicht-regenerativen unterscheidet, sondern je nach Bedarf auf natürlich vorkommende Stoffe zurückgreift und diese der organischen Materie einverleibt. Nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik geht Materie nicht verloren. Die Energie zur Erhaltung des Nutzens bzw. Nutzbarmachung der Materie muss aber von außen in das betrachtete System eingebracht werden. Dabei ist zu beachten, dass bezüglich des kreislaufgeführten Materials bei der Wieder- oder Weiterverwendung möglichst geringe Konzentrationsdifferenzen überwunden werden müssen, da der Energieeinsatz mit zunehmender Differenz zunimmt.¹³⁷³ Die Nutzung der nicht-regenerativen Ressourcen ist in der Regel mit wesentlich höherer Flächenproduktivität möglich als die der regenerativen. Deshalb ist es unerlässlich, auf die nicht-regenerativen Ressourcen zurückzugreifen, da bei vollkommenem Umstieg auf regenerative Ressourcen die Flächeninanspruchnahme ein nicht-akzeptables Maß annehmen würde und kein Raum mehr für nicht-kolonisierte Naturbereiche zur Verfügung stünde.

Zusammenfassend:

Das mit der IÖ zu lösende ökonomische Problem ist die „optimale“ Verteilung der pro Zeiteinheit begrenzt verfügbaren Energie zur Erzeugung maximalen Nutzens. Der Reduktionswirtschaft und ihrem Energiebedarf kommt hierbei eine hervorragende Bedeutung zu, da die nachhaltige Versorgung mit Rohstoffen eine Grundvoraussetzung für die Produktion von Gütern darstellt. Des weiteren steigert eine Erhöhung der Energie- und Ressourceneffizienz in allen Agenzien den erreichbaren Nutzen, wobei die Effekte rekursiv wirken. Effizientere Rohstoffnutzung spart gleichzeitig Energie der Rohstoffbereitstellung ein, effizienterer Energieeinsatz verringert den Bedarf an Rohstoffeinsatz für die Energiegewinnung. Diese Prämissen spannen den Möglichkeitsraum einer IÖ auf.

7.2.2 Energieversorgung einer Industriellen Ökologie

Energie ist ein universelles Phänomen. Energie ist der Motor industrialisierter Gesellschaften und deren Kultur wird durch die Form der Energieversorgung wesentlich mitbestimmt, da sie Handlungsspielräume ermöglicht, die ohne Energieversorgung

¹³⁷³ Vgl. Messner (2000), S. 182

nicht möglich wären.¹³⁷⁴ Verwendet wird Energie für die Wärmeversorgung in unterschiedlichen Temperaturbereichen, für Mobilität und in Form von Strom für spezifische Anwendungen wie die Verrichtung von Arbeit. Betrachtet man den Produktionsfaktor Energie neben materiellen Rohstoffen, Arbeit und Kapital als einen entscheidenden Wirtschaftsfaktor und stellt dessen relative Bedeutsamkeit für die Produktion von Gütern und Dienstleistungen rechnerisch fest, so beträgt sein Anteil an der Wertschöpfung mehr als den in den Produktionskosten enthaltenen Anteil von ca. 10 %.¹³⁷⁵ Energie wird bei derzeitiger Rechnung nur zu den Entstehungskosten einbezogen, als handle es sich um einen Faktor, der keiner Knappheit unterliegt.¹³⁷⁶ Dabei ist die Klärung der Energiefrage für die Umsetzung einer IÖ von essenzieller Bedeutung, da die Ökologie gezeigt hat, dass Energie nur begrenzt zur Verfügung steht. Gleichzeitig stellt sie jedoch eine absolut notwendige Ressource zur Reduktion der inneren Entropie dar, was wiederum eine notwendige Bedingung für die Aufrechterhaltung von Produktionsprozessen ist.¹³⁷⁷ Bei stoffstrombezogenen Betrachtungen ist es darüber hinaus unerlässlich, auch die Energieversorgung als relevanten Faktor mit zu berücksichtigen¹³⁷⁸, da die noch vorherrschende Bereitstellung von Primär- und Nutzenergie aus fossilen Energieträgern mit großen Massenströmen verbunden ist, die im Vergleich zu produktbezogenen Stoffströmen durchaus relevant sind.¹³⁷⁹ Hierbei sind die Abraumstoffe bei der Extraktion der Primärenergieträger und die Emissionen bei der Umwandlung in nutzbare Endenergie zu beachten. Es treten hohe Senkenbelastungen auf. Besonders bei der Bereitstellung von Endenergie aus fossilen Energieträgern ist ein CO₂-Strom zu verzeichnen, der die Regeln der Nachhaltigen Entwicklung nach allgemeiner Ansicht verletzt und die tragfähigen Grenzen der Atmosphäre übersteigt. Diese Stoffströme fließen zwar nicht unbedingt verursachernah, aber die Verantwortung für die Verursa-

¹³⁷⁴ Vgl. Amery und Scheer (2001), S. 15 und Schäffler und Fahl (1995), S. 117

¹³⁷⁵ Vgl. Erbrich (2004), S. 202

¹³⁷⁶ Vgl. Foran und Poldy (2002), S. 157; Obige zahlenmäßige Abschätzung bezieht sich auf eine Studie für Australien.

¹³⁷⁷ Die Übertragung auf das Wirtschaftssystem ist selbstverständlich: Zur Aufrechterhaltung von Wirtschaftsprozessen benötigt man Energie, mit anderen Worten, man exportiert Entropie, die im Wirtschaftssystem bei der Produktion von Gütern erzeugt wird.

¹³⁷⁸ Vgl. Levi (1995), S. 54

¹³⁷⁹ Vgl. Morioka, Yoshida und Yamamoto (2003), S. 7

chung lässt sich trotzdem direkt am Ort des Energieverbrauches lokalisieren und insofern den „Verbrauchern“ zuschreiben.¹³⁸⁰

7.2.2.1 Nachhaltige Energieversorgung

Für eine nachhaltige Energieversorgung gewinnt die Energieerzeugung aus regenerativen Quellen eine besondere Qualität, denn die Nutzbarmachung der bestandsknappen fossilen Energieträger als Energievorrat kann aus sachlogischen Gründen nur ein zeitlich begrenztes Phänomen darstellen.¹³⁸¹ Das haben sowohl geologische Instrumente wie die Hubbert-Kurve als auch Analysen der neoklassischen Ressourcenökonomik gezeigt. Im engeren Sinn kann nur eine regenerativ aufgebaute Energieversorgung nachhaltig sein, ungeachtet der Tatsache, dass dies auf den ersten Blick sowohl technologisch als auch ökonomisch beim derzeitigen Stand von Technik, Verhalten und institutionellen Rahmenbedingungen unmöglich umsetzbar erscheint. Andere Energieformen sind beim derzeitigen Stand der Technik jedoch nicht nachhaltig verfügbar, weshalb eine IÖ nur auf regenerativer Basis realisierbar ist. Die fossilen Energieträger sind sowohl auf der Quellenseite (Knappheit) als auch auf der Senkenseite (CO₂-Ausstoß und große Massenbewegungen bei der Gewinnung) begrenzt und stehen nicht langfristig zur Verfügung, weshalb sie schon als nicht nachhaltige Energieträger qualifiziert werden können, ohne ihre Umweltwirkungen zu bewerten.¹³⁸² Technisch denkbare vorübergehende Lösungsversuche, wie die Sequestrierung¹³⁸³ des CO₂, sind sehr aufwändig und mit nur schwer prognostizierbaren Umweltfolgen behaftet.¹³⁸⁴ Kernenergie ist auch mit Wiederaufbereitung und Schneller-Brüter-Technologie nicht langfristig zu erhalten.¹³⁸⁵ Außerdem ist der vor- und nachgelagerte Energieaufwand so hoch, dass das Verhältnis von Energie-Output zu -Input bei Atomenergie gerade mal 2,7 zu 1 beträgt.¹³⁸⁶ Da die Entsorgungsfrage der radioaktiven Abfälle auch nicht befriedigend gelöst ist, ist Atomenergie ohnehin keine nachhaltige Lösung, da sie dem Verantwor-

¹³⁸⁰ Vgl. Schönwiese, (1995), S. 63ff

¹³⁸¹ Vgl. Schäffler und Fahl (1995), S. 125

¹³⁸² Vgl. Conrad (1995), S. 55

¹³⁸³ Z. B. durch Verbringung in die tiefen Regionen der Ozeane oder in ausgebeutete Lagerstätten fossiler Ressourcen, was als Lösungsansatz derzeit diskutiert wird; Vgl. Geotechnologien (Hrsg. 2006), S. 3

¹³⁸⁴ Vgl. Plötz (2003), S. 20

¹³⁸⁵ Sie lassen sich damit auf ca. 2000 Jahre strecken.

¹³⁸⁶ Vgl. Sartorius (1999), S. 436; Die Gewinnung von einem Kilogramm Uran erfordert den Abbau und die Bewegung von mehreren 1000 Tonnen Gestein, vgl. Morioka, Yoshida und Yamamoto (2003), S. 7

tungsprinzip zuwider läuft. Es gibt ausreichend Studien, dass sie unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten wenig sinnvoll ist und dabei gegenüber allen anderen Energieträgern ökonomische Nachteile aufweist.¹³⁸⁷ Durch das hohe Risikopotenzial greift auch der Ansatz der Kontrolle der damit verbundenen Stoffströme im Rahmen einer IÖ zu kurz. Also geht es um die Frage, wie die derzeitigen Energiequellen auf nachhaltigem Weg ersetzt werden können.¹³⁸⁸ Die Bereitstellung regenerativer Energie für den gesamten Wirtschaftskreislauf ist bei den damit verbundenen Begrenzungen eine weitaus komplexere Aufgabe als die kurzfristige Überwindung dieser Knappheit durch primitive Verbrennung fossiler Energieträger, bei der der größte Teil der gespeicherten freien Energie in Form von Wärme verloren geht, was einer thermodynamischen Verschwendung gleich kommt.¹³⁸⁹ Die Verbrennung der fossilen Energieträger ist eine an die natürlichen Rahmenbedingungen vollkommen fehlangepasste Technologie, deren gasförmige Emissionen (SO₂, NO_x, CO₂, CO, u. a.) in die Atmosphäre die Regenerationsfähigkeit der globalen Ökosysteme übersteigen.¹³⁹⁰ Außerdem unterliegen sie thermodynamisch der Carnotschen Limitierung und sind deshalb naturgemäß hochgradig ineffizient.¹³⁹¹ Insofern bedeutet IÖ die Abkehr von der Mentalität des energetischen Überflusses und das Entwickeln einer Vision von kultivierten Verhaltensmustern, die den natürlichen Gegebenheiten gerecht werden.¹³⁹² Fossile Energieträger sollten im besten Fall dazu dienen, konsequent für die Erschließung regenerativer Energieerzeugung eingesetzt zu werden, so lange die dabei freigesetzten Emissionen nicht die Assimilationsfähigkeit der Ökosysteme übersteigen.¹³⁹³

¹³⁸⁷ Vgl. Hawken, Lovins und Lovins (2000), S. 362 und Ayres (2001), S. 7; Das lobbyistische Festhalten an der Kernkraft lässt sich durch die enormen aufgelaufenen Sunk-costs begründen. Da die Erzeugung von 1 kWh Atomstrom kostenintensiver ist als die entsprechende Energieeinsparung durch Effizienzmaßnahmen, ist die hohe Subventionierung der Kernkraft klimapolitisch kontraproduktiv. Eine Industrielle Ökologie kann also nur nachhaltig sein, wenn sie ohne Kernkraft auskommt.

¹³⁸⁸ Vgl. Berkhout (1994), S. 325

¹³⁸⁹ Vgl. Gillett (2006), S. 66 und Huber (1999), S. 8; Daran können auch Effizienz-Strategien nichts ändern.

¹³⁹⁰ Vgl. Clark, Crutzen und Schellnhuber (2005), S. 4

¹³⁹¹ Vgl. Cleveland (1999), S. 128; Carnot führte Experimente mit Dampfmaschinen durch und erweiterte die physikalischen Abläufe um eine ökonomische Betrachtung: Wie viel Energie kann durch Wärmeprozesse nutzbar gemacht werden? Er stellte fest, dass bei der Umwandlung von Wärme in mechanische Arbeit grundsätzlich Energie verloren geht; Vgl. dazu Heinemann (1994), S. 202; Kein Lebewesen außer dem Menschen verwendet thermische Verbrennung zur Gewinnung von Lebensenergie aus Exergie.

¹³⁹² Vgl. Allen (1994), S. 80

¹³⁹³ Vgl. Foran und Poldy (2002), S. 182; Die Herstellung von photovoltaischen Solaranlagen ist z. B. sehr energieintensiv – die Entwicklung zu einer großflächigen Nutzung kann vorübergehend durch konsequenten Einsatz fossiler Energie beschleunigt werden.

7.2.2.2 Leitplanken

Bei allen angedachten Lösungsansätzen für eine nachhaltige Energieversorgung, gilt es, die „Leitplanken nachhaltiger Energiepolitik“ einzuhalten.¹³⁹⁴ Diese umfassen sowohl ökologische Fragestellungen wie CO₂-Ausstoß, Flächenverbrauch, Schutz von flussnahen Ökosystemen, Schutz von Meeresökosystemen, als auch sozio-ökonomische Fragestellungen wie Versorgungssicherheit und Zugang für alle Menschen, vertretbarer (privatisierter) Kostenaufwand und gesellschaftliche sowie gesundheitliche Risiken. Dies alles auf industriellem Weg nachhaltig zu gewährleisten, ist eine der Aufgaben der IÖ. Dafür sind Methoden der regenerativen Energiegewinnung mit ihren Tendenzen zur Diversifikation, Effizienz, Innovation und Kundennähe viel näher an den bekannten ökologischen Prinzipien als die großtechnische Versorgung mit fossilen Energieträgern und passen sich somit strukturell ideal in die Umsetzung einer IÖ ein.¹³⁹⁵ Dennoch wird das Potenzial einer Energieversorgung nur aus regenerativen Quellen sehr kontrovers diskutiert.¹³⁹⁶ Auch die Bereitstellung regenerativer Nutzenergie ist auf energetische und materielle Investitionen angewiesen und die Verteilung der zumeist dezentral gewonnenen Energie kann nicht verlustfrei vonstatten gehen.¹³⁹⁷ Entscheidend für die zur Verfügung stehende Energie ist letztendlich die Netto-Nutzenergie-Erzeugung, der die direkte Nachfrage gegenüber steht, die sich in einem Nachhaltigkeitsszenario an den gegebenen Begrenzungen zu orientieren hat.¹³⁹⁸ Die Energieerzeugung ist in einer Form anzustreben, die die von ihr verursachten Stoffströme minimiert, weitestgehend natürliche Energieflüsse nutzt und mit möglichst geringer Eingriffstiefe und Flächeninanspruchnahme langfristig funktioniert.¹³⁹⁹ Die Umgestaltung der Energieversorgung wird Teil des Transformationsprozesses zu einer IÖ sein und sollte nach derzeitigem Wissensstand ca. innerhalb der nächsten 50 Jahre vonstatten gehen.¹⁴⁰⁰

¹³⁹⁴ Vgl. WBGU (Hrsg. 2003), S. 115

¹³⁹⁵ Vgl. Rechsteiner (2002), S. 10

¹³⁹⁶ Wobei es, wie gezeigt wurde, eben gerade dieser Diskussion überhaupt nicht bedürfte, da die fossilen Energieträger zu einem noch unbestimmten Zeitpunkt aufgebraucht sein werden und dann nur regenerative Energiequellen als Alternative bleiben; Nachhaltigkeit verlangt jedoch einen langen Zeithorizont.

¹³⁹⁷ Vgl. Conrad (1995), S. 58

¹³⁹⁸ Vgl. Czeskleba-Dupont (1999), S. 6

¹³⁹⁹ Vgl. Schäffler und Fahl (1995), S. 138

¹⁴⁰⁰ Vgl. Matthes (1995), S. 152

7.2.2.3 Ungelöste Probleme?

Das große Problem bei der Nutzbarmachung von Energie aus regenerativen Quellen ist der große Flächenbedarf wegen der grundsätzlich niedrigen Dichte der zur Verfügung stehenden Primärenergie (Sonnenstrahlung, Wind, Gefälle, Gezeiten, Wellengang, Biomasse, Erdwärme), die dem enormen Energiebedarf industrialisierter Gesellschaften gegenüber steht.¹⁴⁰¹ Um z. B. den Energiewert von ca. 3 % der momentanen globalen Erdgasförderung durch lager- und transportfähigen Wasserstoff zu ersetzen, benötigt man sogar im Sonnengürtel der Erde (um den 30° Breitengrad) eine Fläche von ca. 4400 km², in unseren gemäßigten Zonen (um den 50° Breitengrad) sogar 8000 km².¹⁴⁰² Der Flächenbedarf für eine komplette (globale) regenerative Energieversorgung ist also enorm und steht dazu noch in Konkurrenz zu anderen Nutzungsformen des Bodens. Darüber hinaus beansprucht regenerative Energieversorgung hohe materielle Investitionen beim Aufbau von Anlagen und Infrastruktur für Speicherung und Verteilung. Bei Solaranlagen wird obendrein großflächig der Albedo verringert, was zu einer zusätzlichen Erwärmung der bodennahen Luftschichten führt, die ökosystemare Wirkungen nach sich zieht, die noch gar nicht wissenschaftlich untersucht sind. Windkraftanlagen sind durch ihre optischen und akustischen Wirkungen auf die Umwelt bekannt.¹⁴⁰³ Somit wird es auch die Erzeugung von Nutzenergie aus regenerativen Quellen nicht zum ökologischen Nulltarif geben. Trotzdem gilt: Das Potenzial regenerativer Energie muss für den Antrieb einer IÖ ausreichen und es gibt durchaus Anzeichen dafür, dass dies auch möglich ist.¹⁴⁰⁴ Dafür bedarf es aber eines grundsätzlichen Überdenkens der gegenwärtigen Strukturen der Energieversorgung, die auf zentralisierte großtechnische Anlagen aufgebaut ist. Außerdem wird sich diese Fragestellung nur mit einem globalen Ansatz lösen lassen. Dabei ist neben den technischen Restriktionen vor allem mit ökonomischen zu rechnen.¹⁴⁰⁵ Immerhin geht es um eine Reduktion des jährlichen CO₂-Ausstoßes auf 10 % der gegenwärtigen Menge, wenn man sich an aktuellen wissenschaftlichen Studien orientiert, die nachhaltige Entwicklung als Maßstab für die entwickelten Szenarien zu Grunde legen. Dies ist eine Aufgabenstellung, die von einer

¹⁴⁰¹ Vgl. Huesemann (2003), S. 26

¹⁴⁰² Vgl. Erbrich (2004), S. 228

¹⁴⁰³ Vgl. Schäffler und Fahl (1995), S. 134

¹⁴⁰⁴ Vgl. Scheer (2002), S. 315

¹⁴⁰⁵ Vgl. Klemmer (2003), S. 141

IÖ mitgetragen werden muss, da zum einen die Industrie selbst sowohl als Energieverbraucher als auch als Energieerzeuger auftritt und obendrein Produkte und Dienstleistungen in Umlauf bringt, die beim Gebrauch Einfluss auf den Gesamtenergieverbrauch haben.

7.2.2.4 Formen der Energiegewinnung für eine Industrielle Ökologie

Welche Formen der Energiebereitstellung stehen für eine IÖ zur Verfügung und welche Wirkungen sind von einer konsequenten Umsetzung zu erwarten? Der Weltenergieverbrauch betrug (je nach Studie) im Jahr 2003 ca. 14,9 Mrd. t SKE¹⁴⁰⁶, was ca. 436 EJ entspricht, bzw. 443 EJ in 2003¹⁴⁰⁷ bzw. ca. 10537 Mio. t Erdöläquivalent (toe) in 2005¹⁴⁰⁸, was umgerechnet ca. 442 EJ entspricht. Die geringen Abweichungen sind statistischer Natur und methodenabhängig, die Größenordnung tendenziell ansteigend. In eine leistungsbezogene Größe umgerechnet entspricht diese Energie etwa 14 TWa, also einer Dauerleistung von 14 TW, die derzeit zu mehr als 80 % mit fossilen Energieträgern abgedeckt wird.¹⁴⁰⁹ Die Studien gehen von einem Anstieg des Energieverbrauchs bis 2050 um bis zu 100 % und bis 2100 um ca. 200 % aus, was gemäß des Idealszenarios einerseits langfristig aus regenerativen Quellen zu gewinnen ist, andererseits durch geeignete Maßnahmen im Rahmen der IÖ abgeschwächt werden soll.¹⁴¹⁰ Es ist jedoch davon auszugehen, dass der jährliche globale Energiebedarf langfristig 20 TWa weit übersteigen wird, die ausschließlich regenerativ zu erzeugen sind. Für die regenerative Energieerzeugung sind dabei die solaren und nicht-solaren Potenziale zu unterscheiden. Die nichtsolaren Quellen Geothermie mit einem technisch nutzbaren maximalen Potenzial von ca. 2 TWa und Gezeitenkraft mit maximal 3-5 TWa pro Jahr können hierbei einen marginalen Beitrag liefern.¹⁴¹¹ Bedeutender sind die direkt solar angetriebenen potenziellen Energiequellen wie Biomasse, Solarthermie, Photovoltaik, Wasserkraft, Wellen und Wind. Verschiedenen Szenarien aus wissenschaftlichen Studien taxieren eine ökonomisch vertretbare jährliche regenerative

¹⁴⁰⁶ Vgl. WEC und DNK (Hrsg. 2004), S. 23

¹⁴⁰⁷ Vgl. BMWi und BMU (Hrsg. 2006), S. 8

¹⁴⁰⁸ Vgl. BP (Hrsg. 2006), S. 40; Die IEA kommt für das gleiche Jahr auf 10579 Mtoe; Vgl. IEA (Hrsg. 2005), S. 6

¹⁴⁰⁹ Die solare Globalstrahlung strahlt mit einer Gesamtleistung von 178.000 TW auf die Erdatmosphäre, wie weiter oben gezeigt wurde.

¹⁴¹⁰ Vgl. MWV (Hrsg. 2001), S. 9 und Matthes (1995), S. 159

¹⁴¹¹ Vgl. Conrad (1995), S. 67

Erzeugung von Energie für das Jahr 2050 zwischen 17 und 20 Mrd. t SKE, also zwischen 15,8 und 18,6 TWh.¹⁴¹² Kombiniert man diese eher konservativ angelegten Energiestudien mit dem Idealszenario einer IÖ, das trotz globalen wirtschaftlichen Wachstums durch Effizienz- und Subsistenzstrategien zu einem nur geringen Anstieg des Energieverbrauchs beiträgt, so ist eine nachhaltige Energieversorgung mit Verzicht auf fossile Energieträger langfristig denkbar.¹⁴¹³ Allerdings erfordert dies einen konsequenten strukturellen Umbau des Energieversorgungssystems, unabhängig davon, ob ein „Soft-Solar-Szenario“ mit starker institutioneller Orientierung an der Effizienz und dezentral orientierter Energieversorgung oder ob ein „Hard-Solar-Szenario“ mit zentralen großtechnischen Lösungen zum Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft mit regenerativer Energieerzeugung angestrebt wird.¹⁴¹⁴ Beide Varianten sind technisch und ökonomisch realisierbar. Auch für den solar-energetisch nicht wirklich bevorzugten Standort Deutschland gibt es bereits sozio-ökonomische Studien, die darauf hinweisen, dass unter Berücksichtigung von Energieimporten auch hier bis zum Jahr 2100 eine regenerative Vollversorgung möglich ist, wenn zugleich ein konsequent darauf ausgerichtetes Energiemanagement mit effizienter Energienutzung betrieben wird.¹⁴¹⁵ Das Hard-Solar-Szenario erfordert aber großtechnische Lösungen im Sonnengürtel der Erde und eine langfristig stabile Nord-Süd-Kooperation mit weitreichenden politischen Konsequenzen hinsichtlich der energetischen Abhängigkeit von den Erzeugerstaaten.¹⁴¹⁶ Eine US-amerikanische Studie für das „Energy and Defense Project“ aus dem Jahr 1980 kommt beim damaligen Stand der Technik zu dem Ergebnis, dass eine regenerative autarke Vollversorgung der USA bis zum Jahr 2050 (theoretisch) möglich ist.¹⁴¹⁷ Dies wäre bereits allein mit der konsequenten Nutzung der direkten Sonneneinstrahlung durch Photovoltaik umsetzbar.¹⁴¹⁸ Allen diesen Szenarien ist gemeinsam, dass sie auf hohe Diversität auf allen Ebenen der Energieerzeugung aufbauen.¹⁴¹⁹

¹⁴¹² Vgl. Nitsch, Nast, Pehnt u.a. (2001), S. 29

¹⁴¹³ Vgl. ebda. S. 392

¹⁴¹⁴ Vgl. Nakicenovic und Messner (2002), S. 31; Wobei das Hard-Solar-Szenario davon ausgeht, das solar erzeugter Wasserstoff aus der südlichen Hemisphäre importiert wird, was jedoch keine der Regeln einer nachhaltigen Industriellen Ökologie verletzt, so lange dies ökonomisch und sozial angepasst geschieht.

¹⁴¹⁵ Vgl. Nitsch (2001), S. 19 und BMZ (Hrsg. 2004), S. 10

¹⁴¹⁶ Vgl. Trieb und Nitsch (2001), S. 41

¹⁴¹⁷ Vgl. Eurosolar (Hrsg. 2003a), S. 7

¹⁴¹⁸ Vgl. Scheer (1993), S. 109

¹⁴¹⁹ Vgl. Eurosolar (Hrsg. 2000), S. 4

- Auf der Ebene der Primärenergie sind dies Wasser, Wind, Sonne, Geothermie
- Auf der Ebene der Transformation sind dies Umwandlung von Biomasse, Photovoltaik, Solarthermie, Windkraftanlagen, Wasserkraftwerke und Elektrolyse
- Auf der Ebene der Energieträger sind das flüssige, feste und gasförmige Brennstoffe, Wärme und Elektrizität
- Auf der Ebene der Endenergie sind das Wärme unterschiedlicher Temperatur, mechanische Bewegungsenergie und spezifische Elektrizität

Aufbau einer nachhaltigen Energieversorgung

In Sinne der IÖ sollte der Aufbau der Anlagen zur Gewinnung, Speicherung und Verteilung der Energie auf dauerhaft verfügbaren und gut recycelbaren Materialien basieren.¹⁴²⁰ Diese Eigenschaften sind jedoch bei den verschiedenen Optionen sehr unterschiedlich ausgeprägt, was bei den Entscheidungsprozessen über die Schwerpunkte der Energiegewinnung zu berücksichtigen ist. Strukturell ist darauf zu achten, dass die Energieerzeugung und -bereitstellung möglichst zeit- und ortnah zum Verbrauch stattfindet, da Speicherung und Transport der Energieträger immer mit Effizienzverlusten verbunden sind und dass auf eine Vielfalt von Energiebereitstellungsmethoden zurückgegriffen wird.¹⁴²¹ Als ein exemplarisches Beispiel dieser Vielfalt soll das Potenzial der Biomasse kurz umrissen werden.

Beispiel Biomasse

Derzeit liegt der Anteil der Biomasse am Gesamtenergieverbrauch der EU-Staaten bei ca. 3,5 %. Dieser Anteil wird sich im Zuge der Umsetzung einer nachhaltigen Energieversorgung für eine IÖ mittelfristig wesentlich erhöhen (müssen).¹⁴²² Wie hoch der Anteil an der Gesamtenergieversorgung langfristig im Lauf des Transformationsprozesses sein wird, hängt von vielen Faktoren ab: Konkurrenzfähigkeit gegenüber anderen Energieträgern, Versorgungssicherheit, ökologische Wirkungen und nicht zuletzt das maximal verfügbare Potenzial, das wesentlich durch die Fläche, Bodenbeschaffenheit und die klimatischen Bedingungen bestimmt wird. Man hat es hier mit variablen öko-

¹⁴²⁰ Vgl. Conrad (1995), S. 72

¹⁴²¹ Vgl. Braungart und McDonough (2003), S. 168

¹⁴²² Vgl. Marsanich (2003), S. 121

nomischen und physischen Größen zu tun, die bei einer Versorgung mit fossilen Energieträgern weitgehend vernachlässigt werden konnten, da diese zum größten Teil kurz- und mittelfristig konstante Größen darstellten.¹⁴²³ Das global nachhaltig nutzbare Potenzial der Biomasse liegt bei ca. 6 TWa/a. Ein Vorteil liegt in der Möglichkeit, flüssige oder feste Energieträger aus Biomasse zu raffinieren und die bestehende Infrastruktur zur Lagerung und Verteilung weiter nutzen zu können. In einem Übergangsstadium der Transformation zu einer nachhaltigen Energieversorgung wird diese Möglichkeit eine wichtige Rolle spielen. Ein Weg in diese Richtung wird im Plantagenanbau spezialisierter Energiepflanzen gesehen.¹⁴²⁴ Allerdings sind mit der großtechnischen Erzeugung von Biomasse-Energie Risiken verbunden, wenn dafür auf industrielle Anbaumethoden zurückgegriffen wird, wie sie aus der Landwirtschaft bereits bekannt sind: ökologische Verarmung, Eutrophierung von Gewässern und Bodenerosion. Für das Szenario einer vorwiegend auf Wasserstoff basierenden Energiewirtschaft bedarf es hingegen wesentlich größerer struktureller und technologischer Veränderungen, die hier nicht näher beleuchtet werden.

7.2.2.5 Ökonomische Aspekte einer nachhaltigen Energieversorgung

Die nicht-regenerativen Energieträger unterliegen durch ihre Verknappung im Zeitablauf einer gesetzmäßigen progressiven Kostenfunktion, die auch durch technologische Effizienzsteigerungen langfristig nicht aufgefangen werden können. Der progressive Verlauf der Funktion setzt spätestens ab dem Zeitpunkt des maximalen rohstofflichen Ertrags (z. B. Peak Oil) ein. Regenerative Energiegewinnung unterliegt demgegenüber derzeit einer degressiven Kostenfunktion, vor allem durch „economies of scale“ bei der Produktion der notwendigen Investitionsgüter (z. B. Solarzellen aus Massenproduktion), stetiger Weiterentwicklung der Technologie (z. B. effizientere und größere Windkraftanlagen) und Wegfall der ansteigenden Kosten für rohstoffliche Energieträger.¹⁴²⁵ Ökonomisch betrachtet ist es also keine Frage, ob die Bereitstellung der für industrielle Produktion notwendigen Energie aus regenerativen Quellen konkurrenzfähig ist, sondern nur eine Frage des Zeitpunktes, wann sich die beiden Kostenkurven (Kosten/kWh)

¹⁴²³ Hierzu zählen Reserven, Förderungsmenge, Abbaukosten, Brennwert bzw. Energiedichte und geographische Lage.

¹⁴²⁴ Vgl. Williams (1994), S. 199

¹⁴²⁵ Vgl. REN21 (Hrsg. 2005), S. 12f

schneiden werden. Berücksichtigt man zudem die „ökologischen (externen) Kosten“ der Energieerzeugung, rückt der Schnittpunkt noch näher oder ist bereits überschritten. Von der jetzigen Situation ausgehend ist jedoch für einen mittelfristigen Zeitraum mit positiven Differenzkosten gegenüber der angestammten Energieerzeugung aus fossilen Energieträgern zu rechnen, da hohe Kapitalinvestitionen in noch junge Technologien notwendig und die Wartungs- und Betreuungskosten anfangs höher sind.¹⁴²⁶ Volkswirtschaftlich gesehen erhöhen die Inlandsinvestitionen in regenerative Energieerzeugungsanlagen die Außenhandelsbilanz, da durch sie bis dahin importierte fossile Energieträger ersetzt werden.¹⁴²⁷ Allerdings hängt die Entwicklung des relativen Kostenpfades auch von der Kostenentwicklung der fossilen Brennstoffe bei zunehmender Knappheit ab. Um auf den Pfad der nachhaltigen Energieversorgung zu gelangen, bedarf es zumindest anfangs entweder institutioneller ökonomischer Stützung oder eines breiten ideellen Einsatzes von Seiten der Endverbraucher und durch NGOs.¹⁴²⁸ Ersteres ist wesentlich vielversprechender, letzteres wirkt unterstützend. Sowohl ökonomisch als auch aus Sicht der ökologischen Verträglichkeit gibt es vor dem Hintergrund einer IÖ langfristig betrachtet keine Alternative zur regenerativen Energiebereitstellung, weshalb eine gezielte Förderung der entsprechenden Forschung und Entwicklung ein wichtiger Teil der Strategie zur Transformation darstellt.¹⁴²⁹ Erst wenn die Flächenkosten der regenerativen Energie durch Verknappung aufgrund zunehmender Nachfrage ansteigen, wird sich der degressive Verlauf der Erzeugungskosten abflachen und umkehren. Dies ändert jedoch nichts an der Tatsache, dass eine rohstofflich basierte nachhaltige Energieversorgung langfristig nicht möglich ist, sondern ist Ausdruck des begrenzten Gesamtenergiestromes, der pro Zeiteinheit mit einer bestimmten Dichte zur Verfügung steht. Das Potenzial für die Bereitstellung regenerativer Energie ist naturgesetzlich beschränkt, weshalb die Grenzkosten der Erzeugung bei Annäherung an die Potenzialgrenze ansteigen. Das zeigt auch, welche Bedeutung die technische, institutionelle und verhaltensbezogene Weiterentwicklung in diesem Bereich haben. Je flächeneffizienter die Netto-Energieproduktion aus regenerativen Quellen gestaltet werden kann, desto wichtiger wird dieser Bereich für die wirtschaftliche Entwicklung

¹⁴²⁶ Vgl. Nitsch, Nast, Pehnt u.a. (2001), S. 386

¹⁴²⁷ Vgl. Nitsch (2001), S. 20

¹⁴²⁸ Vgl. REN21 (Hrsg. 2005), S. 5

¹⁴²⁹ Vgl. Eurosolar (Hrsg. 2003), S. 3

einer Region, da die Exportchancen für diese Produkte ansteigen.¹⁴³⁰ Dies führt im Rahmen der Transformation zur IÖ zu einem zusätzlichen Wandel in der Wirtschaftsstruktur.

7.2.3 Der Abfall-Begriff und das Recycling

7.2.3.1 Abfall

Die nicht konsumierten und nicht mehr konsumierbaren Reste der Stoffe und Materialien, die zur Produktion von Gütern den Beständen der Natur in Form von Ressourcen entnommen wurden, werden gemeinhin als Abfall bezeichnet.¹⁴³¹ Thermodynamisch betrachtet gibt es drei Bestimmungsgründe für die Entstehung von Kuppelprodukten bzw. Abfall¹⁴³²:

- Thermodynamische Ineffizienz führt zu Wirkungsgraden $< 100\%$ bei industriellen Prozessen
- Die Verwendung von stoffgebundenen Energieträgern führt zur Dissipation unerwünschter Stoffe aus dem Energieträger, die nicht ins Produkt eingehen
- Da industrielle Produktionsprozesse in begrenzten Zeiträumen ablaufen (müssen), befinden sie sich fernab thermodynamischer Gleichgewichtsbedingungen, weshalb mehr Exergie im Prozess verloren geht. Je schneller ein Produktionsprozess durchgeführt werden soll, desto stärker wird dieser relative Effekt.

So argumentiert, ist die Entstehung von Kuppelprodukten der Massengleichung anzulasten, da in der Regel Stoffgemische als Ursprungsmaterial zur Verfügung stehen, die zuerst veredelt werden müssen, bevor sie in den weiteren Produktionsprozess Eingang finden. Da der erwünschte Output niederentropisch ist und die Entropie im besten Fall gleich bleiben kann (praktisch jedoch ansteigt), kann das Kuppelprodukt wegen des zweiten Hauptsatzes der Thermodynamik nur hochentropisch und damit sowohl ökolo-

¹⁴³⁰ Vgl. Kurdziel und Becker (2004), S. 446

¹⁴³¹ Vgl. Faber und Manstetten (2003), S. 137; Dies gilt aber nur für den Fall, dass diese Stoffe und Materialien keinen ökonomischen Wert mehr zu besitzen scheinen und nach ihrem Gebrauch deshalb keiner nutzenstiftenden Verwendung zugeführt werden.

¹⁴³² Vgl. Baumgärtner (2002a), S. 31; Abfall kann hier auch als zeitlich versetzt anfallende Kuppelproduktion des Konsums betrachtet werden.

gisch als auch ökonomisch weniger wert sein.¹⁴³³ Wie ist nun das Auftreten von Abfall bzw. Müll im industriellen Produktions- und Konsumsystem zu bewerten, wo es doch nach thermodynamischen Gesichtspunkten unvermeidlich ist? Dies ist eine Frage der (relativen) Menge und der sozialen Bewertung der entsprechenden Kuppelprodukte, die ja erst zu Abfall werden, wenn sie als solcher bestimmt werden. Lomborg reduziert z. B. das Auftreten von Abfall auf ein Organisationsproblem.¹⁴³⁴ Er rechnet vor, dass es immerhin 12000 Jahre dauern würde, bis die gesamte Fläche der USA bei der derzeitigen Entwicklung des Müllaufkommens mit einer 30 m dicken Müllschicht bedeckt wäre. Ob dies als ein Problem zu betrachten wäre, ist durchaus Ansichtssache. Aus Sicht der Nachhaltigkeit ist jedoch ein solches Szenario nicht hinzunehmen, da Landflächen zukunftsicher durchaus nützlicheren Verwendungszwecken zugeführt werden können. Deshalb nimmt sich auch die IÖ dieses Themas besonders an. Die Minimierung des Abfallaufkommens ist eines der Grundziele der IÖ.¹⁴³⁵ Dies wird in der Regel durch Vermeidung oder Verwertung (Recycling) erreicht. Für die einem Recycling nicht zuzuführenden Stoffe müssen darüber hinaus Beseitigungsmethoden gefunden werden, die mit den Nachhaltigkeitsregeln vereinbar sind.¹⁴³⁶ Daraus lässt sich der Ansatz eines integrierten Abfallmanagements ableiten, das den Abfallbegriff zuerst wieder auf den Begriff der Kuppelprodukte zurückführt und darauf ausgerichtet ist, diese einer wirtschaftlichen Verwendung zuzuführen und dabei alle nachhaltigkeitsrelevanten Einflussgrößen berücksichtigt.¹⁴³⁷

7.2.3.2 Recycling

*Das Schließen von Stoffkreisläufen durch das Rückführen von Rückständen aus Produktionsprozessen bzw. von Altprodukten und -stoffen nach deren Gebrauch in die Produktion oder für den (erneuten) Gebrauch wird als Recycling bezeichnet.*¹⁴³⁸

Recycling als ökonomische Tätigkeit hat eine lange, historische Tradition.¹⁴³⁹ Dennoch ist für die Umsetzung einer IÖ ein systemischer Blick auf die Möglichkeiten und Gren-

¹⁴³³ Vgl. Baumgärtner und de Swaan Arons (2003), S. 116; Letztere Aussage ist jedoch eine ökonomische Wertung, thermodynamisch liegt nur ein niedrigerer Ordnungszustand vor.

¹⁴³⁴ Vgl. Lomborg (2002), S. 245

¹⁴³⁵ Vgl. Manahan (1999), S. 249

¹⁴³⁶ Diese wurden in Abschnitt 2.2.2 dargestellt.

¹⁴³⁷ Vgl. Kijak und Moy (2004), S. 47

¹⁴³⁸ Kaluza und Blecker (1996), S. 385

zen der Wiedergewinnung von Stoffen bei den gegebenen Systemverflechtungen ein wesentlicher, längst nicht gelöster Punkt. Das hat unterschiedliche Gründe. Die Prozesse des Recycling sind nur schwer auf einen Blick zu erfassen, weil die Grenzen zwischen Recycling, Produktion und anderen Aktivitäten des Abfallmanagements nur schwer zu ziehen sind.¹⁴⁴⁰ Zwar gibt es grundlegende Strukturmerkmale, nach denen Recyclingmaßnahmen prinzipiell zugeordnet werden können, doch ist der Begriff in all seinen Facetten so verästelt, dass er in vielfältiger Weise die Ansätze der IÖ mitbestimmt. Für die IÖ sind die Recyclingformen Wiederverwendung, Weiterverwendung, Wiederverwertung und Weiterverwertung in allen Ausprägungen wichtig, wobei die Übergänge häufig fließend sind.¹⁴⁴¹ Genau genommen, ist die Möglichkeit, Materialien im Wirtschaftskreislauf recyceln zu können, die wichtigste der notwendigen Grundbedingungen einer funktionierenden IÖ. Eine aus der Natur abgeschaut notwendige Grundfunktion ist die Fähigkeit, zusammengefügte Materialien wieder in ihre Ausgangskomponenten zerlegen zu können, um sie einer erneuten Nutzung zuzuführen.¹⁴⁴² Welche Formen des Recycling dabei eine besondere Rolle spielen und welche Implikationen dabei auftreten, soll hierfür geklärt werden. Man kann bei nicht-regenerativen Materialien grundsätzlich drei Klassen unterscheiden:¹⁴⁴³

Klasse nicht-regenerativer Materialien	Recycling technologisch möglich	Recycling ökonomisch vorteilhaft	Beispiele
I	ja	ja	Metalle, Steine und Erden
II	ja	nein	Verpackungsmaterialien, Verbundstoffe
III	nein	nein	Schmierstoffe, Betriebsstoffe, Pigmente, chemische Reagenzien

Tabelle 4: Klassifizierung nicht-regenerativer Materialien

Diese holzschnittartige Einordnung in Klassen ist naturgemäß kontextrelativ, da sich die technischen Möglichkeiten und ökonomischen Rahmenbedingungen ständig ändern und

¹⁴³⁹ Vgl. Desrochers (1998), S. 5ff

¹⁴⁴⁰ Vgl. Osório-Petres (2003), S. 84

¹⁴⁴¹ Vgl. Fleig (Hrsg. 2000), S. 15

¹⁴⁴² Vgl. Manahan (1999), S. 20

¹⁴⁴³ Vgl. Huesemann (2003), S. 24

den Akteuren nicht immer eindeutig bekannt ist, zu welcher Klasse ein Material gehört.¹⁴⁴⁴ Gerade die Transformation zu einer IÖ erfordert das Bestreben, erstens möglichst viele Stoffe aus den Klassen I und II für industrielle Produktionsprozesse und Produkte zu verwenden, zweitens Stoffe aus Klasse III zu vermeiden und drittens darüber hinaus Wege zu finden, unersetzliche Stoffe aus Klasse III durch Innovationen in Klasse I und II zu etablieren. Allerdings handelt es sich in Gruppe III vor allem um höchst dissipative Stoffe, die bei der Verwendung sehr fein in der Umwelt verteilt werden, weshalb allein schon die Gesetze der Thermodynamik Grenzen für eine Wiederverwertung setzen, da der notwendige Aufwand mit zunehmender Verwertungsquote gegen unendlich strebt.¹⁴⁴⁵ Eine ökonomische Grenze für das Recycling unterschiedlicher Materialien stellt der Quotient der Mengenverhältnisse des zu gewinnenden Rohstoffes in natürlichen Vorkommen zu dem im Sekundär-Material dar, aus dem er zurückgewonnen werden soll. Je kleiner dieser Wert ist, desto lohnender ist die Rückgewinnung. Bei einem Wert größer als 1 ist Recycling in der Regel die ökonomisch nachteilige Form der Rohstoffgewinnung.¹⁴⁴⁶ Dies hängt letztendlich von der Dichte der Rohstoffe im Primärmaterial ab, die sich im Zeitablauf des Abbaus tendenziell verringert. Andersherum gilt, dass mit abnehmender Konzentration des wiederzugewinnenden Stoffes im Sekundärmaterial der Energieaufwand für die Rückgewinnung exponentiell ansteigt.¹⁴⁴⁷ In diesem Zusammenhang hat sich empirisch gezeigt, dass beim derzeitigen Stand z. B. im Bereich der überwachungsbedürftigen Abfälle (hazardous waste) noch nicht einmal das ökonomisch tragfähige Potenzial an recycelbaren Stoffen (insbesondere Schwermetalle) ausgeschöpft wird. Dahinter liegen die dissipativen Verluste dieser ökotoxischen Substanzen, die in vielen Fällen in erhöhter Konzentration in der Ökosphäre nachweisbar sind.¹⁴⁴⁸ Da der Gebrauch von Schwermetallen im Lauf der Industrialisierung kontinuierlich zugenommen hat, kommt den dissipativen Verlusten eine immer größere Bedeutung zu.¹⁴⁴⁹ Zwar sind nicht alle ökotoxischen Wirkungen und die kritischen Konzentrationen dieser Stoffe bekannt, aber

¹⁴⁴⁴ Vgl. Ayres (1994), S. 12

¹⁴⁴⁵ Vgl. Erkman, Francis und Ramaswamy (2001), S. 5

¹⁴⁴⁶ Vgl. Allen (2003), S. 5; Die Preisfunktion von Sekundär-Rohstoffen folgt den gleichen Gesetzmäßigkeiten der Konzentration von Rohstoffen in den Primärvorkommen.

¹⁴⁴⁷ Vgl. Eyerer und Wolf (2000), S. 140

¹⁴⁴⁸ Vgl. Karlsson (1999), S. 24

¹⁴⁴⁹ Vgl. Ayres und Ayres (1994), S. 272

ab bestimmten Konzentrationen in der Umwelt sind signifikante Schädigungen zu erwarten.¹⁴⁵⁰ Hier liegt ein großes Entwicklungspotenzial für die Kommunikation der Implikationen einer IÖ, da insbesondere Informationsmangel und rechtliche Vorgaben Initiativen für eine sogar ökonomisch vorteilhafte Verwertung einschränken. Es sprechen somit grundsätzlich zwei Punkte gegen die Verwendung von nicht-regenerativen Klasse III-Materialien: Die unwiederbringliche Verteilung und damit Erschöpfung der entsprechenden Stoffe und deren toxische Wirkungen in den Ökosystemen. Es kann damit nur ein konsequent proaktiv und gemeinsam von allen beteiligten Akteuren einschlagender Weg in Richtung IÖ beschrritten werden, der dahin führt, dass hochdissipative Stoffe dem Konsistenzkriterium entsprechen. Reaktiv zu warten, bis der technische Fortschritt die zunehmende Schließung von Stoffkreisläufen ermöglichen wird, wenn Ressourcen so teuer werden, dass kein anderer Weg mehr offen steht, wäre beim derzeitigen Stand des Wissens der Ausdruck einer nicht angebrachten Trägheit der existierenden industriellen Sub-Systeme. Jede Stufe und jedes Element einer IÖ bedarf eines proaktiven Ansatzes.¹⁴⁵¹ Werden Wiederverwertungskreisläufe aufgebaut, so unterscheidet man folgende Stufen des Recycling:¹⁴⁵² (Raum- und Einsatzstoffbezogen)

- Unmittelbares Recycling (innerhalb des selben Produktionsprozesses)
- Mittelbares Recycling (innerhalb des gleichen Produktionsprozesses mit zeitlicher oder räumlicher Verlagerung)
- Produktionsintegriertes Recycling (Kombination aus beiden oben genannten Ansätzen unter zusätzlicher Einbeziehung von Bauteilen oder -gruppen aus dem Produktionsprozess)
- Systemintegriertes Recycling (Kombination prozessinterner Recyclingansätze mit externen betriebsfremden Produktionsprozessen)

Dabei sollte sichergestellt werden, die Sekundärgüter zum frühest möglichen Zeitpunkt am räumlich nächsten Einsatzort zu verwenden. Dies bringt ökonomische Vorteile ge-

¹⁴⁵⁰ Vgl. Thomas und Spiro (1994), S. 314

¹⁴⁵¹ Dass diese Rolle derzeit vor allem die Wissenschaft einnimmt, zeigt die Trägheit des sozio-ökonomischen Systems, wie sie im Kapitel Humanökologie aufgezeigt wurde.

¹⁴⁵² Vgl. Kaluza /Dullnig /Goebel (2001), S. 48f

ringerer Transport- und Lagerkosten mit sich.¹⁴⁵³ Je höher der Volumenwert des (wieder) eingesetzten Gutes ist, desto stärker fällt dieser Aspekt ins Gewicht.¹⁴⁵⁴ Für die IÖ bedarf es eines Konzeptes, das alle Formen des Recycling in einem holarchischen System zusammenfasst. Außerdem bedarf es neuer Wege der Wiedergewinnung, die über das bewährte und altbekannte Recycling von Metallen, Glas und Papier hinaus gehen. Dabei handelt es sich um Stoffe, für die durch ihre chemisch und mechanisch relativ einfache Auftrennbarkeit bereits etablierte Recyclingstrukturen bestehen. Allerdings gibt es auch bei den etablierten Stoffkreisläufen noch zu lösende Probleme durch Störstoffe und unvollkommene Reinheit der Sekundärstoffe, die eine höherwertigere und höherprozentige Wiederverwertung behindern.¹⁴⁵⁵ Gerade bei den Metallen, die spezifische Eigenschaften durch besondere Legierung erhalten, führt die Vermischung beim Recycling regelmäßig zu einer verminderten Qualität des Sekundärmaterials, obwohl gerade Metalle durch eine gute Recyclbarkeit gekennzeichnet sind.¹⁴⁵⁶ Regelmäßig auftretende Beimengungen, die nicht abgetrennt werden können, reichern sich in den Sekundärrohstoffen bei jedem Kreislaufdurchgang an und vermindern deren Reinheit, was faktisch einem Downcycling entspricht. Im Rahmen der IÖ gilt es, die Grenzen der Kreislaufführung auszuweiten, indem neue sowohl technische als auch organisatorische Trennverfahren für Beimengungen entwickelt werden oder mehr Stoffkreisläufe aufgebaut werden, in denen dieses Phänomen erst gar nicht auftritt. Dies ist wahrscheinlich in wesentlich höherem Umfang möglich als bislang, da auch natürliche Vorkommen der Primärrohstoffe durch Stoffgemische gekennzeichnet sind, die bei der Gewinnung durch technische Verfahren aufgetrennt werden.¹⁴⁵⁷ Dennoch wird bei den in Produkten verwendeten Materialien eine Orientierung an deren Recyclierbarkeit für das Funkzionieren der IÖ unumgänglich sein. Hierbei wird „Design for Environment“ (DfE) eine wichtige Rolle spielen.¹⁴⁵⁸ Prinzipiell wird in der IÖ eine Recyclingquote von annähernd 1 angestrebt, da dies der Zielwert ist, der von der Natur als „Vorbild“ gesetzt ist.¹⁴⁵⁹ Allerdings wird dieser Wert nur über einen langen Zeitraum zu erreichen sein, da

¹⁴⁵³ Vgl. Cohen-Rosenthal (2004), S. 1118

¹⁴⁵⁴ Vgl. Steven (1996), S.55

¹⁴⁵⁵ Vgl. Sander (2002), S. 30

¹⁴⁵⁶ Vgl. Verhoef, Dijkema und Reuter (2004), S. 24

¹⁴⁵⁷ Allerdings zumeist in völlig anderer Zusammensetzung als in den natürlichen Erzvorkommen.

¹⁴⁵⁸ Vgl. Abschnitt 7.5.4

¹⁴⁵⁹ Vgl. Bailey, Bras und Allen (2004), S. 71

viele Stoffe bei derzeitigen Recyclingvorgängen an Qualität abnehmen und verwendbare Rohstoffe nur unter Zugabe neuen Materials zu erzeugen sind.¹⁴⁶⁰

7.2.3.3 Recycling und Energie

Was die Bedeutung des Recycling für eine nachhaltige Ökonomie angeht, ergeben sich aus den Erkenntnissen, die die ökologische Wissenschaft bietet, folgende Grundprinzipien:¹⁴⁶¹

- a. Alle eingesetzten nichtregenerativen Ressourcen müssen so weit als möglich recycelt werden
- b. Die Relation von für die Produktion und den Gebrauch von Produkten eingesetzter Energie zur für die Wiederbereitstellung der Rohstoffe aufgewendeten Energie muss sich wesentlich zu Gunsten der Recyclingtätigkeit verschieben (d. h. der Anteil des energetischen Aufwandes für Recycling am gesamtwirtschaftlichen Energieverbrauch wird wesentlich ansteigen)
- c. Es können nur in solchem Umfang nicht-regenerative Ressourcen im Kreislauf geführt werden, wie dafür regenerative Energie zur Verfügung steht, die dann für andere Nutzungsformen nicht mehr nutzbar ist
- d. Die Verwertungswirtschaft muss als ökonomisch gleichwertiger Part zur Produktionswirtschaft anerkannt werden, da die dortige Wertschöpfung die essenzielle Grundlage für die Produktion darstellt

Als Prämisse für diese Regeln sei wieder gesetzt, dass langfristig ausschließlich regenerative Energieträger und damit pro Zeiteinheit nur begrenzte Energiemengen zur Verfügung stehen. Die sich daraus ergebenden Restriktionen für den Energieeinsatz in industrialisierten Gesellschaften müssen anhand von Nachhaltigkeitskriterien operationalisiert werden. Punkt b. und c. deuten schon darauf hin, dass dies nicht ohne Verteilungskämpfe vonstatten gehen kann. Wenn die begrenzte Ressource Energie nicht mehr wie bisher¹⁴⁶² auf Kosten unerwünschter Stoffdissipation fast ausschließlich in produktive und konsumtive Prozesse eingebracht wird, sondern zu einem Großteil in die Wiedergewinnung von Rohstoffen fließen muss, so wird deutlich, dass die bisherigen

¹⁴⁶⁰ Vgl. Schenk, Moll und Potting (2004), S. 144

¹⁴⁶¹ Mit Verweis auf Abschnitt 4.2.3.2

¹⁴⁶² Vgl. StaLa BW (Hrsg. 2004), S. 3

Wirtschaftsweisen die Grundlagen ihrer eigenen Existenz von zwei Seiten her ausgebeutet haben: der stofflichen und der energetischen. Werden nun beide Quellenseiten energetisch betrachtet und deren Nutzungsfähigkeit den natürlichen Einschränkungen unterworfen, so wird letztendlich die Verfügbarkeit von Energie zum Flaschenhals industrieller Prozesse. Wenn mehr Stoffe in Umlauf gebracht oder in Produkten gebunden werden sollen, so muss mehr der knappen Energie darauf verwendet werden, diese Stoffe im Kreislauf zu halten – äquivalent zu den Erkenntnissen aus der Ökologie – dass mit zunehmender Biomasse die energetischen Instandhaltungskosten ansteigen. Das heißt, die Umsetzung einer nachhaltigen IÖ kann nicht ohne Folgen für Umfang und Qualität sowohl industrieller Produktion als auch des Massenkonsums bleiben. Effizienz- und Konsistenzansätze für zukunftsfähiges Wirtschaften sind zwar unerlässlich, werden aber ohne flankierende Subsistenzansätze nicht zielführend sein. Dabei wird die Technologie, die letztendlich die Stoff- und Energieströme verursacht, bei der Umsetzung des Prozesses nachhaltiger Entwicklung eine entscheidende Rolle spielen. So ist es unumgänglich, dass bereits bei der Planung und Konstruktion von Produkten auf die Recyclingfähigkeit des eingesetzten Materials geachtet wird und dass darüber hinaus bereits bei der Herstellung selbst möglichst viel Sekundärmaterial eingesetzt wird.¹⁴⁶³ Dies bedeutet nichts weniger als eine völlige Neuausrichtung der bisherigen Produktionsweisen unter ständiger Berücksichtigung der Anforderungen einer IÖ. Wenn es um die Rückführung von Stoffen in den Wirtschaftskreislauf geht gilt es, multivariate Fragestellungen zu beantworten, die die Relationen zwischen ökonomischen Kosten und ökologischen Folgen auf der einen Seite und der Qualität der wiedergewonnenen Stoffe und deren ökonomischer Einsatzfähigkeit auf der anderen Seite berücksichtigen.¹⁴⁶⁴ Die Thermodynamik zeigt auf, dass der energetische Aufwand und damit die Kosten mit zunehmender Rückgewinnungsquote und steigender Qualität des Sekundärrohstoffes zunehmen.¹⁴⁶⁵ Der Zusammenhang lautet: Je geringer die Dichte des zu recycelnden Materials ist, desto aufwändiger ist dessen Konzentrierung auf ein verwendbares Maß, was einen überproportionalen Energieeinsatz zur Folge hat. Dies muss jedoch differenziert werden. Denn betrachtet man auf ökologischer Ebene die Bedingungen der Wieder- und Weiterverwendung von Stoffen, so sieht man auf den fünf Trophiestufen

¹⁴⁶³ Vgl. Hoffmann und Rombach (1993), S. 87

¹⁴⁶⁴ Vgl. Roine und Brattobo (2003), S. 109

¹⁴⁶⁵ Vgl. Sterr (2003), S. 166

vom Primärproduzenten über die Primär-, Sekundär- und Tertiärkonsumenten sowie die Destruenten einen relativ zunehmenden Energieverlust in Form abgestrahlter, also nicht mehr nutzbarer Wärme.¹⁴⁶⁶ Energieverlust von einer Gebrauchsstufe zur nächsten geht konform mit der normativen Herangehensweise, bei naturökologischen Prinzipien Anleihen zu machen, wenn es darum geht, eine IÖ zu gestalten. Schwierig gestaltet sich nur die Grenzziehung, welche Recyclingprozesse durch ihren hohen Energieeinsatz eine insgesamt negative Wirkung auf die nachhaltige Entwicklung haben, die man hier gedanklich mit der „Beständigkeit“ von Ökosystemen gleichsetzen kann. Da auf absehbare Zeit jedoch Energie von der Sonne ins Ökosystem Erde eingestrahlt wird, ist der Engpassfaktor gerade in der Erhaltung nicht-regenerativen Materials und dem Fernhalten der Natur nicht bekannter Stoffe aus den natürlichen Kreisläufen zu sehen.¹⁴⁶⁷ Der negative ökologische „Wert“ des Materialverlustes darf den Wert der ökologischen Wirkungen der Energiebereitstellung nicht übersteigen. Oder anders ausgedrückt, optimal im Sinn der Nachhaltigkeit sind anthropogene Recyclingprozesse, wenn der vermiedene negative Wert des (endgültigen) Stoffverlustes gleich dem Wert der Bereitstellung der für den Prozess notwendigen (regenerativen) Energie ist. Die Problematik der „Bewertung“ ist mit einer so einfachen Entscheidungsregel allerdings noch nicht gelöst.

Verbrennung als Entsorgungsstrategie?

Die Verbrennung nicht mehr in den Wirtschaftskreislauf re-integrierbarer Stoffe wird in Fachkreisen auch als „thermische Verwertung“ und damit euphemistisch als eine Form des Recycling bezeichnet. Aus der in der Ökologischen Ökonomik eingeführten thermodynamischen Sicht kann dies nicht so stehen bleiben, da die verbrannten Stoffe in mehrfacher Hinsicht Negentropie (bzw. Emergie) enthalten, bei der Verbrennung jedoch nur Entropie in Form von Dissipation und im besten Fall Nutzenergie erzeugt wird.¹⁴⁶⁸ Der scheinbar gewonnenen Wärmeenergie (die entropisch gesehen ja eine entwertete Energieform darstellt) steht die in den vermischt verbrannten (und damit dissipativ verstreuten) Materialien gespeicherte intelligente Produktionsenergie gegen-

¹⁴⁶⁶ Vgl. Haber (1993), S. 46

¹⁴⁶⁷ Vgl. Kaberger und Mansson (2001), S. 176

¹⁴⁶⁸ Vgl. Cohen-Rosenthal (2004), S. 1113

über, die in ihrer Wertigkeit die gewonnene Wärme um ein Vielfaches übersteigt.¹⁴⁶⁹ Für Kupfer z. B. beträgt der entropische Aufwand bei der Neugewinnung gegenüber dem Recycling ca. 500:10.¹⁴⁷⁰ Verbrennung von im Wirtschaftskreislauf verwendeten aber aus verschiedenen Gründen scheinbar nicht mehr nutzbaren Materialien ist thermodynamisch betrachtet grundsätzlich ein Verlustgeschäft und zählt damit definitiv nicht zu den Recyclingmethoden und sollte im Rahmen einer IÖ die Ausnahme bleiben.¹⁴⁷¹ Sie stellt allenfalls eine Notlösung bei Abwesenheit von Phantasie und Kreativität dar.¹⁴⁷² Trotzdem kann in Einzelfällen, die jeweils zu prüfen sind, auch die Verbrennung eine nachhaltige Lösung sein.¹⁴⁷³ Sie bleibt jedoch die Ausnahme. Recyclingprozesse erfordern eine adäquate Technologie, die ökonomische, ökologische und soziale Belange erfüllt. Insbesondere ökonomische und ökologische Optima der nötigen technologischen Prozesse liegen bei den derzeitigen Rahmenbedingungen und beim derzeitigen Stand der Technik zumeist noch weit auseinander und erfordern eine Annäherung.¹⁴⁷⁴ Eine nicht zu unterschätzende Pfadabhängigkeit beim Aufbau von mit hohen Investitionen verbundenen Verbrennungskapazitäten führt obendrein zu Sachzwängen, die eine direkte Konkurrenz zu wirklichen Verwertungswegen darstellen.¹⁴⁷⁵

7.2.4 Die Bedeutung von Technologie bei Nachhaltigkeitsinnovationen

Technologie ist als Produkt der kulturellen Evolution der Menschheit¹⁴⁷⁶ bei den vorliegenden Fragestellungen ein entscheidender Ansatzpunkt, dem im Rahmen der Umsetzung einer nachhaltigen IÖ eine hohe, wenn nicht gar entscheidende Bedeutung zukommt.¹⁴⁷⁷ Technologie spielt bei sozio-ökonomischen Transformationsprozessen durch die enge Verflechtung von Entwicklung und Technologie eine Schlüsselrolle und

¹⁴⁶⁹ Vgl. Sartorius (1999), S. 442

¹⁴⁷⁰ Vgl. Schmidt-Bleek (1998), S. 86

¹⁴⁷¹ Vgl. Huber (1999), S. 4

¹⁴⁷² In dieser Eigenschaft ist sie somit nur der Deponierung vorzuziehen, bei der nicht einmal die vorhandene potenzielle Wärmeenergie genutzt wird und im besten Fall zu einem späteren Zeitpunkt eine Wiedergewinnung aus der Deponie möglich ist, was heute in einzelnen Fällen praktiziert wird, wenn die Dichte des erwünschten Stoffes in der Deponiemasse für eine ökonomische Wiedergewinnung ausreicht – in der Regel ist die Wiedergewinnung aus dem heterogenen und durch chemische Reaktionen in der Deponie veränderten Stoffgemisches jedoch wesentlich aufwändiger als die Wiedergewinnung direkt am Entstehungsort der Stoffe.

¹⁴⁷³ Vgl. Janssen und van den Bergh (1999), S. 4

¹⁴⁷⁴ Vgl. Benko, Koczka, Szanyi u.a. (2005), S. 97

¹⁴⁷⁵ Vgl. Cohen-Rosenthal (2004), S. 1120

¹⁴⁷⁶ Vgl. Steiner (1992), S. 23

¹⁴⁷⁷ Vgl. Ohlsson, Kjellberg, Brandt (2005), S. 9

somit auch bei der Umsetzung einer IÖ.¹⁴⁷⁸ Technische Innovationen können als der Kernprozess der Industrialisierung und der damit einhergehenden ökonomischen Entwicklung betrachtet werden.¹⁴⁷⁹ Ihre Rolle ist dabei ausgesprochen janusköpfig. Jede neue zukunftsweisende Technologie kann sich nur erfolgreich durchsetzen, wenn die ihr zugeordnete menschliche Seite (human touch) positiv mit der Technik korrespondiert und diese somit gesellschaftlich anschlussfähig ist.¹⁴⁸⁰ Nur dann werden neue Technologien auch auf breiter Front adaptiert, was jeweils die Diffusion der Technologie auslöst.¹⁴⁸¹ Technologie kann auch eine Barriere bei der Gestaltung einer IÖ sein, da bei hohen Investitionen Pfadabhängigkeiten geschaffen werden. Universalgeschichtlich kann man die kulturelle und technologische Evolution in drei grobe Phasen einteilen: Jäger- und Sammlergesellschaften, Agrargesellschaften und Industriegesellschaften.¹⁴⁸² Im Fortlauf dieser kulturell-technologischen Evolution ist der anthropogen verursachte Energie- und Rohstoffverbrauch durch Einsatz von Technologie kontinuierlich angestiegen.¹⁴⁸³ Eine idealisierte Vorstellung vieler ökologieorientierter Kritiker geht davon aus, dass eine Abkehr von der Technologie (im Allgemeinen), die zweifellos das letzte Glied bei der Verursachung der ökologischen Krise darstellt, eine nachhaltige Zukunftsoption darstellt. Doch das Gegenteil ist der Fall.¹⁴⁸⁴ Gerade die Dynamik der technologischen Entwicklung ist ein entscheidendes Element bei der Transformation zu einer IÖ.¹⁴⁸⁵ Die menschengemachte Umgestaltung der natürlichen Systeme ist bereits so weit vorangeschritten, dass ein vertiefter Zugang zur Technologie und deren Wirkung auf die natürliche Umwelt des Planeten Erde unabdingbar ist.¹⁴⁸⁶ Weiter oben wurde gezeigt, dass das Leben als Phänomen durch energetisch-materialistische Verflechtung entstanden ist und aufrecht erhalten wird. Aus Sicht der anthropogen-kulturellen Entwicklung, die untrennbar mit der ökologisch-evolutionären Entwicklung verknüpft ist, heißt das nichts anderes, als dass erstere nur durch reproduktive Neu- und

¹⁴⁷⁸ Vgl. Jaffe, Newell und Stavins (2000), S. 65 und Möller, Rolf und Mandel (2001), S. 9

¹⁴⁷⁹ Vgl. Grübler (2003), S. 46

¹⁴⁸⁰ Vgl. Steiner (1992), S. 24

¹⁴⁸¹ Vgl. Chertow, Ashton und Kuppalli (2004), S. 13

¹⁴⁸² Vgl. Weisz (2002), S. 29

¹⁴⁸³ Vgl. Goudie (1994), S. 29 und das Kapitel zur Humanökologie.

¹⁴⁸⁴ Vgl. Desrochers (1998), S. 28

¹⁴⁸⁵ Vgl. Erkman (2003), S. 339

¹⁴⁸⁶ Vgl. Immler (1993), S. 65

Umgestaltung von Materie unter Aufwendung von Energie möglich ist.¹⁴⁸⁷ Und die letztendliche Bewerkstelligung dieser Aufgabe hat aus anthropogener Sicht die Technologie übernommen, die den nun aufkommenden Erfordernissen anzupassen ist.¹⁴⁸⁸ Art und Einsatz alter und vor allem neuer Technik hängt letztendlich von der Kreativität der beteiligten Menschen und den ökonomischen Rahmenbedingungen ab. Die Diffusion technischer Inventionen liegt letztendlich hauptsächlich an den ökonomischen Effekten, die sich für die Investoren einstellen.¹⁴⁸⁹ Diese werden wiederum vom Anreizsystem bestimmt. Die kulturelle Neuorganisation von Materie wird immer technologiegebunden sein, weil erst Technologie die phänomenologischen Stoff- und Energieströme in Gang setzt. So kommen der Technologie zwei strategische Optionen zu:¹⁴⁹⁰

- Vermehrter Einsatz bereits existierender und erprobter nachhaltiger Technik
- Radikale Neuentwicklung und Innovation in nachhaltiger Technik

Somit wird Technologie eine Schlüsselrolle bei der Umsetzung einer IÖ spielen, auch wenn sie diese nicht vollständig determiniert und nicht als singuläre Lösungsstrategie geeignet ist.¹⁴⁹¹ Wenn sie jedoch in den ganzheitlichen Kontext einer IÖ als Paradigmenwechsel eingebettet wird, so trägt sie wesentlich zur Transformation bei.¹⁴⁹² Der Paradigmenwechsel basiert auch auf den Erkenntnissen der Gaia-Theorie (Abschnitt 4.3) und ist die Basis eines tiefgreifenden Bewusstseinswandels. Technologie wird dann im Idealfall eine folgerichtige Entwicklung aus diesem Bewusstseinswandel heraus nehmen. Diese Vision muss allerdings durch ökologische Kommunikation bei den Ingenieuren ankommen. Im Endeffekt ist das Zusammenspiel aus sozio-kulturellem Kontext mit Lerneffekten und Technologie entscheidend für die materiellen Mensch-Natur-Interaktionen, die wiederum das Maß für die ökologische Nachhaltigkeit abgeben. Die Umsetzung einer IÖ wird bei dieser Sichtweise zu der ganzheitlichen Aufgabe, den Transformationsprozess dieses sozio-technologischen Systems zu nachhaltigen Produktionsweisen hin zu gestalten. Dies betrifft die Entwicklung und Diffusion nach-

¹⁴⁸⁷ Vgl. Häfele, (1995), S. 229ff

¹⁴⁸⁸ Vgl. Thomas, Theis, Lifset u.a. (2003), S. 4

¹⁴⁸⁹ Vgl. Parry, Pizer und Fischer (2000), S. 2

¹⁴⁹⁰ Vgl. ICS (2005), S. 20

¹⁴⁹¹ Vgl. Ornetzeder und Rohrer (2005), S. 148

¹⁴⁹² Vgl. Majer (2002a), S. 37

haltiger technischer Ansätze und deren Einbettung in institutionelle Rahmenbedingungen und regionale Netzwerke, in das Leitbild und den Transformationsprozess der Nachhaltigkeit und in die ökologischen Systeme. Technischer Fortschritt bzw. technologische Innovation sollte also nicht per se kritisiert werden, sondern neben anderen Ansätzen bevorzugt dazu eingesetzt werden, den längst fälligen Kurswechsel umzusetzen.¹⁴⁹³ Die ökonomischen, kulturellen und sozialen Rahmenbedingungen für den effizienten Einsatz nachhaltiger Technologien müssen dafür aber geschaffen werden, um tatsächlich einen langfristigen Trend zu nachhaltigem Wirtschaften zu ermöglichen. Dazu gehört auch die bewusste kognitive Überwindung der funktionalen Differenzierung und die Rückbesinnung auf den ursprünglichen Zweck von Technologie, nämlich die Lebensbedingungen der Menschen zu verbessern.¹⁴⁹⁴

Innovation ist mehr als Technologie

Die Vielfalt der Wechselwirkungen¹⁴⁹⁵ zwischen den Handlungsdimensionen der drei (oder mehr) Säulen der Nachhaltigkeit macht die Umsetzung dieser Steuerungsaufgabe zu einem äußerst komplexen Unterfangen, dessen Ausgang keinesfalls prognostizierbar ist und der für menschliche Maßstäbe sehr langfristig angelegt werden muss.¹⁴⁹⁶ Dass neue Technologien zum Umbau der Durchflusswirtschaft zur „Performance-Gesellschaft“ jedoch gebraucht werden, sofern sie nicht schon existieren, steht außer Frage.¹⁴⁹⁷ Insbesondere die zu lösenden Aufgaben der physischen Reduktion der in den Wirtschaftskreislauf gelangten Materialien und Stoffe im Hinblick auf eine Wiederverfügbarmachung für ökonomische oder ökologische Kreisläufe werden eine technologische Herausforderung, die die gesamte Wertschöpfungskette bzw. den gesamten Lebenszyklus industriell gefertigter Produkte betrifft.¹⁴⁹⁸ Hier können nur mit einem ökologisch orientierten firmenübergreifenden Management entlang der kompletten Wertschöpfungskette (environmental value chain management) und dem Einsatz entsprechender Technik sowohl effektive als auch effiziente Lösungen gefunden wer-

¹⁴⁹³ Vgl. von Gleich (1999), S. 54

¹⁴⁹⁴ Vgl. Majer (2002a), S. 56f

¹⁴⁹⁵ Vgl. Yüce und Plöger (Hrsg. 2003), S. 9ff und deren Buchtitel.

¹⁴⁹⁶ Vgl. Graedel und Allenby (1998), S. 14

¹⁴⁹⁷ Vgl. Bierter (2001), S. 176; Man kann als Ziel der „Performance-Gesellschaft“ den effektiven und effizienten Umgang mit Ressourcen betrachten.

¹⁴⁹⁸ Vgl. Immler und Hofmeister (1998), S. 57

den.¹⁴⁹⁹ Ohne technologische Innovationen werden die in diesem Zusammenhang zu lösenden Aufgaben ökologischer Verbesserungen nicht befriedigend anzugehen sein. Die Nischen, die sich in den noch nicht geschlossenen Stoffkreisläufen auftun, müssen dafür erkannt und durch entsprechende technische (und organisatorische) Lösungen ausgefüllt werden.¹⁵⁰⁰ Das kann nur über einen ständigen Informationsfluss zwischen Anbietern und Nachfragern sowohl von Stoffen als auch von Technologie gewährleistet werden. Entsprechende technikbezogene Ansätze finden sich über alle Ebenen der IÖ: CP, Effizienz, Nanotechnologie, neue Stoffe und Vertiefung der Betrachtung zur technischen Rückgewinnung durch neue Trennverfahren und Recycling bis hinab auf die Rohstoffebene (stoffliches Recycling).¹⁵⁰¹ Geht man von einem weiteren durchschnittlichen globalen Wirtschaftswachstum aus, so müsste der Öko-Effizienz-Fortschritt der Technologie mindestens mit der gleichen Rate wachsen wie die Produktion von Gütern und Dienstleistungen, um zumindest den Status Quo der Umweltbelastung zu halten.¹⁵⁰² Das angestrebte Ziel kann jedoch nur eine Entkopplung dieser Größen sein, d. h. die Rate des technischen Effizienz-Fortschrittes muss die des ökonomischen Wachstums weit übersteigen. Langfristig kann man davon ausgehen, dass die Forderung nach einer Vervierfachung der Öko-Effizienz als Minimalziel anzustreben ist.¹⁵⁰³ Anpassungsfähige Technologie zeichnet sich dadurch aus, dass sie sich an die lokalen Verhältnisse einfügt, ohne die globalen Gesetze der Anpassung zu verletzen.¹⁵⁰⁴ Damit kann sie der Kopplung mit sozialen Entwicklungen gerecht werden.¹⁵⁰⁵ Dies muss der Logik vernetzter Technologie inhärent sein, wenn sie als rekursives Element gesellschaftlicher, ökonomischer und ökologischer Entwicklungen anerkannt werden soll.¹⁵⁰⁶

¹⁴⁹⁹ Vgl. Günther und Scheibe (2005), S. 108

¹⁵⁰⁰ Vgl. Grübler (2003), S. 48 und Kincaid (2003), S. 95; Allerdings ist dies zu Anfang einer ökoindustriellen Entwicklung in erster Linie eine Hoffnung, wie die Empirie weiter unten zeigt.

¹⁵⁰¹ Vgl. Erkman, Francis und Ramaswamy (2001), S. 4

¹⁵⁰² Vgl. Kopfmüller (1995), S. 112 und Abschnitt 2.3.2

¹⁵⁰³ Vgl. Ritthoff, Rohn und Riedtke (2002), S. 7

¹⁵⁰⁴ Vgl. Kelly (1997), S. 242

¹⁵⁰⁵ Vgl. Boons und Roome (2000), S. 50

¹⁵⁰⁶ Vgl. Watanabe und Zhu (2003), S. 263

Ansatzpunkte technischer Innovation

Im Rahmen einer Innovationspotenzialanalyse von Seiten der Anbieter von Produkten und Dienstleistungen gibt es eine Vielzahl möglicher Ansatzpunkte für technische Innovation:¹⁵⁰⁷

- Reduktionspotenziale in Bezug auf die gesamten Stoffumsätze
- Substitutionspotenziale „besonders umweltgefährdender Stoffe“
- Änderung der Produkteigenschaften
- Bereinigung des Produktsortiments unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten
- Innovationen innerhalb der Betriebsorganisation hinsichtlich der Erfordernisse nachhaltiger Entwicklung
- Vertriebsbezogene Innovationen zur Verringerung von Transportaufwendungen
- Innovationen entlang der gesamten Wertschöpfungskette der Produktlinie

Häufig ist der technische Fortschritt in Form von Status- oder Forminnovationen dadurch gekennzeichnet, dass etablierte Technologie- und Produktionszweige verbessert und deren Potenziale so weit als möglich ausgereizt werden. Dies geschieht, um das bereits investierte Kapital möglichst lange zu nutzen und spiegelt strukturellen Konservatismus in der Innovationstätigkeit wider.¹⁵⁰⁸ Beziehen können sich diese Verbesserungen auf Informationstechnologie, Wasserbehandlung, Produktionsverfahren, eingesetzte Werkstoffe, Energietechnik, Recycling- und Substitutionsmethoden, Umwelt-Monitoring oder Transport.¹⁵⁰⁹ Das Interesse an Basisinnovationen ist seitens der Kapitaleigner gering, so lange das akkumulierte Kapital eine positive Rendite verspricht und die Erfolgsaussichten neuartiger Basisinnovationen nicht absehbar sind. Wie also soll das wirklich Neue, z. B. in Form einer ökologisch konsistenten Industriekultur, in die Welt kommen? Oder, anders gefragt, wie kann dieses kurzfristig durchaus erfolgreiche Denken, das sich langfristig nicht selten als Falle erweist, überwunden werden?¹⁵¹⁰ Es ist davon auszugehen, dass sich Innovationen sowohl in konstanter Entwicklung als auch in Innovationssprüngen vollziehen können und dass Erfolg und Misserfolg nicht sicher prognostizierbar sind. Ein umweltökonomischer Ansatz ist die Theorie, dass bei den stetig anwachsenden Knappheits-Preisen für erschöpfbare Res-

¹⁵⁰⁷ Vgl. Hofmeister (1998), S. 156f

¹⁵⁰⁸ Vgl. Huber (1995), S. 153

¹⁵⁰⁹ Vgl. Martin, Weitz, Cushman u.a. (1996), S. 6/8

¹⁵¹⁰ Vgl. EAC Sweden (Hrsg. 2002), S. 43

sourcen *backstop-technologies* entwickelt werden, die die ursprüngliche Ressource ersetzen, sobald diese teurer wird als die Ersatztechnologie.¹⁵¹¹ Erweitert man den Begriff auf *backstop-innovations*,¹⁵¹² so fügt sich die Umsetzung einer IÖ nahtlos in dieses Prinzip ein, ohne der gleichen Technikgläubigkeit zu verfallen, weil sie nicht nur auf technische Innovationen setzt, sondern auf einen Strukturwandel mit technischen, institutionellen und verhaltensbezogenen Innovationen.¹⁵¹³ Dieser Innovationsbegriff entspricht viel eher der Dynamik nachhaltiger Entwicklung als z. B. eine reine Effizienzstrategie.¹⁵¹⁴ Daraus folgt, dass sowohl transformative als auch inkrementelle Innovationen für eine IÖ erforderlich sind, wobei zumindest unter den industriellen Ökologen dem transformativen Charakter größter Stellenwert eingeräumt wird.¹⁵¹⁵ Das deutet darauf hin, dass geeignete Instrumente zur Förderung von Innovationen in Richtung IÖ zwar wünschenswert sind, deren Erfolg in den komplexen Systemverflechtungen jedoch nur schwer abzuschätzen ist.¹⁵¹⁶

7.3 IDEAL-SZENARIO – ERSTE SCHRITTE

Nachhaltige Entwicklung bzw. Zukunftsfähigkeit der Produktionsweisen lässt sich kaum an einem Einzelbeispiel (z. B. dem sogenannten „Nachhaltigen Unternehmen“) festmachen. Systemisch gedacht ist es vielmehr notwendig, sich das Zusammenspiel von Wirtschaftsweisen und Lebensstilen als ineinandergreifendes humanökologisches System vor Augen zu führen, um zu Lösungsansätzen zu gelangen, die dem „Gesamtprojekt Industrielle Ökologie“ gerecht werden.¹⁵¹⁷ Diese Betrachtungsweise zieht aber nach sich, dass ein äußerst komplexes System entsteht, das sowohl qualitativ als auch analytisch kaum operationalisierbar ist. Genau um solch ein System handelt es sich aber bei der angestrebten IÖ. Deshalb wird für diesen Ansatz ein qualitatives Ideal-Szenario

¹⁵¹¹ Vgl. Faucheux und Noel (2001), S. 379; Siehe dazu auch Abschnitt 6.1.1

¹⁵¹² Welche man wiederum mit „Nachhaltigkeitsinnovationen“ gleichsetzen kann; Vgl. Majer (2005), S. 12

¹⁵¹³ Trotzdem bleibt implizit die Kritik, die schon früher am Prinzip der „Schwachen Nachhaltigkeit“ geübt wurde, latent gültig. Eine rein ökonomisch argumentierende Begründung für die Umsetzung einer „Industriellen Ökologie“ würde zu kurz greifen, hier soll nur ökonomische Logik als zusätzliches im Kontext aktueller Anreizsysteme wirkendes Argument zugunsten der Nachhaltigen Entwicklung interpretiert werden.

¹⁵¹⁴ Vgl. Windsperger, Wallner, Schauer u. a. (2002), S. 6

¹⁵¹⁵ Vgl. Lifset und Graedel (2002), S. 13f

¹⁵¹⁶ Vgl. Grübler (2003), S. 50

¹⁵¹⁷ Vgl. Bierter (2001), S. 177

entwickelt, dessen Darstellung auf detaillierte Ansichten und operationale Zugänge vorerst verzichten muss, um die Komplexität des Vorhabens auf einem im Rahmen dieser Arbeit vertretbaren Niveau zu halten.¹⁵¹⁸ Versuchte man, ein solches Szenario datentechnisch zu operationalisieren, so gälte es, natur- und ingenieurwissenschaftliche Ansätze mit ökonomischen Ansätzen zu kombinieren, um das exakte Zusammenspiel von auslösenden und wirkmächtigen Faktoren darstellen zu können.¹⁵¹⁹ Jedoch sind gerade von qualitativen Szenarien im Bereich der Nachhaltigkeitsforschung sinnvolle und operationalisierbare Impulse für die Umsetzung zu erwarten, da sie unbenommen von praktischen Restriktionen und Sachzwängen das denkbar Mögliche abzubilden vermögen und visionäre Bilder von möglichen Zukünften zeichnen können.¹⁵²⁰ Ein Szenario stellt also keine Prognose dar. Es geht um die Darstellung einer plausiblen Version dieser möglichen Zukünfte und der möglichen Wege dorthin.¹⁵²¹ Im vorliegenden Fall mag dies zwar ein wenig an den historischen Traum von der perfekten thermodynamischen Maschine erinnern, die ein Optimum des Verhältnisses von eingesetzter Energie zur ökonomischen Wertschöpfung zu schaffen vermag, doch gerade letzteres soll der Ansatz eines Idealszenarios ausloten.¹⁵²² Das ökologisch-soziale Nachhaltigkeitsszenario geht von der – in diesem Fall – idealtypischen Umsetzung naturwissenschaftlich ermittelter und in einem zweiten Schritt normativ gesetzter ökologischer Anforderungen aus, innerhalb derer sich das technosphärisch-ökonomische System bewegen muss, wenn nachhaltige Entwicklung erreicht werden soll.¹⁵²³ Die Metabolismen und Muster für die natürlichen Vorgänge wurden in Absatz 4.2 (Ökologie) skizzenhaft dargestellt. Um die Mindestanforderungen für nachhaltige Entwicklung überhaupt erst erfüllen zu können, muss das industrielle System sich nahtlos in die natürliche Umwelt einfügen. Dies scheint jedoch nur realisierbar zu sein, wenn die Bereitschaft, nach den Regeln der Natur zu agieren, auf allen die Techno-Sphäre konstituierenden Ebenen zum Tragen kommt.

¹⁵¹⁸ Vgl. Tulbure (2004), S. 43

¹⁵¹⁹ Vgl. Nathani (2005), S. 50

¹⁵²⁰ Vgl. WBCSD (Hg 1997), S. 4ff

¹⁵²¹ Vgl. Walker, Holling, Carpenter u.a. (2004), S. 6

¹⁵²² Vgl. Foster und Burkett (2004), S. 45

¹⁵²³ Vgl. Hinterberger, Omann, Schmitz u.a. (2000), S. 17

7.3.1 Isomorphismen

Für eine Übertragung ist es notwendig, dass vom kleinsten selbstreferenziellen Organismus bis zum Zusammenspiel aller relevanten Akteure und Ressourcen gewährleistet ist, dass sie dem gleichen grundsätzlichen Regelwerk unterliegen, nach diesem funktionieren und in ihren Modellen Erscheinungen gleicher Form aufweisen.¹⁵²⁴ Diese Art von Isomorphismen lassen sich schon beim Vergleich der evolutionären Entwicklung von Ökosystemen mit der von ökonomischen Systemen beobachten, allerdings in der Regel vor allem auf der Makro-Ebene.¹⁵²⁵ In beiden Systemen kann man im Entwicklungsablauf eine Zunahme der Diversität, Komplexität und Vielfalt der sie durchströmenden Energie- und Stoffflüsse erkennen, sie verhalten sich strukturell und systemisch analog als Systeme fernab vom thermodynamischen Gleichgewicht.¹⁵²⁶ Die grundsätzlichen Problemstellungen und Lösungsansätze ähneln sich in ökologischen und ökonomischen Systemen.¹⁵²⁷ Allerdings liefen die Entwicklungen in ihrer Qualität im Verlauf der industriellen Revolution immer weiter auseinander, was zu der jetzigen Krise geführt hat. Das hängt nicht zuletzt mit der technologisch-kulturellen Evolution der menschlichen Kultur zusammen, die auf ganz anderen raumzeitlichen Skalen abläuft wie die natürliche und dabei von der Natur abweichende Muster ausbildet.¹⁵²⁸ Es braucht also wieder eine strukturelle und prozessuale Ähnlichkeit, wenn nachhaltige Entwicklung angestrebt wird. Dieser strukturelle Isomorphismus kann dazu genutzt werden, hinsichtlich der Stoff- und Energieströme eine qualitative Annäherung der beiden Systeme anzustoßen, indem die Eigenschaften des sozio-ökonomischen Systems verwendet werden, die über die Komplexität natürlicher Systeme hinausgehen: Selbst-Reflexivität und Bewusstsein zur Steigerung der Effizienz bei der Nutzung knapper Ressourcen.¹⁵²⁹ Dies schließt die Bereitschaft mit ein, nicht nur Modifikationen auf der Mikro-Ebene vorzunehmen, sondern auf die konsequente Restrukturierung bis zur Makro-Ebene hinzuwirken.¹⁵³⁰ Gerade in der Auflösung der Dialektik der Beziehungen zwischen Mikro- und Makro-Ebene liegt das große Potenzial des Ansatzes der IÖ.

¹⁵²⁴ Vgl. Müller-Christ (2001), S. 259

¹⁵²⁵ Vgl. Templet (2004), S. 25

¹⁵²⁶ Vgl. Ramos-Martin (2002), S. 62

¹⁵²⁷ Vgl. Heydemann (2001), S. 9

¹⁵²⁸ Vgl. Allenby (2002), S. 4

¹⁵²⁹ Vgl. Templet (2004a), S. 856

¹⁵³⁰ Vgl. Proctor (2003), S. 6

Strukturelle Synomorphie

Es sei angenommen, dass Beobachtungen im Rahmen der Untersuchung von Fragestellungen zur IÖ Strukturähnlichkeiten mit Beobachtungen im Rahmen der Ökologie im herkömmlichen Sinn aufweisen. Wenn normativ gesetzt wird, dass sich der anthropogene (in diesem Fall insbesondere industrielle) Metabolismus möglichst „störungsfrei“ in den natürlichen Metabolismus eingliedern soll, so sind diese Strukturähnlichkeiten auf allen Beobachtungsebenen und aus allen Blickwinkeln notwendig. Z. B. muss sich der Begriff der „Homogenität“ als „Ähnlichkeit bei Unterteilung“¹⁵³¹ eines beobachteten Sachverhalts inhaltlich auch bei Beobachtungen nach Maßgabe der IÖ wiederfinden lassen. Dabei ist es ein Schlüsselement, zu einem Systemverständnis der gesamten Technosphäre zu gelangen, welches die Analyse und Steuerung des industriellen Systems über alle Aggregationsstufen hinweg ermöglicht.¹⁵³² Allerdings ist fraglich, ob nicht gerade die tragende Metapher der völligen Wiederverwendung aller in Umlauf gekommener Stoffe in ökologischen Systemen auf das industrieökologische System übertragen werden kann.¹⁵³³ Hier liegen im Spannungsfeld exakter Wissenschaft und pragmatischer Darstellungsweise für eine operationale Umsetzung die Stärken, aber auch die Schwächen des Forschungsansatzes IÖ. Die normative Forderung, die im Begriff der IÖ enthalten ist, weist dem industriell-bürokratischen Komplex die Aufgabe zu, die unvermeidliche Umgestaltung der Natur für anthropogene Zwecke auf eine die Grundbedingungen der Natur verstehende und diese möglichst wenig gefährdende Art und Weise vorzunehmen und dabei alle Nachhaltigkeitsstrategien und -regeln zu beachten.¹⁵³⁴ Ob dies im Rahmen der historischen Industrialisierung mit der vorliegenden ausufernden Schaffung technologischer Welten durch eine Fortführung mit „anderem Vorzeichen“ überhaupt möglich ist, ist dabei noch längst nicht geklärt, denn der bisherige Erfolg der Industrialisierung ist eben jenes janusköpfige Wesen, das trotz stetiger Verbesserung der Ressourceneffizienz durch seine Nebenfolgen zur Forderung nach IÖ

¹⁵³¹ Vgl. Wiegleb (2004), S. 81

¹⁵³² Vgl. Reuter und Schaik (2005), S. 94; Der Begriff der Steuerung sei hier als wenig spezifiziert verstanden. Weiter unten werden unterschiedliche Steuerungsansätze der IÖ als mehrdimensionales Konstrukt diskutiert – allerdings wird hier kein Rezeptwissen für eine ideale Steuerung der ökoindustriellen Entwicklung abgeleitet, sondern Orientierungswissen in Form eines Sets von Steuerungsansätzen vorbereitet.

¹⁵³³ Vgl. Graedel (1994), S. 24

¹⁵³⁴ Vgl. Immler (1993), S. 87

selbst beigetragen hat.¹⁵³⁵ Aus den strukturellen Phänomenen der Ökosystem-Theorie übertragen heißt dies, dass es sich bei den aktuellen industriellen Systemen um unreife Ökosysteme in einem frühen Stadium der Sukzession handelt (Typ I), die sich besonders durch hohen Ressourcenverbrauch und geringe Effizienz auszeichnen.¹⁵³⁶ Dem ist auf den Grund zu gehen. Die Struktur des Handelns in der Industriegesellschaft entspricht letztendlich dem vorhandenen Grundlagenwissen von der „Natur“, in der die Menschen sich bewegen und es ist nicht geklärt, ob dieses Wissen der Natur tatsächlich strukturadäquat ist.¹⁵³⁷ Trotzdem soll hier versucht werden, im Spannungsfeld dieses Widerspruches Handlungsoptionen zu finden, ohne einem naturalistischen Fehlschluss zu unterliegen. Das nötige Grundwerkzeug liefern die vorangegangenen Kapitel mit dem Versuch, die erfolgreichen Struktur- und Entwicklungsmerkmale der irdischen Lebensprozesse systematisch zu ergründen und auf das sozio-ökologische System zu übertragen. Ein industrielles System, das die organischen Prinzipien der Natur, beschrieben durch den naturwissenschaftlichen Filter der Ökologie,¹⁵³⁸ berücksichtigen würde, könnte besser mit der natürlichen Umwelt harmonieren und würde weniger Schäden verursachen.¹⁵³⁹ Die derzeit existierende Industrie, die die Natur erobert und kolonisiert hat, müsste dafür durch ein Produktionssystem ersetzt werden, das mit der Natur kooperiert. Die durch Produktion im weitesten Sinn verursachten Stoffströme müssen zur Erfüllung dieses Postulats mit den natürlichen Prinzipien konsistent sein.¹⁵⁴⁰ Für die konkrete Umsetzung heißt das jedoch, dass im Rahmen der IÖ operationale Umsetzungsstrategien zu suchen sind, die sich sowohl mit den historisch gewachsenen Strukturen des Umweltmanagements als auch mit den bisherigen theoretischen Überlegungen zu Cleaner Production und Ökologischer Ökonomik auseinandersetzen und sich in diesem Umfeld eindeutig und unverwechselbar positionieren.¹⁵⁴¹ Darüber hinaus kann IÖ nur funktionieren, wenn sie die Betrachtungsebenen von der Mikro-Ebene über

¹⁵³⁵ Vgl. Grübler (1994), S. 64

¹⁵³⁶ Vgl. Hawken (1996), S. 40

¹⁵³⁷ Vgl. Schönherr (1991), S. 307

¹⁵³⁸ Derzeit scheinen keine anderen brauchbaren Erkenntnisinstrumente als der menschliche Verstand und somit die Wissenschaft zur Verfügung zu stehen, will man nicht in einen Status naturmythologischer Glaubensfragen zurückfallen; Wobei diese Aussage nicht bedeuten soll, dass ein ebensolcher Weg aus naturerhaltender Sicht nicht ebenso erfolgreich sein könnte wie der streng verstandesmäßige, der hier angestrebt wird.

¹⁵³⁹ Vgl. Kelly (1997), S. 248

¹⁵⁴⁰ Vgl. Huber (1995), S. 41f

¹⁵⁴¹ Vgl. Korhonen und Strachan (2004), S. 6

die Makro-Ebene bis hin zur globalen Ausrichtung berücksichtigt.¹⁵⁴² Es kann also nicht nur darum gehen, alte Konzepte aufzugreifen und fortzuschreiben, sondern die Neuartigkeit des Ansatzes mit all seinen theoretischen und praktischen Implikationen auszuloten und dabei eine sinnvolle Integration des bislang Bekannten zu schaffen. Insofern ist IÖ ein eklektischer Ansatz aus Ökosystemtheorie, Humanökologie, Nachhaltigkeitsnormen, Fertigungstechnik, Cleaner Production, allen bisherigen Ansätzen des Umweltmanagements, Theorie sozialer Netzwerke, Umweltökonomik und weiter entfernten grundsätzlichen Erkenntniswerkzeugen wie allgemeiner Systemtheorie und Thermodynamik. Im Vordergrund steht das Denken im Gesamtsystem, das versucht, alle im industrialisierten Produktionssystem auftretenden Probleme und Knappheiten als Symptome des Globalsyndroms aufzufassen und dementsprechend systemisch zu behandeln. Es erfordert die Abkehr von standardisierten suboptimalen Einzellösungen für isolierte Problemstellungen und eine Hinwendung zur koordinierten Steuerung der Kombination verschiedener Lösungsstrategien, da die beste Lösung für ein Subsystem nicht unbedingt zu einer optimalen Gesamtlösung führt.¹⁵⁴³ Ziel ist ein Netz zusammenhängender Lösungsansätze.¹⁵⁴⁴ Nach der mechanistischen Betrachtung der einzelnen Teile des Produktionssystems und seiner Einbettung in die Natur verlangt dies ein systemisches oder auch ökologisches Denken, das der Komplexität der Zusammenhänge gerecht wird.¹⁵⁴⁵

7.3.2 Strukturelle Ableitungen aus der Ökosystemtheorie

Organisationsprinzipien aus der Natur können einen Hinweis darauf geben, welche Grundbedingungen der strukturelle Aufbau einer IÖ berücksichtigen sollte, um zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele beizutragen. Hier treten wieder Begriffe aus der Ökologie auf, auch wenn es einige kontextbedingte Schwierigkeiten gibt, die ökologischen Prinzipien auf das industrielle System zu übertragen:¹⁵⁴⁶

- Diversität/Vielfalt

¹⁵⁴² Ein hierfür geeigneter Steuerungsansatz (Rezept) kann hier nicht explizit abgeleitet werden – entsprechendes Orientierungswissen wird weiter unten in Abschnitt 7.5.3 entwickelt.

¹⁵⁴³ Vgl. Watanabe und Zhu (2003), S. 260

¹⁵⁴⁴ Vgl. Hawken, Lovins und Lovins (2000), S. 418

¹⁵⁴⁵ Vgl. Capra (1996), S. 29

¹⁵⁴⁶ Vgl. Korhonen (2004), S. 78ff und Côté (1999), S. 11

- Resilienz
- System-Effizienz
- Interdependenz
- Energiekaskaden
- Symbiose

Die Schwierigkeiten der Übertragung liegen vor allem darin, dass im kulturell und monetär bestimmten Ineinandergreifen technisch-ökonomischer Prozesse die effiziente Erreichung der jeweils beteiligten Einzelinteressen optimiert wird, ohne dabei eine stofflich-energetische Optimierung anzustreben, was im natürlichen System dagegen per se gegeben ist. Im industriellen System bedeutet Vielfalt häufig, dass widerstrebende Interessen aufeinandertreffen. Als technologisches Phänomen kommt hinzu, dass die Anzahl der unterschiedlichen verwendeten Materialien zunimmt und damit eine ökonomisch vertretbare Kreislaufführung erschwert wird.¹⁵⁴⁷ Außerdem ist die dominante Verwendung nicht-regenerativer Ressourcen aus Sicht nachhaltiger Entwicklung nicht systemadäquat, was diesbezüglich grundlegende Anpassungen im technischen, kulturellen, politischen und ökonomischen Bereich erfordert.¹⁵⁴⁸ Eine einseitige Effizienz-Strategie wird dafür nicht ausreichen. Vielfalt und überbrückende Prozesse entstehen in der Natur überall dort, wo nutzbare Energie in Form von Nahrung zur Verfügung steht und alles, was eine höhere Energiedichte aufweist als die Umgebungstemperatur, ist im Sinne des Lebens nutzbar. Das industrielle System ist jedoch auf eine ungleich höhere Dichte bereitgestellter Energie angewiesen, um die Stoff- und Materialflüsse innerhalb des Systems aufrecht zu erhalten. Zur Nutzarmachung von Stoffen wird also zusätzliche Energie benötigt, die extern zu den zu verarbeitenden Stoffen zugeführt werden muss. Dies bedeutet, dass zwei Versorgungssysteme mit begrenzten dafür notwendigen Ressourcen abgestimmt werden müssen, was eine direkte Übertragung ökologischer Strukturmerkmale erschwert. Es bedarf also zusätzlicher Überlegungen, wie diese strukturelle Ähnlichkeit als notwendige Bedingung für die normative Umsetzung Industrieller Ökologie in der Technosphäre erzeugt werden kann.

¹⁵⁴⁷ Die eingeforderte Vielfalt meint deshalb nicht Vielfalt der verwendeten Stoffe sondern Vielfalt bei der Anwendung und Nutzung der sich im Umlauf befindlichen Stoffe und Materialien.

¹⁵⁴⁸ Vgl. Huesemann (2003), S. 25

7.3.3 Unterschiede und Übertragung

Man sollte nicht außer Acht lassen, dass es sich bei den beiden „vergleichenen“ Systemen um grundsätzlich unterschiedliche Systeme handelt, die sich insbesondere durch die Art des jeweiligen Anreizsystems unterscheiden. Vor allem die raum-zeitlich fast unabhängige Art der Informationsverbreitung im kulturell bestimmten industriellen System unterscheidet sich wesentlich von der ungleich langsamer ablaufenden Informationsweitergabe via genetischem Code im natürlichen Gesamtsystem.¹⁵⁴⁹ Außerdem lässt sich für die ökonomische Information „Preise“ kein wirklich adäquates Äquivalent im natürlichen System finden, da der Wert des Lebens unmöglich zu beziffern ist.¹⁵⁵⁰ Preise sind immer Ausdruck menschlicher Wertsetzung. Darüber hinaus ist die Definition von „Erfolg“ im natürlichen System die Weitergabe der Erbinformationen zu den nächsten Generationen, im ökonomischen System dagegen vorwiegend die kurzfristige Gewinnmaximierung ohne Berücksichtigung nachfolgender Generationen. Ökosysteme reagieren auf Umweltveränderungen, industrielle Systeme prägen eher ihre Umwelt.¹⁵⁵¹ Darüber hinaus zeigen sich folgende Differenzen:¹⁵⁵²

- Der Kohlenstoffkreislauf ist offen und nur im globalen Maßstab annähernd geschlossen – in der IÖ werden jedoch lokale Strategien präferiert
- In Ökosystemen geht die meiste Energie auf den trophischen Stufen verloren – die in der IÖ angedachte Kaskadennutzung findet nur über die Nahrung statt
- In Ökosystemen stellen die zersetzenden Organismen grundsätzlich wieder die Grundbausteine für Primärproduzenten zur Verfügung, im industriellen Ökosystem kann angestrebt werden, die trophische Stufe aufrecht zu erhalten
- Ökologische Stabilität ist langfristig angelegt, kurzfristig dominieren Schwankungen und negative Rückkopplungen (z. B. Jäger-Beute-Beziehungen)
- Sukzession und Evolution sind durch Wandel über unterschiedliche raumzeitliche Skalen gekennzeichnet – dies scheint für das industrielle System schwer operationalisierbar

¹⁵⁴⁹ Vgl. Korhonen (2004), S. 68

¹⁵⁵⁰ Annähernd könnte die Entropie bzw. die innerhalb des Systems negative Entropie diesen Part naturwissenschaftlich ausfüllen, wie im Kapitel zur Ökologischen Ökonomik gezeigt wurde.

¹⁵⁵¹ Vgl. Wilderer (2003), S. 184

¹⁵⁵² Vgl. Siikavirta, Järvinen und Linnanen (2002), S. 15 und Wilderer (2003), S. 185

- Ökologische Vorgänge laufen nach Zufall und Notwendigkeit ab, IÖ strebt jedoch die bewusste Erfüllung der Nachhaltigkeitskriterien an

Deshalb ist eine Übertragung natürlicher Prinzipien auf die Gestaltung des industriellen Komplexes eine äußerst diffizile Angelegenheit. Erst die normative Grundlegung nachhaltiger Entwicklung (die jedoch faktisch nicht zu beobachten ist, sondern nur gefordert werden kann) kann diesen Gap (wenn auch nicht vollständig) schließen.

Übertragung

Hofmeister stellt die These auf, dass alle Vorgänge, die mit Produzieren und Konsumieren im anthropogenen System verbunden sind, physisch-stofflich-energetische Prozesse in Gang setzen, die im Hinblick auf das ökologische System verträglich, also nachhaltig, zu gestalten sind, was einer Umgestaltung des ökonomischen Systems zu einer ökologischen Stoffwirtschaft gleichkommt.¹⁵⁵³ Im Fall des natürlichen Systemzusammenhangs ist das per se gegeben, wie die bislang nach menschlichem Ermessen recht erfolgreiche Evolutionsgeschichte auf der Erde zeigt. Für die technosphärischen Elemente gilt es, diese Regeln an Hand des Nachhaltigkeitspostulats so abzuleiten, dass die evolutionäre Offenheit gewahrt wird. Das Problem des Dilemmas zwischen den selbstorganisatorischen Prozessen der natürlichen Ökologie bzw. der Evolution und den grundsätzlich geplanten und gesteuerten anthropogenen Einflussnahmen ist dabei nur schwer aufzulösen, denn eigentlich sind beide Prinzipien unvereinbar.¹⁵⁵⁴ Für die ökonomische Entwicklung der produzierenden Technosphäre sind beide Prinzipien von Bedeutung, weshalb von einem dualen Ansatz oder einem Kontinuum möglicher Entwicklungspfade auszugehen ist.¹⁵⁵⁵ Anhand eines taxonomischen Abgleichs zwischen den wissenschaftlichen Erkenntnisfeldern der Naturbeobachtung und den für die Erklärung der technosphärischen Systeme relevanten Erkenntnisfeldern soll zumindest eine Annäherung strukturell vorbereitet werden. Darüber hinaus ergibt sich eine Verlinkung der Begriffswelten insofern, als in der Ökologie eine Vielzahl von Prinzipien eine Art ökonomisches Systemmanagement widerspiegeln, wie dies zum Beispiel die Begriffe Stoffgewinnung, Stofftransport, Produktion, Wachstum, Abbau und Energiefluss andeu-

¹⁵⁵³ Vgl. Hofmeister (1998), S. 298

¹⁵⁵⁴ Vgl. Haber (1995), S. 28

¹⁵⁵⁵ Vgl. Côté und Cohen-Rosenthal (1998), S. 185

ten.¹⁵⁵⁶ Auch zeigen sich in beiden Systemen sukzessive Entwicklungsschienen, wobei davon auszugehen ist, dass das derzeitige industrielle System mit einem „unreifen“ Ökosystem (Typ I) zu vergleichen ist und die normative Vorgabe die Entwicklung zu einem „reifen“ Ökosystem (Typ III) einfordert.¹⁵⁵⁷ Eine auf das „Vorbild Natur“ abgestimmte Abstufung mit größer werdendem Raumbezug unter Annahme einer angestrebten idealen nachhaltigen Ausgestaltung der Technosphäre kann folgendermaßen vorgenommen werden.¹⁵⁵⁸

Natürliche Systeme (ökologische Teildisziplin ¹⁵⁵⁹)	(Ideales) technosphärisches Äquivalent (ideale wissenschaftliche Teildisziplin)	Technosphärisch-kulturelles Anreizsystem: Nachhaltigkeits-Ziele (idealisiert), Regeln, Sanktionen, Informationen
Zelle (Physiologie)	Zelle (Physiologie)	Z: Reproduktion R: Naturgesetze, Evolution S: Auslese I: Gene
Organismus (Autökologie)	Mensch (Umwelt-Psychologie, Humanökologie)	Z: Homo sustinens R: Kantscher Imperativ S: Moralische Gefühle I: Interaktiver Diskurs
Organismus (Autökologie)	Maschine ¹⁵⁶⁰ (Ingenieurwissenschaft, Umwelttechnik)	Z: Best available technology (CP, P2) R: Thermodynamik, Investitionsrechnung S: (De-)Investition I: Ökobilanzen, Produktionskosten
Organismus ¹⁵⁶¹ (Autökologie)	Nachhaltiges Produkt ¹⁵⁶² (Betriebswirtschaftslehre, insb. Produktmanagement und LCA)	Z: Nachhaltiger Konsum, ZE R: Preis-/Leistungsverhältnis S: Kauf- oder Nichtkauf I: Lebenszyklusbilanz

¹⁵⁵⁶ Vgl. Heydemann (2001), S. 4

¹⁵⁵⁷ Vgl. Hardy und Graedel (2002), S. 30

¹⁵⁵⁸ Vgl. den systematisch ähnlichen Ansatz von Sterr (2003), S. 286 und Garner und Keoleian (1995), S.

1

¹⁵⁵⁹ Vgl. Wittig und Streit (2004), S. 11, Odum (1999), S. 24 und Wegmann (Hrsg. 1987), S. 261

¹⁵⁶⁰ Vgl. Verbeek (1990), S. 71, der diese Übertragung der speziellen Begrifflichkeiten in ähnlicher Weise vornimmt.

¹⁵⁶¹ Vgl. Kauffmann (1996), S. 80f; Im Zusammenhang mit einem Produkt oder einer Maschine ist der Begriff des Organismus etwas ungenau, da ein lebender Organismus sich dadurch auszeichnet, dass er durch emergente Systematisierung seiner chemischen Bausteine in der Lage ist, seine eigene Reproduktion zu katalysieren, er ist autokatalytisch; Dies ist im Fall des industriellen Produktes nicht gegeben, da es durch die kulturelle Leistung des technosphärischen Systems reproduziert wird und der zu Grunde liegende Organisationsplan, anders als beim Organismus, extern vorliegt. Trotzdem erscheint diese Annäherung zulässig, da Produkte durch Gebrauch Wirkungen im Systemgefüge verursachen, die dem eines Organismus (Metabolismus und Energieaufnahme) entsprechen und damit offene thermodynamische Systeme

Biozönose (Synökologie bzw. Biozöologie)	Nachhaltiger Betrieb ¹⁵⁶³ (Betriebswirtschaftslehre, insb. Umweltmanagement)	Z: Nachhaltiges Unternehmen, ZE R: Managementregeln, CP S: Existenzerhaltung/-gefährdung I: Marktkräfte, Ökobilanzen
Regionales Ökosystem (Ökosystemforschung)	Eco-Industrial Park ¹⁵⁶⁴ (Humanökologie, Sozialökologie, Industrielle Ökologie, Innovationstheorie)	Z: P2, Zero Emission R: EIP-Regelwerk, ¹⁵⁶⁵ Kooperation S: Imagegewinn I: Netzwerkstruktur
Kontinentales Ökosystem (Landschaftsökologie, Ökosystemforschung)	Eco-Industrial Networks (Wirtschaftsgeographie, ökologische Ökonomik)	Z: Kreislaufwirtschaft R: Umweltgesetze und -normen S: Gebühren, Steuern, Strafen I: Konferenzen, physische Gesamtrechnung
Gaia (Geophysiology)	Weltwirtschaft (Ökologische Ökonomik)	Z: Industrielle Ökologie R: WTO, Gatt, Vereinbarungen (Rio) S: Öko-Zölle, Umwelthaftung I: Weltmarkt-Preise, physische Gesamtrechnung

Tabelle 5: strukturähnliche Taxonomie für Ökologie und Industrielle Ökologie¹⁵⁶⁶

Diese Unterteilung bzw. Zuordnung ist bedingt willkürlich, orientiert sich jedoch an Taxonomien, die in der Ökologie und Ökonomik üblich sind.¹⁵⁶⁷ Die möglichen Ausgestaltungen des jeweiligen Anreizsystems sind nur beispielhaft und exemplarisch. Es sind Überschneidungen und Verschiebungen denkbar und alle Elemente müssen untereinander kompatibel und konsistent sein. Es können hier nicht alle Implikationen, die mit solch einer Systematisierung verbunden sind diskutiert werden, da alle denkbaren

darstellen, was zwei weitere entscheidende Eigenschaften eines Organismus sind, die für das Modell besonders relevant sind. Vgl. dazu auch ebda. S. 287ff sowie Immler und Hofmeister (1998), S. 51 und Steiner (1995), S. 10

¹⁵⁶² Vgl. Levine (1999), S. 50; Jener betont in diesem Zusammenhang die Ähnlichkeit zwischen Populationen in der Natur und dem Auftreten unterschiedlicher Produktgruppen in der Wirtschaft und nähert sich dem Phänomen über die Populationsökologie.

¹⁵⁶³ Hier wird für den Betrieb die Analogie zu einer Biozönose gewählt, da darin bereits Stoffaustauschprozesse auf hohem differenzierten Niveau stattfinden können - im Vergleich zu ähnlichen Übertragungen weicht dies von der üblichen Sichtweise, Betriebe als Organismen oder analog zu biologischen Zellen zu betrachten, ab - es werden hier beide Sichtweisen als zielführend betrachtet; Vgl. Wilderer (2003), S. 184 und Wallner (1998), S. 87

¹⁵⁶⁴ Vgl. Müller-Christ (2001), S. 72; In dieser Arbeit allerdings extrem spezifiziert und stoffstrombezogen.

¹⁵⁶⁵ In dem EU-weiten Forschungsprojekt INNET wurde dafür ein Katalog von „groundrules for sustainable networking“ aufgestellt, der alle drei Säulen der Nachhaltigkeit (Ökonomie, Ökologie, Soziales) abdeckt. Die 24 Kernthesen verteilen sich auf die Obergruppen Netzwerkarbeit, regionales Lernen, Innovation und nachhaltige Produktionsweisen; Vgl. Majer (2002), S. 35

¹⁵⁶⁶ Quelle: eigene Tabelle bzw. die in den enthaltenen Fußnoten genannten.

¹⁵⁶⁷ Vgl. Orthaber (2001), S. 7

Verbindungen zwischen den vorhandenen Elementen zur Diskussion ständen. Dennoch lassen sich daraus, wie weiter unten gezeigt wird, Umsetzungsansätze ableiten, die auf den gefundenen Analogien oder Isomorphismen beruhen. Unabhängig von der Systematisierung ist jedoch, dass es sich in jedem Fall um ein komplexes Zusammenspiel von Systemelementen mit vielfältigen Wechselwirkungen, Determinismen und Rückkopplungen handelt, dessen nachhaltiges Management eine komplexe Aufgabe darstellt, die holistisches Denken voraussetzt.¹⁵⁶⁸ Die sich daraus ergebende Verschachtelung der Elemente des industriellen Produktionssystems nach dem natürlichen Vorbild kann vereinfacht wie in Abbildung 14 dargestellt werden:

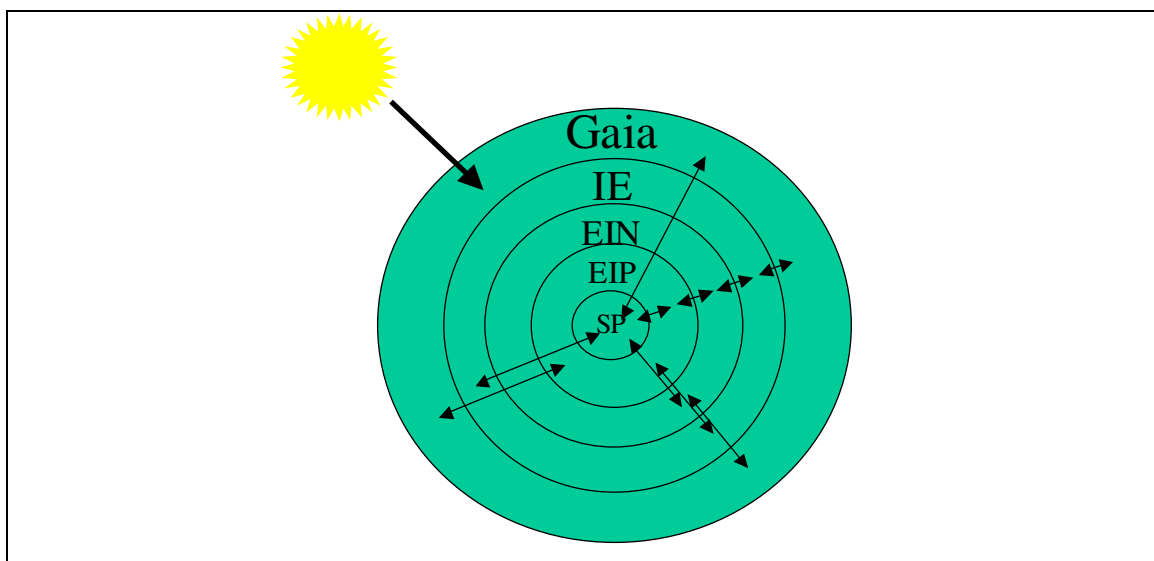


Abbildung 14: Systemische Sicht der Elemente einer Industriellen Ökologie

7.3.4 Allgemeine Prinzipien für eine Industrielle Ökologie

7.3.4.1 IÖ – ökologische Prinzipien

Mit der konsequenten Begriffsbildung einer nachhaltigen industriellen Produktion in Form einer IÖ verbindet sich direkt der Ansatz, die aus der Ökologie bekannten Prinzipien auf ihre Anwendbarkeit für die Ausgestaltung des industriellen Systems zu überprüfen. Natur soll hierbei als strukturelles Vorbild für industrielle Produktion und Güterbereitstellung herangezogen werden.¹⁵⁶⁹ Was in der Natur als Strategie zur Aufrechterhaltung und Evolution der Lebensprozesse erfolgreich ist, sollte in einer IÖ

¹⁵⁶⁸ Vgl. Majer (2001b), S. 3ff

¹⁵⁶⁹ Vgl. Becker (2005), S. 94

entsprechend funktional umgesetzt werden, um zu einer nachhaltigen Gestaltung der Stoff- und Energieströme beizutragen. Die Vielfalt der in der Natur vorkommenden Strategien basiert auf der Differenzierung der darin lebenden Organismen, unter Anwendung strukturähnlicher Organisationsformen bei Einsatz der gleichen Ressourcen. Im Einzelnen lassen sich die unterschiedlichen Strukturmerkmale oder Strategien, die aus der naturwissenschaftlichen Ökologie bekannt sind, auf ihre Übertragbarkeit auf das industrielle System überprüfen.

Nischenbildung

Wo immer in der Natur ein Rohstoff oder Energielieferant zur Verfügung steht, bilden sich Lebensformen heraus, die genau die Kombination an speziellen Ressourcen, die im Ökosystem zur Verfügung stehen, in ihrer einzigartigen Kombination beanspruchen und so dafür sorgen, dass die darin gebundenen Substanzen energetisch genutzt und weiterverarbeitet werden. Übertragen auf das industrielle System heißt das, dass jeder sich im Kreislauf befindliche Stoff eine potenzielle Ressource ist.¹⁵⁷⁰ Im Kontext bedeutet das, dass in ausdifferenzierten Kombinationen von Stoff- und Energieflüssen die Lücken zu schließen sind, durch die nutzbare Energie ungenutzt bleibt oder Stoffe das System ungenutzt verlassen.¹⁵⁷¹ Je mehr Arbeitsschritte in einem industriellen System auftreten, desto mehr unterschiedliche Stoffe und Materialien (Stoffgemische) kommen in Umlauf. Wenn ein Teil dieser Stoffe keiner ökonomischen Nutzung mehr zugeführt wird, erfordert dies technische und ökonomische Anwendungen, die die auftretende Nische füllen, um eine wirtschaftliche Weiterverwendung zu gewährleisten.¹⁵⁷² Dafür bedarf es der Bereitschaft seitens der Unternehmer, die spezifischen Nischen im industriellen Ökosystem ökonomisch gewinnbringend zu besetzen.¹⁵⁷³ Wie in der natürlichen Sukzession würden dadurch Lücken im industriellen Ökosystem sukzessive geschlossen.¹⁵⁷⁴ Gleichzeitig kann von Seiten eines EIP-Managements ein diesbezüglicher Suchprozess proaktiv eingeleitet werden.¹⁵⁷⁵ Allerdings ist das zuvorderst mit einer tiefgreifenden Analyse der technischen, ökonomischen und organisatorischen Rahmenbedingungen

¹⁵⁷⁰ Vgl. Ayres (1998), S. 32

¹⁵⁷¹ Vgl. Baldwin, Ridgway, Winder u.a. (2004), S. 48

¹⁵⁷² Vgl. Gibbs, Deutz und Proctor (2002), S. 2

¹⁵⁷³ Vgl. Chertow, Ashton und Kuppalli (2004), S. 20

¹⁵⁷⁴ Vgl. Deutz und Gibbs (2004), S. 349

¹⁵⁷⁵ Vgl. Desrochers (2001), S. 360

verbunden, die eine gezielte Suche nach Nischen voraussetzt, um zu einem der Ökologie ähnlichen Prozess zu gelangen. Diese Mechanismen sind derzeit noch kaum entwickelt. Ein perfektes industrielles Ökosystem, in dem kein Abfall mehr anfällt, wird es jedoch kaum geben können. Dennoch ist die Nischen-Metapher ein geeignetes Instrument, um die erforderliche strukturelle und funktionelle Entwicklungsrichtung einer IÖ vorzugeben und diese durch aktives Management anzustreben.¹⁵⁷⁶ Die Vielfalt der Verbindungstechnologien verschiedener Stoffe und Materialien nahm bislang im Lauf der technischen Entwicklung zu. Die Konnektivität innerhalb des Systems wird zunehmend komplexer, so dass sich kaum eine Generalisierung des Beziehungsgeflechts ableiten lässt. Eine komplette Schließung der Austauschbeziehungen innerhalb eines solchen Systems erfordert eine zunehmende Spezialisierung auf die darin entstehenden Nischen wie Wiederverwendung, Verwertung, Reparatur oder Aufbereitung sonst nicht mehr nutzbarer Materialien.¹⁵⁷⁷ Dies schließt auch neue Entwicklungen im Bereich spezieller Dienstleistungen mit ein, die beratende, vertragliche, logistische und technische Lösungen im Rahmen der Kreislaufführung von Stoffen und Produkten anbieten.¹⁵⁷⁸ Nur so kann gewährleistet werden, dass für die zumeist einzigartigen Stoffkombinationen neuer Produktionsmethoden und Produkte die entsprechende Reduktionsfunktion übernommen werden kann. Dies führt dazu, dass eine zusätzliche Spezialisierung und somit größere Vielfalt an Abnehmern unterschiedlichster Stoff- und Materialgemische die Wahrscheinlichkeit für eine erfolgreiche Umsetzung einer Industriellen Ökologie wesentlich erhöht. Dieses Phänomen ist bereits aus der Ökosystemforschung bekannt. *Symbiose* und *Vernetzung* als weitere entscheidende in die IÖ übersetzte ökologische Strategien werden implizit weiter unten im Abschnitt über Eco-Industrial Parks aufgegriffen.

Flexibilität

Die Geschmeidigkeit der systembildenden und systemkoppelnden Produktions- und Arbeitsstrukturen ermöglicht im Idealfall eine schnellere und flexiblere Anpassung an sich ändernde Bedingungen, ohne dabei zu große Friktionen zu verursachen, die die

¹⁵⁷⁶ Vgl. USC (Hrsg. 2002), S. 27; Dies gilt insbesondere für die weiter unten besprochenen Eco Industrial Parks (EIPs).

¹⁵⁷⁷ Vgl. Côté (2004), S. 4

¹⁵⁷⁸ Vgl. Kirchgeorg (1998), S. 24

Funktionalität des Systemganzen gefährden würden.¹⁵⁷⁹ Dies erfordert unter anderem jedoch die Aufhebung der Notwendigkeit eines ständig gleichbleibenden oder wachsenden Produktionsflusses. Produziert werden kann in der Natur auch nur das, was die zur Verfügung stehenden Ressourcen ermöglichen. Die Wirkungskräfte des Marktes verlagern sich bei der Übertragung auf das Produktionssystem damit mehr auf die Ressourcenbasis, die in der Zeit sehr variabel ist. Ein System, das sich darauf nicht einstellen kann, kann auch nicht nachhaltig wirtschaften.

Biokybernetik

Eine Annäherung an allgemeingültige biokybernetische Regeln zur Verwirklichung entsprechender Strategien, die über alle Stufen hinweg Gültigkeit besitzen, hat Frederic Vester versucht:¹⁵⁸⁰

- Prinzip der negativen Rückkopplung (Anerkennung von natürlichen Grenzen)
- Prinzip der Unabhängigkeit vom absoluten Wachstum (Steady state)
- Prinzip der Unabhängigkeit vom Produkt (Nutzenorientierung)
- Jiu-Jitsu-Prinzip (synergetische Optimierung)
- Prinzip der Mehrfachnutzung (Multifunktionalität)
- Prinzip des Recycling (Kreislaufführung)
- Prinzip der Symbiose (mehrstufige Kooperationen)
- Prinzip des biologischen Designs (produktorientierte Nachhaltigkeit)

7.3.4.2 Perspektiven der Mensch-Technik-Natur-Interaktion

Es kann keine IÖ geben ohne Menschen, die bereit sind, mit den damit verbundenen Prämissen und den zu erwartenden Restriktionen zu leben und entsprechend zu agieren. IÖ ist nicht nur eine strukturelle Vorlage für eine zukünftige nachhaltige industrielle Produktionsweise, sie ist auch ein Verhaltensmodell, das bis ins Private des täglichen Lebens ausstrahlt. Mit *mehr desselben* (Konsum, Produktion, Technologie, Gewinn) wird keine nachhaltige Lösung erreichbar, denn die IÖ liefert keine Garantie für ein Fortführen des Konsumismus, bereinigt um die ökologischen und sozialen Nebenfolgen. IÖ kann lediglich ein Umsetzungsinstrument für ein gewandeltes Bewusstsein sein, das

¹⁵⁷⁹ Vgl. Bierter (1995), S. 73

¹⁵⁸⁰ Vgl. Vester (1990), S. 20ff

wiederum Grundlage für die Umsetzung einer nachhaltigen Entwicklung ist. Geschlossene Stoffkreisläufe sind der materielle Ausdruck des übergreifenden Konzepts und können nicht aus sich selbst heraus eine nachhaltige Entwicklung tragen. Es gehören auch Änderungen der Lebensstile dazu, die die nachhaltige Entwicklung befördern. Nur wenn Produkte mit Nutzenstiftung unter minimierter ökologischer Belastung angeboten und nachgefragt werden, wird die Transformation gelingen.¹⁵⁸¹ Insbesondere die ökonomische Handlungsrationalität wird sich wandeln müssen und Begriffe wie Verzicht als zukunftsstrategische Option ins Kalkül integrieren. Wirtschaftliches Wachstum findet in einer nachhaltigen Industriegesellschaft in erster Linie in den Köpfen statt, die für die Umsetzung einer IÖ verantwortlich zeichnen. Das Betrachtungsobjekt umfasst alle beteiligten kulturellen Lebensprozesse und -strukturen wie Arbeit (Beschäftigung), technischen Fortschritt, soziale Absicherung und Lebensstile.¹⁵⁸² Lebensstile und Wirtschaftsweisen sind untrennbar miteinander verknüpft, bedingen einander und sind in ihrem Zusammenspiel grundsätzlich zu überdenken. Dies ist nicht als moralischer Impetus zu verstehen, sondern ist dem gegenwärtigen Sachstand hinsichtlich der Versorgung mit Ressourcen geschuldet.

Individualperspektive

Beim Organismus beginnend ist nach herrschender Lehrmeinung davon auszugehen, dass der Mensch als duales Wesen, das zum einen Natur- und zum anderen Kulturwesen ist, durch seine kulturelle Bedingtheit nicht aus sich selbst heraus zwingend „nachhaltig“ handelt. Das Anreizsystem für das individuelle Verhalten muss also so ausgestaltet sein, dass schon das Handeln des einzelnen Akteurs im Betrieb und im privaten Alltag die Zielsetzung der nachhaltigen Entwicklung verfolgt. Jeder Einzelne bekommt damit Anreize, sich zu verhalten wie ein „homo sustinens“.¹⁵⁸³

7.3.4.3 Unternehmerische Perspektive und darüber hinaus (Mikro-Ebene)

Im Netz der industriellen Produktion kommt der unternehmerischen Ebene im Aktionsfeld zwischen individuellen Aufgaben und gesellschaftlicher Verantwortung für die

¹⁵⁸¹ Vgl. Fumikazu, Satsuki, Naoki u.a. (2001), S. 3

¹⁵⁸² Vgl. Bierter (1995), S. 15

¹⁵⁸³ Vgl. Siebenhüner (2001), S. 5ff

Umsetzung nachhaltiger Entwicklung eine besondere Bedeutung zu.¹⁵⁸⁴ Das Unternehmen ist als Akteur im Zusammenhang der IÖ auf eine ganzheitliche Systementwicklung angewiesen, die bisherige unternehmerische Optimierungsstrategien an Komplexität übersteigt.¹⁵⁸⁵ Die Anforderungen einer IÖ reichen weit in die Kernbereiche unternehmerischer Planung und Produktpolitik hinein.¹⁵⁸⁶ Ökologie wird damit zu einem strategischen Erfolgsfaktor aus Unternehmenssicht.¹⁵⁸⁷ Aus Sicht der IÖ sind die Prozesse und Transaktionen auf der Mikro-Ebene konstituierend für die Makro-Ebene und müssen dementsprechend berücksichtigt werden.¹⁵⁸⁸ Zwei Prämissen sind dabei zu setzen: Es werden kollektiv denkende (und handelnde) Individuen unterstellt und die öko-industrielle Entwicklung vollzieht sich in einem organisatorischen Geflecht aus Top-down- und Bottom-up-Steuerung. Der Fokus des betriebswirtschaftlichen Denkens braucht dafür eine intellektuelle Erweiterung hin zum Denken in unternehmerischen und vor allem unternehmensübergreifenden Netzwerkstrukturen, um vom Entsorgungsdanken zum Kreislaufdenken von Produkten und Rohstoffen zu gelangen.¹⁵⁸⁹ Durch proaktives „Entrepreneurship“, Teamorientierung und organisationale Lernfähigkeit kann dabei gewährleistet werden, Lösungskompetenzen für die zu erwartenden Dilemmas zu entwickeln.¹⁵⁹⁰ Insbesondere die mit dem notwendigen Aufbau einer konsequenten Reduktionswirtschaft verbundenen Herausforderungen verlangen nach der Bildung von Kompetenznetzen und anderen Formen der Umweltkooperation, die die einzelbetriebliche Effizienz übertreffen.¹⁵⁹¹ Gerade das Schnittstellenmanagement ist bei einer Umsetzung von Stoff- und Produktkreisläufen bei Beteiligung mehrerer Unternehmen unterschiedlicher Branchen von großer Bedeutung und erhöht den administrativen Aufwand.¹⁵⁹² Darüber hinaus ergeben sich Fragestellungen der betriebswirtschaftlichen Bewertung verschiedener Alternativen bei der Verwertung in Stoffkreisläufen, die je nach Bewertungsansatz und Gewichtung der ökologischen und

¹⁵⁸⁴ Vgl. Siebebhüner (2006), S. 31

¹⁵⁸⁵ Vgl. Müller-Christ (2001), S. 355

¹⁵⁸⁶ Vgl. Spiller (1998), S. 140

¹⁵⁸⁷ Vgl. Liedtke und Hinterberger (1998), S. 209

¹⁵⁸⁸ Vgl. Andrews (2000), S. 43

¹⁵⁸⁹ Vgl. Kaluza und Blecker (1998), S. 266; Leider kann der immer noch neue und sehr vielversprechende Netzwerk-Ansatz betriebswirtschaftlicher Rationalität hier nicht im wünschenswerten Maß vertieft werden, es wird verwiesen auf Sydow und Windeler (2001), insb. S. 133ff und Störmer (2001)

¹⁵⁹⁰ Vgl. Fleig (Hrsg. 2000), S. 92

¹⁵⁹¹ Vgl. z. B. Krcal (1999), S. 84

¹⁵⁹² Vgl. Kirchgeorg (1998), S. 18

ökonomischen Faktoren unterschiedliche Empfehlungen ergeben können. Dabei müssen sich die Sekundärrohstoffe am Markt gegen die entsprechenden Primärrohstoffe behaupten. Unternehmenserfolg umfasst neben der Gewinnerzielung auch die Sicherung der Ressourcenbasis und den Naturerhalt als Schutz des holarchischen Metasystems. Negative externe Effekte unternehmerischen Handelns sind bereits aus der Unternehmenskultur heraus verursachungsgerecht zu berücksichtigen.¹⁵⁹³ Die Erzielung des Kundennutzens mit höherer Energie-, Ressourcen- und Flächeneffizienz ist für ein Unternehmen trotzdem nur rational, wenn es sich betriebswirtschaftlich lohnt.¹⁵⁹⁴ Für die Unternehmen wird damit ein mehrdimensionaler Zielbezug notwendige Bedingung des Verhaltens innerhalb der interindustriellen Verflechtungen der IÖ.¹⁵⁹⁵ Die Ressourcenströme betreffend kann man dabei betriebswirtschaftlich von zwei Seiten herangehen:¹⁵⁹⁶

- Minimierung des Ressourceneinsatzes bei der Leistungserstellung
- Investition in den Ressourcennachschub

Diese beiden Grundstrategien gilt es im Rahmen der unternehmerischen Verantwortung innerhalb einer IÖ zu verfolgen, entsprechende strukturelle und funktionale Maßnahmen zu ergreifen und sie im unternehmerischen Regelsystem zu verankern.¹⁵⁹⁷ Für das Unternehmen selbst steht die innere Ressourceneffizienz unter eigener Verantwortung, die über folgende iterative Schritte angestrebt werden kann:¹⁵⁹⁸

- Selbstevaluation der gegenwärtigen Effizienz
- Strategische Planung eines Effizienzprogramms
- Kosten-Nutzen- und ABC-Analyse zur Prioritätensetzung und Durchführung

¹⁵⁹³ Vgl. Zwierlein und Isenmann (1995), S. 52

¹⁵⁹⁴ Vgl. Liedtke und Hinterberger (1998), S. 189; Die Schwierigkeit, dies bei den derzeitigen Rahmenbedingungen zu realisieren, wurde im Kapitel zur Ökonomik angerissen – sowohl die Bewertung und Internalisierung der externen ökologischen Kosten als auch die Frage nach optimalen zeitlichen Abbaupfaden begrenzter Ressourcen können vor dem Hintergrund des Konzeptes der Nachhaltigkeit nicht eindeutig geklärt werden.

¹⁵⁹⁵ Vgl. Kaluza und Blecker (1998), S. 298

¹⁵⁹⁶ Vgl. Müller-Christ (2001), S. 209; Damit deckt die Betriebswirtschaft sowohl eine ökonomische als auch industriell-ökologische Funktion ab, da die Formen der Ressourcenversorgung ausgeprägte Muster aufweisen, die sowohl ökologisch als auch ökonomisch relevant sind.

¹⁵⁹⁷ Vgl. Kirchgeorg (1998), S. 10

¹⁵⁹⁸ Vgl. van Camp (2002), S. 7

Der gesamte Prozess über den Produktlebenszyklus kann gemäß dem Ansatz des „Neuen Denkens“¹⁵⁹⁹ mit integrativ-systemischer Perspektive organisiert werden. Einen ähnlichen Ansatz wählen auch Immler und Hofmeister mit ihrem Modell des Reproduktionsringes, bei dem die Einbindung menschlicher Produktions- und Konsumtionsprozesse in den Naturhaushalt dem Wirtschaftssystem selbst als inhärentes Ziel zugeschrieben wird, wobei keine der dem Menschen bekannten natürlichen Ökosystemeigenschaften verletzt werden darf.¹⁶⁰⁰ Der hier verfolgte Ansatz kann als vertiefende Konkretisierung der dort geführten sehr stringenten Argumentation aufgefasst werden. Zuvorderst verlangt dieser Ansatz eine Umverteilung von Mitteln. Die kulturellen Errungenschaften, insbesondere verkörpert in Wissenschaft und Technologie, aber auch die Renten des bestehenden künstlichen und natürlichen Kapitals sowie die Arbeit werden in höherem Maße als bisher dafür aufgewendet werden, das fragile Fließ-Gleichgewicht im gesamten sozio-ökologischen System zu gestalten.¹⁶⁰¹ Unternehmerische Konzepte des Marketings und der Logistik können herangezogen werden, um zu einer Eingliederung unternehmerischer Aktivitäten in die Anforderungen der IÖ beizutragen. Dies betrifft besonders die Produktpolitik, Produktionsprozesse und die Bereitstellung von Logistik für die Kreislaufführung und Wiederverwertung der eigenen Produkte. Im Vordergrund steht die Berücksichtigung des kompletten Produktlebenszyklus.¹⁶⁰² Entsorgungslogistische Informationen können hier dazu beitragen, antizipierend die früheren Lebensphasen gemäß einer ökologischen Optimierung zu beeinflussen.¹⁶⁰³ Das heißt, es bedarf eines betriebsübergreifenden Informationsflusses in beide Richtungen über den kompletten Lebenszyklus der Produkte. Damit soll gewährleistet werden, dass sich der ökonomische Wert des Unternehmens und der ökologische Wert seiner Umwelt im Einklang befinden.¹⁶⁰⁴

¹⁵⁹⁹ Vgl. Capra, (1990), Buchtitel

¹⁶⁰⁰ Vgl. Immler und Hofmeister (1998), S. 29ff

¹⁶⁰¹ Vgl. Summerer (2002), S. 258

¹⁶⁰² Vgl. Kirchgeorg (1998), S. 13

¹⁶⁰³ Vgl. Blecker (1998), S. 102

¹⁶⁰⁴ Vgl. Backhouse, Clegg und Staikos (2004), S. 272

7.3.4.4 Kreislaufwirtschaft als übergeordnete Perspektive

Unter den bereits diskutierten und sowohl theoretisch als auch in der praktischen Anwendung fundierten Konzepten spielt die „Kreislaufwirtschaft“ (KLW) als konkretisiertes Leitbild für Nachhaltige Entwicklung im Ansatz der IÖ eine besondere Rolle.¹⁶⁰⁵ Es geht darin um die Überwindung der Durchflusswirtschaft aus systemischer Perspektive.¹⁶⁰⁶ Im deutschen Kreislaufwirtschaftsgesetz von 1996 werden Erzeuger und Besitzer zur Verwertung von Abfällen verpflichtet, wenn diese nicht vermieden werden können und sofern es technisch und ökonomisch zumutbar ist.¹⁶⁰⁷ Hierin wird allgemein einer der stärksten Anknüpfungspunkte für die Übertragung ökologischer Prinzipien auf das industrielle Produktionssystem gesehen, da in natürlichen Prozessen die Kreislaufführung aller Stoffe das vorherrschende Phänomen ist. In der Natur übernehmen Destruenten und Reduzenten diese Aufgabe, die in der industriellen Produktionswirtschaft noch nicht ausreichend entwickelt ist, was im Rahmen der IÖ jedoch angestrebt wird.¹⁶⁰⁸ Dies entspricht einer Weiterentwicklung der industriellen Struktur zu mehr Vielfalt und Verknüpfungen. Aus Sicht der Aufrechterhaltung funktioneller Kreisläufe ist dabei zu beachten, die biologischen und technischen Kreisläufe so weit wie möglich getrennt zu halten.¹⁶⁰⁹ Gerade der industrielle Metabolismus ist dadurch gekennzeichnet, dass er zu großen Teilen aus nicht-regenerativen Ressourcen besteht, für die die Kreislaufführung eine unabdingbare Voraussetzung für ihre langfristige Nutzung ist.¹⁶¹⁰ Der biologische Metabolismus sollte dabei durch den technischen Metabolismus nicht beeinträchtigt werden. Hybrid-Materialien aus künstlichen und biologischen Stoffen sollten weitgehend vermieden oder so gestaltet werden, dass sie wieder vollkommen in ihre stofflichen Kompartimente zerlegbar sind. Stoffwirtschaftlich betrachtet bedeutet dies, dass der wirtschaftliche Einsatz von Ressourcen und deren langfristige Sicherung als Nachschub in ein Fließgleichgewicht zu bringen sind, um das industrielle Produktionssystem aufrecht erhalten zu können.¹⁶¹¹ Damit gilt:

¹⁶⁰⁵ Vgl. Fleig (Hrsg. 2000), S. 9

¹⁶⁰⁶ Vgl. Müller-Christ (2001), S. 211

¹⁶⁰⁷ Vgl. Kösters/Koll (1998), S. 57

¹⁶⁰⁸ Vgl. Côté (1999), S. 11

¹⁶⁰⁹ Vgl. Braungart und McDonough (2003), S. 136

¹⁶¹⁰ Vgl. Strebel (o.J.), S. 1

¹⁶¹¹ Vgl. Hofmeister (1998), S. 287

„Der Grad der Realisierung ökonomischer Vernunft kann somit wesentlich am Grad der Erfüllung der Maximen der Kreislaufwirtschaft gemessen werden.“¹⁶¹²

Dazu gehört prinzipiell die Substitution nicht-regenerativer Ressourcen durch regenerative, die Erhöhung der Umlaufzahl von Ressourcen über möglichst lange Laufzeiten und die Wiederverfügbarmachung von in Produkten gespeicherten Ressourcen.¹⁶¹³ Implizit geht das Konzept der Kreislaufwirtschaft im Ansatz der IÖ auf, der von den gleichen Prämissen und Gestaltungsmerkmalen ausgeht. Es sind die gleichen Akteure und Wirkmechanismen, wie z. B. Ressourcenbestand (Knappheit), Anforderungen der Stakeholder, gesetzliche Regelungen und Anreizsysteme, die bei der öffentlichen Diskussion um die Umsetzung bedeutsam sind.¹⁶¹⁴ Somit ist eine exakte Abgrenzung der Ansätze der IÖ und KLV ebenso wenig möglich wie wünschenswert. In dieser Arbeit wird eine Integration unter dem Begriff der IÖ angestrebt.

Zero-Emission (Null-Emission) als verwandtes übergreifendes Konzept

Artverwandt ist das Zero-Emission-Konzept (ZE), das darauf abzielt, die industriellen Emissionen im Rahmen der thermodynamischen Möglichkeiten quasi vollständig zu vermeiden.¹⁶¹⁵ Dabei gibt es wie für die IÖ zwei grundsätzliche Ansatzpunkte:

- Produktseitig: ZE-Produkte (z. B. Elektroantrieb, Null-Energie-Haus)
- Produktionsseitig: ZE-Betrieb oder ZEIP (Zero Emission Industrial Park)

Allerdings steht das Konzept sowohl konzeptionell als auch in der lebensweltlichen Umsetzung noch am Anfang. Weiter unten vorgestellte Konzepte der Cleaner Production (CP), Industriellen Symbiose (IS) oder der Eco-Industrial Parks (EIPs) arbeiten implizit auf ZE zu und können als Umsetzungsstrategien gelten. Evolutorisch betrachtet kann man die umweltorientierten Produktionsweisen als historische Entwicklung mit der Abfolge „End-of-pipe“ → CP → ZE betrachten.¹⁶¹⁶ Auch hier steht als (zukünftiges) Entwicklungsideal die interindustrielle Kooperation in Form von Netzwerken zur Emissionsvermeidung im Vordergrund. ZE stellt dabei die letztendliche Zielrichtung einer ökoindustriellen Entwicklung dar. Die qualitativen Transformationen innerhalb

¹⁶¹² Zabel (1998), S. 125

¹⁶¹³ Vgl. Kirchgeorg (1998), S. 6

¹⁶¹⁴ Vgl. Fleig (Hrsg. 2000), S. 12

¹⁶¹⁵ Vgl. Kühn (2000), S. 120

¹⁶¹⁶ Vgl. Suzuki (2000), S. 133

dieses idealisierten Entwicklungsprozesses werden in Abschnitt 7.5 aufgezeigt. Das Zero-Emission-Konzept scheint wie geschaffen für eine Umsetzung der nachhaltigen IÖ. Allerdings darf das Konzept nicht zu eng ausgelegt werden und kann deshalb nur als Metapher verstanden werden. Da die Natur als Vorbild genommen wird, muss man zur Kenntnis nehmen, dass es in der Natur keine Null-Emission gibt.¹⁶¹⁷ Leben zeichnet sich thermodynamisch geradezu dadurch aus, dissipative Strukturen auszubilden. Jede Lebensform (und auch jedes Ökosystem) dissipiert Stoffe, Stoffgemische und Energie, allerdings in einer Form, die für die Umwelt, also das größere umgebende System problemlos verarbeitet werden kann. Genau da kann das Zero-Emission-Konzept sinnvoll anknüpfen. Emissionen sind Teil des Wirtschaftens, aber sie müssen mit der Umwelt (für die IÖ ist das die Natur) konsistent sein. Hier findet sich ein weiterer Link zwischen nachhaltiger Entwicklung mit der Konsistenz-Strategie und der IÖ. Allerdings sind nach derzeitigem Stand des Wissens vollständig geschlossene Kreisläufe mit ausschließlich konsistenten Emissionen schon aus technischer Sicht kaum zu verwirklichen, weshalb der Ansatz gerne als Utopie bezeichnet wird.¹⁶¹⁸ Wege in Richtung dieser Utopie sind jedoch in großem Umfang gegeben. In dieser Richtung bedarf es also zur Verwirklichung einer IÖ noch großer Anstrengungen in Forschung und Entwicklung.¹⁶¹⁹

7.3.4.5 Faktor X – Ressourceneffizienz als übergeordnete Perspektive

Effizienz und Ressourcenproduktivität

Die Steigerung der Effizienz des Ressourceneinsatzes gilt gemeinhin als einer der Königswege im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung, vor allem bei technischen Innovationen, weil sie in der Regel (so die Hoffnung) ökologische, ökonomische und soziale Elemente in sich vereint (Ressourceneinsparung, Kosteneinsparung, Wohlfahrtssteigerung).¹⁶²⁰ Die Erhöhung der Ressourcenproduktivität ist somit in jeglicher Hinsicht eine der notwendigen Strategien für eine IÖ und gilt als einer der Schlüsselansätze für nachhaltige Entwicklung und für die Dematerialisierung von Lebensstilen.¹⁶²¹

¹⁶¹⁷ Vgl. Graedel (1994), S. 26

¹⁶¹⁸ Vgl. Eyerer und Wolf (2000), S. 136

¹⁶¹⁹ Vgl. Kühn (2000), S. 127

¹⁶²⁰ Vgl. Nerger und Bleischwitz (2005), S. 184

¹⁶²¹ Vgl. Mirata (2004), S. 972 und Tibbs (1993), S. 16

Allerdings ist dies eine zweiseitige Angelegenheit. Für die materiell wirksamen Stoffströme, die von der industriellen Produktion ausgehen, ist nicht der relative Einsatz von Ressourcen pro Produktionseinheit von Belang, sondern der durch das gesamte Ausmaß der Produktion verursachte Verbrauch.¹⁶²² Ansätze der „Economies of Scale“ lassen jedoch den Schluss zu, dass eine Erhöhung der Ressourcenproduktivität, falls sie signifikante Kostenwirkungen auf die Produkterstellung hat, in der Regel zu einer Mengenerhöhung der gefertigten (und zu günstigerem Preis angebotenen) Produkte führt. Diese Kompensationseffekte sind jedoch aus Sicht der normativen Zielstellungen einer IÖ nicht zielführend, da sie letztendlich die Stoffflüsse auf hohem Niveau aufrecht erhalten würden.¹⁶²³ Insgesamt kann sich die globale ökologische Effizienz dadurch sogar verschlechtern. Eine potenzielle Verbesserung der Effizienz unter der Ceteris-paribus-Annahme würde darüber hinaus den Fortgang der ökologischen Krise nur verlangsamen, nicht jedoch abwenden.¹⁶²⁴ Für Industrieländer kann konstatiert werden, dass durch das hohe Wachstum seit der Industrialisierung trotz wesentlich verbesserter Energieeffizienz der absolute Verbrauch bis in die Gegenwart zugenommen hat.¹⁶²⁵ Das liegt nicht zuletzt daran, dass Effizienzsteigerungen selten mit ökologischen Intentionen durchgesetzt werden, sondern einen bequemen Weg darstellen, in gleich bleibender Weise mit höherem Gewinn zu wirtschaften. Sie erfordern also weniger radikale Innovationen als die Subsistenz- oder Konsistenzstrategie.¹⁶²⁶ Die Effizienzrevolution kann nur als begleitende Strategie betrachtet werden, die die Handlungsspielräume mit knappen Ressourcen erweitert und darüber hinaus eine bewusste polit-ökonomische Steuerung erfordert, damit sie richtungssicher im Sinne der Transformation zur nachhaltigen IÖ abläuft.¹⁶²⁷ Richtungssicher meint hier, dass ohne die effektive, naturgemäße Gestaltung industrieller Prozesse jede Effizienzsteigerung ins Leere läuft.¹⁶²⁸ Die nötige Steuerung sollte im Sinne einer Unterstützung der relevanten Akteure und nicht im Aufbau ordnungsrechtlicher Lenkungssysteme verstanden werden. Dafür bedarf es entsprechender systemkonformer Anpassungen der gesellschaftlichen Anreizsysteme.

¹⁶²² Vgl. Binswanger, (1996), S. 71

¹⁶²³ Vgl. Dosch (2004a), S. 5

¹⁶²⁴ Vgl. Braungart und McDonough (2003), S. 87

¹⁶²⁵ Vgl. Krausmann, Schandl und Schulz (2003), S. 55

¹⁶²⁶ Vgl. Hertwich (1997), S. 1

¹⁶²⁷ Vgl. Bleischwitz (2002), S. 13

¹⁶²⁸ Vgl. Braungart und McDonough (1999), S. 19

Diese müssen so ausgestaltet werden, dass entsprechende Innovationen induziert werden.¹⁶²⁹ Die Berechnung der mit der Innovation verbesserten Ressourceneffizienz lässt sich in der Regel einfacher an Einzelprodukten oder einzelnen Produktionsschritten festmachen, für die IÖ ist dagegen langfristig die Gesamteffizienz des industriellen Systems von Belang. Eine Lösungsstrategie, die allein auf technischer Erhöhung der Ressourceneffizienz einzelner Prozesse aufbaut, ist nicht ausreichend, weil¹⁶³⁰

- Überkompensation durch Wachstum die eingesparten Ressourcen nach herkömmlichem ökonomischen Kalkül wieder aufzehrt und
- die Einseitigkeit eines reinen Effizienzdenkens die Effektivität anderer Lebensstile und Wirtschaftsweisen beeinträchtigt, weil jegliche Diskussion um Sinn und Zweck dieses Wirtschaftens ausgeblendet wird.

Andererseits bauen die meisten Strategien der IÖ mittels unterschiedlicher Ansätze auf eine Erhöhung der Ressourceneffizienz.¹⁶³¹ Der Diskurs über Lebensstile und Wirtschaftsweisen ist jedoch auch bei realisierten Effizienzgewinnen noch notwendig, um nicht in das alte Fahrwasser des grenzenlosen Wachstumsglaubens zu geraten. Auch hier hilft nur eine holistische Sichtweise weiter, die alle Ebenen der Produktions- und Konsumtionsprozesse vereinigt, denn Effizienzpotenziale lassen sich auf allen Ebenen identifizieren: innerbetrieblich, in der überbetrieblichen Produktionskette und im Produkt oder der Dienstleistung.¹⁶³² Letztendlich zählt für den Erfolg einer IÖ jedoch die Gesamteffizienz aller erbrachten Leistungen, wie sie mit der IPAT-Gleichung abgedeckt ist.¹⁶³³ Für die letztendliche Bewertung von Einzelmaßnahmen über den kompletten Produktlebenszyklus hinweg ist jedoch wiederum die jeweilige Ressourceneffizienz maßgebend, weshalb sie einen sehr wichtigen Beitrag zur Umsetzung einer IÖ leistet.

¹⁶²⁹ Vgl. Jaffe, Newell und Stavins (2000), S. 11

¹⁶³⁰ Vgl. Bierter (1995), S. 59

¹⁶³¹ Vgl. Hertwich (1997), S. 4; Dies sind CP, P2, EIP, EIN, DfE, die weiter unten in Abschnitt 7.5 thematisiert werden.

¹⁶³² Vgl. Frio (1998), S. 5

¹⁶³³ Vgl. Lifset und Graedel (2002), S. 9; Die IPAT-Gleichung wird in Abschnitt 7.4.1 näher vorgestellt.

Ansätze zur Verbesserung der Ressourceneffizienz

Erst ausgehend von der Kenntnis der Ressourcenverbräuche, die von Produkten und Dienstleistungen ausgelöst werden, kann herangegangen werden, deren Effizienz zu berechnen und zu steigern, um gleichen oder höheren Nutzen mit geringerem Ressourceneinsatz zu erbringen. Damit wird der Effizienz-Ansatz zu einer Managementperspektive für Innovationen in Richtung Dematerialisierung der Wirtschaft.¹⁶³⁴ Für die Messung der Ressourceneffizienz gibt es unterschiedliche Ansätze. Einer davon ist das MIPS-Konzept des Wuppertal Instituts, das bereits weiter oben vorgestellt wurde.¹⁶³⁵ Damit soll eine handhabbare Messgröße für die stoffstrom-ökologische Beurteilung des Umweltverbrauches eines Produktes über dessen gesamten Lebenszyklus geschaffen werden. Den bei der Extraktion der Rohstoffe und bei der Herstellung des Produktes verursachten „ökologischen Rucksäcken“¹⁶³⁶ wird der Nutzen gegenübergestellt, den das Produkt beim Kunden erbringt. Auch hier steht eine mehrdimensionale Fragestellung im Raum, da der Erzeuger des nutzenbringenden Produktes die Dimension der Nutzenstiftung auf Seiten des Kunden mitberücksichtigen muss. Es kann an beiden Enden des Wertschöpfungsringes angesetzt werden. Insgesamt geht es beim MIPS-Konzept um eine Dematerialisierung aller wirtschaftenden Tätigkeiten des Menschen, wie sie auch die Faktor 4- und Faktor 10-Konzepte anstreben.¹⁶³⁷ Da mit der IÖ ein Konzept vorliegt, das den ganzen Lebenszyklus und die Herstellungsweg berücksichtigt, ist zu verdeutlichen, dass bis zum genutzten Produkt in der Regel mehrere Produktionsschritte (downstream) durchlaufen werden, die alle einer spezifischen Effizienz unterliegen. Die Gesamteffizienz der Nutzenerstellung von der Rohstoffbasis bis zum Produkt ist eine multiplikative Verknüpfung der Effizienzen der einzelnen Fertigungsschritte.¹⁶³⁸ Das zeigte bereits Abbildung 6 mit der Effizienzhierarchie. Zum Erreichen einer nachhaltigen Effizienzsteigerung ist das Ausreizen der Effizienzgewinne auf allen Stufen vonnöten, um die notwendigen Faktorverbesserungen von mindestens einer Vervierfachung der Ressourceneffizienz zu erreichen.¹⁶³⁹ Dabei ist es jedoch erforderlich, einen systemischen Ansatz zu wählen, der auf die Optimie-

¹⁶³⁴ Vgl. Bleischwitz (2002), S. 5

¹⁶³⁵ Vgl. Lehner und Schmidt-Bleek (1999), S. 157

¹⁶³⁶ Vgl. Schmidt-Bleek (1998), S. 81

¹⁶³⁷ Vgl. von Weizsäcker, Lovins und Lovins (1995), S. 15

¹⁶³⁸ Vgl. Hawken, Lovins und Lovins (2000), S. 265

¹⁶³⁹ Vgl. von Weizsäcker, Lovins und Lovins (1995), S. 97

zung des gesamten Systems von der Rohstoffgewinnung bis zur Serviceleistung abzielt und nicht alle Einzelschritte getrennt zu optimieren versucht, da letzteres häufig zu suboptimalen Ergebnissen führt. Die folgende Konzeption wird dementsprechend angelegt.

7.4 IÖ – KONZEPTIONELL

7.4.1 Betrachtungsebenen

Der Einfluss des industriellen Metabolismus auf die natürliche Umwelt lässt sich in der grob vereinfachten tautologischen IPAT-Gleichung darstellen:¹⁶⁴⁰

$$\text{Umwelteinfluss (I)} = \text{Population (P)} \times \text{BNE/Person (A)} \times \text{Umwelteinfluss/Einheit des BNE (T)}$$

IÖ wird von allen drei Faktoren gleichermaßen beeinflusst bzw. beeinflusst diese rekursiv. Die ersten beiden Größen zeigten im Lauf der Industrialisierung einen dynamischen Anstieg, der sich global betrachtet auch noch fortsetzen wird. Außerdem verhalten sich die einzelnen Größen untereinander rekursiv interdependent, weshalb die Vereinfachung noch gröber erscheint.¹⁶⁴¹ Vom Blickwinkel einer steuernden Institution der Wirtschaftsweisen in einem industriellen Produktionssystem aus betrachtet, steigt der Bedeutungsgrad des dritten Faktors (T), der ökologischen Effizienz, verhältnismäßig stark an.¹⁶⁴² So wird der Fokus bei der deskriptiven und normativen Ausrichtung des Prinzips IÖ auf den Produktionsweisen selbst und den damit erstellten Produkten liegen. Dies leitet sich aus den grundsätzlichen Grenzziehungen für die zu analysierenden Systeme ab, wofür sich industrielle Sektoren, die Produktkette oder eine räumliche Region anbieten.¹⁶⁴³ Allerdings ist zu verdeutlichen, dass die alleinige Konzentration auf eine Strategie nicht zielführend sein kann. Bei der Konzentration auf einen Sachverhalt innerhalb eines komplexen Beziehungsgeflechts darf nicht vergessen werden, dass erst die Industrialisierung es ermöglicht hat, die zwei ersten Faktoren der IPAT-Gleichung so stark ansteigen zu lassen. Exponentielles Wachstum bei Bevölkerung und Einkommen

¹⁶⁴⁰ Vgl. Graedel und Allenby (1998), S. 12;

¹⁶⁴¹ Vgl. Huesemann (2003), S. 29

¹⁶⁴² Auch hier sei kein konkreter Steuerungsansatz unterstellt.

¹⁶⁴³ Vgl. Baas und Boons (2004), S. 1074

war nur über die Produktivitätsfortschritte des industriellen Systems (das auch die landwirtschaftliche Nahrungsproduktion wesentlich mitgeprägt hat) möglich, wobei die ökologische Produktivität dabei nicht beachtet wurde. Genau diesen Gap zu schließen ist der intentionale Ansatz der IÖ. Hier soll gezeigt werden, welche Ansätze die IÖ bietet, um die „Globaleffizienz“ der industriellen Bereitstellung von Kundennutzen um ein Vielfaches zu verbessern.¹⁶⁴⁴ Letztendlich ist die Zielsetzung, die industrielle Fertigung an „technischen Nährstoffzyklen“ auszurichten, die den natürlichen nachempfunden sind.¹⁶⁴⁵

7.4.2 Umgestaltung des industriellen Systems

Da es sehr unwahrscheinlich erscheint, dass die Art, industriell und damit partiell sehr effizient Produkte für menschliche Bedürfnisse zu produzieren und zu verteilen rückgängig zu machen ist, kann eine Lösung der Problematik nur unter Berücksichtigung der bestehenden wirtschaftlichen Strukturen erfolgen. Der wirtschaftlich-industrielle Komplex soll damit Teil der Lösungsstrategie werden.¹⁶⁴⁶ Hierfür ist eine mehrdimensionale Perspektive nötig, um einen Einblick in die komplexen Vorgänge industriell-marktwirtschaftlichen Wirtschaftens zu erhalten. Zur Steuerung bedarf es einer hohen Diversität geeigneter Strategien, Einflussnahme auf Anreizsysteme, einer Grundhaltung ökologischer Ethik und eines vollkommen neuen Umgangs des Menschen mit der Natur.¹⁶⁴⁷ Insbesondere was die Anreizsysteme für eine Umsetzung der IÖ betrifft, spielen der Staat und internationale Gremien eine entscheidende Rolle, indem sie Investitionen in öffentliche Güter, Internalisierung externer Kosten und Effizienzverbesserungen durch geeignete Anreize fördern.¹⁶⁴⁸ Auf lokaler Verwaltungsebene bedarf es eines ähnlich vielgestaltigen Ansatzes, der Recyclingprojekte fördert statt behindert, Nachhaltigkeit programmatisch versteht, Brachflächen reaktiviert und die Ansiedlung öko-industrieller Projekte gezielt fördert.¹⁶⁴⁹ Es kann nicht zielführend sein, nur die Produkt- oder nur die Produktionsseite zu betrachten oder die Konsumentenseite zu vernachlässi-

¹⁶⁴⁴ Die Faktor IV-X Diskussion ist in Abschnitt 7.3.4.5 erfolgt.

¹⁶⁴⁵ Vgl. Hawken, Lovins und Lovins (2000), S. 40

¹⁶⁴⁶ Vgl. Hawken (1996), S. 37

¹⁶⁴⁷ Vgl. Heydemann (2001), S. 2

¹⁶⁴⁸ Vgl. Hendricks und Giannini-Spohn (2003), S. 69

¹⁶⁴⁹ Vgl. Takahashi (2003), S. 99

gen.¹⁶⁵⁰ Eine IÖ beachtet beide Seiten der Medaille, da sowohl Herstellung als auch Nutzung mit Stoffaustauschprozessen innerhalb der Ökosphäre verbunden sind. Eine Ökonomie, die nach den Prinzipien der IÖ nachhaltig produziert, bringt auch nachhaltig ökologisch verträgliche Produkte hervor, da die ökologische Wirkung nur in der Gesamtschau vollständig erfasst wird. Kein ernst gemeinter Versuch, eine industrialisierte Gesellschaft auf den Pfad der nachhaltigen Entwicklung zu bringen, kann an der industriellen Produktion vorbeiführen. Dafür muss jede produkt- und produktionsbezogene Entscheidung den notwendigen Reduktionsvorgang schon antizipieren. Allen industriellen und konsumtiven Prozessen muss das Reduktionsdenken inhärent sein.¹⁶⁵¹ Nach dem Vorsorgeprinzip dürfte es keine Investition in Produktivkapital geben, ohne gleichzeitigen Nachweis der Destruierbarkeit der geplanten Produkte und Kuppelprodukte.¹⁶⁵²

Denken in stoff- und energiestromökologischer Sicht

Die Umgestaltung des industriellen Systems und all seiner Subsysteme im Hinblick auf eine IÖ erfordert ein konsequentes Denken in stoffwirtschaftlichen Zusammenhängen, was bislang nicht der Fall ist.¹⁶⁵³ Noch ist die industrielle Wirtschaft, was das Auftreten von Kuppelprodukten betrifft, von einem abfallwirtschaftlichen Ansatz geprägt. Hofmeister fordert dagegen als zukunftsfähige Perspektive einen stoffwirtschaftlichen Ansatz.¹⁶⁵⁴ Dies beinhaltet auch das Verständnis, dass Produktion und Reproduktion auf physischer Ebene ein zusammengehöriger Prozess sind und Umweltschutz allein diesem Ansatz nicht gerecht wird, weil dabei in der Regel das „Denken“ der Produktion und das „Denken“ der Reproduktion voneinander getrennt sind, ganz anders, als dies bei natürlichen ökologischen Vorgängen der Fall ist. Die Produktivität in den natürlichen

¹⁶⁵⁰ Vgl. Immler (1993), S. 62

¹⁶⁵¹ Vgl. Immler und Hofmeister (1998), S. 24

¹⁶⁵² Vgl. Schmitz (1993), S. 55

¹⁶⁵³ Vgl. Schenkel und Reiche (1993), S. 74; Manche Autoren gehen metaphorisch gar so weit, dass die Akteure in einer Industriellen Ökologie wie ein Ökosystem zu denken hätten; Vgl. Yang und Lay (2004), S. 1012; Dies ist zwar eine schöne Metapher, sie schießt jedoch ein wenig über das Ziel hinaus, da es einem kybernetischen System bewusste Steuerungsimpulse unterstellt – diese stehen jedoch nur den planenden Menschen zur Verfügung – also geht es darum, zu denken wie ein Ökosystem denken würde, wenn es denn dächte, oder vereinfachter, bewusste Denkprozesse zu nutzen, um die autopoietischen Systemeigenschaften der Natur durch menschliche Aktivitäten in einem ständigen iterativen Prozess annähernd zu simulieren; Dabei entsteht ein Spannungsfeld zwischen den Steuerungsansätzen der Selbststeuerung und der reißbrettartigen Planung; Vgl. Fleig (2000), S. 9

¹⁶⁵⁴ Vgl. Hofmeister (1998), S. 72

Ökosystemen hängt von den Beziehungen, der Konnektivität des Nahrungsnetzes ab.¹⁶⁵⁵ Diese Strukturmerkmale gilt es, auf die Technosphäre und deren Metabolismus zu übertragen. Für die Umsetzung dieses Programms wird es sinnvoll sein, in einer konzertierten Aktion Wissenschaft, Technologie und Innovation in einen gemeinsamen Prozess einzubinden, dessen Elemente über alle Raum- und Zeitskalen ineinander greifen und sich bei der Suche nach Lösungen ergänzen.¹⁶⁵⁶ Daraus lassen sich drei Hauptströmungen bestimmen, die für die Gestaltung einer IÖ besonders relevant sind:

1. Gewährleistung von Resilienz und Beachtung der Vulnerabilität
2. Nachhaltige Produktion und Konsum (nachhaltiger Produkte)
3. Steuerung und Institutionen

In dieser Arbeit liegt das Augenmerk besonders auf dem zweiten Punkt, der jedoch nicht unabhängig von den beiden anderen betrachtet werden kann.

7.5 ELEMENTE UND INSTRUMENTE EINER INDUSTRIELLEN ÖKOLOGIE

Grundsätzlich gibt es bei der Umsetzung der IÖ zwei Ansatzpunkte, die in der Regel getrennt voneinander betrachtet werden:¹⁶⁵⁷

- den Produktlebenszyklus und
- den Produktionsprozess.

Beide Konzepte sind nicht wirklich strikt voneinander zu trennen, da der Produktionsprozess die erste materiell wirksame Phase im Produktlebenszyklus darstellt. Trotzdem wird aus Gründen der Übersicht und Handhabbarkeit diese Trennung beibehalten, wobei den Produktionsprozessen in der IÖ insgesamt größere Aufmerksamkeit geschenkt wird, da hier bei unveränderten Konsummustern die größten Verbesserungspotenziale gesehen werden, ohne dass dafür Veränderungen auf der Nachfragerseite nötig wären. Es werden zuerst die produktionsorientierten Ansätze und im Anschluss produktorientierte Ansätze untersucht.

¹⁶⁵⁵ Vgl. Braungart und McDonough (2003), S. 157

¹⁶⁵⁶ Vgl. ICS (Hrsg. 2005), S. 13

¹⁶⁵⁷ Vgl. Morioka, Yoshida und Yamamoto (2003), S. 8

7.5.1 Cleaner Production (CP) und Pollution Prevention (P2)

Cleaner Production (CP) meint in der Regel sowohl technische Innovationen (Cleaner Technology – CT) als auch ein strukturelles Umdenken innerhalb des Unternehmens durch organisatorische Umstrukturierung, um einen effizienteren Ressourceneinsatz zu erreichen.¹⁶⁵⁸ Pollution Prevention (P2) unterscheidet sich in seinen Ansätzen nur geringfügig und wird hier synonym verwendet, da beide Begriffe häufig gemeinsam genannt werden und eine definitorische Trennung nicht eindeutig vorgenommen werden kann, auch wenn P2 in der Regel eher für organisatorische Ansätze steht.¹⁶⁵⁹ Das gleiche gilt für den deutschen Begriff des produktionsintegrierten Umweltschutzes (PIUS).¹⁶⁶⁰ Daraus ergibt sich eine große Bandbreite von Ansätzen, die unter dem Begriff der CP subsumiert werden können, wie Anlagenmodifikationen, optimierte Betriebsabläufe, kontinuierliche Verbesserungen, Ersetzen von Einsatz- und Rohstoffen und produktionsintegriertes Recycling.¹⁶⁶¹ Alle entsprechen in der Regel einem betriebswirtschaftlichen Ansatz von Umweltmanagement, der darauf abzielt, die betriebliche Performance in Bezug auf die Umweltbelastungen durch die Verbesserung betrieblicher Abläufe oder neue Technik kontinuierlich zu verbessern.¹⁶⁶² Aus den frühen Ansätzen für CP, die in der Regel auf End-of-pipe-Technologien basierten, stammt die Zuschreibung, dass durch CP dem Produkt selbst kein zusätzlicher Wert hinzugefügt wird und CP damit als reiner Kostenfaktor auftritt.¹⁶⁶³ Für die breite Diffusion ist aus betriebswirtschaftlicher Sicht jedoch auch die ökonomische Vorteilhaftigkeit der Technologie entscheidend (economically viable and best available techniques – EVABAT).¹⁶⁶⁴ Diese ist sehr häufig gegeben, auch wenn das im betrieblichen Tagesgeschäft nicht immer wahrgenommen wird, vor allem wenn die Umsetzung mit größeren

¹⁶⁵⁸ Vgl. Bartolomeo, Kemp, Rennings u.a. (2003), S. 3 und Erkman und Ramaswamy (2001), S. 64; Erweitert man den raumzeitlichen Horizont von CP, so leitet dies automatisch zu den weiter unten besprochenen Ansätzen von EIPs über.

¹⁶⁵⁹ Vgl. Chertow, Ashton und Kuppalli (2004), S. 15; Mancherorts wird P2 als Teilmenge von CP betrachtet; Vgl. Brewster (2004), S. 2 und Hertwich (1997), S. 5; Andernorts werden CP-P2 Partnerschaften geschmiedet; Vgl. Lines (2004), S. 1125

¹⁶⁶⁰ Vgl. EFA (Hrsg. o. J.), S. 4

¹⁶⁶¹ Vgl. Hertwich (1997), S. 5 und EFA (Hrsg. o. J.), S. 4

¹⁶⁶² Vgl. Brewster (2001), S. 2; Es gibt jedoch auch taxonomische Ansätze, die genau anders herum argumentieren und unter CP alle denkbaren Strategien wie End of Pipe-Technologien, Waste-Minimization, DfE, BaT, Öko-Effizienz und gar Industrielle Ökologie subsumieren; Vgl. UNIDO (Hrsg. 2001), S. 4; In der vorliegenden Arbeit soll CP ausschließlich als innerbetriebliches Konzept verstanden werden.

¹⁶⁶³ Vgl. Wilderer (2003), S. 177

¹⁶⁶⁴ Vgl. Liesegang (1999a), S. 3

Investitionen verbunden ist.¹⁶⁶⁵ Das gilt z. B. für prozessnahe Rückgewinnung von Einsatzstoffen, alternative Hilfs- und Betriebsstoffe, Rohstoffqualitätskontrolle, Vermeidung gefährlicher Einsatzstoffe, neue effizientere Produktionsanlagen mit geringeren Emissionen, proaktives Risikomanagement und auch End-of-pipe-Lösungen.¹⁶⁶⁶ Tendenziell betrifft dies innerbetriebliche technische und organisatorische Innovationen, die kontinuierlich bestehende Prozesse inkrementell verbessern. Nur in seltenen Fällen geht es um sprunghafte Basisinnovationen.¹⁶⁶⁷ Geht man von einem holistischen Ansatz aus, so ist es für eine IÖ unerlässlich, dass die produzierenden Akteure auf der Mikro-Ebene schon jegliches Potenzial zur Umweltschonung ausreizen und die eigene Effizienz und Effektivität hinsichtlich des Einsatzes natürlicher Ressourcen als Quellen und Senken maximieren, ohne dabei die anderen Dimensionen der Nachhaltigkeit zu verletzen.¹⁶⁶⁸ CP wird damit zu einem Nukleus für IÖ, der sich auch auf größere räumliche Skalen wie die weiter unten besprochenen Eco-Industrial Parks (EIPs) übertragen lässt.¹⁶⁶⁹ Diesbezügliche Ansätze sind in Theorie und Praxis schon recht weit entwickelt, ohne dass sie jedoch eine breite Anwendung über die gesamte Bandbreite industrieller Produktion finden. Dies gilt genau so für die weiter gehenden Ansätze der IÖ.¹⁶⁷⁰ Hier gibt es noch erhebliche Defizite. Dabei ist es eines der ökologischen Grundprinzipien, dass sowohl einzelne Organismen als auch Ökosysteme ihre Ressourceneffizienz im Lauf ihrer Entwicklung verbessern. In einer IÖ sollte dies also auch für Maschinen und Fertigungsbetriebe gelten. In der stoffintensiven Grundstoffindustrie bieten sich insbesondere neue Synthesewege mit reduziertem Gefahrstoffpotenzial an, wie selektiv wirkende Katalysatoren, Prozesssteuerung nahe am reaktionstechnischen Optimum, Verzicht auf ökotoxische Einsatzstoffe und Einsatz von Enzymen.¹⁶⁷¹ Im produzierenden Gewerbe wird das Potenzial für CP in der Regel mit den Investitionsentscheidungen für bestimmte Produktionsmethoden festgelegt, die durch institutionelle und verhaltensseitige Innovationen gestützt werden. Unerwünschte Kuppelprodukte lassen sich desto einfacher ab- und auftrennen, je näher dies am

¹⁶⁶⁵ Vgl. Sharfman Ellington und Meo (1999), S. 106

¹⁶⁶⁶ Vgl. Smith (1994), S. 2

¹⁶⁶⁷ Vgl. Fichter (2005), S. 151

¹⁶⁶⁸ Vgl. Kanniah (2002), S. 41

¹⁶⁶⁹ Vgl. Brewster (2001), S. 5 und Pascual-Sison (2000), S. 2

¹⁶⁷⁰ Vgl. Chertow, Ashton und Kuppalli (2004), S. 15

¹⁶⁷¹ Vgl. Kümmel (1998), S. 44

Ursprungsort geschieht. Auch hier gibt es Optimierungspotenziale, die das Mitschleppen der im Produkt nicht erwünschten Stoffe durch weitere Prozessschritte vermindern. Diese CP-Ansätze finden in der Regel prozessintegriert statt, für die Verwendung der Kuppelprodukte braucht es jedoch häufig betriebsübergreifende Konzepte. Nemerow unterscheidet vier „moderne und innovative“ Lösungen für das Problem industrieller „Abfälle“ die sich auf die Überschneidungsbereiche zwischen CP, IS und EIP beziehen:¹⁶⁷²

1. recovery and/or reuse
2. the tying of effluent levels to stream resources
3. the marketing of stream resources
4. the construction of environmentally optimized industrial complexes

CP basiert in der Regel auf den ersten beiden Lösungsansätzen, der vierte Ansatz entspricht weitgehend dem unten folgenden Ansatz der EIP mit der Zielsetzung Zero-Emission, spart aber den holistischen Ansatz der IÖ noch aus. Darüber hinaus scheint es kaum sinnvoll, diese Ansatzpunkte strikt getrennt zu betrachten. Erst die Integration aller ressourcenschonenden Maßnahmen zu einem zielführenden Bündel kann letztendlich der Forderung nach nachhaltiger Entwicklung im Sinne einer IÖ gerecht werden. Ein weiterer Schritt in diese Richtung sind EIPs.¹⁶⁷³ Sie stellen einen vorwiegend räumlich strukturierten Ansatz unter Berücksichtigung regionaler Stoffströme dar.¹⁶⁷⁴

7.5.2 Eco-Industrial Parks (EIPs)

Eco-Industrial Parks (EIPs) bzw. regionale interindustrielle Entsorgungsnetzwerke zählen innerhalb des Konzeptes der IÖ zu den interessantesten und vielversprechendsten Lösungsansätzen hinsichtlich der Erfüllung der Nachhaltigkeitskriterien, insbesondere was die Schließung von Material- bzw. Stoffkreisläufen sowie die Minimierung von

¹⁶⁷² Vgl. Nemerow (1995), S. 17

¹⁶⁷³ Vgl. Mouzakitis, Adamides und Goutsos (2003), S. 86

¹⁶⁷⁴ Vgl. Wilderer (2003), S. 190

stofflichen und energetischen Emissionen bei der Produktion betrifft.¹⁶⁷⁵ Sie werden gemeinhin als die weitestgehend integrierte Umsetzung der Prinzipien der IÖ betrachtet.¹⁶⁷⁶ Es handelt sich dabei um eine regionale Gemeinschaft von Unternehmen, die gemeinsam eine verbesserte nachhaltige Performance anstreben, indem sie kooperative Lösungen in den Bereichen Ressourcen und Energie suchen.¹⁶⁷⁷ Vor allem die Nutzung von Kuppelprodukten als Ressourcen für räumlich nahe liegende andere Firmen soll zur Regel werden und im großen Maßstab umgesetzt werden, so wie es in den ökologischen Nahrungsnetzen geschieht.¹⁶⁷⁸ Dieses Prinzip ist aus der chemischen Industrie mit ihren sortenrein anfallenden Kuppelprodukten schon länger bekannt.¹⁶⁷⁹ Neu ist jedoch, dass weniger offensichtliche Verbindungen zwischen heterogenen Branchen zum Stoffaustausch aufgebaut werden sollen.¹⁶⁸⁰ Insofern ist die wünschenswerte Vorstellung von komplett geschlossenen Stoffkreisläufen idealisiert.¹⁶⁸¹ Ein zusätzliches Entwicklungsfeld ist die ökonomische, ökologische und soziale Optimierung von Transportvorgängen, sowohl von Materialien und Gütern als auch von Menschen innerhalb und zum EIP.¹⁶⁸² Begrifflich herrscht eine leichte Verwirrung, da sowohl in der wissenschaftlichen als auch der praxisorientierten Literatur eine Anzahl unterschiedlicher Definitionen mit unterschiedlicher Begriffsbildung und abweichenden Inhalten anzutreffen ist.¹⁶⁸³ Neben „Eco-Industrial Park“ (EIP) existieren Begriffe wie „Industrial Symbiosis“ (IS) bzw. By-product-exchange, Virtual EIP (VEIP) und „Eco-Industrial Network“ (EIN) bzw. „Verwertungsnetzwerke“ oder „Zero-Emission Industrial Park“ (ZEIP) als meistgenannte.¹⁶⁸⁴ Meist unterscheiden sich diese Ansätze nur durch die

¹⁶⁷⁵ Vgl. Erkman und Ramaswamy (2003), S. 7ff, Deppe, Leatherwood, Lowitt u.a. (2000), S. 1 und beispielhaft für die Deutsche Begriffsbildung Kaluza und Blecker (1998), S. 266 sowie Strebel (1998), S. 1; Der Einfachheit halber wird hier der Begriff des EIPs bevorzugt und nicht eingedeutscht, ebenso die anderen Begrifflichkeiten.

¹⁶⁷⁶ Vgl. Morton, Simon und Stirratt (2002), S. 168

¹⁶⁷⁷ Vgl. Côté und Cohen-Rosenthal (1998), S. 182

¹⁶⁷⁸ Vgl. Desrochers (o. J.), S. 3

¹⁶⁷⁹ Vgl. Eilering und Vermeulen (2004), S. 246

¹⁶⁸⁰ Vgl. Heeres, Vermeulen und de Walle (2004), S. 987

¹⁶⁸¹ Vgl. Ayres (2002), S. 49

¹⁶⁸² Vgl. Cohen-Rosenthal (2003c), S. 172; Dies ist jedoch einer der zusätzlichen Punkte, die im Rahmen dieser Arbeit nicht vertieft werden.

¹⁶⁸³ Vgl. Peck (2001), S. 4

¹⁶⁸⁴ Vgl. Zhen und Rusong (2005), S. 126, Klee (2002), S. 439, Wietschel und Rentz (2000), S. 36 und Murano, Fujita und Fang (2005), S. 129; Mancherorts findet noch der Begriff „Industrielles Ökosystem“ (Industrial Ecosystem) Verwendung, der sich inhaltlich jedoch nur schwierig zwischen EIN und EIP verorten lässt, weshalb er hier als äquivalent zum EIP behandelt wird; Vgl. Mirata (2004), S. 969; Da die

abnehmende relative geographische Nähe der beteiligten Akteure (IS→EIP→EIN/VEIP) und den zunehmenden Umfang der Kooperationsverflechtungen (IS→EIP→ZEIP).¹⁶⁸⁵ Letzteres kann als zunehmender erreichter Reifegrad ökologischer Industrialisierung interpretiert werden, der sich als Bewegung auf einem Kontinuum zunehmender Komplexität auffassen lässt.¹⁶⁸⁶ In der im deutschen Sprachraum entstandenen Sprachregelung werden beide Konzepte mit dem Begriff der Verwertungs-Netze oder Recycling-Netzwerke vermischt, weshalb hier dem anglo-amerikanischen Sprachgebrauch gefolgt wird.¹⁶⁸⁷ Mögliche Entwicklungspfade zwischen den verschiedenen Ausprägungen öko-industrieller Entwicklung versucht Abbildung 15 zu umreißen.

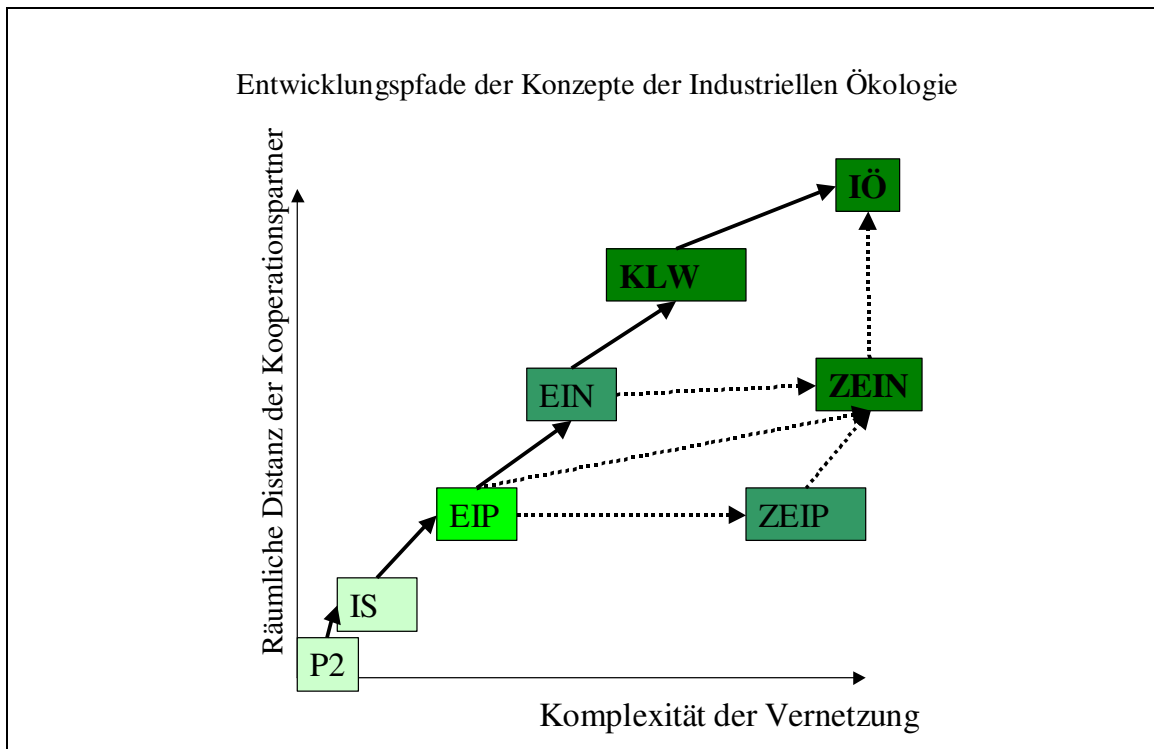


Abbildung 15: Entwicklungspfade der Industriellen Ökologie; in Anlehnung an Cohen-Rosenthal (2003), S. 21¹⁶⁸⁸

anglo-amerikanische Begriffsbildung hier wesentlich differenzierter ist als die deutsche, wird sie beibehalten.

¹⁶⁸⁵ Vgl. USC (Hrsg. 2002), S. 2

¹⁶⁸⁶ Vgl. Alexander, Benoit, Malloch u.a. (2002), S. 380 und Martin, Weitz, Cushman u.a. (1996), S. 1/4

¹⁶⁸⁷ Vgl. Posch (2004), S. 116 und Strebel (1998), S. 1

¹⁶⁸⁸ Mit P2 = Pollution Prevention, IS = Industrieller Symbiose, EIP = Eco-Industrial Park, ZEIP = Zero-Emission-Industrial Park, EIN = Eco-Industrial Network, ZEIN = Zero-Emission-Industrial Network, KLW = Kreislaufwirtschaft und IÖ = Industrielle Ökologie

Dabei bilden EIPs eine zentrale Rolle sowohl als Entwicklungsschritt als auch als funktionales Element. Die raumzeitliche Ausdehnung der berücksichtigten Sachverhalte und die Komplexität der Verflechtungen nimmt dabei mit dem Abstand zum Ursprung stetig zu.¹⁶⁸⁹ Damit kann auch von zunehmender Reife gesprochen werden, was wiederum dazu beiträgt, dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens mit positivem Abstand vom Ursprung tendenziell abnimmt, was, wie weiter unten gezeigt wird, empirisch belegt werden kann.

Industrielle Symbiosen (IS)

Die Keimzelle einer öko-industriellen Entwicklung ist in der Industrial Symbiosis bzw. Industriellen Symbiose (IS) zu sehen, die im Grundmodell eine bilaterale Verflechtung zweier Betriebe darstellt, bei der ein unerwünschtes Kuppelprodukt eines Betriebes als Rohstoff für einen ortnahen anderen Betrieb dient.¹⁶⁹⁰ Je nach Beschaffenheit des Symbiosestoffes bedarf es bearbeitender Zwischenschritte, um den Stoff für das abnehmende Unternehmen einsatzfähig zu machen. Im besten Fall ist keine Zwischenbehandlung notwendig.¹⁶⁹¹ Der Begriff ist aus der Ökologie entlehnt und dient hier als metaphorische Anlehnung, da nicht so exakte Unterscheidungen getroffen werden wie in der Ökologie. Werden die Spielarten der ökologischen Symbiose mit Allianzen, Mutualismus und Eusymbiose als Kontinuum mit zunehmender Verbundenheit betrachtet, so spielt sich die IS im Normalfall auf dem hinteren Drittel ab. Grundsätzlich steht IS jedoch für alle denkbaren Ausprägungen regelmäßigen Stoff- oder Energieaustausches mit direkter Nutzung des Stoffes beim Abnehmer. Grundvoraussetzungen für eine IS sind die räumliche Nähe der Betriebe, relative Offenheit im Informationsaustausch und zumindest ein Match im Bereich Stoffe oder Energie.¹⁶⁹² Mehrere Verflechtungen solcher Art auf nahen Raumskalen ergeben definitionsgemäß einen EIP.¹⁶⁹³ Die theoretisch

¹⁶⁸⁹ Vgl. Thurston und Bras (2001), S. 33

¹⁶⁹⁰ Vgl. Chertow, Ashton und Kuppalli (2004), S. 8

¹⁶⁹¹ Vgl. Schwarz und Strebel (1999), S. 207

¹⁶⁹² Vgl. Pongrácz (2004), S. 5

¹⁶⁹³ Wobei gerade das bekannteste Beispiel in Praxis und Literatur, die „Industriesymbiose Kalundborg“, aus dieser Zuordnung von manchen Autoren bewusst ausgegrenzt wird, obwohl die Betreiber selbst diese Namensgebung gewählt haben – dies fördert jedoch eher die begriffliche Verwirrung, weshalb in dieser Arbeit „Kalundborg“ als EIP betrachtet wird und „Industriesymbiose Kalundborg“ unter die Kategorie freie Namensgebung fällt, die die Zusammenarbeit der beteiligten Firmen zum gegenseitigen Nutzen betont. Biologisch gesehen ist ein solcher gegenseitiger Nutzen nur durch stoffliche Flüsse zu realisieren,

reifste Form auf dem Weg zur IÖ stellt der ZEIP mit vollkommen geschlossenen Stoffkreisläufen dar. Dies ist zwar ein sehr eleganter Ansatz und erfüllt auch die Bedingung des Wirtschaftens nach dem Vorbild der Natur am besten, scheint auf den ersten Blick jedoch nicht sehr realistisch zu sein, was sich auch darin zeigt, dass es kein empirisches Beispiel dafür gibt.¹⁶⁹⁴ Die Vorstufen sind dagegen empirisch zumindest teilweise zu finden. Die Inhalte der Kooperationen in den Netzwerken differieren von gemeinsamen Umweltschutzaktivitäten über regionale Naturschutzprojekte bis zur gemeinsamen Validation eines Umweltmanagementsystems (UMS), Spezialisierung auf Recycling und Einsatz recycelter Rohstoffe, Energieoptimierung, Biotechnologie-Zentren mit ökologischer Ausrichtung über umweltfreundliche Infrastruktur bis zum gegenseitigen Stoffaustausch.¹⁶⁹⁵ Somit scheint folgende Definition die passende Balance zwischen restriktiver Einschränkung und Beliebigkeit widerzuspiegeln:¹⁶⁹⁶

An EIP is a community of manufacturing and service businesses seeking enhanced environmental and economic performance through collaboration in managing environmental and resource issues. By working together, the community of businesses seeks a collective benefit that is greater than the sum of the individual benefits each company would realize if it optimized its individual performance only.

Eine Vielzahl verschiedener Elemente kann Form und Wirkung eines EIPs bestimmen, wie unterschiedliche Stoff- und Energieaustauschprozesse, gemeinsames Stoffstrommanagement, eine oder mehrere zentrale Unternehmen, um die der EIP aufgebaut ist, gemeinsame Energiegewinnung und Kaskadennutzung, gemeinsames Wassermanagement, gemeinsame Aktivitäten zur Umsetzung von Cleaner Production (CP) und Pollution Prevention (P2) bzw. produktionsintegriertem Umweltschutz (PIUS), Produktion nachhaltiger Produkte (Design for Environment – DfE), an Nachhaltigkeit orientierte Infrastruktur (Green Design), informeller Austausch über Umweltmanagementfragen, Integration industrieller und landwirtschaftlicher Produktion, Integration

in einem sozio-ökologischen Konstrukt zwischen Firmen kann sich dieser Nutzen auch auf andere Dimensionen erstrecken, wie gemeinsam genutzte Infrastruktur oder informatorische Kooperation.

¹⁶⁹⁴ Vgl. Schlarb (2001), S. 4; Eine andere Frage ist dabei, inwiefern eine Wirtschaftsform langfristig aufrecht erhalten werden kann, die diese Prinzipien empirisch nicht erfüllt – hier soll jedoch eine realistische Szenario angestrebt werden, in dem sich das Zero-Emission-Konzept im großräumigen Kontext umsetzen lässt und nicht auf regionale ZEIP reduziert wird, sondern die Ansätze EIP und EIN verknüpft – auch die Ökologie zeigt weiträumige Verfrachtungen von Materialien, die dann an anderem Ort in andere Kreisläufe eingeschleust werden – mehr dazu weiter unten.

¹⁶⁹⁵ Vgl. Martin, Weitz, Cushman u.a. (1996), S. xii, Francis und Erkman (2001), S. Background - 24 und Trillium Planing & Development (2003), S. 4

¹⁶⁹⁶ Lowe, Moran und Holmes (1996), S. xii

des EIPs in regionale Ökosysteme und einige mehr.¹⁶⁹⁷ Als Zielsetzungen stehen die regionale nachhaltige Entwicklung mit Umweltschutz, ökonomische Entwicklung und die Schaffung von Arbeitsplätzen im Vordergrund.¹⁶⁹⁸ Der kritische Faktor für einen EIP ist letztendlich die Form der Kooperationen zwischen den beteiligten Firmen und deren ökologische Wirkungen auf die Umwelt.¹⁶⁹⁹ Betrachtet man die Entwicklung eines EIPs als evolutionären Prozess, so können unterschiedliche Reifegrade zu Grunde gelegt werden. Ein Anfang für einen EIP kann mit einem informellen Austausch über Erfahrungen mit Umweltmanagementsystemen gemacht werden, was in einem herkömmlichen Industriegebiet eine Netzwerkstruktur entstehen lässt.¹⁷⁰⁰ Häufig genannte gemeinsame Aktivitäten sind die ökologisch verträgliche Gestaltung des betroffenen Industriegebietes, ökologisches Bauen von Fabrik- und Verwaltungsgebäuden, gemeinsame Abwasserbehandlung, gemeinsame Logistik und regenerative Energieerzeugung.¹⁷⁰¹ Mit zunehmender Reife des Netzwerkes nehmen wie in der Ökologie die Verflechtungen zu und können bis hin zu institutionalisierten stofflichen und energetischen Austauschbeziehungen reichen. Ab diesem Stadium wird in der Regel erst von einem EIP im Sinn einer IÖ gesprochen.¹⁷⁰² Dieser verfügt dann über mindestens eine der folgenden Eigenschaften:¹⁷⁰³

- ökologische Integration in die räumliche Umgebung
- Maximierung der Energieeffizienz und der Nutzung regenerativer Energie
- regionales Stoffstrommanagement mit maximaler Verwertung aller Materialien und Minimierung der Dissipation vor allem toxischer Substanzen
- an Nachhaltigkeit orientierte Infrastruktur
- effektives Management des Branchenmixes mit kontinuierlicher Verbesserung der ökologischen, ökonomischen und sozialen Performance des EIP

Die Beschreibungen existierender EIPs reichen von der einfachen Weiterleitung von Abwärme aus einem Kraftwerk zur Weiternutzung bei einer Papierfabrik unter jeweiliger Anwendung von CP-Prozessen in der Montville Region als typische einfache

¹⁶⁹⁷ Vgl. Peck & Associates (o. J.), S. 3 und Deutz, Gibbs und Proctor (2003), S. 18

¹⁶⁹⁸ Vgl. Gibbs, Deutz und Proctor (2002), S. 5

¹⁶⁹⁹ Vgl. Shanableh, Roberts und Lim (1999), S. 437

¹⁷⁰⁰ Vgl. Lowe (2001), S. 46

¹⁷⁰¹ Vgl. Deppe und Schlarb (o.J.), S. 13

¹⁷⁰² Dies ist jedoch eine reine Definitionsfrage – hier soll dieser Definition gefolgt werden, um eine Abgrenzung zu herkömmlichen industriellen Verflechtungen zu schaffen.

¹⁷⁰³ Vgl. Côté (2003), S. 12-15

Symbiose über die Darstellung komplexer Stoff- und Energieverflechtungen wie in Kalundborg mit zwölf vernetzten regionalen Unternehmen als typischen EIP bis zum weiträumigen Austausch von Stoffen in der Region Obersteiermark als typisches EIN.¹⁷⁰⁴ Bei ersterem handelt es sich um ein bilaterales Element, wie es in Kalundborg unter vielen anderen auch zu finden ist, bei letzterem um ein gewachsenes Netzwerk regionaler und überregionaler Akteure mit vielen Austauschbeziehungen.¹⁷⁰⁵ Da sich der Begriff „EIP“ für regional zentralisierte Netzwerke innerhalb kleinräumiger Grenzen, z. B. innerhalb eines ausgewiesenen Industriegebietes, am breitesten etabliert hat, werden hier alle anderen auftretenden Begrifflichkeiten bis auf „EIN“ darunter subsumiert und versucht, die grundlegenden Prinzipien herauszuarbeiten. Gemeinsam ist allen die räumliche Nähe der Akteure als konstituierendes Element eines EIPs.¹⁷⁰⁶ Eine Frage, die darüber hinaus im Vordergrund steht, ergibt sich aus der Tatsache, dass die Thematik der EIPs seit gut zehn Jahren intensiv diskutiert wird und sich daraus eine breite theoretische Basis entwickelt hat, wohingegen sich die praktische Umsetzung auf wenige funktionierende Einzelbeispiele beschränkt, die aus materieller Sicht angesichts des Umfanges industrieller Stoffströme bislang nur marginal zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen.¹⁷⁰⁷ Sie stellen also bislang bestenfalls erste kleine Schritte zur Umsetzung einer IÖ dar.¹⁷⁰⁸ Genau genommen handelt es sich um genau ein Beispiel, das durchweg in der Literatur als leuchtendes Vorbild gelungener IÖ herangezogen wird: Kalundborg.¹⁷⁰⁹ Alle anderen in der Literatur und Praxis vorzufindenden EIPs beschränken sich auf Absichtserklärungen oder „feasibility studies“ im Frühstadium, bei denen nur wenige oder noch keine stofflich-energetischen Austauschbeziehungen realisiert sind.¹⁷¹⁰ Diese gehen in der Regel wiederum nicht auf ökologisch motivierte unternehmerische Aktivitäten zurück, sondern wurden aus wissenschaftlichem, öffentli-

¹⁷⁰⁴ Vgl. Brown, Gross und Wiggs (2002), S. 104, Posch (2004), S. 114, Kaluza und Blecker (1998), S. 273 sowie Becker, Minick, Newman u.a. (2002), S. 194; Allerdings wird in der Montville-Studie davon ausgegangen, dass regional noch großes „Potenzial“ für die Entwicklung eines EIPs vorhanden ist; Vgl. ebda. S. 195ff

¹⁷⁰⁵ Vgl. Posch, Schwarz, Steiner u.a. (1998), S. 217 und Christensen (1998a), S. 335

¹⁷⁰⁶ Vgl. Chertow (1999), S. 2

¹⁷⁰⁷ Vgl. Kim und Powell (2005), S. 127, Lowitt (2003), S. 301, Mouzakitis, Adamides und Goutsos (2003), S. 88 und Heeres, Vermeulen und de Walle (2004), S. 985

¹⁷⁰⁸ Vgl. Peck & Associates (o. J.), S. 6

¹⁷⁰⁹ Vgl. EPA (Hrsg. 2000), S. 10, Chertow (2002), S. 10 und Gibbs (2003), S. 225

¹⁷¹⁰ Vgl. Sterr (2003), S. 299, Allen (2003), S. 12 und Johnson, Steward, Tierney u.a. (2002), S. 215

chem oder rein ökonomischem Interesse angestoßen.¹⁷¹¹ Im Zusammenhang mit regionaler Entwicklungspolitik wird der Ansatz der EIPs jedoch inzwischen als Marketing-Anreiz bei der Ansiedlung von Industriebetrieben eingesetzt, allerdings vor dem Hintergrund des Potenzials der ökoindustriellen Entwicklung.¹⁷¹² Mit einem entsprechenden Programm kann durchaus der Wert von Gewerbeflächen langfristig gesteigert werden, da den anzusiedelnden Firmen zusätzliche Standortvorteile geboten werden können wie Rohstoffverfügbarkeit, Arbeitsklimaverbesserung durch ökologische Planung des Ansiedlungsgebietes oder bewusstes kostensenkendes Flächenmanagement.¹⁷¹³ In diesem Zusammenhang ist gerade die Neuansiedlung von „passenden“ Firmen zur Schließung von Stoff- oder Energieströmen eine der einzusetzenden ökoindustriellen Strategien. Obendrein verhält sie sich in beinahe kongruenter Analogie zur Sukzession in Ökosystemen.

Eingliederung der Konzepte

Wie gliedern sich die unterschiedlichen Ansätze in das Ideal-Szenario einer Industriellen Ökologie ein? Die verschiedenen idealisierten Typen von EIPs lassen unterschiedliche stofflich-energetische Wirkungen im industriellen Metabolismus erwarten. Ein Cluster von Recyclingunternehmen, mit in der Nähe angesiedelten produzierenden Unternehmen als typische „Material Recycling Facility“ (MRF), scheint auf den ersten Blick eine ideale Ausgestaltung für einen EIP zur Aufrechterhaltung einer IÖ zu sein.¹⁷¹⁴ Für eine nachhaltige Ausgestaltung einer MRF bedarf es jedoch einiger vorzuweisender Eigenschaften, die nicht prinzipiell Teil des Konzepts sind. Wenn es sich beim Einsatz der Sekundärressourcen vorwiegend um Down-cycling-Prozesse handelt, so ist zwar die Bedingung der weiteren Verwendung der ursprünglichen Rohstoffe erfüllt, jedoch auf einer entropisch abgewerteten Ebene.¹⁷¹⁵ Dies sind Ansätze, die den Prozess der Degradierung von Stoffen zwar verlangsamen, langfristig jedoch keine nachhaltige Lösung darstellen. Das ist ein prinzipielles Problem einer kreislauforientierten IÖ. Für eine nachhaltige Perspektive bedarf es Vorgehensweisen, die ein Down-cycling der Stoffe vermeiden und dazu beitragen, ursprüngliche Einsatz-

¹⁷¹¹ Vgl. Desrochers (o. J.), S. 17

¹⁷¹² Vgl. Mitchell und Bahl (o. J.), S. 4

¹⁷¹³ Vgl. Cohen-Rosenthal und Smith (2003), S. 243f

¹⁷¹⁴ Vgl. USC (Hrsg. 2002), S. 6

¹⁷¹⁵ Das entspricht einem erhöhten Entropiegehalt.

stoffe auf der hochwertigsten entropischen Stufe im Wirtschaftskreislauf zu halten. Dies ist jedoch beim derzeitigen Stand der meisten Recyclingprozesse in den wenigsten Fällen gegeben. Außerdem fokussieren diese Cluster vorwiegend auf die der Kuppelproduktion entspringenden materiellen Nebenflüsse der Produktion, die nur einen Teil der Massenströme abdecken und damit auch nur einen, wenn auch wichtigen, Teilbeitrag zur IÖ leisten können.¹⁷¹⁶ Innerhalb des Ideal-Szenarios bedarf es der Festlegung von Grundbedingungen für die Ausgestaltung von MRFs, die die entropische Stufe der Verwendung der Sekundärrohstoffe berücksichtigen:

- Up-cycling statt Down-cycling
- Einsatz der wiedergewonnenen Stoffe und Materialien mindestens auf der gleichen entropischen Ebene wie die des Ausgangsproduktes
- Minimierung des beim Recycling-Prozesses anfallenden nicht mehr nutzbaren Materials (was dem herkömmlichen Abfallbegriff entspricht)
- Intensive Kooperation mit den Reststofferzeugern bei der Entwicklung von Stoffen und Materialien, die dies ermöglichen
- Die zu recycelnden Komponenten oder Materialien müssen schon in der Entwicklung einen DfE-Prozess durchlaufen haben

Eine weitere Spielart, ein Cluster von Firmen, die umwelttechnische Güter anbieten oder ihre eigene Produktion weitgehend nach CP und P2 ausrichten, kann als eine Keimzelle für die Entwicklung neuer öko-industrieller Strategien und Technologien wirken.¹⁷¹⁷ Dies gilt auch grundsätzlich für Firmen-Netzwerke, die sich bewusst mit Fragestellungen der nachhaltigen Entwicklung auseinandersetzen wie regenerative Energieerzeugung, Wasserbehandlung, Luftreinhaltung sowie Energie- und Ressourceneffizienz. Diese Formen eines EIP lassen sich am leichtesten an gegebene Rahmenbedingungen anpassen, können aber nur eine ergänzende Struktur im Rahmen des Ideal-Szenarios darstellen, da geschlossene Stoffkreisläufe hier eher ein Randthema sind. Für die stofflich-energetischen symbiotischen Beziehungen zeigt sich, wie in der Ökologie bereits aufgezeigt, dass das Potenzial für Kreisläufe und die erzielbare inputseitige Qualität der Stoffe mit (bis zu einem gewissen Grad) zunehmender

¹⁷¹⁶ Vgl. Wallner (1998), S. 105

¹⁷¹⁷ Vgl. USC (Hrsg. 2002), S. 16

Diversität der teilnehmenden Akteure ansteigt, was auch die Gesamteffizienz des EIP oder EIN steigert.¹⁷¹⁸ Auf einem Kontinuum aus Verschiedenartigkeit der Prozesse und Ähnlichkeit der materiellen Erfordernisse gilt es, ein Optimum zu finden, das die höchsten synergetischen Ergebnisse ermöglicht, weil davon auszugehen ist, dass in sozio-ökologischen Zusammenhängen ebenso eine lokale Grenze für Diversität auftritt wie in natürlichen.¹⁷¹⁹ Insbesondere für Stoffe, für die in einem Betrieb keine eigene Verwendung gefunden werden kann, wird es in der gleichen Branche kaum einen Abnehmer geben. Dafür bedarf es branchenübergreifender horizontaler Verflechtungen.

Entwicklungsideal

Ein theorieinduziertes Ideal ergibt eine Art Phasenmodell, nach dem ein EIP langfristig betrachtet verschiedene Entwicklungsstufen durchläuft, in denen die Mitglieder bewusst gemeinsame Aktivitäten in Richtung CP und P2 entwickeln. Aus dieser Erfahrung heraus entstehen zuerst einzelne Symbiosen innerhalb des EIP und mit entfernteren Partnern, daraufhin siedeln sich die entsprechenden Unternehmen mit neuen Betrieben im EIP an, die neue symbiotische Beziehungen eingehen, woraus sich kontinuierliche Effizienzverbesserungen entwickeln.¹⁷²⁰ Empirisch konnte diese Form sozio-ökonomischer Sukzession bislang jedoch nur für die Industriesymbiose Kalundborg nachgewiesen werden.¹⁷²¹ Häufig spielt auf der regionalen Ebene mangelnde Entscheidungsmacht in den Betrieben eine Rolle, die von multinationalen Konzernen mit kurzfristiger Erfolgsplanung gelenkt werden.¹⁷²² Dennoch haben sich einige wissenschaftliche Institutionen der Thematik EIP angenommen und versuchen sie insofern weiter zu entwickeln, als oben genannte Hindernisse bei realistischer Betrachtung nur sehr langsam und schrittweise angegangen werden können und eine gute theoretische Basis voraussetzen. Zusätzlich bedarf es der Unterstützung von Seiten der Regierungen und Verwaltungen. Die chinesische Regierung hat es sich z. B. zur Aufgabe gemacht, das extreme wirtschaftliche Wachstum der letzten Jahrzehnte durch die Planung und Gestaltung von EIPs umweltfreundlicher zu gestalten, als dies bislang der Fall war, und

¹⁷¹⁸ Vgl. Posch (2004), S. 114

¹⁷¹⁹ Vgl. Salthe (2003), S. 3; Allerdings ist diese Grenze für sozio-ökologische Systeme weder theoretisch untersucht noch beim derzeitigen Stand des Wissens prognostizierbar.

¹⁷²⁰ Vgl. Martin, Weitz, Cushman u.a. (1996), S. 3/6

¹⁷²¹ Dieser EIP wird in Abschnitt 7.5.3.1 näher vorgestellt.

¹⁷²² Vgl. Mirata (2004), S. 981

die britische Regierung hat ein „National Industrial Symbiosis Programme“ (NIPS) aufgelegt.¹⁷²³ Auch in den USA und in Europa gibt es weitere öffentliche und private Initiativen, die auf die praktische Ausgestaltung von EIPs oder IS abzielen.¹⁷²⁴ International sind EIPs damit ein zunehmend diskutierter, wenn auch nur selten empirisch belegter Ansatz.

Aus unerwünschten Kuppelprodukten werden erwünschte Ressourcen

Grundsätzlich besteht der Ansatz im engeren Sinne darin, dass Stoffe aus der Produktion, die einzelbetrieblich als unerwünschte Kuppelprodukte bewertet werden, da sie nicht dem Systemzweck des betroffenen Betriebes entsprechen, durch die Zusammenfassung von Betrieben innerhalb einer Region einem gemeinsamen Systemzweck zugeführt werden.¹⁷²⁵ Dabei gibt es grundsätzlich zwei unterschiedliche Herangehensweisen:

- Bei der Gründung eines neuen Industriekomplexes werden besonders Branchen berücksichtigt, die gute „Matches“ zur Schließung von Stoff- und Energiekreisläufen aufweisen
- In existierenden Industriekomplexen wird nach entsprechenden Potenzialen bei den vorhandenen Betrieben gesucht¹⁷²⁶

In der Praxis und in Studien sind in der Regel Mischformen anzutreffen. Vorrangig ist aus ökonomischer Sicht, dass Firmen mit überlappenden Input- und Outputströmen vor Ort sind und dass attraktive Rahmenbedingungen für die Ansiedlung „passender“ neuer Firmen gegeben sind, um einen EIP aufbauen zu können.¹⁷²⁷ Die jeweiligen einzelbetrieblichen Systemzwecke bekommen in der kooperativen Zusammenfassung eine zusätzliche Dimension, die über das herkömmliche betriebswirtschaftliche Denken hinausgeht und zu einem Kollektivnutzen führt, der das Ergebnis einer einzelbetrieblichen Optimierung der Stoffströme übersteigt.¹⁷²⁸ Dabei treten für die jeweils Beteiligten

¹⁷²³ Vgl. Liao, Zeng, Langer u.a. (2005), S. 245, Chiu und Yong (2004), S. 1037 und Mirata (2004), S. 977

¹⁷²⁴ Vgl. Chertow, Ashton und Kuppalli (2004), S. 11 und Eilering und Vermeulen (2004), S. 247

¹⁷²⁵ Vgl. Baumgärtner (2001), S. 362

¹⁷²⁶ Vgl. Bennett, Heitkamp, Klee u.a. (2002), S. 137

¹⁷²⁷ Vgl. Johnson, Steward, Tierney u.a. (2002), S. 215

¹⁷²⁸ Vgl. Klee (2002), S. 440 und Deutz, Gibbs und Proctor (2003), S. 3

Win-win-Situationen auf.¹⁷²⁹ Es bildet sich ein Firmen-Netzwerk mit symbiotischen Beziehungen heraus, in dem nicht mehr das einzelne Unternehmen im Mittelpunkt steht, sondern das Kollektiv gemeinsam optimale Lösungen hinsichtlich Energie- und Ressourceneinsatz anstrebt.¹⁷³⁰ Dabei sollen möglichst viele „Kuppelprodukt-Synergien“ effizient genutzt werden.¹⁷³¹ Diese äußern sich in der Regel in Energieeinsparungen gegenüber den getrennten Verfahren und sie sparen neue Rohstoffe beim Abnehmer und Entsorgungskosten beim abgebenden Unternehmen ein. Für die Tauschpartner sind damit folgende Vorteile verbunden:¹⁷³²

- Der Wert mancher unerwünschter Kuppelprodukte liegt für den Produzenten nahe Null oder ist gar ein Kostenverursacher, beim Abnehmer ist der Wert jedoch hoch (größer Null)
- Die Stoffe liegen zumeist in einer bereits verarbeiteten Form vor, die für den Abnehmer im Idealfall schon einer höheren Wertschöpfungsstufe entsprechen
- Neue Rohstoffe müssen häufig aus wesentlich größerer geographischer Entfernung beschafft werden, während die Kuppelprodukte in der Nähe anfallen

Da die abgegebenen Materialien oder Reststoffe häufig nicht in der Form oder Reinheit vorliegen, wie sie im aufnehmenden Unternehmen gebraucht werden, bedarf es in der Regel noch zwischengeschalteter Bearbeitungsschritte, die von auf Zerlegung und Separation spezialisierten Unternehmen vorgenommen werden. Diese Unternehmen erhöhen die Konnektivität und Vielfalt innerhalb des Verbundes und sorgen für zusätzliche Stabilisierung durch ihre Pufferfunktion. Bei ausreichenden Stoffmengen bietet sich die Errichtung eines „ReduParks“ auf dem Gelände des EIP an, womit Transportwege für Entsorgungs- oder Recyclingdienstleistungen eingespart werden können.¹⁷³³ Im Idealfall sind diese Kombinationen nicht nur für das abgebende sondern auch das aufnehmende Unternehmen ökonomisch von Vorteil, da Entsorgungskosten gespart und Sekundärrohstoffe billiger eingekauft werden können als neue.¹⁷³⁴ In einem EIP kommt

¹⁷²⁹ Vgl. Desrochers (2002), S. 1035

¹⁷³⁰ Vgl. Kreikebaum (1998), S. 60

¹⁷³¹ Vgl. BCSD-GM (Hrsg. 1997), S. 1

¹⁷³² Vgl. Desrochers (2001), S. 355

¹⁷³³ Vgl. Rentz, Tietze-Stöckinger und Fichtner (2003), S. 3

¹⁷³⁴ Vgl. Desrochers (o. J.), S. 14; Der Kostenvorteil kann auf folgende Gründe zurückgeführt werden: Geringer Wert des Kuppelproduktes für den Erzeuger, die Stoffe fallen zumeist in weit fortgeschrittenen Prozessstufen an, sind also niederentropisch und Primärrohstoffe müssen häufig unter hohem Transportaufwand aus den Ländern des Vorkommens beschafft werden.

der ökonomische Gesamtvorteil allen beteiligten Unternehmen zu Gute, da ökonomische Gewinne das Netzwerk stabilisieren. Allerdings gibt es noch keine Studien über geeignete Verteilungsschlüssel. Diese können sich auf einem Kontinuum zwischen bilateralen Vereinbarungen der jeweils beteiligten Symbionten und einem gemeinsamen Fonds für den EIP bewegen.¹⁷³⁵ Der Effekt der zwischenbetrieblichen Kooperation zeigt sich in verringerten In- und Outputströmen des EIP gegenüber den aggregierten Strömen der einzelnen Unternehmen, was über die symbiotischen Beziehungen zwischen verschiedenartigen Firmen institutionalisiert wird.¹⁷³⁶ Das schließt die bewusste Beachtung aller betrieblichen In- und Output-Ströme ein und führt in der Regel zu typischen Mustern interagierender Unternehmen, so genannten Branchenmatches.¹⁷³⁷ Diese sind allerdings wegen der noch geringen Auswahl empirischer Beispiele bislang nur schwach ausgeprägt, bieten jedoch zumindest Ansätze für die Planung oder Ausweitung von Stoffaustauschprozessen, da bereits bekannte Verwertungswege bei gegebenen Technologien zumeist übertragbar sind.¹⁷³⁸ Dabei ist es auch sinnvoll, nach typischen Branchen-Clustern Ausschau zu halten, die ein hohes Potenzial an synergetischen Beziehungen aufweisen.¹⁷³⁹ Es soll erreicht werden, dass die Kuppelprodukte der beteiligten Unternehmen als Rohstoffe bei den jeweils anderen beteiligten Unternehmen eingesetzt werden bzw. im eigenen Unternehmen Einsatzzwecke für die Kuppelprodukte von anderen Firmen ermittelt werden. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit jeder einzelnen Kooperation innerhalb eines EIP desto höher, je reiner der anfallende Stoff in seiner Zusammensetzung ist.¹⁷⁴⁰ Zwischenschritte der Aufbereitung erhöhen zwar die Handling-Kosten, aber auch die Chancen auf einen Match. Die Kaskadennutzung von Wasser in Prozessen, zur Kühlung oder als Transportmedium ist z. B. relativ einfach und mit nur geringen Zwischenschritten möglich, was die Verbreitung solcher Ansätze wesentlich erleichtert.¹⁷⁴¹ Das Wasser kann hierbei in unterschiedlichen Qualitäten für

¹⁷³⁵ Hier tut sich ein weiteres Forschungsfeld für ökonomische Anreizsysteme innerhalb eines EIPs auf.

¹⁷³⁶ Im „idealen Fall“ würde dies zur vollständigen Schließung von Stoffkreisläufen führen, das Ergebnis wäre ein ZEIP, was in dieser Reinheit in der Realität jedoch schwerlich umsetzbar ist und eher als Metapher zu verstehen ist; Vgl. Deutz, Gibbs und Proctor (2003), S. 3

¹⁷³⁷ Vgl. Heidemann (2005), S. 55

¹⁷³⁸ Beispiele hierfür wären Altholz (thermische und stoffliche Verwertung), Granitabfälle (Wiederverwendung in der Baubranche) oder Aschen von Verbrennungsanlagen für die Baustoffindustrie; Vgl. Vorbach (1998), S. 223ff

¹⁷³⁹ Vgl. Roberts (2004), S. 1000

¹⁷⁴⁰ Vgl. Johnson, Steward, Tierney u.a. (2002), S. 232

¹⁷⁴¹ Vgl. Martin, Weitz, Cushman u.a. (1996), S. 6/28

entsprechende Anwendungen zur Verfügung gestellt werden, was eine entsprechend differenzierte Infrastruktur voraussetzt. Damit kann die Effizienz der Wassernutzung in den industriellen Prozessen innerhalb des EIP gegenüber den aggregierten Verbräuchen der Einzelunternehmen wesentlich erhöht werden.¹⁷⁴² Wird dies noch mit einer spezifischen Behandlung der speziellen Abwässer des EIP kombiniert, kann das öffentliche Abwassernetz und die Abwasserbehandlung entlastet werden. Der Begriff des Abfalls bzw. der Kuppelprodukte bekommt damit eine neue Dimension, da die Stoffe im Systemzusammenhang den Charakter erwünschter Inputs bekommen und somit ein positiv zu kalkulierendes Wirtschaftsgut werden, wohingegen sie als „Abfall“ in herkömmlicher Hinsicht als Kostenverursacher sowohl in ökonomischer als auch in ökologischer Hinsicht zu betrachten waren. Allerdings ist im Systemverbund der zeitliche und mengenmäßige Verlauf des Anfallens der verschiedenen Kuppelprodukte von Bedeutung, da sie nun erforderliche Input-Faktoren zur Aufrechterhaltung der Produktion darstellen. Die Kopplung bringt also neben ökonomischen und ökologischen Vorteilen auch komplexere Planungsaufgaben mit sich, da einerseits auf der Seite anfallender Outputs und andererseits auf Seiten erforderlicher Inputs bei den Systempartnern Schwankungen auftreten können, die gemanagt werden müssen. So können betriebliche Entscheidungen über Produktionsmengen und -technik nicht mehr unabhängig von den Systempartnern getroffen werden, da sich damit die anfallende Menge pro Zeiteinheit, die zeitliche Verteilung und die Qualität der anfallenden Materialien ändern können. Vor allem Fragen der Qualität, die sich in der chemischen Zusammensetzung oder Reinheit und im physischen Aggregatzustand der auszutauschenden Stoffe ausdrücken, entscheiden über die Praktikabilität einer angestrebten symbiotischen Beziehung.¹⁷⁴³ Darüber hinaus erfordert der Ansatz ein anderes Grundverständnis von „unerwünschten“ oder gar „ignorierten“ Gütern, die ein Unternehmen verlassen und (bislang) nichts zur Wertschöpfung beitragen.¹⁷⁴⁴ Potenziell gesehen ist jeder Stoff- oder Energiestrom, der ein Unternehmen verlässt, eine nutzbare Ressource und erfordert deswegen eine entsprechend verantwortliche betriebswirtschaftliche Würdigung, damit er auch als solcher gehandhabt wird.¹⁷⁴⁵ Durch die Vielfalt der Möglichkeiten zwischenbetrieblicher Ko-

¹⁷⁴² Vgl. USC (Hrsg. 2002), S. 32

¹⁷⁴³ Vgl. Morton, Simon und Stirratt (2002), S. 171

¹⁷⁴⁴ Vgl. Baumgärtner, Dyckhoff, Faber u.a. (2001), S. 368

¹⁷⁴⁵ Das ist eine Annäherung an die „Vorbildfunktion“ der ökologischen Systeme.

operation ist noch nicht geklärt, ob es überhaupt ein singuläres Modell für die Gestaltung von EIPs und industriellen Symbiosen geben kann oder ob gerade hier der ökologische Begriff der Vielfalt besonders zum Tragen kommt.¹⁷⁴⁶ Nachweisbar ist zumindest, dass mit zunehmender Zahl beteiligter Akteure die Zahl der Verknüpfungen nahezu linear zunimmt, so dass man ähnlich wie in der Ökologie davon ausgehen kann, dass ab einem bestimmten Reifegrad eines EIP die Konnektivität sich im Idealfall um ca. 0,5 einpendelt.¹⁷⁴⁷ Dies sagt jedoch nichts über den Umfang und die Qualität der einzelnen Symbiosen aus, die für die Stabilität, Effektivität und Effizienz eines EIPs bestimmend sind. Im Zusammenhang mit den einzelnen geknüpften Symbiosen innerhalb des EIPs werden obendrein Investitionen getätigt, die entweder durch eine räumliche Verlagerung einer Produktionsstätte oder die Einrichtung der für die Austauschprozesse nötigen Infrastruktur ausgelöst werden. Solche Investitionen werden insbesondere bei starker Kopplung weniger Betriebe innerhalb des EIPs interessant, die kontinuierlich große Mengen nutzbarer Materialien oder Energie als Kuppelprodukte aufweisen.¹⁷⁴⁸ Der EIP wird damit stark technisch determiniert.¹⁷⁴⁹ Dies führt zu weiteren raum-zeitlichen Sachzwängen innerhalb des EIPs, die eine ähnliche Empfindlichkeit gegenüber Störungen ergeben, wie es auch in natürlichen Ökosystemen der Fall ist.¹⁷⁵⁰ Resilienz ist also ein Faktor, der zum wichtigen Bestandteil des Managements von EIPs wird.

Kraft-Wärme-Kopplung als mittelfristige Option und Energiekaskaden

Derzeit scheint eine Energieversorgung ausschließlich mit regenerativen Energieträgern noch nicht möglich. Die Erzeugung von Strom oder Kraft durch Verbrennungsprozesse ist jedoch mit sehr hohen Wärmeverlusten und damit einem niedrigen Wirkungsgrad verbunden.¹⁷⁵¹ Für die Übergangszeit der weiteren Verwendung fossiler Energieträger zur Stromerzeugung bietet sich bei der Umsetzung eines EIP insbesondere die Stromer-

¹⁷⁴⁶ Vgl. Chertow (2004), S. 2

¹⁷⁴⁷ Vgl. Hard und Graedel (2002), S. 34; Entsprechend der Nahrungsnetzanalyse wird dafür ein Quotient (C) aus der Anzahl der Verbindungen (L) und der Anzahl der Akteure (S) gebildet mit $C = 2L/[S(S - 1)]$; Allerdings ist die Datenlage für solche Untersuchungen noch recht dünn, so dass im Bereich der Konnektivität in Zukunft noch tiefer gehende Erkenntnisse zu erwarten sind.

¹⁷⁴⁸ Vgl. Fichtner, Tietze-Stöckinger und Rentz (2004), S. 137

¹⁷⁴⁹ Vgl. Wietschel und Rentz (2000), S. 42; Im Gegensatz zu marktlich orientierten Kooperationen, wo das Investitionsvolumen eher niedrig und die gegenseitige Abhängigkeit geringer sind.

¹⁷⁵⁰ Vgl. Brown, Gross und Wiggs (2002), S. 107

¹⁷⁵¹ Vgl. Slone (2003), S. 128

zeugung vor Ort mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) an, da damit die Effizienz der Wärmenutzung auf bis zu 80 % gesteigert werden kann.¹⁷⁵² Es fallen dabei auch geringere Verteilungs- und Transportverluste an.¹⁷⁵³ Außerdem entstehen bei der thermischen Energieerzeugung mit fossilen und regenerativen Brennstoffen eine Vielzahl von Kuppelprodukten, die sich wegen ihrer aus dem Verbrennungsprozess resultierenden Reinheit besonders anbieten, für industrielle Produktionsprozesse weiterverwendet zu werden und dazu regelmäßig und in großer Menge anfallen.¹⁷⁵⁴ Dies sind z. B. Flugasche, Kesselasche, REA-Gips, Wasserdampf und erwärmtes Kühlwasser, für die es jeweils spezifische potenzielle Nachfrager gibt.¹⁷⁵⁵ Häufig liegt Abwärme auch im Niedrigtemperaturbereich vor und eignet sich dann nicht als industrielle Prozesswärme. Zusätzlich bedarf es aufwändiger Berechnungen zur Gegenüberstellung von potenziellem Nutzen und (Investitions-)Kosten der Bereitstellung, falls die Wärmequellen über eine große Fläche verteilt sind.¹⁷⁵⁶ Hier bieten sich als letztes Glied der Kette noch Anwendungen der Fernwärmeversorgung oder im Agrarbereich an, die auf kontinuierliche Wärmeversorgung im niedrigen Temperaturbereich angewiesen sind.¹⁷⁵⁷ EIPs bieten sich für die gemeinsame Planung von Energieerzeugung und -verteilung besonders an, da schon Erfahrungen im Austausch von Stoffen und Informationen bestehen. Da hierbei die Energie vor Ort in unterschiedlichen Formen vorliegt, können durch Kaskadennutzung Emissionen vermieden und die Gesamteffizienz der Energieversorgung verbessert werden.¹⁷⁵⁸ Außerdem verbessert sich die Kalkulationsbasis für Investitionen im Energiesektor, da viele Einzelinvestitionen durch eine gemeinsame Anlage ersetzt werden können. Durch thermodynamische Berechnungen ist die Planung solcher Verteilungsprozesse mit beliebigen Grundannahmen über Prozesse und Energieformen (besonders bei stabilen Prozessen) mit Hilfe von DV-gestützten Prozesssimulationen möglich.¹⁷⁵⁹ Jedoch ist in solchen Ansätzen auf Basis fossiler Energieträger nur eine vorübergehende Zwischenlösung zu sehen, da für das Idealszenario die

¹⁷⁵² Vgl. Bennett, Heitkamp, Klee u.a. (2002)S. 139; Sowohl reine Elektrizitätswerke als auch reine Heizwerke erreichen nur wesentlich niedrigere Effizienz-Werte.

¹⁷⁵³ Vgl. Côté (2003a), S. 151

¹⁷⁵⁴ Vgl. USC (Hrsg. 2002), S. 31

¹⁷⁵⁵ Vgl. Alexander, Benoit, Malloch u.a. (2002), S. 389 und Posch (2004), S. 116

¹⁷⁵⁶ Vgl. Fichtner, Tietze-Stöckinger, Frank u.a. (2005), S. 78

¹⁷⁵⁷ Vgl. Trillium Planning & Development (2003), S. 28

¹⁷⁵⁸ Vgl. Fichtner, Frank und Rentz (2004), S. 891

¹⁷⁵⁹ Vgl. Casavant und Côté (2004), S. 902

Annahme getroffen wurde, dass langfristig nur eine sichere Energieversorgung mit regenerativer Erzeugung denkbar ist. Das Zeitfenster für dessen Umsetzung kann jedoch mit KWK und Energiekaskaden vergrößert werden. Außerdem kann Kraft-Wärme-Kopplung und Kaskadennutzung auch bei Verbrennung regenerativer Primärenergieträger deren Einsatz um bis zu 30 % senken.¹⁷⁶⁰ Die Weiternutzung von Wärme bietet sich im Allgemeinen für alle Prozesse an, bei denen Wärme anfällt. Deshalb ist das Potenzial für die Bildung von Energiekaskaden speziell im Wärmebereich sehr groß, da hier spezifische Leistung und spezifischer Bedarf gut aufeinander abgestimmt werden können. Dies gilt grundsätzlich immer für die Verbindung von Prozessen, bei denen wegen hoher Prozesstemperatur Abwärme unvermeidlich anfällt, die noch für Anwendungen im niedrigeren Temperaturbereich ausreicht. Allerdings unterscheiden sich die logistischen Anforderungen bei energetischer Vernetzung stark von denen der stofflichen. Die industriell verwendeten Energieformen Elektrizität, Wärme und Druckluft können nicht gespeichert werden. Bedarf und Angebot müssen kurzfristig abgestimmt werden. Für die Verlinkung der beteiligten Firmen bedarf es hoher Investitionen in die Infrastruktur, die in der Regel sehr langlebig ist, die Partner also langfristig aneinander und an das gewählte Energieversorgungssystem binden. In der Regel sind mit netzwerkorientierten Lösungen jedoch sowohl ökologische als auch ökonomische Verbesserungen verbunden, da die durchschnittlichen Kosten pro kWh abgerufener Arbeit gesenkt werden können. Dies wird umso wahrscheinlicher, je größer der Gesamtenergiebedarf im EIP ist und hängt von der relativen Verteilung des Bedarfs unterschiedlicher Energieformen ab, da die Verhältnisse der zur Verfügung stehenden Energieformen nicht beliebig variabel sind. Die Feststellung der relevanten ökonomischen und ökologischen Größen erfordert komplexe Instrumente, um Kosten und Wirkungen verursachergerecht zuzuordnen zu können.

7.5.2.1 Vernetzung von EIPs

Nicht alle Stoffkreisläufe in einem EIP können auf der Meso-Ebene ständig geschlossen sein. Regional typische Ausprägungen der Wirtschaftsstruktur führen zu spezifischen Stoffströmen, die nur bestimmte Austauschprozesse zulassen. Es können nicht alle auftretenden Stoffströme regional geschlossen werden. Wie beim natürlichen Vorbild

¹⁷⁶⁰ Vgl. Martin, Weitz, Cushman u.a. (1996), S. 6/23

erfordert es also regionsübergreifende Ansätze der Verbindung regional typischer industrieller Ökosysteme mit ihren charakteristischen Reststoffen. Es ist dadurch eine Berücksichtigung verschiedener Raumskalen erforderlich, um eine IÖ wirksam umzusetzen.¹⁷⁶¹ Dies ist im Konzept der IÖ bereits angelegt, da die Ökosystem-Metapher von einer Vielzahl miteinander verbundener Ökosysteme, in diesem Fall EIPs, ausgeht.¹⁷⁶² Es handelt sich um ein Mosaik aus verschiedenen großen Ökosystemen, an deren Schnittstellen Austauschprozesse stattfinden.¹⁷⁶³ Die einzelnen Systemgrenzen für EIPs sollten deshalb nicht zu strikt gezogen werden, was sie bei natürlichen Ökosystemen auch nicht sind.¹⁷⁶⁴ Für Kuppelprodukte, die auch im Systemverbund anfallen, bedarf es im Sinn der IÖ demnach außerhalb eines EIPs liegender Lösungsansätze durch eine Ausdehnung des Bezugsraumes auf eine größere Region.¹⁷⁶⁵ Dies kann die Verknüpfung mit einem anderen EIP sein, der Bedarf an den Ressourcen hat, oder über verschiedene regional verteilte bilaterale Recycling-Lösungen geregelt werden.¹⁷⁶⁶ Hier ist dann der Begriff des EIN angebracht, der einen Raumbezug auf der Makro-Ebene einnimmt. Es können dann wesentlich größere Spektren von Synergieeffekten ausgelotet werden. Hier finden sich Parallelen zur Landschaftsökologie, in der großräumige Muster der Verflechtung zwischen Ökosystemen für die Gesamtstabilität und für die Stabilität der einzelnen Ökosysteme essenziell sind.¹⁷⁶⁷ Die räumliche Konfiguration der Verteilung industrieller Konglomerate entspricht dann im Idealfall einer Ökosystem-Korridor-Matrix, wie sie in der Landschaftsökologie aufgestellt werden. Die regional typischen Ordnungsmuster werden dabei beibehalten, deren Verknüpfungen optimiert und möglichst effizient mit den übergeordneten strukturellen Mustern auf der nächstgrößeren Raumskala gekoppelt.¹⁷⁶⁸ Recyclingfirmen, die sich auf das Wiedergewinnen von Ressourcen spezialisieren, werden dabei eine zunehmend wichtige Rolle einnehmen und ganz neue Nischen besetzen, die durch den Bedarf an Senken- und Quellenleistungen entstehen.¹⁷⁶⁹ Sie werden aber eine andere räumliche Verteilung aufweisen als die EIPs, da sie

¹⁷⁶¹ Vgl. Janssen und van den Bergh (1999), S. 3

¹⁷⁶² Vgl. Tibbs (1993), S. 3

¹⁷⁶³ Vgl. Billen (2003), S. 334

¹⁷⁶⁴ Vgl. Wilderer (2003), S. 198

¹⁷⁶⁵ Vgl. Sterr und Ott (2004), S. 947

¹⁷⁶⁶ Vgl. Roberts (2004), S. 1002 und Desrochers (2002), S. 36

¹⁷⁶⁷ Vgl. Yang und Lay (2004), S. 1013

¹⁷⁶⁸ Vgl. Malinsky (1999), S. 199

¹⁷⁶⁹ Vgl. Peck & Associates (o. J.), S. 19

so hoch spezialisiert sind, dass sich nicht in jedem Industriegebiet eine Ansiedlung lohnen würde.¹⁷⁷⁰ Gerade industrielle Clusterbildung führt dazu, dass sich eine regional verdichtete Spezialisierung für bestimmte Stoffe entwickelt, welche aus großer räumlicher Distanz aus verschiedenen Regionen geliefert werden.¹⁷⁷¹ Allerdings ist zu beachten, dass sich Transportaufwendungen mit sinkendem Wert des Kuppelproduktes weniger lohnen, die Verwertung somit ortnah erfolgen muss.¹⁷⁷² Informatorische Unterstützung beim Schließen von Lücken in der Kreislaufwirtschaft können Recyclingbörsen sein, die bereits seit mehreren Jahren von verschiedenen Trägern angeboten werden.¹⁷⁷³ Auch hier findet sich eine metaphorische Übereinstimmung zu natürlichen Ökosystemen. Strukturell ergibt sich so ein sich wiederholendes Muster aus betrieblich geschlossenen und offenen Stoffkreisläufen, aus in EIPs geschlossenen und offenen Stoffkreisläufen, aus in EINs geschlossenen und offenen Stoffkreisläufen – über die geschlossenen und offenen Stoffkreisläufe einer nationalen Kreislaufwirtschaft bis hin zur globalen Stoffstromwirtschaft. Alle Subsysteme und die holarchisch darauf aufbauenden Metasysteme agieren dabei wie die Ökosysteme in der Natur nach den gleichen Gesetzmäßigkeiten. Dies entspricht einer ganzheitlichen Sichtweise im Raum, in der Zeit und in der Sache.¹⁷⁷⁴ Die folgende Abbildung 16 visualisiert den Gedankengang.

¹⁷⁷⁰ Vgl. Yang und Lay (2004), S. 1015

¹⁷⁷¹ Vgl. Desrochers (2001a), S. 36

¹⁷⁷² Vgl. Ayres (2002), S. 57

¹⁷⁷³ Vgl. Kaluza und Blecker (1998), S. 277

¹⁷⁷⁴ Vgl. Majer (2004a), S. 350

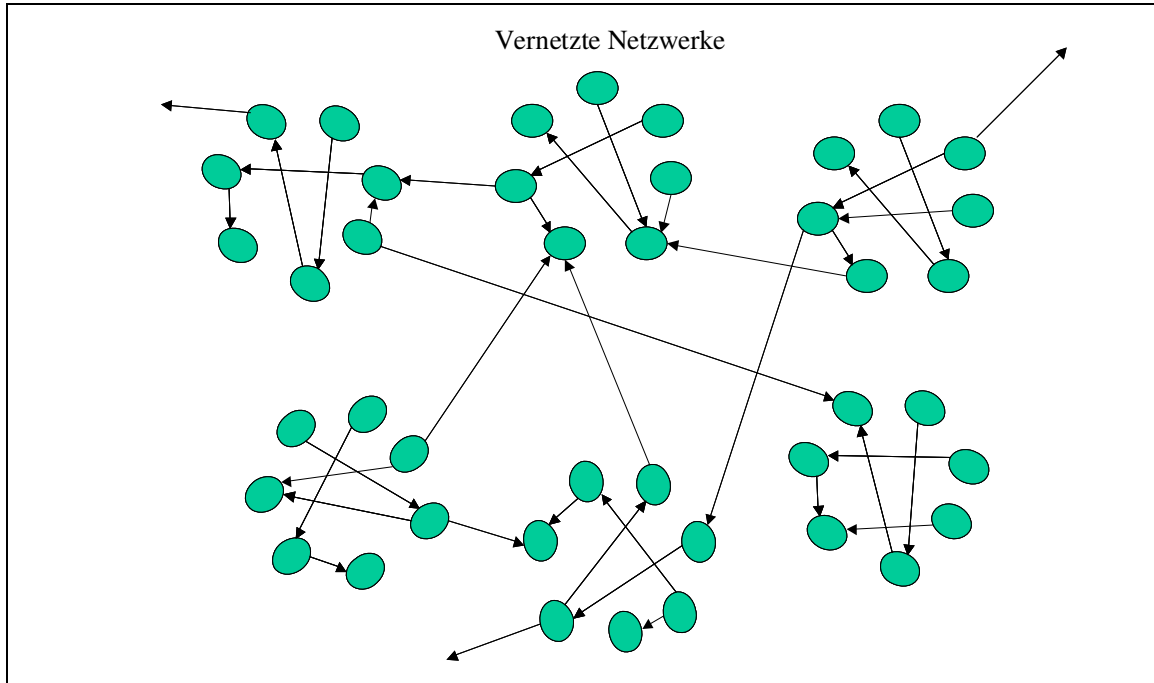


Abbildung 16: vernetzte Netzwerke; in Anlehnung an Sterr(2003), S. 286

7.5.2.2 Hindernisse und Einschränkungen

Es zeigen sich empirisch jedoch große Diskrepanzen zwischen den hier entwickelten (theoretischen) Ambitionen und der tatsächlichen Performance der angestrebten öko-industriellen Entwicklung.¹⁷⁷⁵ Bislang befindet sich die Entwicklung von EIPs zumeist noch im Stadium von Vorstudien oder theoretischen Vorschlägen.¹⁷⁷⁶ Dies deutet auf Hindernisse auf dem Weg zur konkreten operationalen Umsetzung dieses Ansatzes hin, die man grob drei Gruppen zuordnen kann:¹⁷⁷⁷

- Kognitive Hindernisse: mangelnde Kenntnisse über Einsatzmöglichkeiten von Sekundärrohstoffen, mangelndes Denken über die Betriebsgrenzen hinaus, mangelnde Transparenz relevanter Informationen, Informationsasymmetrie, Kurzfristdenken, ökonomisches Denken dominiert, Furcht vor zu hoher Kosten-

¹⁷⁷⁵ Vgl. Eilering und Vermeulen (2004), S. 266

¹⁷⁷⁶ Vgl. Ayres (2002), S. 44

¹⁷⁷⁷ Vgl. Corder, Brereton, Smirk u.a. (2005), S. 132, Peck & Associates (o. J.), S. 22 und Desrochers (o. J.), S. 20, Heider, Spiegelman (2000), S. 9, Fichtner, Tietze-Stöckinger, Frank u.a. (2005), S. 82, Koenig (2005), S. 13, Vallès (2003), S. 91, Zabel (1998), S. 135, Farmer (1998), S. 187 und Bosewitz (2002), S. 10; Besonders abfallrechtliche Vorgaben sind hier häufig ein Problem. Z. B. ist es in Deutschland nicht möglich, Motorenöl aus am Prüfstand getesteten Motoren mit einer faktischen Laufleistung von 2000 km weiter zu verwenden, da es als Altöl deklariert werden muss und damit unter die Altölverordnung fällt (Notiz eines Gesprächs mit einem Vertreter der Automobilindustrie).

belastung, fehlende logistische Konzepte, unklare Kausalitäten zwischen IÖ-Aktivitäten und Nachhaltigkeit

- Motivationale Hindernisse: organisatorische Widerstände, unflexible Behörden, Zurückhaltung wegen der notwendigen Investitionen in die Infrastruktur, mangelndes Interesse an nachhaltiger Entwicklung wegen anderer Zielsetzungen, fehlende Promotoren, fehlende Kommunikation, Verlust der Flexibilität der Firmen, mangelndes Vertrauen in Kooperationspartner
- Situative Hindernisse: Arbeitsüberlastung der betreffenden Personen, unerwünschte Stoffeigenschaften, zu geringe Abfallmengen für eine ökonomische Verwertung,¹⁷⁷⁸ fehlende Technologien, Schwierigkeiten bei der Koordination von Stoff-Anfall und Stoff-Bedarf, gesetzliche Anforderungen des Umweltschutzes mit Haftungsrisiken, ordnungsrechtliche Regularien, Monopolstellungen bei der Energieerzeugung, festgefahrene Hierarchien, Konkurrenzdruck, Gefahr von technologischen „Lock-in“-Effekten, die eine weitere Entwicklung behindern

Diese Barrieren können entweder auf persönlicher Ebene (Individuum), auf Firmenebene (Organisation) oder auf der Kooperationsebene (Netzwerk) wirksam werden.¹⁷⁷⁹ Im wirtschaftlichen Alltag scheint es gerade im Management an gezieltem Interesse an nachhaltiger Entwicklung zu mangeln.¹⁷⁸⁰ Die Sachzwänge des Tagesgeschäftes und die Preisinformationen des Marktes, die die externen Kosten ausschließen, überwiegen. Zusammenfassend zeigt sich dies darin, dass es noch kaum operationale Ansätze gibt, wie der Transformationsprozess zu einer IÖ systematisch auf breiter Basis angestoßen und gesteuert werden kann.¹⁷⁸¹ Bislang ist alles Stückwerk geblieben. Bei einer Praxisstudie in den USA mit sechs regionalen Initiativen, die zuvorderst auf Stoffaustauschbeziehungen zwischen den regionalen Akteuren abzielten, ergab sich nach ausführlichen Vorstudien kein einziger geschlossener Stoffkreislauf.¹⁷⁸² So kam es in den befragten Netzwerken zu einer Rückbesinnung auf bekannte Instrumente des

¹⁷⁷⁸ Speziell dieser Punkt birgt eine gewisse Ambiguität in sich, da in manchen Fällen eine großtechnische Zentralisierung von Produktionsschritten zumindest für das Anfallen ausreichender Mengen an Kuppelprodukten sorgt, für die sich eine Verwertung lohnt; Vgl. Ayres (2002), S. 48

¹⁷⁷⁹ Vgl. Zabel (1998), S. 153

¹⁷⁸⁰ Vgl. Kneese (1998), S. 10

¹⁷⁸¹ Vgl. Welford (2004), S. 288

¹⁷⁸² Vgl. Deutz, Gibbs und Proctor (2003), S. 9

Umweltmanagements, die zumindest gemeinsam evaluiert werden. Und es zeigte sich, dass solche Prozesse sehr langfristige Zeithorizonte benötigen, die eine Dekade leicht überschreiten.¹⁷⁸³ Das gilt ebenso für die Reaktionszeiten öffentlicher Akteure und betrifft insbesondere die langsame Anpassung gesetzlicher Regelungen an neue sozio-ökologische Entwicklungen.¹⁷⁸⁴ So gehört im Falle einer IS oder eines EIP das kontinuierliche gemeinsame Aufzeigen der Verwertungsabsicht bislang als Abfälle behandelte Stoffe zu einem wichtigen Erfolgskriterium.¹⁷⁸⁵ Öko-industrielle Strategien erfordern die bewusste Entscheidung der beteiligten Akteure, sich auf einen langfristigen *Entwicklungspfad*¹⁷⁸⁶ zu begeben, der eine kontinuierliche Verbesserung der ökologischen Performance anstrebt. Dieser Pfad wird gemeinhin mit dem Begriff des „Eco-Industrial Development“ (EID) belegt und wird hier mit „öko-industrielle Entwicklung“ synonym verwendet. EID stellt die bewusste Steuerung einer Entwicklung in Richtung IÖ in den Vordergrund, ohne sofort die Messlatte eines EIP oder von ZE anzulegen. Sie zeichnet sich dadurch aus, dass nur einzelne Elemente der IÖ in ein regionales Konzept eingebunden werden und kontinuierlich weiterentwickelt werden sollen.¹⁷⁸⁷ Für eine strukturkonforme Umsetzung ist dabei die ebenso ständige Beachtung (als soziale Ko-Evolution) der oben genannten Hindernisse erforderlich, da sich sonst zu starke Widerstände gegen die Transformation ausbilden, wie im Kapitel Humanökologie aufgezeigt werden konnte. Es wird damit ein langfristiger iterativer Prozess angestoßen, während dem in episodischen Schritten die sozio-ökologischen Verhältnisse und die jeweiligen Anreizsysteme angepasst werden. Ohne diese Systemtransformation auf allen Ebenen wird sich keine IÖ herausbilden können, da die genannten Hindernisse zu starke bremsende Kräfte ausüben. Dass bislang die meisten in die Realität umgesetzten EIPs nur Marktkräften folgend übliche Geschäftspraktiken mit anderen Mitteln umsetzten, ist ein Zeichen dafür, dass ein alleiniges Verlassen auf diese Kräfte nicht ausreicht, um das

¹⁷⁸³ Dies ist eine Erfahrung, die sich im laufenden Forschungsprojekt des Autors mit dem IUWA Heidelberg und dem unW in Ulm exakt bestätigt. Zwar wurden in zwei Unternehmensnetzwerken gemeinsame Instrumente zum Austausch von Stoffstromdaten installiert, es konnte bislang jedoch kein Anhaltspunkt für eine potenzielle Symbiose gefunden werden – das Projekt wird nach viereinhalb Jahren Laufzeit jedoch fortgesetzt, um die Instrumente weiter zu entwickeln; Das ist ein Zeichen dafür, dass es zur Ausgestaltung des EIP-Konzepts noch erheblicher Forschung bedarf.

¹⁷⁸⁴ Vgl. Malcolm und Clift (2002), S. 4

¹⁷⁸⁵ Vgl. Schwarz (1998a), S. 206; Dies ist insofern wichtig, als die rechtliche „Abfalleigenschaft“ durch die Eigenschaft als Wirtschaftsgut ersetzt werden kann, um neue rechtliche Grundlagen zu schaffen.

¹⁷⁸⁶ Sterr (2003), S. 297

¹⁷⁸⁷ Proctor, Deutz und Gibbs (2002), S. 1

Konzept der IÖ umzusetzen.¹⁷⁸⁸ Sonst müsste es mehr solcher Beispiele geben. Daran kann auch die Tatsache nichts ändern, dass es in der Historie vielfältige Beispiele für geschlossene Materialkreisläufe gab, die nur auf ökonomischen Überlegungen basierten.¹⁷⁸⁹ Insgesamt hängt die zukünftige ökoindustrielle Entwicklung davon ab, inwiefern die zuletzt beschriebenen Sachverhalte bei der operationalen Umsetzung von IÖ berücksichtigt werden und durch entsprechende Strategien erfolgreich abgedeckt werden können.

7.5.3 Operationale Aspekte in EIPs und öko-industrieller Entwicklung

Grundsätzlich gibt es drei idealtypische Ausgangsbedingungen für die Entstehung eines EIPs:¹⁷⁹⁰

- Völlige Neuplanung bei der Ansiedlung auf neu ausgewiesenem Land
- Ansetzen an einem existierenden Industriegebiet
- Rekultivierung einer (kontaminierten) Brachfläche

Gerade beim zweiten Punkt ist sehr großes Potenzial zu erwarten, da das Konzept der Industriegebiete bereits eine große strukturelle Rolle spielt, die tendenziell weiter zunimmt – insbesondere in den schnell wachsenden Volkswirtschaften Asiens.¹⁷⁹¹ Die genaue Anzahl der global existierenden ausgewiesenen Industriegebiete ist derzeit nicht bekannt, Schätzungen der UNEP taxieren die Zahl auf ca. 20000.¹⁷⁹² Das mag nicht zuletzt daran liegen, dass Art, Form, Größe und Ausgestaltung von Industriegebieten keiner festen Definition unterliegen und es somit vielfältige Ausprägungen gibt. Eine zukunftsweisende Ausgestaltung, die auf alle denkbaren Formen angepasst werden kann, stellt der EIP als übergreifendes Konzept dar. Als Objekt für öko-industrielle Entwicklung bieten sich Industriegebiete auch deshalb an, weil ökologische Belastungen hier geballt und in vielfältiger Form auftreten. Es kann z. B. am zunehmenden Flächenverbrauch industrieller Entwicklung angesetzt werden, da bei gemeinschaftlich genutzten Flächen ein nachhaltiges Flächenmanagement möglich wird. Der Komplexität

¹⁷⁸⁸ Vgl. Desrochers (2001), S. 366

¹⁷⁸⁹ Vgl. Desrochers (2000a), S. 40

¹⁷⁹⁰ Vgl. Lowe, Moran und Holmes (1996), S. xxiii und Fleig (2000), S. 10

¹⁷⁹¹ Vgl. UNEP (Hrsg. 1997), S. 3 und Chiu (2001), S. 6

¹⁷⁹² Vgl. Francis und Erkman (2001), S. Background - 2

der insgesamt anfallenden Aufgaben kann am ehesten mit dem Kooperationsstypus der Netzwerke entsprochen werden, der sich zwischen politischen und marktwirtschaftlichen Prinzipien abspielt, unterschiedliche bilaterale Konnektivität zulässt, den Mitgliedern ausreichend Autonomie und Wahlfreiheit des Institutionalierungsgrades lässt, mit zunehmender Zahl von Verbindungen komplexer werden kann und auf freiwilliger Kooperation basiert.¹⁷⁹³ Zwar gehen manche Autoren davon aus, dass öko-industrielle Entwicklung von diesen Ausgangsbedingungen ausgehend „spontanen Prozessen“ entspringt, die sich aus selbstorganisatorischen Netzwerken entwickeln. Trotzdem soll im weiteren Verlauf davon ausgegangen werden, dass auch solche Prozesse im Endeffekt von planenden Instanzen in Gang gesetzt und gesteuert werden.¹⁷⁹⁴ Jedoch wird dafür kaum eine bestimmte zentrale Instanz mit einer singulären geplanten Zielstellung in Frage kommen, sondern ein polyzentrischer Ansatz in Form eines System-Managements.¹⁷⁹⁵ Hier stellt sich die noch unbeantwortete Frage, inwiefern planende und entscheidende Individuen, die sich auf einer anderen holarchischen Ebene bewegen wie die institutionellen Akteure, überhaupt Einfluss auf die eigendynamische Entwicklung des Gesamtsystems nehmen können.¹⁷⁹⁶ Dafür existiert noch kein operationalisierbarer Managementansatz aus einem Guss, weil entsprechende Modelle und Theorien noch nicht ausgereift sind.¹⁷⁹⁷

Holarchisches Beziehungsgeflecht

Wird IÖ als konzeptioneller Rahmen für öko-industrielles Management aufgefasst, so lassen sich dabei vielfältige Ansatzpunkte für innovatives Management ableiten, die auf verschiedenen Ebenen aufgegriffen werden (müssen).¹⁷⁹⁸ Dafür ist es notwendig, dass die Konzeption und deren Implikationen auf breiter Basis kommuniziert werden und dass zumindest in der Anfangsphase ein intermediärer Promotor auftritt, bei dem sowohl Fach- als auch Machtkompetenzen gegeben sind.¹⁷⁹⁹ Die Umsetzung einer IÖ braucht eine breit angelegte Intervention auf allen organisatorischen und sozialen Ebe-

¹⁷⁹³ Vgl. Malinsky (1999), S. 195f

¹⁷⁹⁴ Vgl. Desrochers (2004), S. 1099 und Lowe (1998), S. 28

¹⁷⁹⁵ Vgl. Wietschel und Rentz (2000), S. 40

¹⁷⁹⁶ Vgl. Spiegelman (2003), S. 22

¹⁷⁹⁷ Vgl. Großmann, Sander, Drachenberg, u.a. (2003), S. 3

¹⁷⁹⁸ Vgl. Ehrenfeld (2001), S. 2

¹⁷⁹⁹ Vgl. Gottschick, Hafkesbrink, Sterr u.a. (2004), S. 13

nen.¹⁸⁰⁰ Das erfordert die Entwicklung regionaler kooperativer Netzwerke, die problemorientiert (Umsetzung einer IÖ), innovationsorientiert (tvi-Innovationen) und projektbezogen (z. B. Aufbau von Symbiosen) arbeiten.¹⁸⁰¹ Sie sind dadurch ausgezeichnet, dass alle denkbaren Kooperationsrichtungen darin möglich sind, sie langfristig angelegt sind und resilient auf Änderungen der Rahmenbedingungen reagieren können.¹⁸⁰² Die menschliche Seite der Transformation wird dabei eine erhebliche Rolle spielen.¹⁸⁰³ Bei aller handlungsleitenden Bestimmung durch institutionelle und ökonomische Rahmenbedingungen spielen bei Entscheidung für und Umsetzung von ökoindustriellen Projekten kognitive, affektive (emotionale) soziale und kulturelle Eigenheiten, kurz psychologische Aspekte der Akteure und deren Beziehungen untereinander eine wichtige Rolle.¹⁸⁰⁴ Dieses Zusammenspiel psychologischer Faktoren ergibt für jeden Einzelfall ein einzigartiges Muster aus Wahrnehmung, Einstellungen und Risikoverhalten, das die Entwicklung beeinflusst und bei entsprechenden vorhandenen persönlichen Vorbehalten gegenüber ökologischen Fragestellungen oder Eigenschaften von Sekundärrohstoffen ein Hindernis darstellen kann.¹⁸⁰⁵ Interorganisationale Kommunikation und Kooperation stehen dabei auf der Suche nach nachhaltigen Innovationen im Vordergrund und erfordern die Berücksichtigung dahinter verborgener ideologischer, kultureller und ökonomischer Dynamik.¹⁸⁰⁶ Neue Formen der gemeinsamen Wertefindung, reziproke organisationale Lerneffekte und Durchführung gemeinsamer Innovationsprojekte basieren auf Vertrauen, das sich im Lauf des Transformationsprozesses bei den Akteuren erst entwickeln muss, da mit der Bildung eines Netzwerkes sowohl Chancen als auch Risiken für die Akteure verbunden sind.¹⁸⁰⁷ Anfangs und auch während öko-industrieller Entwicklungsprozesse werden die unterschiedlichen Haltungen und Vorstellungen seitens der Akteure gegenüber der IÖ zum Tragen kommen.¹⁸⁰⁸ Da die regionale Umsetzung öko-industrieller Entwicklung einen räumlichen Ausschnitt der Mehr-Ebenen-Transformation zur IÖ darstellt und die

¹⁸⁰⁰ Vgl. Cohen-Rosenthal (2003b), S. 55

¹⁸⁰¹ Vgl. Kirschten (2002), S. 61 und Kaluza und Blecker (1996), S. 383

¹⁸⁰² Vgl. Kaluza und Blecker (1998a), S. 29

¹⁸⁰³ Vgl. Kirschten (2005), S. 155

¹⁸⁰⁴ Vgl. Fischhoff und Small (1999), S. 4

¹⁸⁰⁵ Vgl. Sterr (2003), S. 172

¹⁸⁰⁶ Vgl. Allenby (1999), S. 3

¹⁸⁰⁷ Vgl. Chertow (1999), S. 15

¹⁸⁰⁸ Vgl. Deutz und Gibbs (2004), S. 359

Kopplung der Akteure typischerweise nur lose ist, bietet sich zur Abbildung der komplexen Steuerungsprozesse der Ansatz der „Local Governance“ an.¹⁸⁰⁹ Hierunter ist ein ganzheitliches Steuerungsmodell zu verstehen, das unabhängig von der Steuerungsinstanz für die institutionelle räumliche Organisation des Transformationsprozesses und für eine ideale Ausgestaltung des regionalen Anreizsystems steht. Dabei werden unterschiedliche Steuerungslogiken aus Markt, Hierarchie, Netzwerken und Kooperation integriert. Ziel ist die Herbeiführung einer Regulation, die zur Reproduktion des gesellschaftlichen Systems beiträgt. Dabei ist die Regulation *„nicht das intendierte Ergebnis strategischen Handelns, sondern das kontingente Resultat eines offenen Prozesses sozialer Auseinandersetzungen, die gleichwohl von intentional handelnden Akteuren geführt werden.“*¹⁸¹⁰

Dieser ergebnisoffene Prozess wird von den interagierenden Akteuren aus verschiedenen Positionen heraus auf allen Nachhaltigkeitsdimensionen (Ökologie, Ökonomie, Soziales) mit spezifischen Vorstellungen von Nachhaltigkeit beeinflusst.¹⁸¹¹ Das heißt, nicht ein einzelner steuernder Akteur bestimmt die Entwicklung, sondern ein Geflecht aus institutionellen Konfigurationen.¹⁸¹² Solch ein Netzwerk verbessert die kollektive Fähigkeit, durch organisationales Lernen die komplexen Problemstellungen bei der Umsetzung der IÖ zu bearbeiten, was auch aus Praxiserfahrungen bestätigt wird.¹⁸¹³ Dies ist vor allem vor dem Hintergrund entscheidend, dass durch regionale Differenzierung sehr unterschiedliche Ausgangsbedingungen vorliegen und es keinen standardisierten Ansatz für die Umsetzung geben kann.¹⁸¹⁴ Allerdings sind solche Prozesse dadurch gekennzeichnet, dass sie mehr Zeit beanspruchen als z. B. hierarchische Entscheidungen. Die Basis dieser Entwicklung bietet idealerweise die freie Marktwirtschaft, die jedoch in einem dualen Steuerungsansatz durch geeignete Anreizsysteme mit harten und weichen Steuerungsinstrumenten flankiert sein muss.¹⁸¹⁵ Es ist zwar erwiesen, dass es bereits in der Frühphase der Industrialisierung Anstrengungen hinsichtlich

¹⁸⁰⁹ Vgl. Monstadt (2004), S. 31

¹⁸¹⁰ Wissen (2004), S. 44; Den Rahmen für diese Regulationsprozesse stellt wiederum das Anreizsystem dar, das sich im Prozessverlauf rekursiv konstituiert – dies deckt sich mit den Anforderungen Nachhaltiger Entwicklung als einem offenen Suchprozess.

¹⁸¹¹ Vgl. Schindler (2004), S. 49

¹⁸¹² Vgl. Hummel und Kluge (2004), S. 97

¹⁸¹³ Vgl. Cohen-Rosenthal (2003b), S. 61 und Baas (2000), S. 5

¹⁸¹⁴ Vgl. Côté (2003a), S. 159

¹⁸¹⁵ Vgl. Desrochers (1998), S. 24 und Majer (1998), S. 237; Dieser duale Ansatz bietet sich bei den komplexen Stoffströmen durch die Wirtschaft an; Vgl. Lowe (1998), S. 47

der Verwertung von Kuppelprodukten gegeben hat, die auf Marktkräfte zurückzuführen waren.¹⁸¹⁶ Ökonomische Marktkräfte allein regeln die Ressourcen- und Umweltfragen jedoch nur unzureichend, wie in Abschnitt 6.1 gezeigt wurde. Darüber hinaus sind die zu verwertenden Materialien im Lauf der ökonomischen Entwicklung um ein Vielfaches komplexer geworden als sie zu Beginn der Industrialisierung waren. Deshalb ist für reibungsloses und die Transaktionskosten minimierendes Funktionieren des Marktes notwendig, dass sowohl Produzenten als auch Konsumenten ihre Entscheidungen einerseits dezentral treffen können, andererseits auf eine gemeinsame Informationsbasis zurückgreifen können.¹⁸¹⁷ Erschwerend kommt hinzu, dass die kollektiven Akteure durch hohe Eigenkomplexitäten gekennzeichnet sind, die im Transformationsprozess alle zusammen wirken.¹⁸¹⁸ Trotzdem oder gerade deswegen bedarf es entwicklungsbestimmender Anstöße zumindest eines Akteurs, um eine Transformation zur IÖ anzustoßen und voranzutreiben. Je nach Ausgangsszenario ergeben sich für die planende(n) Instanz(en) unterschiedliche Implikationen, was die Freiheitsgrade der Auswahl der zu beteiligenden Akteure, die vorzufindenden Ausgangsbedingungen und finanzielle Risiken betrifft. Die regionalen Ausgangsbedingungen sind jeweils eine einmalige historisch gewachsene Kombination dieser Faktoren, die beim Einleiten einer ökoindustriellen Entwicklung zu berücksichtigen sind.¹⁸¹⁹ Das Anstoßen eines regionalen Transformationsprozesses in Richtung eines EIP bedeutet auch, eine Vision oder ein Szenario davon zu entwickeln, welche Bedeutung und welche Ausgestaltung dies für die Region haben kann und inwiefern sich dieser Prozess strukturkonform integrieren lässt.¹⁸²⁰ Das geht in der Regel mit multidimensionalen Planungs- und Entscheidungsprozessen einher, da ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Aspekte relevant sind.¹⁸²¹ Die durch die theoretische Vorbereitung unterstützte holistische Sichtweise der zu steuernden Sachverhalte ist damit eine Grundbedingung für die Umsetzung der Strategien einer IÖ.

¹⁸¹⁶ Vgl. Desrochers (2002), S. 1032

¹⁸¹⁷ Vgl. Calcott und Walls (2002), S. 22

¹⁸¹⁸ Vgl. Brand (2004), S. 85

¹⁸¹⁹ Vgl. Baas und Boons (2004), S. 1077

¹⁸²⁰ Vgl. Deppe und Schlarb (o. J.) S. 26

¹⁸²¹ Vgl. Posch (2004), S. 117

Systemkonforme Transformation zur Industriellen Ökologie

Die Strukturen aus Einstellungen, Werthaltungen, technischen Artefakten, Anreizsystemen, institutionellen Konfigurationen und anderen Erfolgsfaktoren bei der Umsetzung einer öko-industriellen Entwicklung können nur ausreichend reibungslos transformiert werden, wenn die Übergänge zwischen den unterschiedlichen Stadien der Transformation durch Systemkonformität ausgezeichnet sind.¹⁸²² Gerade hinsichtlich der Einbettung der Transformation in die jeweiligen regulativen, politischen und kulturellen Rahmenbedingungen wird jedoch noch ein großer Forschungsbedarf gesehen.¹⁸²³ Hierbei tritt die Notwendigkeit in den Vordergrund, auf allen räumlichen Ebenen (lokal, regional, überregional) und auf allen funktionalen Organisationseinheiten (Unternehmen, Verwaltung, Politik, Stakeholder) zu einem Einverständnis über den Transformationsprozess zur IÖ zu gelangen und über ein Netzwerk von Akteuren eine vertrauensvolle Kooperation zu institutionalisieren, ohne die eine solche Transformation nicht möglich erscheint.¹⁸²⁴ Die Basis ist eine integrierte gemeinsame Nachhaltigkeitsstrategie im Verbund.¹⁸²⁵ Jeder teilnehmende Stakeholder, der durch seine Unterstützung die Transformation bereichern kann, erhöht die Erfolgswahrscheinlichkeit aber auch die Komplexität des Prozesses.¹⁸²⁶ Das beinhaltet das Verständnis und die Integration sektortypischer Entwicklungsstrategien.¹⁸²⁷ Das bedeutet eine Vielzahl von Herausforderungen für die steuernde(n) Instanz(en) des Transformationsprozesses wie z. B. die Kohäsion der beteiligten Stakeholder zu gewährleisten und die Kommunikation der zu erwartenden Chancen und Risiken zu gestalten.¹⁸²⁸ Die zielführende Kohäsion kann sich nur entwickeln, wenn die öffentlichen und privatwirtschaftlichen Akteure von der Idee der IÖ im Allgemeinen und des EIPs im Besonderen überzeugt sind.¹⁸²⁹ Diese Einstellung ist jedoch in der Praxis nur bei den wenigsten Akteuren vorzufinden.¹⁸³⁰

¹⁸²² Vgl. Majer (2004a), S. 346

¹⁸²³ Vgl. Chertow, Ashton und Kuppalli (2004), S. 30

¹⁸²⁴ Vgl. Proctor (2003), S. 8 und Chertow (2000), S. 328; Es handelt sich um die Elemente, die in der Humanökologie über die gesellschaftliche Seite des humanökologischen Dreiecks erklärt werden – würden diese außer acht gelassen, würde das sozial-ökologische Konstrukt EIP schnell instabil.

¹⁸²⁵ Vgl. Gorden (2002), S. 3

¹⁸²⁶ Vgl. Smith (2003), S. 114 und Huisingh (2002), S. 48

¹⁸²⁷ Vgl. Kituyi (2004), S. 233

¹⁸²⁸ Vgl. Lowe, Moran und Holmes (1996), S. xv

¹⁸²⁹ Vgl. Roberts (2004), S. 998

¹⁸³⁰ Vgl. Proctor (2003), S. 12; Der Autor der vorliegenden Arbeit kann aus dem Erfahrungsschatz verschiedener aktionsfördernder Forschungsprojekte mit dem Hintergrund nachhaltige Entwicklung diese Einschätzung empirisch bestätigen; Entweder dieses Bewusstsein ist gar nicht vorhanden, es werden

Deshalb gilt es, in einem kontinuierlichen Entwicklungsprozess zuerst die gegebenen Rahmenbedingungen zu analysieren, potenzielle Teilnehmer zu evaluieren und zu instruieren, gemeinsam konkrete Projekte im Bereich P2, CP und IS zu erörtern und zu entwickeln, deren Machbarkeit zu überprüfen und entsprechend dieser Erkenntnisse Arbeitspläne zu erstellen und umzusetzen.¹⁸³¹ Der Steuerungsansatz ist insofern von Bedeutung, als eine vollkommene Selbststeuerung ökonomischer Prozesse durch reine Rückkopplung nicht möglich ist, da im Gegensatz zur negativen Rückkopplung natürlicher Prozesse hier vorwiegend positive Rückkopplung stattfindet.¹⁸³² Die Transformation zur nachhaltigen IÖ betrifft sehr viele Akteure im transdisziplinären Aktionsraum, mit jeweils eigenen (Nachhaltigkeits-)Zielen und Problemsichten, die nur schwer von einer zentralen Instanz gesteuert werden können.¹⁸³³ Doch auch der Netzwerkansatz und die dahinter liegende Theorie der Selbststeuerung basiert auf planenden und steuernden Aktivitäten der beteiligten Akteure, die sich an der jeweiligen Struktur des Netzwerkes orientieren und systemkonform agieren. Entwicklungsmöglichkeiten bewegen sich auf einem Kontinuum zwischen den Ansichten der Autopoiese und des bewussten Planens von EIPs.¹⁸³⁴ Eine Zuordnung der auftretenden Interaktionen erlaubt folgende Aufgliederung:¹⁸³⁵

- Charakterisierung der Akteure nach Organisation, Ressourcen und Orientierung (Netzwerkelemente)
- Konstellation der Akteure (Netzwerkstruktur)
- Gewählte Handlungsoptionen und Interaktion (Netzwerkprozesse)

Unabhängig vom Steuerungsansatz einer EIP-Initiative wird in Praxisstudien dabei die Bedeutung zumindest eines zentralen Promotors hervorgehoben, der als Koordinationszentrale die Entwicklung mit kontinuierlichem Management vorantreibt, unabhängig

andere, insbesondere ökonomische Sachzwänge als wichtiger erachtet oder eine EMS-Zertifizierung wird als maximal mögliche ökologische Ausrichtung angesehen: „Wir sind doch nach ISO 14001 zertifiziert, wir machen schon alles, was möglich ist, da ist kein Potenzial mehr.“ Allerdings ist ein EMS noch kein Garant dafür, dass CP- oder P2-Maßnahmen durchgeführt werden; Vgl. Januskevicius, Kildisas und Amundsen (2003), S. 3; Dabei ist es andererseits bei der Umsetzung eines IÖ-Projektes von Vorteil, wenn die Firmenakteure bereits ein EMS-Zertifikat wie z. B. ISO 14000 besitzen, da dadurch schon Erfahrungen im ökologisch orientierten Management vorliegen; Vgl. Petersen (2003), S. 198

¹⁸³¹ Vgl. von Hauff und Wilderer (2000), S. 5

¹⁸³² Vgl. Chertow, Ashton und Kuppalli (2004), S. 22

¹⁸³³ Vgl. Voß und Bauknecht (2004), S. 8

¹⁸³⁴ Vgl. Francis und Erkman (2001), S. 89

¹⁸³⁵ Vgl. Nölting (2004), S. 18

davon, ob diese Zentrale in einer wissenschaftlichen Einrichtung, der Verwaltung, einer NGO oder in einem Unternehmen verortet liegt.¹⁸³⁶ Studien zur Entwicklung von EIPs weisen darauf hin, dass neben besonders aktiven Unternehmen die öffentliche Verwaltung in der Regel eine tragende Rolle spielt.¹⁸³⁷ Diese kann durch eine gezielte Förderung der lokalen öko-industriellen Entwicklung auch Ziele der ökonomischen Raumentwicklung verwirklichen und ist unerlässlich für die konsequente Umsetzung.¹⁸³⁸ Aber auch Forschungsinstitute treten bei der Initiierung von EIPs oder EINs als Katalysatoren für die Entwicklung auf.¹⁸³⁹ Ein zentraler Akteur, der als Machtpromotor oder „regional champion“ auftritt, trägt zur Stabilisierung der ökoindustriellen Entwicklung bei. Für die Umsetzung von Stoffaustauschprozessen ist die konsequente Teilnahme möglichst vieler ansässiger Unternehmen der wichtigste Erfolgsfaktor.¹⁸⁴⁰ Wichtig ist aber auch, eine Management-Instanz zu entwickeln, in der sowohl strategische Denker für die langfristige Vision, wie sie auch in dieser Arbeit entwickelt wird, als auch praktische Lenker für die schrittweise Umsetzung vertreten sind, um die Balance der Entwicklung zu halten und nicht nur eine Machbarkeitsstudie zu produzieren.¹⁸⁴¹ Zu berücksichtigen sind bei der Steuerung technische, politische, rechtliche, ökonomische, informationelle und organisatorische Faktoren, die die Umsetzung beeinflussen und damit eine adäquate Managementstruktur erfordern.¹⁸⁴² Darüber hinaus ist es erfor-

¹⁸³⁶ Vgl. Mirata (2004), S. 969 und Chertow, Ashton und Kuppalli (2004), S. 21; Dies zeigen auch die Beispiele von nachhaltigkeitsorientierten Firmennetzwerken, mit denen der Autor im laufenden Forschungsprojekt zu tun hat: Das Netzwerk Donautal wird wesentlich durch den unw gesteuert, namentlich war dies insbesondere Herr Prof. Dr. Majer, das Rhein-Neckar-Dreieck wird vom IUWA initiiert, namentlich durch die Herren Prof. Dr. Liesegang und Dr. Thomas Sterr vertreten; Man sieht daran auch, dass die so genannten institutionellen Akteure wiederum auf einzelne Personen rekurriert werden können, die die Entwicklung vorantreiben. Dies wird grundsätzlich auch als ein wichtiger Faktor für die allgemeine Umsetzung einer Industriellen Ökologie angesehen. Unter den bereits erwähnten „groundrules for sustainable networks“ aus dem INNET-Forschungsprojekt spielt das Vorhandensein eines „core-actors“ eine herausragende Rolle.

¹⁸³⁷ Vgl. Proctor, Deutz und Gibbs (2002), S. 2, Desrochers (2000), S. 14 und Roberts (2004), S. 1008

¹⁸³⁸ Vgl. Schlarb und Musnikow (2003), S. 103

¹⁸³⁹ Vgl. Côté und Crawford (2003), S. 325

¹⁸⁴⁰ Vgl. Heeres, Vermeulen und de Walle (2004), S. 993

¹⁸⁴¹ Vgl. Trillium Planning Development (2003), S. 27; Daraus ist schon zu ermesen, dass der anfängliche Aufwand für eine wirklich konsequente Transformation zu nachhaltigen Produktionsweisen sehr hoch ist, besonders was den Arbeitsaufwand vor den ersten Maßnahmen betrifft – es finden nicht nur materielle Investitionen statt, es müssen vor allem zuerst wesentliche Investitionen in das beteiligte „Humankapital“ getätigt werden – neue Denkweisen und Managementregeln müssen erst in langwierigen Prozessen erlernt werden.

¹⁸⁴² Vgl. Cohen-Rosenthal (2003c), S. 163; Dies sind auch genau die Sachverhalte, die an anderem Ort als potenzielle Hindernisse identifiziert wurden – in einem solch neuen Bereich wirtschaftlicher Aktivitäten kommt gerade der Ermöglichung innovativer Wege in einem auf herkömmliche Produktionsmethoden

derlich, bereits in einem frühen Stadium der Entwicklung eine ungefähre Vorstellung davon zu erarbeiten, welche funktional-strukturelle Form einer öko-industriellen Entwicklung im besonderen Fall aussichtsreich erscheint. Eine Klassifikation nach entsprechenden Kriterien zeigt die folgende Abbildung. Eine typische Determinantenstruktur für einen lokalen EIP wird durch die Linien in der Abbildung dargestellt. Je nach Ausprägung oder Entwicklungsphase ergeben sich verschiedene Anforderungen für die systembildende und systemkoppelnde Koordination.¹⁸⁴³

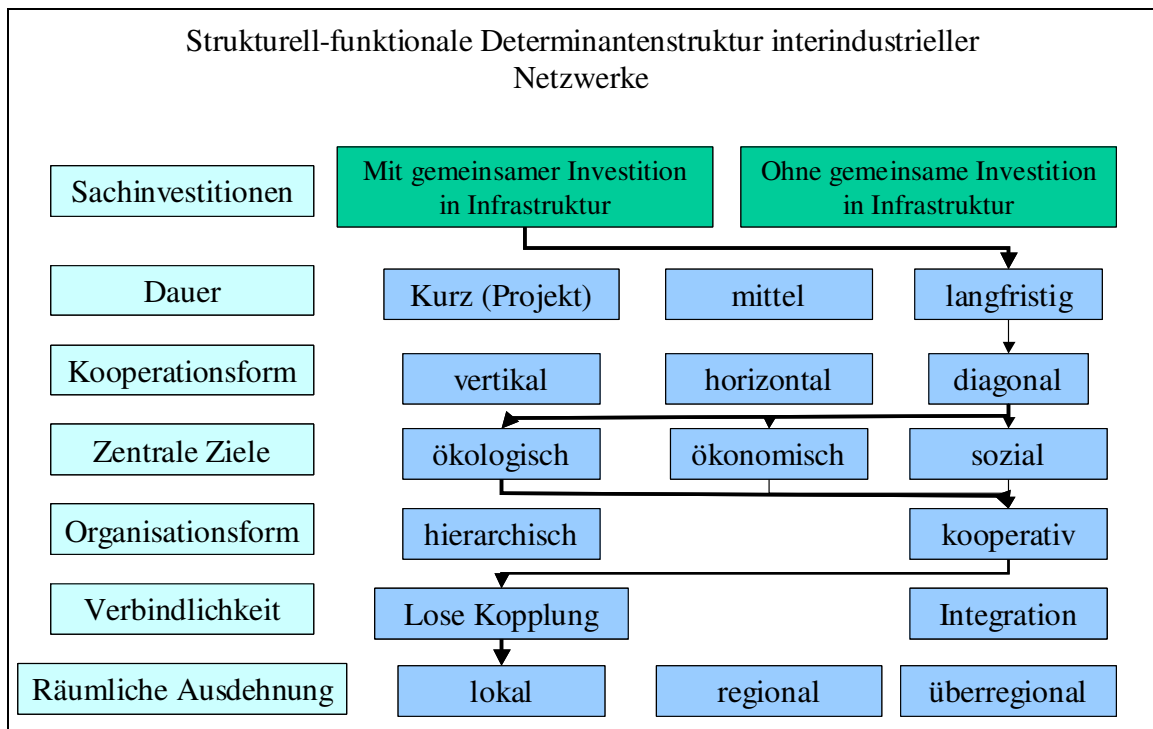


Abbildung 17: Determinantenstruktur interindustrieller Netzwerke; in Anlehnung an Wallner (1998), S. 100

Planungs-Tools

In einem ersten Schritt müssen die potenziellen Teilnehmer identifiziert und aktiviert werden. Bei der Planung und im Aufbau eines EIPs gehört es damit zu den ersten Schritten, eine Datenbasis der potenziellen Teilnehmer und ihrer Input- und Output-Ströme zu erstellen.¹⁸⁴⁴ Hier steht die Suche nach industriellen Sektoren, die verwertbare Kuppelprodukte emittieren, sowie potenziellen Abnehmern in und außerhalb der

beharrenden Umfeld eine besondere Bedeutung zu – das Beharrungsvermögen ökonomischer Strukturen wurde im Kapitel „Humanökologie“ beleuchtet.

¹⁸⁴³ Vgl. Fichtner, Tietze-Stöckinger und Rentz (2004), S. 140

¹⁸⁴⁴ Vgl. Kincaid und Overcash (2001), S. 118

Region und die Anregung entsprechender Kooperationen im Vordergrund.¹⁸⁴⁵ Die Betriebe werden auf ihre stofflichen und energetischen In- und Output-Ströme hin untersucht und in einer geeigneten Datenbank angelegt.¹⁸⁴⁶ Hierbei nehmen die beteiligten Unternehmen eine Perspektive ein, aus der heraus sie ihre Input- und Output-Ströme evaluieren und jeweils untersuchen, welche spiegelbildlichen Output- und Input-Ströme die ursprünglichen Ströme unter Berücksichtigung notwendiger Zwischenschritte ergänzen oder ersetzen könnten.¹⁸⁴⁷ Daraus lassen sich potenzielle Matches zwischen den anliegenden Firmen aufdecken oder Vorgaben für die Ansiedlung „passender“ Unternehmen ableiten, wenn entsprechende allgemeine Informationen für potenzielle Matches vorliegen. Für die Pflege dieser entscheidenden Daten wurden bereits datentechnische Instrumente wie das „Facility Synergy Tool“ (FaST), das „Designing Industrial Ecosystems Tool“ (DIET), das „Industrial Materials Exchange Tool“ (IME) oder das „Regulatory, economic and logistics Tool“ (ReaLiTy) entwickelt.¹⁸⁴⁸ Diese Programme unterstützen die Entscheider bei der Abschätzung sowohl ökonomischer als auch ökologischer Kosten- und Nutzenerwägungen und sollen helfen, die für den EIP effizienten Szenarien an Stoff- und Energieaustauschprozessen zu ermitteln, zu planen und bei der Durchführung zu steuern.¹⁸⁴⁹ Allerdings sind die Instrumente noch nicht vollständig ausgereift und noch kaum für die breite Anwendung geeignet, sondern wurden vor allem in Sondierungsstudien getestet.¹⁸⁵⁰ Simulationsprojekte mit „Chemical Process Simulation“ (CPS) haben gezeigt, dass in den komplexen Systemzusammenhängen miteinander verbundener Produktionsprozesse keine linearen Lösungen für Optima der Emissionsvermeidung innerhalb des ganzen Systems zu finden sind, sondern komplexe funktionale Beziehungen auftreten, die zu mehr als einer einzelnen optimalen Faktorkombination führen.¹⁸⁵¹ Entscheidungsprozesse über die Verminderung bestimmter Emissionen hängen nach der Logik eines EIPs an der Optimierung des Gesamtsystems, einzelbetriebliche Entscheidungen sind darauf abzustimmen, wenn ein optimales Gesamtergebnis erreicht werden soll. Dazu kommen die Anforderungen von

¹⁸⁴⁵ Vgl. Chelsea Center for Recycling und Economic Development (Hrsg. 2001), S. 5

¹⁸⁴⁶ Vgl. Dubester (2000), S. 8

¹⁸⁴⁷ Vgl. BCSD-GM (1997), S. 21

¹⁸⁴⁸ Vgl. Industrial Economics, Inc. (1998), S. 321 und Allen (2003), S. 13

¹⁸⁴⁹ Vgl. Chertow (2000), S. 327

¹⁸⁵⁰ Vgl. Dubester (2000), S. 5

¹⁸⁵¹ Vgl. Casavant und Côté (2004), S. 906

regionalen Stakeholdern und der Verwaltung und die Suche nach geeigneten Technologien, um Stoffaustauschprozesse tatsächlich verwirklichen zu können.¹⁸⁵²

Aufgaben

Das bedeutet, dass die Steuerung einer ökoindustriellen Entwicklung eines überbetrieblichen Managements bedarf, das von einem eigenen Stab abzudecken ist und folgende Hauptaufgaben umfasst:¹⁸⁵³

- Zielfestlegung und Projektplanung
- Strategische und operationale Planung auf systembildender und systemkoppelnder Ebene
- Logistische Betreuung der Stoff- und Energieaustauschprozesse im EIP und zu regional entfernten Partnern
- Planung und Finanzierung gemeinsamer Projekte, insbesondere was Ansiedlung von Partnerunternehmen und Investitionen betrifft
- Außendarstellung und -kommunikation (Marketing und Akquise)
- Abstimmung der unterschiedlichen Planungshorizonte der Firmen
- Technische Unterstützung und Informationsmanagement
- Abwägung ökonomischer und ökologischer Wirkungen der Netzwerkaktivitäten als „Erfolgskontrolle“ (ganzheitliches Controlling)
- Monitoring und Kommunikation der Ergebnisse
- Pflege der Netzwerkbeziehungen intern und extern¹⁸⁵⁴
- Betreuung und Pflege der Infrastruktur
- Sicherstellung, dass sich kein EIP-Mitglied durch die Kooperation schlechter stellt als ohne EIP

¹⁸⁵² Vgl. Martin, Weitz, Cushman u.a. (1996), S. 1/9 und Heeres, Vermeulen und de Walle (2004), S. 987; Stakeholder sind die örtliche und regionale Verwaltung sowie der Gesetzgeber, die Haushalte, alle EIP-Mitglieder, angrenzende Firmen, Mitarbeiter, Verbände, Bildungseinrichtungen, IHK, Zulieferer und Abnehmer, die alle eigene Anforderungen an den EIP haben und die das Prinzip und dessen Bedeutung in der Regel erst verstehen lernen müssen.

¹⁸⁵³ Vgl. Lowe, Moran und Holmes (1996), S. xxviii, USC (Hrsg. 2002), S. 24, Alvord (2003), S. 203, Chertow (2003), S. 259, Chelsea Center for Recycling und Economic Development (Hrsg. 2002), S. 12 und Roberts (2004), S. 1005

¹⁸⁵⁴ Dabei geht es auch darum, das Netzwerk als Organisations-Kollektiv zu etablieren und Koordinationsprobleme, die durch Einzelakteure aufgeworfen werden, zu lösen; Vgl. Kreikebaum (1998), S. 60

- Risikomanagement bezüglich der mit dem EIP verbundenen finanziellen, technischen, regulatorischen, rechtlichen, Haftungs- und Abhängigkeitsrisiken¹⁸⁵⁵

Das zeigt, dass EIP-Management wesentlich mehr beinhaltet als das Bereitstellen der benötigten Infrastruktur.¹⁸⁵⁶ In der Regel sind die Entwicklungen und Veränderungen bei der Umsetzung eines EIPs mit Investitionen in neue oder reorganisierte Infrastruktur notwendig, die erst festgelegt werden können, wenn Art und Umfang der Austauschprozesse abgeschätzt werden können.¹⁸⁵⁷ Kommt es im Rahmen eines EIPs zu Stoffaustauschprozessen, so ist beim Empfänger die betriebswirtschaftliche Funktion der Materialwirtschaft betroffen, die die besonderen Anforderungen bei der Schließung von Stoffkreisläufen im Rahmen ihrer herkömmlichen Aufgabengebiete integrieren muss. Das sind:¹⁸⁵⁸

- Materialdisposition
- Materialbeschaffung
- Materialsteuerung und -kontrolle
- Materialtransport und -lagerung
- Materialentsorgung

Die optimale Ausgestaltung dieses Aufgabenspektrums darf durch die Anforderungen im EIP nicht beeinträchtigt werden, was einen erhöhten Koordinationsaufwand nach sich zieht.¹⁸⁵⁹ Dieser lässt sich durch Flexibilität der Vereinbarungen reduzieren, was eines gewachsenen Vertrauens zwischen den beteiligten Akteuren bedarf. Insbesondere die Vermeidung von Engpässen bei Abnehmern von Sekundärrohstoffen erfordert transparente bilaterale Kommunikation zwischen den beteiligten Betrieben.¹⁸⁶⁰ Nur so kann sicher gestellt werden, dass genehmigungsrechtliche und emissionsrelevante Auflagen erfüllt werden, die Qualität des Sekundärrohstoffes und der daraus hergestellten Produkte gewährleistet ist, keine zusätzliche Umweltbelastung auftritt und der Prozess

¹⁸⁵⁵ Vgl. Schlarb (2001), S. 9; Gerade Risiken der Haftung bei überwachungsbedürftigen gefährlichen Abfällen können bei gemeinsamer Veranlagung der EIP-Mitglieder zu Differenzen führen, d. h. die Wege der gefährlichen Stoffe müssen lückenlos bis zum Verursacher zurück verfolgt werden können, was derzeit bei Stoffaustauschprozessen mit zwischengelagerten Prozessen nicht immer eindeutig möglich ist.

¹⁸⁵⁶ Vgl. Koenig (2005), S. 13

¹⁸⁵⁷ Vgl. USC (Hrsg. 2002), S. 20

¹⁸⁵⁸ Vgl. Zwierlein und Isenmann (1995), S. 69

¹⁸⁵⁹ Vgl. Kreikebaum (1998), S. 63

¹⁸⁶⁰ Vgl. Fichtner, Tietze-Stöckinger und Rentz (2004), S. 135

wirtschaftlich betrieben werden kann.¹⁸⁶¹ Hierbei ist die Vielzahl an Akteuren, die direkt oder indirekt mit den Anforderungen des EIPs konfrontiert sind und Entscheidungen beeinflussen können, ein Sachverhalt, der die Kultur, Struktur und Dynamik des Managements verändert. Es werden neue Ebenen der Flexibilität und Kreativität des Managements beim Umgang mit den Stakeholdern eingefordert.¹⁸⁶² Es werden erweiterte Indikatoren zur Erfolgsmessung der öko-industriellen Entwicklung des Netzwerkes als Ganzes und der beteiligten Betriebe erforderlich.¹⁸⁶³ Andererseits entwickelt sich aus diesem Ansatz ein regionales Netzwerk aus Akteuren, das die Entwicklung zu einer IÖ durch einen diskursiven Prozess fördern kann.¹⁸⁶⁴ Die Aufgaben für das Management werden dadurch komplexer. Rohstoffe, die bislang flexibel auf den globalen Beschaffungsmärkten eingekauft wurden, müssen im EIP nun von einem oder mehreren Kooperationspartnern in der Menge abgenommen werden, wie sie bei den EIP-Partnern anfallen. Die Anfallmengen eines Kuppelproduktes sind aber meistens über die Zeit nicht so konstant, dass sie in genau der vom Abnehmer gewünschten Menge in der richtigen Qualität zur richtigen Zeit angeboten werden können. Sie fallen stochastisch in Abhängigkeit vom Produzenten an.¹⁸⁶⁵ Es kann also zu Über- oder Unterversorgungssituationen beim Abnehmer kommen. Beide Situationen erfordern ein eigenes Management-Instrumentarium. Im ersten Fall muss entweder die Zwischenlagerung oder eine anderweitige Verwertung, z. B. außerhalb des EIP, organisiert werden, was sich jeweils auf das logistische Konzept auswirkt.¹⁸⁶⁶ Im zweiten Fall muss die herkömmliche Aufgabenstellung des Materialmanagements erfüllt werden und die fehlende Menge am Markt beschafft werden. Beides führt zu zusätzlichem administrativen, logistischen und technischen Aufwand zur Abpufferung der Schwankungen, der sowohl ökonomische als auch ökologische Folgen nach sich zieht:

- Fehlende kontinuierliche Beschaffungsaktivität und damit nur schwache Bindung zwischen externem Lieferanten und Abnehmer
- Schlechte Kostenposition (kaum Mengendegression)

¹⁸⁶¹ Vgl. Breitenbaumer (1998), S. 295

¹⁸⁶² Vgl. Lowe (2001), S. 53; Diese werden weiter unten näher beleuchtet.

¹⁸⁶³ Vgl. Chertow (2003), S. 260

¹⁸⁶⁴ Vgl. Schlarb (2001), S. 18

¹⁸⁶⁵ Vgl. Blecker (1998), S. 103

¹⁸⁶⁶ USC (Hrsg. 2002), S. 25

- Zusätzliche Transporte ggf. geringer Mengen des erforderlichen Materials

Diese Punkte müssen bei der Planung und beim Betrieb eines EIPs mit berücksichtigt werden, da sie die ökonomische Performance einzelner Betriebe innerhalb des EIPs beeinflussen. Letztendlich entscheidet für die teilnehmenden Unternehmen der ökonomische Erfolg, ob eine solche Kooperation aufrecht erhalten wird oder werden kann.¹⁸⁶⁷

Die Kooperation und das Vertrauen zwischen den Partnern sollte so beschaffen sein, dass Informationsflüsse über schwankende Mengen schnell und unbürokratisch ablaufen und Verantwortlichkeiten über den Verbleib überschüssiger Mengen flexibel ausgehandelt werden können, falls es der Dispositionsrahmen der Beteiligten zulässt.¹⁸⁶⁸

Bei aller Flexibilität der losen Kopplung innerhalb des Netzwerkes bedarf es hierzu einer formalen organisatorischen Struktur, die sich ausschließlich um die Belange des EIP kümmert.¹⁸⁶⁹ Hier ist es nicht ganz einfach, das natürliche Prinzip auf das Technosystem zu übertragen, da die Absatzplanungen des abnehmenden Unternehmens in der Regel unabhängig von den Produktionsmengen des entsorgenden Unternehmens getätigt werden. Es existiert keine automatisch rückgekoppelte Verbindung zwischen Angebot und Nachfrage, wie dies in Ökosystemen der Fall ist. Es wäre eine betriebswirtschaftlich nicht vertretbare Einschränkung, vom Abnehmer im EIP zu verlangen, seine Produktionsplanung am Wertstofflieferanten im EIP auszurichten, wie dies in einem ökologischen System in der Natur der Fall ist. Zusammenfassend ergeben sich damit vier Anforderungen bei der Gestaltung eines EIPs:¹⁸⁷⁰

- Es müssen Informationen über die Prozesse der beteiligten und potenziell passenden Unternehmen generiert werden
- Die Teilnehmer müssen bereit für neue Formen der Kooperation mit teilweiser Abhängigkeit sein
- Zur Umsetzung bedarf es in der Regel substanzieller Investitionen in die Infrastruktur und ins Management (Lernprozesse)
- Je eher sich in der Planungsphase Kooperationsfelder eröffnen, desto größer wird der (positive) ökonomische Effekt für alle Beteiligten

¹⁸⁶⁷ Vgl. Peck & Associates (o. J.), S. 60

¹⁸⁶⁸ Vgl. Gibbs (2003), S. 229

¹⁸⁶⁹ Vgl. Johnson, Steward, Tierney u.a. (2002), S. 230

¹⁸⁷⁰ Vgl. Martin, Weitz, Cushman u.a. (1996), S. 4/27 und Roberts (2004), S. 1008

Information und Wissen als Erfolgsfaktor

Stoff- und energiestromspezifische Informationen sind zur Schließung von regionalen Stoffströmen in einem bestehenden oder entstehenden EIP ein wichtiger Erfolgsfaktor bei der Umsetzung einer IÖ.¹⁸⁷¹ Für die angestrebte Schließung von Stoffströmen kommt dabei dem Transfer von implizitem und explizitem Wissen über Stoffe und (Recycling-)Verfahren eine das Netzwerk koppelnde Funktion zu.¹⁸⁷² Ohne valide Informationen über die multidimensionalen Verflechtungen der relevanten Sachverhalte wie beteiligte Akteure, betroffene Stoffmengen und -qualitäten, rechtliche Grundlagen, Kosten- und Nutzengrößen sowie ökologische und soziale Wirkungen der geplanten Maßnahmen zur Umsetzung einer IÖ können keine rationalen Entscheidungen getroffen werden.¹⁸⁷³ Idealerweise überlagert ein informatorisches Netzwerk die öko-industriellen Verflechtungen, mit dessen Hilfe die Prozesse gesteuert werden können.¹⁸⁷⁴ Allerdings liegen in der Regel die Input- und Outputströme der Industrie nicht in einer aufbereiteten Daten-Form vor, die eine systematische Evaluation potenzieller Kreislaufführung ermöglichen würde.¹⁸⁷⁵ In technisch determinierten EIPs tritt dieser Problembereich durch die starre Kopplung zwar auf andere Weise zum Tragen als in marktlich orientierten, für beide Kopplungsformen ist jedoch die Informationstransparenz entscheidend für die systemkoppelnde Koordination.¹⁸⁷⁶ Deshalb wird von der Anwenderseite her die Verfügbarkeit eines Instrumentariums zum Auffinden und Steuern potenzieller Stoff-Matches als einer der wichtigsten Erfolgsfaktoren bei der Umsetzung von EIPs oder EINs angesehen.¹⁸⁷⁷ Zur Generierung eines Datenpools vorhandener bzw. potenzieller Matches bedarf es der kompatiblen Aufbereitung der zur Verfügung stehenden Daten über den regionalen industriellen Metabolismus.¹⁸⁷⁸ Entsprechende datentechnische Instrumente sind bereits teilweise entwickelt oder befinden sich in der praktischen Erprobung. In den USA wurde „MatchMaker!“ entwickelt, mit dem bereits in der

¹⁸⁷¹ Vgl. Mirata (2004), S. 969

¹⁸⁷² Vgl. Milchrahm und Hasler (2002), S. 547

¹⁸⁷³ Vgl. Posch (2004), S. 119; Dies bleibt der begrenzten Rationalität (bounded rationality) jeglicher menschlichen Entscheidung unbenommen.

¹⁸⁷⁴ Vgl. Chertow, Ashton und Kuppalli (2004), S. 24

¹⁸⁷⁵ Vgl. BCSD-GM (1997), S. 9

¹⁸⁷⁶ Vgl. Fichtner, Frank und Rentz (2000), S. 108

¹⁸⁷⁷ Vgl. Peck&Associates (o. J.), S. 41

¹⁸⁷⁸ Vgl. Heeres, Vermeulen und de Walle (2004), S. 987

Planungsphase „Virtuelle EIPs“ aufgebaut werden können.¹⁸⁷⁹ In Deutschland läuft ein Kooperationsprojekt zwischen dem IUWA Heidelberg und dem unw in Ulm, in dem die Datenanalyse von Abfallströmen über betriebliche („Abfallmanager“) und überbetriebliche („Abfallanalyser“) Instrumente vorgenommen wird.¹⁸⁸⁰ Letzteres Instrumentarium erfordert jedoch die wissentliche Kooperation der beteiligten Unternehmen, während der „MatchMaker!“ auch auf virtuellen oder geschätzten Daten nicht beteiligter Unternehmen aufbauen kann. Für einen automatisierten Ablauf solcher Suchprozesse bedarf es eines standardisierten Klassifizierungscodes für alle üblichen sich im Umlauf befindlichen Materialien, wie des Europäischen Abfallkatalogs (EAK) oder des amerikanischen „Standard Industry Classification-Codes“ (SIC). Allerdings ermöglichen beide Kataloge nicht die genaue Spezifikation, wie sie für einen operationalen Abgleich von Input- und Output-Strömen nötig ist, vor allem was die Qualität der vorliegenden Stoffe betrifft. Nach der automatischen Treffererkennung bedarf es also weiterhin des exakten Abgleichs der Bedürfnisse der beteiligten Firmen. In jedem Fall erfordert das Vorgehen ein gewachsenes Vertrauen der teilnehmenden Firmen, da es sich bei den Daten in der Regel um empfindliche Firmeninformationen handelt.¹⁸⁸¹ Um in der Planungsphase und zum Betrieb der stofflichen und energetischen Verflechtungen ein geeignetes Instrumentarium zu haben, wurde in den USA das „Designing Industrial Ecosystem Tool“ (DIET) entwickelt.¹⁸⁸² Der große Vorteil liegt in der möglichen Automatisierung. Herkömmliche Gebrauchtwaren- oder Abfallbörsen sind von je her auf einen händischen Abgleich zwischen abgebender und aufnehmender Stelle angewiesen und erfordern damit einen höheren Managementaufwand. Ein weiteres gutes Instrument der Informationsermittlung für die Begründung eines EIP sind Methoden der Kosten- und Investitionsrechnung, die Potenziale zur Kostensenkung aufdecken können, wie etwa günstigere Rohstoffpreise, effizientere Anlagen, geringere Entsorgungskosten oder geringere regulative Kosten.¹⁸⁸³ Als operatives Steuerungsinstrument hat sich für die Planung und Gestaltung der Stoffströme das Stoffstrommanagement als neue Disziplin herausgebildet. Diese wird in Abschnitt 7.6.1 kurz angerissen.

¹⁸⁷⁹ Vgl. Brown, Gross und Wiggs (2002), S. 109

¹⁸⁸⁰ Vgl. Ott (2000), S. 80ff und Sterr (2000), S. 69

¹⁸⁸¹ Vgl. Vgl. Drummond, Garland, O'Malley u.a. (2002), S. 353

¹⁸⁸² Vgl. Peck&Associates (o. J.), S. 41

¹⁸⁸³ Vgl. Martin, Weitz, Cushman u.a. (1996), S. 2/14

7.5.3.1 EIPs in der Praxis

Kalundborg, Kalundborg und Kalundborg

Bislang bewegen sich die meisten Ansätze der IÖ und von EIPs im Bereich der Ideenfindung und -ausgestaltung. Praxisbeispiele mit vielfältigen stofflichen oder energetischen Verflechtungen finden sich nur wenige.¹⁸⁸⁴ Und das, obwohl z. B. für den nordamerikanischen Kontinent über 60 „Eco-Industrial-Projects“ identifiziert werden können, von denen immerhin 17 bereits einzelne EIP-Projekte durchgeführt haben.¹⁸⁸⁵ Vielfältige stofflich-energetische Austauschbeziehungen sind aber die empirische Ausnahme, sieht man von den herkömmlichen und lange praktizierten Recyclingwegen von Metallen, Glas, Kunststoffen und Papier ab. Das zeigen auch weitere empirische Studien.¹⁸⁸⁶ Es zeigt sich auch, dass in aufwändigen Forschungsprojekten ermittelte theoretische Vernetzungspotenziale nicht immer direkt umgesetzt werden können.¹⁸⁸⁷ Untersuchungen zur Thematik der EIPs sind einerseits aufwändig in der Recherche und andererseits noch nicht repräsentativ, zumindest was die Ausgestaltung von materiellen Symbiosen betrifft.¹⁸⁸⁸ Zwar gibt es sowohl in den USA als auch in Europa schon Ansätze, aus der konzeptionellen Phase in die Phase der praktischen Implementierung einzutreten, doch ist gegenwärtig allenfalls der Beginn dieser Phase zu konstatieren. Vorwiegend bewegt sich die Forschung noch im Bereich der theoretischen Implikationen.¹⁸⁸⁹ Auf der Suche nach real existierenden Beispielen für funktionierende Subsysteme oder Systemelemente einer IÖ in Form eines EIP stößt man grundsätzlich auf die „Industriesymbiose Kalundborg.“¹⁸⁹⁰ Dieser Mikrokosmos vernetzter Betriebe ist unter ganz speziellen politischen, ökonomischen, sozialen und ökologischen Rahmenbedingungen entstanden und lässt sich nicht ohne Weiteres auf jede andere

¹⁸⁸⁴ Vgl. Deutz, Gibbs und Proctor (2003), S. 4 und Mirata (2004), S. 975f; Noch überwiegen in den bekanntesten Fallstudien die geplanten und potenziellen Synergien.

¹⁸⁸⁵ Vgl. Peck (2002a), S. 1

¹⁸⁸⁶ Vgl. Vallès (2003), S. 94

¹⁸⁸⁷ Vgl. Großmann, Drachenberg und Sander (2003), S. 2

¹⁸⁸⁸ Vgl. Schlarb (2001), S. 20 und Eilering und Vermeulen (2004), S. 246

¹⁸⁸⁹ Vgl. Wisberg und Clift (1999), S. 8; Auch die groß angelegte Europäische CHAINET-Studie fällt darunter.

¹⁸⁹⁰ Vgl. Deppe und Schlarb (o.J.), S. 14, Martin, Weitz, Cushman u.a. (1996), S. 1-5, Chertow, Ashton und Kuppalli (2004), S. 25 und Christensen (1998), S. 99; Exakte Beschreibungen der Industriellen Symbiose Kalundborg gibt es in der einschlägigen Literatur in ausreichender Zahl, weshalb dies hier nicht zwingend erforderlich ist; Es wird auf Christensen (1998a), S. 323ff, Sterr (2003), S. 293ff und Jacobsen (2006), S. 242ff verwiesen.

Region übertragen.¹⁸⁹¹ Dies gilt im übrigen auch für andere Praxisstudien, die unter gegebenen Rahmenbedingungen Potenziale für einen EIP ermittelt haben.¹⁸⁹² Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass das Netzwerk in Kalundborg nicht im eigentlichen Sinn als EIP geplant wurde, sondern aus einer Vielzahl von Einzelkooperationen gewachsen ist, die alle auf ökonomische Vorteile für die beteiligten Firmen abzielten.¹⁸⁹³ Dieser Prozess begann in den 70er Jahren, brauchte also über 30 Jahre bis zum aktuellen Stadium. Derzeit wird vor allem Energie in Form von Wärme zwischen einem Kraftwerk und umliegenden Abnehmern ausgetauscht und es wurden Kaskadennutzungen von Brauchwasser eingeführt.¹⁸⁹⁴ Es werden einige einfache und in reiner Form anfallende Stoffe wie Flugasche, REA-Gips, Schwefel und Schlamm zwischen den Unternehmen ausgetauscht und weiterverwendet.¹⁸⁹⁵ Diese Form der mehrfachen bilateralen Kooperationen hat insgesamt zu finanziellen Einsparungen von bislang über 160 Mio. \$ geführt.¹⁸⁹⁶ Als ökologisches Ergebnis konnte der Gesamtwasserverbrauch um ca. 25 % reduziert werden und ca. 2,9 Mio. t/a Stoffe verwertet werden.¹⁸⁹⁷ Spezifischere Abfälle als die in relativer Reinheit anfallenden verwerteten Stoffe werden auch weiterhin auf konventionellem Weg entsorgt. Es zeigt sich, dass die Idealvorstellung von vollkommen geschlossenen regionalen Kreisläufen nicht oder nur selten in idealer Weise umsetzbar ist und wenn, dann erfordert es über rein ökonomische Handlungsrationalität hinaus ein Denken, das die Kernkompetenzen der beteiligten Unternehmen transzendiert und symbiosegerechte Verhaltensmuster und -prinzipien erfordert.¹⁸⁹⁸ Dies ist jedoch nicht einmal im Beispiel Kalundborg (und ebenso wenig anderswo) der Fall. Überschüssige nutzbare Kuppelprodukte wie Schwefel und Flugasche, die nicht zwischen den unabhängigen kooperierenden Unternehmen ausgetauscht werden können, werden zur Verwertung auch in entferntere Regionen transportiert.¹⁸⁹⁹ In den USA gibt es eine ganze Reihe von „feasibility studies“, die die Chancen und Möglichkeiten von EIPs in ökonomischer und

¹⁸⁹¹ Vgl. Brown, Gross und Wiggs (2002), S. 104 und Chertow, Ashton und Kuppalli (2004), S. 26; Insbesondere der ökonomische Beitrag der Symbiose wird von den Betreibern selbst hervorgehoben.

¹⁸⁹² Vgl. Martin, Weitz, Cushman u.a. (1996), S. 7/3

¹⁸⁹³ Vgl. Desrochers (2000), S. 3

¹⁸⁹⁴ Vgl. Jacobsen (2006), S. 251

¹⁸⁹⁵ Vgl. BCSD-GM (1997), S. 10

¹⁸⁹⁶ Vgl. Schlarb (2001), S. 19

¹⁸⁹⁷ Vgl. Desrochers (2001a), S. 31

¹⁸⁹⁸ Vgl. Zabel (1998), S. 130

¹⁸⁹⁹ Vgl. Desrochers (o. J.), S. 4

ökologischer Hinsicht hervorheben, jedoch bislang beinahe ohne konkrete Ergebnisse wie geschlossene Stoffkreisläufe oder energetische Kaskaden in einem systematischen Zusammenhang.¹⁹⁰⁰ Zumeist bleibt es bei einzelnen Aktivitäten, die bilaterale Ansätze für Stoffaustauschprozesse erfolgreich durchführen oder bei der Potenzialanalyse möglicher Symbiosen.¹⁹⁰¹ Daraus lässt sich ermessen, dass die wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen hinsichtlich der Umsetzung einer IÖ noch einen enormen Anpassungsbedarf aufweisen.¹⁹⁰² Das zeigt sich auch darin, dass einige der Symbiosen in Kalundborg anderswo auf Grund rechtlicher Beschränkungen gar nicht möglich wären.¹⁹⁰³ Deshalb wird gerade von den Akteuren, die mit dem Management der Umsetzung betraut sind, hervorgehoben, dass Machbarkeitsstudien einen guten Einstieg in die praktische Umsetzung öko-industrieller Entwicklung ermöglichen.¹⁹⁰⁴ Trotzdem scheint manchen Forschern gerade ein bewusster und planender Ansatz, der über eine rein ökonomische Zielsetzung hinausgeht, eine noch größere Bandbreite für eine IÖ zu eröffnen, die über die bereits existierenden Beispiele hinausgeht.¹⁹⁰⁵ Dies schließt sowohl öffentliche Einflussnahme als auch ein dezentraler angelegtes unternehmerisches Kalkül mit ein. Daraus ergibt sich ein multipler Steuerungsansatz, der unterschiedliche Skalen räumlicher, zeitlicher, stofflicher, informatorischer und administrativer Ebenen umfasst.

Diffusion des EIP-Konzepts

Eine existierende Variante sogenannter Virtueller EIPs stellen Sekundärrohstoffbörsen dar, die zumeist über Internetplattformen organisiert sind.¹⁹⁰⁶ Ein Intermediär bietet dabei an, anonyme Gebote und Gesuche von Sekundärrohstoffen zu vermitteln und die Transaktionen zu organisieren. Erstens kann man diese Beziehungen jedoch wegen ihrer situativen Gegebenheiten nicht als EIP betrachten und zweitens erschwert ein Mangel an Standardisierung der Stoffe bei der Informationsweitergabe das Finden denkbarer

¹⁹⁰⁰ Vgl. Kellog, Pfeister, Phillip-Neil u.a. (2002), S. 251, Proctor, Deutz und Gibbs (2002), S. 1 und Baris, Dion, Nelson u.a. (2002), S. 425

¹⁹⁰¹ Vgl. z. B. Peck (2002), S. 3

¹⁹⁰² Vgl. Chertow, Ashton und Kuppalli (2004), S. 25

¹⁹⁰³ Vgl. Desrochers (2001a), S. 41

¹⁹⁰⁴ Vgl. Krause und Brinkema (2003), S. 284

¹⁹⁰⁵ Vgl. Desrochers (2001), S. 345

¹⁹⁰⁶ Vgl. Drummond, Garland, O'Malley u.a. (2002), S. 352

Matches.¹⁹⁰⁷ Der Optimismus für eine Allgemeingültigkeit des erwünschten Ansatzes der regionalen Schließung von Stoffkreisläufen, wie er in Kalundborg praktiziert wird, ist durch die Ausnahmestellung dieses EIPs bislang also nicht gerechtfertigt. Es ist trotz vielfältiger Versuche in Wissenschaft und Praxis kein zweites vergleichbares Projekt entstanden. Woran liegt das? Ist es technokratisch, und damit nur zufällig als ökologisches Modellprojekt entstanden, weil die beteiligten Parteien sich ökonomische Vorteile davon versprochen haben und auch ziehen konnten? Mit großer Sicherheit ist dies angesichts der vorherrschenden Rahmenbedingungen zumindest teilweise so. Fraglos ist der Austausch von bislang als Abfälle behandelten Stoffen in regionalen unternehmerischen Netzwerken ein unerlässlicher Bestandteil einer IÖ, konzeptionell bleibt es aber beim derzeitigen Stand der Rahmenbedingungen aufgrund vielfältiger Restriktionen die Ausnahme, wie die Alleinstellung des Beispiels „Kalundborg“ zeigt. Dies ist aus Sicht der Innovationen für eine nachhaltige Entwicklung deshalb der Fall, weil sich ein solch komplexes, holarchisch angelegtes Konzept nur schwer auf bestehende Strukturen aufpfropfen lässt. Es erfordert vielmehr ein Denken von der Wurzel der Produktionsströme her und somit einen integrativen Ansatz, der von der Entwicklung von Produkten über die Produktionsplanung bis hin zur Lebenszyklusanalyse alle Prozessschritte umfasst und dazu noch berücksichtigt, dass dies einen für alle beteiligten Akteure langwierigen Lernprozess bedeutet.¹⁹⁰⁸ Dafür existieren jedoch noch nirgendwo die passenden Informationsgrundlagen und ebenso wenig die notwendige raumzeitliche Strukturierung aller Produktionsprozesse. Diese müsste schon bei der regionalen Planung und Industrieansiedlung berücksichtigt werden. In bestehenden Strukturen ermöglicht dieser Ansatz allenfalls Zufallstreffer, die noch weit von der ganzheitlichen Idee einer IÖ entfernt sind. Dennoch wird der Ansatz der EIPs und EINs von der Wissenschaft und von Verwaltungen in den USA, in Europa und in Asien weiterverfolgt, da sich Erfolgsfaktoren herauskristallisiert haben, die das Gelingen der Ansätze befördern können:¹⁹⁰⁹

- Angebot und Nachfrage nach Kuppelprodukten treffen sich
- Transaktionskosten zwischen den Teilnehmern werden durch formale oder informelle Kooperation zwischen den Teilnehmern reduziert

¹⁹⁰⁷ Vgl. Brown, Gross und Wiggs (2002), S. 106

¹⁹⁰⁸ Vgl. Roberts (2004), S. 1008

¹⁹⁰⁹ Vgl. Schlarb (2001), S. 22, Sterr (1998), S. 12ff, Chao (1999), S. 418, Tang, Tseng, Chiu u.a. (1999), S. 431 und Lowe (2003), S. 341ff

- Eine ausreichende Zahl von Firmen ist in relativer räumlicher Nähe vorhanden und die Kuppelprodukte fallen regelmäßig in gleichbleibender Qualität an
- Das Anreizsystem unterstützt Aktivitäten der IÖ durch geeignete Rahmenbedingungen

Daran schließt sich die Fragestellung an, welcher Steuerungsansatz die Entwicklung einer IÖ im Allgemeinen und die der EIPs im Besonderen adäquat unterstützt. Kalundborg zeigt, dass allein ökonomische Marktkräfte genügen können, eine solche Entwicklung anzustoßen. Die geringe Anzahl an empirischen Beispielen lässt wiederum befürchten, dass es ohne hoheitliche, bewusste Planung bei diesem einen Beispiel bleibt. Hier tut sich ein großes Forschungsfeld auf, in einer Art dualem Steuerungsansatz eine Kombination aus Anreizen und Regulierung zu schaffen, die die IÖ vorantreibt.¹⁹¹⁰ Hierzu gehören zumindest neue Ansätze ordnungsrechtlicher Flexibilisierung, vereinfachter Genehmigungsverfahren für geprüfte EIPs mit gemeinsamem Umwelt-Management-System und gemeinsamer Zertifizierung durch die regionale Verwaltung und den Gesetzgeber sowie ökonomische und ordnungsrechtliche Anreize für nachhaltiges Wirtschaften.

7.5.3.2 Potenzielle Wirkungen von EIPs

Ökologische Wirkungen

Die zu erwartenden und in wenigen Fällen bereits eingetretenen ökologischen Wirkungen von EIPs sind vielfältig:¹⁹¹¹

- Reduktion von Treibhausgasen (insb. CO₂) durch Energieeinsparung bzw. Effizienzsteigerungen und Förderung regenerativer Energie
- Reduzierte Emissionen toxischer Substanzen in Luft, Boden und Wasser
- Förderung von CP und P2
- Verringerter Rohstoffeinsatz durch Dematerialisierung von Produkten und geschlossene Stoffkreisläufe
- Verringertes Abfallvolumen

¹⁹¹⁰ Dieses Feld kann hier aber leider nicht beackert werden – es wird anderen überlassen.

¹⁹¹¹ Vgl. Peck & Associates (o. J.), S. 11, Lowitt (1998), S. 4, Francis und Erkman (2001), S. Background - 33 und Deppe, Leatherwood, Lowitt u.a. (2000), S. 2

- Geringerer Flächenverbrauch (Deponieraum)

Dies führt insgesamt zu einer Entlastung der anfangs aufgezeigten ökologischen Schadenssyndrome.¹⁹¹²

Ökonomische Wirkungen für die beteiligten Firmen

Die für die Teilnehmer an einem EIP erwünschten ökonomischen Wirkungen äußern sich in¹⁹¹³

- gesteigerter Profitabilität mit Kostenreduktionen z. B. durch ökonomische Verwertung von Kuppelprodukten oder verringerte Transaktionskosten der Entsorgung,
- Imageverbesserung bei den Stakeholdern,
- erhöhter Produktivität durch positive Identifikation der Mitarbeiter,
- Konkurrenzvorteilen durch induzierte tvi-Innovationen,
- höherer Effizienz,
- Verringerung der Risiken der Umwelthaftung und
- verringertem administrativem Aufwand durch Kooperation mit Behörden.

*Allgemeine regionale Wirkungen*¹⁹¹⁴

- Entwicklung einer stärkeren regionalen Identität durch Netzwerkbildung mit Nachhaltigkeitsschwerpunkt
- Verbesserte Beziehungen zwischen den regionalen Firmen und Stakeholdern
- Stabilisierung bzw. Verbesserung der regionalen Beschäftigungssituation
- Erhöhung der Lebensqualität durch Naturschutzprojekte, verbesserte ökologische Situation und bewusste Konzentration auf nachhaltige Entwicklung

¹⁹¹² Vgl. Martin, Weitz, Cushman u.a. (1996), S. 2/20

¹⁹¹³ Vgl. Deppe und Schlarb (o. J.), S. 9, UNEP (Hrsg. 1997), S. 6, Côté (2003), S. 3, Proctor (2003), S. 3, Schwarz (1998), S.16 und Mirata (2004), S. 967; Dem stehen naturgemäß ökonomische Risiken gegenüber wie zusätzliche Kosten und hohe Investitionen in Infrastruktur oder Werksspionage durch transparente Abläufe; Vgl. Lowe, Moran und Holmes (1996), S. xix

¹⁹¹⁴ Vgl. Trillium Planning & Development (2003), S. 6 und Posch (2004), S. 115

7.5.4 Produkte als Organismen einer Industriellen Ökologie

Da in Produkten sowohl Materie als auch Energie in Form von Exergie (bzw. Emergie) gespeichert ist, ist nach deren Nutzung eine Rückführung in den Wirtschaftskreislauf anzustreben, wie dies auch für natürliche Organismen gilt. Es fallen z. B. auf der Welt jährlich mehr als 40 Millionen PCs an, die nicht mehr gebraucht werden oder defekt sind. Darin ist eine solche Menge an niederentropischen Materialien enthalten, dass die ungenutzte Entsorgung sowohl ökonomisch als auch ökologisch nicht rational ist.¹⁹¹⁵ Es sind derzeit eine Vielzahl von Produkten unterschiedlichster Komplexität auf dem Markt, die eines gemeinsam haben: Sie sind nicht dafür hergestellt, wieder in ihre Einzelteile zerlegt und wiederverwendet zu werden. Genau dies geschieht jedoch mit allen Organismen in der Natur. Eine wichtige öko-industrielle Funktion ist daher, verbrauchte Güter so aufzubereiten, dass alle ihre Komponenten wieder Eingang in den Wirtschaftskreislauf finden. Die Hersteller der Produkte stehen damit in der Verantwortung, dies zu gewährleisten, damit die Produktlebenszyklen analog zu den Lebenszyklen von Organismen verlaufen. Dieser analytische und komplexe Prozess muss schon in der Frühphase der Produktentwicklung ansetzen.¹⁹¹⁶ Der größte, weil multiplikativ mit den vorhergehenden Ebenen der Ressourcenbeschaffung und Produktion verknüpfte Effekt ist auf der Ebene der Produkte (als hervorgebrachte Organismen) zu realisieren.¹⁹¹⁷ Ohne Produktorientierung ist eine IÖ nicht umsetzbar.¹⁹¹⁸ IÖ kann nur als holistisches Konzept angelegt werden, das im Gegenstromverfahren, sowohl top-down als auch bottom-up, ressourcenorientierte Restriktionen mit effizienzorientierten Umsetzungsstrategien auf der Nutzenebene der Endverbraucher sinnvoll verbindet und die angebotenen Produkte dementsprechend gestaltet.¹⁹¹⁹ Suffizienz, Effizienz und Konsistenz sind hierbei keine getrennten Strategien mehr, sondern spannen einen mehrdimensionalen Maßnahmenraum auf, der durch vielfältige Synergien gekennzeichnet ist, wobei gleichzeitig die Dimensionen der Nachhaltigkeit – Ökonomie, Ökologie, Soziales, Gerechtigkeit und Zukunftsorientierung – bestimmende Prämissen darstellen. Neben den Herstellungsprozessen in der Produktionsphase, die im allgemeinen als das

¹⁹¹⁵ Vgl. Campbell, Kakizawa, Meyer u.a. (2002), S. 23

¹⁹¹⁶ Vgl. Thurston und Bras (2001), S. 32

¹⁹¹⁷ Vgl. Borland und Wallace (1999), S. 34

¹⁹¹⁸ Vgl. Levine (1999), S. 48

¹⁹¹⁹ Vgl. de Bakker (2001), S. 56

Herzstück der IÖ betrachtet werden, sind auch die Eigenschaften der Produkte während des Gebrauchs und nach Ende der Lebensspanne von Belang. Diese werden bereits in der Designphase bestimmt und erfordern proaktives Management.¹⁹²⁰ Die größte Einflussmöglichkeit auf die nachhaltige Performance eines Produktes besteht in der Entwicklungsphase.¹⁹²¹ Das erfordert auch neue und kreative Wege der Einbeziehung von Kunden in den Entwicklungsprozess, da gerade hier wertvolle Anwendererfahrung eingebracht werden kann und zugleich die Zahlungsbereitschaft für ökologischen Mehrwert sowie Kundenanforderungen ermittelt werden können.

Nachhaltige Produkte

Sowohl aus betriebswirtschaftlicher als auch aus gesamtwirtschaftlicher Sicht geht die Betrachtung der durch die Industrie verursachten ökologischen Probleme über die der reinen Verflechtung von Stoff- und Energieströmen hinaus. Schon die Entscheidung für die Erstellung eines Produktes in einer bestimmten Form ist eine entscheidende Größe für die gesamtökologische Wirkung, die in der Verantwortung der Unternehmen steht und damit eine entscheidende Managementaufgabe darstellt.¹⁹²² Das Konzept der Verbindung von Produkteigenschaften und Produktionsprozessen kann z. B. in Form eines „environmentally benign manufacturing“ (EBM) angelegt werden, das einen integrierten Umweltschutz über den gesamten Produktlebenszyklus anstrebt.¹⁹²³ Das Prinzip des integrierten Umweltschutzes findet sich damit im Konzept der IÖ durch die Hervorhebung der Produzentenverantwortung ideal verwirklicht.¹⁹²⁴ Dies gilt sowohl für den produktionsintegrierten als auch produktintegrierten Umweltschutz in Form einer integrierten Produktpolitik (IPP).¹⁹²⁵ Das heißt, nur in der Gesamtsicht der gegenseitigen Bedingtheit von Lebensstilen, Produktionsweisen und angebotenen Produkten als Organismen des industriellen Ökosystems kann sich das Idealszenario einer IÖ verwirklichen lassen.¹⁹²⁶ Dazu gehört auch die weitestgehend vollkommene Kenntnis über die stofflich-energetischen Wirkungen von Produkten über deren kompletten Le-

¹⁹²⁰ Vgl. Finster, Eagan und Hussey (2001), S. 108

¹⁹²¹ Vgl. Eyerer und Wolf (2000), S. 141

¹⁹²² Vgl. Pfriem (1999), S. 382 und Burschel (2002), S. 84

¹⁹²³ Vgl. Allen (2001), S. 23

¹⁹²⁴ Vgl. Suzuki (2000), S. 135

¹⁹²⁵ Vgl. Walther, Stölting und Spengler (2006), S. 17

¹⁹²⁶ Vgl. Lei, Donghui, Jingzhu u.a. (2001), S. 2

benszyklus und diesbezüglich verantwortliches Verhalten, was die angebotenen Produkte und Dienstleistungen auch am Ende des Produktlebenszyklus' betrifft.¹⁹²⁷ Hierfür wurde der Begriff des Life Cycle Management (LCM) bzw. Wertkettenmanagements geprägt.¹⁹²⁸ Dies bedeutet, dass schon in der Entwicklungsphase von Produkten deren Eingliederung in die Prozesse der IÖ (Produktion, Konsum, Reduktion) zu berücksichtigen ist.¹⁹²⁹ Besonders die bislang kaum beachtete Rückführungsfähigkeit der Produkte und deren Komponenten nach der Gebrauchsphase ist bereits in der Konstruktionsphase einzuplanen.¹⁹³⁰ Dafür wurden Begriffe geprägt wie „Integrated Product Policy“ bzw. „Integrierte Produktpolitik“ (IPP) bzw. „product-oriented environmental management“ (POEM) als unternehmerische Strategie und „Design for Environment“ (DfE) und „Design for Sustainability“ (DfS) als Umsetzungswerkzeuge.¹⁹³¹ Das betrifft Punkte wie die Werkstoffwahl, die Vielfalt der verwendeten Werkstoffe, den bewussten Verzicht auf gefährliche Stoffe, Verbindungstechniken und den geometrischen (recycling- und reparaturfreundlichen) Aufbau der Produkte.¹⁹³² Dabei sind modulare hierarchische Baustrukturen anzustreben, die auf allen Wertschöpfungsebenen eine phasenorientierte Dekonstruktion und Redistribution der Baugruppen ermöglicht.¹⁹³³ Vorzuziehen sind jeweils höherwertige Rückgewinnungswege. Dabei wirksame Kriterien können technischer, mengenbezogener, wertorientierter und auf die „natürliche“ Lebensdauer bezogener Art sein. Informationen zu diesen Sachverhalten werden für eine langfristig gesicherte Verwertbarkeit am Ort der Demontage oder Wiederaufbereitung benötigt, was durch ein produktbegleitendes Informationssystem (PBIS) gewährleistet werden kann. Normativ betrachtet lassen sich einige allgemeine Regeln für die öko-intelligente Ausgestaltung der angebotenen Produkte und Dienstleistungen aufstellen:¹⁹³⁴

¹⁹²⁷ Vgl. Fleig (Hrsg. 2000), S. 48

¹⁹²⁸ Vgl. Kituyi (2004a), S. 1049 und Schwarz und Strebel (1999), S. 211

¹⁹²⁹ Vgl. Richter (1998), S. 73

¹⁹³⁰ Vgl. Liesegang (1999), S. 186

¹⁹³¹ Vgl. Ishii (1998), S. 1, de Bakker (2001), S. 56 und Masoni, Scimia und Raggi (2004), S. 204; Darunter wird ein systemischer Produktdesign-Ansatz verstanden, bei dem schon in der Entwicklungsphase die Umweltwirkungen eines Produktes bewusst optimiert werden sollen; Etwas weniger verbreitet ist der Begriff des Design for Disassembly (DfD), das vor allem die Recyclingfreundlichkeit betont; Vgl. Papanek (1995), S. 42

¹⁹³² Vgl. Richter (1998), S. 85

¹⁹³³ Vgl. Fleig (Hrsg. 2000), S. 137

¹⁹³⁴ Vgl. Schmidt-Bleek (1998), S. 117, Calcott und Walls (2002), S. 4 und Garner und Keoleian (1995), S. 21; Dort findet sich auch die Bezeichnung Life Cycle Design (LCD), die sich inhaltlich nicht wesentlich von DfE unterscheidet.

- Bewertung über den kompletten Lebenszyklus (LCA)
- Erhöhung der Nutzungsintensität (vom Produktdenken zum Nutzendenken)
- Erhöhung der Ressourcenproduktivität und der Lebens- bzw. Nutzungsdauer
- Minimierung des „ökologischen Fußabdrucks“ hinsichtlich eingesetzter Materialien und Energie, entstehender Kuppelprodukte und Gesundheitsrisiken
- Vermeidung von Gefahrstoffen (Konsistenz)
- Zunehmender Einsatz regenerativer Ressourcen
- Optimierung der Recyclingfähigkeit und damit der Transaktionskosten der Kreislaufführung

Das bedeutet, dass ein Produkt möglichst lange auf der höchsten Wertschöpfungsstufe erhalten wird.¹⁹³⁵ Dies klingt auch oder gerade für den Nicht-Wissenschaftler absolut einleuchtend, wenn nicht sogar selbstverständlich. Ein Designer würde wohl bemerken, dass dies alles Prinzipien für gutes Design wären.¹⁹³⁶ Dieser Ansatz wird jedoch nur selten konsequent umgesetzt. Ein Grund dürfte sein, dass die konsequente Verfolgung des gesamten Lebenszyklus' eines Produktes mit Hilfe des Managements entlang der gesamten Wertschöpfungskette mit sehr hohem Aufwand verbunden ist.¹⁹³⁷ Dieser Aufwand wird von den meisten Unternehmen noch gescheut, da die vertikale Tiefe der Wertschöpfung im einzelnen Unternehmen tendenziell abnimmt und die entsprechenden Informationen damit schwieriger zu erfassen sind.¹⁹³⁸ Außerdem ergibt sich beim Versuch, entsprechende Matrizen mit allen ökologisch relevanten Informationen für alle Lebenszyklen aufzustellen, ein sehr komplexes Beziehungsgeflecht, das durch mangelnde Information und vielfältige Zielkonflikte bei ökologisch relevanten Fragestellungen gekennzeichnet ist.¹⁹³⁹ Es erfordert während des Entwicklungsprozesses eine ständige informatorische Rückkopplung zwischen den Designern, Konstrukteuren und dem Management, das für die Erhebung der ökologischen Informationen von Produktvarianten verantwortlich ist.¹⁹⁴⁰ Dass die Umsetzung dieser Aufgabe eine komplexe und ökonomisch gesehen aufwändige Angelegenheit ist, kann dabei

¹⁹³⁵ Vgl. Fleig (Hrsg. 2000), S. 20

¹⁹³⁶ Vgl. Ryan (1999), S. 5

¹⁹³⁷ Vgl. Heeres, Vermeulen und de Walle (2004), S. 986

¹⁹³⁸ Vgl. Backhouse, Clegg und Staikos (2004), S. 275

¹⁹³⁹ Vgl. O'Rourke, Connelly und Koshland (1996), S. 96; Im Übrigen sind die Punkte, die für das weiter unten dargestellte Werkzeug LCA ebenso gültig sind.

¹⁹⁴⁰ Vgl. Finster, Eagan und Hussey (2001), S. 109

nicht angezweifelt werden und wird sich wegen der Kosten kaum kurzfristig für jedes herzustellende Produkt umsetzen lassen. Gerade in der notwendigen Kombination zweier im betrieblichen Alltag getrennt verorteter Qualifikationen wie Design und ökologisches Controlling ist ein Grund zu sehen, dass die konsequente Durchführung solcher Konzepte eher selten ist.¹⁹⁴¹ Das Management dieser Informationsschnittstelle erfordert hohen Koordinationsaufwand in beide Richtungen, denn es gilt in diesem Prozess, dass die marktwirksamen Eigenschaften des Produktes (Kosten, Design, Funktion, Image) nicht beeinträchtigt werden. Das Produkt muss sich am Markt in der Konkurrenz zu anderen Produkten behaupten können, um seine nachhaltigen Eigenschaften weiter verbreiten zu können.¹⁹⁴² Die datentechnische Verknüpfung zur Automatisierung des Vergleichs und der Abwägung von Produktalternativen und die Verbindung mit Kosteninformationen lassen einen sehr hohen informationstechnischen Aufwand erwarten.¹⁹⁴³ Trotzdem gibt es bereits einige theoretische, jedoch wenig konsequent in die Praxis umgesetzte Ansätze zur Verwirklichung der Idee einer IÖ von der Produktseite her, die notwendigerweise mit einem völligen Überdenken der historischen Produktkonzeption einhergehen.¹⁹⁴⁴ In den USA wurde z. B. die „Automotive Parts Rebuilding Assciaton“ (APRA) gegründet, die die Rückführungsaktivitäten für die Automobilindustrie bündeln soll.¹⁹⁴⁵ Um solche Entwicklungen voran zu bringen, bedarf es besonders seitens der Gesetzgeber einer stärkeren Durchsetzung des Verantwortungsgedankens für die in Umlauf gebrachten industriellen Organismen über deren kompletten Lebenszyklus.¹⁹⁴⁶

Der Lebenszyklus

Am Ende des Lebenszyklus eines Produktes steht die Demontage und Aufbereitung von Teilelementen, worin bei einem nicht darauf vorbereiteten Produkt ein großer Kostentreiber für die Rückführungsprozesse liegt. Die bislang in Umlauf gebrachten Produkte sind jedoch zum größten Teil nicht dementsprechend konzipiert.¹⁹⁴⁷ Im Rahmen von

¹⁹⁴¹ Vgl. Borland und Wallace (1999), S. 34f

¹⁹⁴² Vgl. Levine (1999), S. 56

¹⁹⁴³ Vgl. Ryan (1999), S. 6

¹⁹⁴⁴ Vgl. Braungart und McDonough (2003), S. 219

¹⁹⁴⁵ Vgl. Allen (2001), S. 27

¹⁹⁴⁶ Vgl. Castell, Clift und France (2004), S. 6

¹⁹⁴⁷ Vgl. Braungart (1994), S. 335

DfE ist also bei der Konstruktion schon darauf zu achten, dass der Aufwand beim Dekonstruieren minimiert wird, um die Wiedergewinnungsprozesse zu erleichtern und sie kostengünstig gestalten zu können.¹⁹⁴⁸ Kann dies noch mit der Weiterverwendung von Komponenten verbunden werden, steigt die ökonomische und ökologische Effizienz zusätzlich, da gleichzeitig Arbeitsschritte bei der Dekonstruktion und Neumontage eingespart werden. Hier scheint das Ideal auf, das in der Natur durch Destruenten und Saprophyten gegeben ist: Der Produktionswirtschaft muss in der IÖ eine spiegelbildlich entsprechende Reduktionswirtschaft beigelegt werden, um nachhaltig wirtschaften zu können.¹⁹⁴⁹ Dieser Aufgabenbereich ist in der Entsorgungswirtschaft zwar nach herkömmlichem wirtschaftlichem Denken bereits angelegt, für die IÖ bedarf es aber einer systematischen Weiterentwicklung hinsichtlich einer gleichwertigen Ausgestaltung einer Produktionswirtschaft rückwärts.¹⁹⁵⁰ Diese ist allerdings angewiesen auf demontagefreundliche Produkte und auf kostengünstige automatisierte Demontage- und Trenntechniken, die noch nicht oder nur rudimentär existieren.¹⁹⁵¹ Allerdings ist fraglich, wie tiefgreifend die Rückgewinnung der komplexen Materialverbände in technischen Produkten unter vertretbarem Aufwand möglich ist. Farbstoffe, Stabilisatoren und Flammschutzmittel in einzelnen Materialien oder hochverdichtete Mischsubstanzen lassen eine Wiedergewinnung beim aktuellen Stand der Technik nur in eingeschränktem Maß zu. Die aus ökologischen und thermodynamischen Gesichtspunkten erforderliche Wiedergewinnung von Stoffen bis hinab zur Ebene der enthaltenen Rohstoffe ist bislang nur in wenigen Fällen möglich. Hier besteht noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf, da sich eine so tiefgreifende IÖ im derzeitigen Produktionssystem mit seinen nur durch Handelsbeziehungen verbundenen Subsystemen nicht verwirklichen ließe. Hier basiert das Idealszenario ausschließlich auf normativen Gesichtspunkten, denen zu Grunde liegt, dass für die meisten gefährlichen Substanzen, die ein gleichwertiges Upcycling verhindern, ein Ersatz gefunden werden kann, der dies ökonomisch gewinnbringend ermöglicht.¹⁹⁵² Gleiches gilt für die Produkteigenschaften hinsichtlich des ausgelösten Metabolismus in der Gebrauchsphase, insbesondere Energieverbrauch, Langlebigkeit und Reparaturfreundlichkeit, die sich auf die Gesamtlebensbilanz eines

¹⁹⁴⁸ Vgl. Morioka, Yoshida und Yamamoto (2003), S. 10

¹⁹⁴⁹ Vgl. Sterr (2003), S. 125

¹⁹⁵⁰ Vgl. Liesegang (1999), S. 186

¹⁹⁵¹ Vgl. Richter (1998), S. 89

¹⁹⁵² Vgl. Braungart und McDonough (2003), S. 218

Produktes ebenso auswirken wie seine Recyclingfähigkeit. Besonders mit der Langlebigkeit von Produkten durch Reduzierung der Abnutzung und durch Anreize für den Kunden, diese lange zu nutzen, kann deren ökologische Effizienz pro Nutzeinheit verbessert werden.¹⁹⁵³ Da sich diese Langlebigkeit für den Konsumenten in einer höheren Wertigkeit widerspiegelt, ist auch der ökonomische Nutzen für beide Seiten mindestens ebenso hoch wie beim häufigeren Konsum kurzlebiger Güter. Darüber hinaus ist das ökologische Verschmutzungspotenzial und das Potenzial, Gesundheitsschäden auszulösen, für jedes Produkt durch geeignete Materialwahl zu minimieren.¹⁹⁵⁴

Reduktionsphase

Nach Beendigung der Gebrauchsphase mit allen Versuchen von Updates und Reparaturen gilt es die Komponenten des Produktes wieder dem Wirtschaftskreislauf zuzuführen. Ein nachhaltiges Produkt, das sich als Organismus in die IÖ eingliedert, muss somit zwingend zwei Bedingungen erfüllen:

- Die Inhaltsstoffe bzw. Komponenten des Produktes müssen umweltverträglich sein oder sortenrein komplett wieder gewonnen werden können
- Die Technologie und Infrastruktur zur Wiedergewinnung der Inhaltsstoffe muss bei der Produktion des Produktes bereits verfügbar sein

Zum einen bedarf es schon bei der Planung der Produkte eines Ansatzes, der die Rückführung der Stoffe in Design und Zusammensetzung des Produktes berücksichtigt, zum anderen einer möglichst lückenlosen Dokumentation der Produktzusammensetzung.¹⁹⁵⁵

Diesbezügliche Informationen sind im derzeitigen Wirtschaftssystem jedoch asymmetrisch verteilt, was prohibitive Transaktionskosten für Recyclingprozesse nach sich zieht.¹⁹⁵⁶ Zum Dritten ist eine geeignete „Rückwärtslogistik“ für die Rückführung der Produkte vonnöten, die bislang nur rudimentär entwickelt ist.¹⁹⁵⁷ Um dies zu erleichtern, bedarf es informativer Kreislaufprodukte, die die Informationen über ihre Zusammensetzung bei sich tragen.¹⁹⁵⁸ So kann gewährleistet werden, dass in der De-

¹⁹⁵³ Vgl. Cooper (2005), S. 55

¹⁹⁵⁴ Vgl. Seager und Theis (2004), S. 870

¹⁹⁵⁵ Vgl. Braungart und McDonough (2003), S. 147

¹⁹⁵⁶ Vgl. Farmer (1998), S. 181

¹⁹⁵⁷ Vgl. Sarkis und Reimann (1994), S. 74

¹⁹⁵⁸ Vgl. Pasckert (1998), S. 217

konstruktionsphase der Erhalt von Komponenten und Materialien auf möglichst hoher Wertschöpfungsstufe erreicht wird, um die entropischen Verluste zu minimieren. Die dafür erforderlichen Informationen müssen punkt- und zeitnah für das jeweilig vorliegende Produkt zur Verfügung stehen und umfassen Daten wie den ursprünglichen Hersteller, das Herstellungsjahr, das Originalgewicht, den geometrischen Aufbau, enthaltene Komponenten von Zulieferern, Verbindungstechniken, gefährliche sowie besonders wertvolle Inhaltsstoffe, deren Wiedergewinnung die ökonomische Bilanz des Recyclings verbessert. Diese Informationen können bei großen und komplexen Gütern in berührungslos ablesbaren Smart-Chips gespeichert sein oder bei einfacheren Gütern durch den EAN-Code in einer Produktdatenbank beim Hersteller abgerufen werden. Beide Lösungen sind beim heutigen Stand der Technik problemlos und kostengünstig umsetzbar. Liegen diese Informationen in der nötigen Detailtreue in standardisierter Form vor, so können die ersten Stufen der Reduktionsprozesse weitgehend automatisiert werden. Auch hier herrscht jedoch noch großer Forschungs- und Entwicklungsbedarf seitens der (Re-)Produktions- und Fertigungstechnik. Unabhängig davon, ob der Reduktionsprozess beim Hersteller selbst oder bei einem beauftragten Recyclingunternehmen stattfindet, bedarf es einer reibungslosen Übertragung der Daten zwischen Produktplanung, Produktion und Reduktionsprozessen.

Strukturen und Modellierung

Wie die Ökologie gezeigt hat, lassen sich den stofflich-energetischen und informativ-schen Beziehungen innerhalb und zwischen den Ökosystemen emergente strukturelle und funktionale Eigenschaften zuschreiben.¹⁹⁵⁹ Soll dies auf den willentlich gesteuerten Metabolismus einer IÖ übertragen werden, so bedarf es neben der strukturellen Abbildung der Stoff- und Energieflüsse einer informativ-schen Abbildung zur Steuerung eben dieser Ströme bzw. angestrebten Kreisläufe. Ein dafür unerlässliches Managementinstrument stellt das Life Cycle Assessment (LCA) dar, das weiter unten vorgestellt wird.¹⁹⁶⁰ Ebenso wie im Rahmen der ökonomischen Steuerung wirtschaftlicher Aktivitäten eine geradezu lückenlose Dokumentation monetärer Größen in Form betrieblicher

¹⁹⁵⁹ Funktionalität meint hier vor allem die Frage: Wie läuft etwas ab? Es ist weniger die Frage nach dem finalen Zweck (der historische bzw. evolutionäre Kontext tritt dabei in den Hintergrund); Vgl. Valsangiacomo (1998), S. 84

¹⁹⁶⁰ Vgl. Borland und Wallace (1999), S. 36

und volkswirtschaftlicher Rechnung vorliegen, bedarf es für die stofflich-energetischen Beziehungen einer eindeutigen Dokumentation als Informationsgrundlage für die effektive und effiziente Steuerung der Stoff- und Energieströme im Zusammenhang mit der Produktherstellung. Die Muster der Produktionsbeziehungen werden dabei modellhaft aufgezeigt und können mit den angestrebten strukturellen und funktionalen Eigenschaften der IÖ abgeglichen werden. Von besonderem Belang in der Nutzungsphase eines Produktes ist dessen Energieverbrauch pro erbrachter Serviceeinheit.¹⁹⁶¹ Dieser lässt sich vor allem durch gewichtssparendes Design und technische Maßnahmen zur Verringerung des Energieverlustes erreichen.¹⁹⁶² Allerdings sind hierbei mögliche Zielkonflikte zwischen dem Energieaufwand bei der Produktion in Leichtbauweise und dem späteren Verbrauch in der Nutzungsphase zu beachten.

7.5.5 Alternative Rohstoffe und neue Materialien

Die Wahl der Werkstoffe für die Produktion von Gütern hat entscheidende Auswirkungen auf die ökologische Performance des Produktes, da der Werkstoff in allen Phasen des Lebenszyklus die ökologischen Wirkungen mitbestimmt.¹⁹⁶³ Alternative Rohstoffe, insbesondere aus regenerativen Quellen, werden in einer IÖ zunehmende Bedeutung erlangen.¹⁹⁶⁴ Dazu gehören insbesondere biologisch abbaubare Werkstoffe (BAW) oder die Anwendung des relativ jungen Forschungszweiges der Bionik bei der Entwicklung neuer Materialien.¹⁹⁶⁵ Zum einen als Grundstoffe für die chemische Weiterverarbeitung zu Rohstoffen für die Produktion, z. B. für Polymere auf Basis biologisch abbaubarer Naturstoffe, aber auch für Hilfs- und Betriebsstoffe oder Verpackungen.¹⁹⁶⁶ Gerade im Bereich der industriellen Produktion spielen bei vielen Prozessen Hilfs- und Betriebs-

¹⁹⁶¹ Vgl. Backhouse, Clegg und Staikos (2004), S. 273

¹⁹⁶² Vgl. Wietschel (2004), S. 29

¹⁹⁶³ Vgl. Fleischer und Lichtenvort (2004), S. 19

¹⁹⁶⁴ Vgl. Hawken, Lovins und Lovins (2000), S. 275

¹⁹⁶⁵ Vgl. Piringer und Fischer (2003), S. 2; Grundsätzlich gilt für die Bionik der gleiche Ansatz wie für die IÖ: Strukturelle oder funktionale Lösungen bei der Aufrechterhaltung von Lebensprozessen sollen auf die Entwicklung technischer Prozesse übertragen werden; Vgl. Oertel und Grunwald (2006), S. 7

¹⁹⁶⁶ Vgl. Cohen-Rosenthal (2003a), S. 44 und Mohanty, Misra und Drzal (2002), S. 19ff für die Polymere; Mit solchen biologisch abbaubaren Polymeren kann ein doppelt geschlossener Kreislauf aufgebaut werden, da die darin enthaltenen Grundstoffe nach der Kompostierung wieder in morphologische Strukturen von Pflanzen aufgenommen werden und wieder in den Wirtschaftskreislauf gelangen und gleichzeitig beim Pflanzenwuchs CO₂ sequestriert wird.

stoffe eine entscheidende Rolle für die reibungslose Funktion der Produktionsprozesse. Diese Stoffe gehen in der Regel auch bei intern geschlossenen Kreisläufen zumindest in die anfallenden Kuppelprodukte (Kühlwasser, Späne, Reinigungsemulsionen) mit ein und verunreinigen diese. An diesem Punkt sind aus biologischen, regenerativen Quellen gewonnene Hilfs- und Betriebsstoffe aus Sicht einer IÖ im Vorteil, da sie in der Regel ein wesentlich geringeres Schadenspotenzial aufweisen, meistens biologisch abbaubar sind und die Prozesse damit in der Regel genauso gut oder in Einzelfällen sogar besser ablaufen können.¹⁹⁶⁷ Deshalb bedarf es erstens weiterer Forschungsanstrengungen in diese Richtung im Allgemeinen und eines bewussten Managements von EIPs im Besonderen.¹⁹⁶⁸ Gerade in Hinsicht auf eine verbesserte Flächennutzung lassen sich rohstoffliche Nutzpflanzen auch in Gebieten anbauen, die für die Nahrungsmittelerzeugung nicht oder nur bedingt geeignet sind.¹⁹⁶⁹ Auch bei den Materialien selbst, aus denen Produkte hergestellt werden, gibt es erhebliches Optimierungspotenzial. Da bei einigen Materialien (wie z. B. PVC) sehr viele verschiedene Anwendungen betroffen sind, bietet es sich an, bei der Suche nach Alternativen ähnliche unternehmerische Allianzen einzugehen wie in EIPs oder beim Supply Chain Management (SCM).¹⁹⁷⁰ Haben sich entsprechende Netzwerke etabliert, lassen sich Fragen wie gemeinsame Beschaffung und Wiederverwertung eher ökonomisch vorteilhaft lösen. In den Produkten werden dann zunehmend Materialien verwendet werden, die den Energieverbrauch während der Nutzungsphase durch geringeres Gewicht reduzieren oder durch bessere technische Eigenschaften die Effizienz verbessern.¹⁹⁷¹ Darüber hinaus gilt ein weiterer Fokus der Entwicklung von Materialien, die schon bei der Herstellung weniger Energie benötigen.¹⁹⁷² Ein anderer Forschungszweig ist die Suche nach rohstofflichen Verwendungszwecken bislang ungenutzter (und unvermeidbarer) Kuppelprodukte, um dem ZE-Konzept näher zu kommen.¹⁹⁷³ In der Mehrzahl der heutigen Produkte sind Materialien enthalten, die nicht für eine gleichwertige Rückführung in den Wirtschaftskreislauf geeignet sind, weil bei deren Auswahl und bei der Konstruktion nicht an diese Mög-

¹⁹⁶⁷ Vgl. Braungart und McDonough (2003), S. 141 und Barton (1999), S. 167

¹⁹⁶⁸ Vgl. Trillium Planning & Development (2003), S. 29

¹⁹⁶⁹ Vgl. Bull (1996), S. 10

¹⁹⁷⁰ Vgl. Braungart (2002), S. 1

¹⁹⁷¹ Vgl. Wissing und Bremer (2004), S. 17

¹⁹⁷² Vgl. Bailey, Allen und Bras (2004), S. 50

¹⁹⁷³ Vgl. Eyerer und Wolf (2000), S. 143

lichkeit gedacht wird. Vielmehr orientiert sich auch die moderne Materialforschung in der Regel an funktionaler Optimierung, insbesondere in den Bereichen Funktionswerkstoffe, Spezialpolymere sowie aus regenerativen Rohstoffen hergestellte „Kunststoffe“ und Nanotechnologie.¹⁹⁷⁴ Die damit einher gehende zunehmende physikalisch-chemische Eingriffstiefe in Grundstoffe und Materialien verbessert zwar die technischen Eigenschaften, führt aber tendenziell zu erschwerten Möglichkeiten der Wiedergewinnung nach der Nutzungsphase. Dabei liegt gerade in der Art der Stoffe einer der Grundpfeiler einer IÖ, um konsistente Stoffströme verwirklichen zu können.¹⁹⁷⁵ Es geht um effektive Lösungen bei der Gestaltung von Produkten und deren Inhaltsstoffen.¹⁹⁷⁶ Für Einzelentscheidungen über Werkstoffe bietet sich ein iterativer Prozess an, in dem geeignete Stoffe nach technischen Anforderungen, geeigneten Fertigungsverfahren und potenziellen Recyclingverfahren selektiert werden. Am Ende des Auswahlprozesses stehen die für die gewählten Anforderungen optimalen Materialien.¹⁹⁷⁷ Diese Bedingung erfüllen z. B. Werkstoffe aus biologisch abbaubaren Stoffen, die sich nach ihrem Gebrauch mittels mikrobieller Verfahren ökologisch verträglich und ökonomisch tragbar verwerten lassen.¹⁹⁷⁸ Diese Erkenntnisse werden idealerweise direkt in den DfE-Prozess eingebunden.¹⁹⁷⁹ Auch die Technologien, um aus organischer Materie Kunststoffe mit ähnlichen technischen Eigenschaften wie die der petrochemischen Werkstoffe herzustellen, haben in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht.¹⁹⁸⁰ Das lässt erwarten, dass die Substitution dieser Stoffe im großen Maßstab möglich ist.¹⁹⁸¹ Erprobte Anwendungsfelder sind Faserverbundstoffe, Stärke-Trays, Stärkeblends (Formteile), Poly-Laktate (Formteile), Fasalex und Textilnetze.¹⁹⁸² Alle diese Stoffe finden bereits in hochtechnisierten Bereichen wie dem Automobilbau Verwendung. Die vorwiegenden neuen Verwendungen liegen jedoch im Bereich der Verpackungen. Da diese Stoffe erst am Beginn einer Entwicklung stehen, ist noch sehr großes Potenzial in anderen Bereichen zu erwarten. Für eine wirkliche Ökologisierung

¹⁹⁷⁴ Vgl. Muster (2004), S. 9

¹⁹⁷⁵ Vgl. Huber (1999), S. 10

¹⁹⁷⁶ Vgl. Braungart und McDonough (2003), S. 22

¹⁹⁷⁷ Vgl. Fleischer und Lichtenvort (2004), S. 20

¹⁹⁷⁸ Vgl. Käß (2002), S. 15

¹⁹⁷⁹ Vgl. Achard (2004), S.25

¹⁹⁸⁰ Vgl. Reske, Kamm und Kamm (2002), S. 21

¹⁹⁸¹ Dass dies notwendig ist, wurde bereits gezeigt

¹⁹⁸² Vgl. Piringer und Fischer (2003), S. 30

im hier verstandenen Sinn ist die Rückführung aller Produktbestandteile in eine gleichwertige Verwendung, also kein Down-cycling, eine unabdingbare Voraussetzung.¹⁹⁸³ Das kann gerade bei einer Weiterentwicklung der neuen Werkstoffe durch bewusste Berücksichtigung dieses Sachverhaltes besser gewährleistet werden als durch den Versuch, nachträglich für bereits bestehende Werkstoffe solche Rückführungsmöglichkeiten zu entwickeln. Die Reduktionstiefe muss dabei bis zur einzelstofflichen Qualität der neuen Ressource hinunter reichen, sofern auf einer höheren Stufe der Verarbeitung eine Wiederverwendung nicht möglich ist. Dafür gibt es bereits Technologien wie Filtration, Destillation oder Cracking, die stoffliche Kompartimente von Materialien bis zur Elementarebene wieder aufbrechen oder neue verwendbare Kompartimente erzeugen.¹⁹⁸⁴ Hierzu braucht es jedoch geeignete Stoffe, Materialien und Verbindungstechniken, die alle unter vertretbarem Aufwand weitgehend reversibel sein müssen. Die Wahrscheinlichkeit, dies mit vertretbarem ökonomischem Aufwand gewährleisten zu können, steigt mit der Weiterentwicklung der Werkstoffe aus regenerativen Quellen an. Dass damit ein zusätzlicher Druck auf die weiter oben thematisierte Flächenproblematik ausgelöst wird, ist ein Punkt, der das ökonomisch-ökologische Optimierungskalkül um eine Dimension komplexer macht, da der Ressourcenanbau mit der Energiegewinnung, der Nahrungsproduktion, der Infrastruktur der Anthroposphäre und mit der Forderung nach naturbelassenen Räumen um die knappen Flächen konkurriert.¹⁹⁸⁵ Dies bringt weitere Opportunitätskosten hinsichtlich der Entscheidungen über unterschiedliche Strategien für die IÖ mit sich. Ein weiterer Punkt ist der Energieaufwand für die Gewinnung von Materialien mit spezifischen Eigenschaften. Wenn schon zu Beginn der Wertschöpfungskette Material mit dem gleichen (oder verbessertem) Nutzen mit geringerem Energieaufwand gewonnen werden kann, so zieht sich dieser Effizienzgewinn durch die komplette Wertschöpfungskette.¹⁹⁸⁶

¹⁹⁸³ Vgl. Fumikazu (2001), S. 2

¹⁹⁸⁴ Vgl. Cohen-Rosenthal (2004), S. 1119

¹⁹⁸⁵ Vgl. Berlin und Uhlin (2004), S. 191

¹⁹⁸⁶ Vgl. Cohen-Rosenthal (2004), S. 1114

7.6 WERKZEUGE – UMSETZUNG EINER INDUSTRIELLEN ÖKOLOGIE

7.6.1 Stoffstrommanagement

Stoffstrommanagement (SSM) als übergreifender Steuerungsansatz bildet eine wichtige operationale Klammer für die Umsetzung einer IÖ.¹⁹⁸⁷ Ziel ist die bewusste Steuerung und nachhaltige Gestaltung von Stoffströmen über mehrere Wertschöpfungsstufen, wobei auf einen stufenübergreifenden Interessenausgleich zu achten ist.¹⁹⁸⁸ Die Betrachtung von Stoffströmen schließt dabei unterschiedliche funktionale, strukturelle oder räumliche Dimensionen ein. Zum einen kann man den Weg eines Rohstoffes von der Gewinnung über die unterschiedlichen Stufen der Veredlung bis zum Bestandteilwerden eines nutzbaren Endproduktes und darüber hinaus seine Wiederverwendung oder -verwertung bzw. Entsorgung betrachten.¹⁹⁸⁹ Dies kann man als den rohstofflichen Weg von der Wiege bis zur Bahre bezeichnen. Dabei folgt man nur eindimensional der Spur eines konkreten Stoffes. Heutige Produktion ist jedoch durch die Vermischung und Synthese einer Vielzahl von Stoffen gekennzeichnet, die in unterschiedlichster Form in Verbindung gebracht werden. Dabei werden weitere Stoffströme durch den notwendigen Einsatz von Hilfs- und Betriebsstoffen oder durch die Entstehung von Kuppelprodukten bei den Veredlungsprozessen in Gang gesetzt. All diese durch Produktionsweisen ausgelösten Stoffströme sind obendrein durch unbeabsichtigte dissipative Verluste der eingesetzten Stoffe gekennzeichnet, die mit ins Kalkül gezogen werden müssen. Obendrein vollziehen sich alle Stoffaustauschprozesse über sehr differenzierte räumliche und zeitliche Dimensionen. Daraus ergibt sich ein sehr komplexes Bild der Stoffstromproblematik, wie sie sich in allen industrialisierten Gesellschaften darstellt. Es ist eine Vielzahl von Akteuren an jedem einzelnen Stoff- oder Materialstrom beteiligt, die kommunikativ, technologisch, datentechnisch und organisatorisch zusammenhängen, was ganz eigene netzwerkorientierte Managementanforderungen mit sich bringt.¹⁹⁹⁰ Allein auf der mikro-ökonomischen Ebene innerhalb eines Betriebes sind viele verschiedene Aufgaben und Tätigkeiten mit unterschiedlicher Wahrnehmung

¹⁹⁸⁷ Vgl. Espenhorst (o.J.), S. 3

¹⁹⁸⁸ Vgl. Krcal (2000), S. 27 und Großmann, Sander, Drachenberg u.a. (2003), S. 5

¹⁹⁸⁹ Vgl. Henseling und Schwanhold, (1995), S. 84

¹⁹⁹⁰ Vgl. Rebhan, Hafkesbrink und Walker (2002), S. 38

der Stoffströme zu einer ganzheitlichen Sicht zu integrieren.¹⁹⁹¹ Die damit verbundene „Flussorientierung“ entspricht der normativen Vorgabe, in einer IÖ am Vorbild der Natur orientiert zu agieren. Stoffstrommanagement umfasst darüber hinaus die Abschätzung und Beherrschung des Risikos des unerwünschten Eintrages von Stoffen und Materialien in die Umwelt.¹⁹⁹² Nachhaltiges Stoffstrommanagement lässt sich sinnvoll nur als Sparten und Regionen übergreifende Aufgabe bewältigen, wenn alle relevanten Akteure zu kooperativem Verhalten bereit sind.¹⁹⁹³ Dies kann durchaus auch grenzüberschreitende Kooperationen einschließen, wenn es dem Gesamtziel globaler ökologischer Nachhaltigkeit dienlich ist.¹⁹⁹⁴ Für ein SSM werden vielfältige Informationen wie die Zusammensetzung und Menge der Stoffe, Beimengungen, Anfallorte, Frequenz des Anfalles, Verwertungswege und Entsorgungskosten bzw. Einkaufspreise der entsprechenden Rohstoffe benötigt.¹⁹⁹⁵ Diese bereitzustellen ist Aufgabe der folgenden Tools.

7.6.1.1 Managementtools

Grundsätzlich ist mit öko-industrieller Entwicklung das Bestreben verbunden, vom herkömmlichen Abfallmanagement über Wissens- und Informationsmanagement eine neue strategische Ausrichtung zu verfolgen.¹⁹⁹⁶ Um die oben dargestellten Konzepte umzusetzen, bedarf es geeigneter Werkzeuge für die operationale Umsetzung in Unternehmen und Netzwerken.¹⁹⁹⁷ Es kann hier jedoch nur eine Auswahl entwickelter und bewährter Ansätze zur Unterstützung des Managements in einer IÖ behandelt werden, da sich im Lauf der Entwicklung des Umweltmanagements vielfältige Forschungsrichtungen und Schwerpunkte zur Abschätzung und Bewertung von Umweltwirkungen der industriellen Produktion entwickelt haben, für die IÖ bislang jedoch noch keine systematisierte und allgemeingültige Integration der unterschiedlichen Werkzeuge stattgefunden hat.¹⁹⁹⁸ Alle Methoden haben den Anspruch, Richtungssicherheit im Hinblick auf Nachhaltigkeit bei Managemententscheidungen zu gewährleisten. Einen

¹⁹⁹¹ Vgl. Strobel (2001), S. 61

¹⁹⁹² Vgl. Man (1994), S. 4

¹⁹⁹³ Vgl. Henseling und Schwanhold (1995), S. 86

¹⁹⁹⁴ Vgl. Wicke (1995), S. 102

¹⁹⁹⁵ Vgl. Krcal (2000), S. 27

¹⁹⁹⁶ Vgl. Heeney und Murphy (1999), S. 1

¹⁹⁹⁷ Vgl. De Haes, Heijungs, Huppes u.a (2000), S. 46

¹⁹⁹⁸ Vgl. Kytzia und Nathani (2004), S. 144

kurzen und guten Überblick geben Fromm u. a.¹⁹⁹⁹ Unterschiedliche Messansätze, die Pressure- oder State-Indikatoren zu Grunde legen, geben aus verschiedenen Perspektiven Einblick in die Wirkungen der IÖ auf ökologische, ökonomische und soziale Sachverhalte. Was noch nicht gelungen ist, ist die Synthese aus verschiedenen Messansätzen zur zweifelsfreien Richtungssicherheit im dreidimensionalen Nachhaltigkeitsraum (triple bottom line) unter Berücksichtigung der Entwicklung innerhalb des Nachhaltigkeitskegels.²⁰⁰⁰ Da sich bei vielen Produkten die Nachhaltigkeitskriterien aus verschiedenen Blickwinkeln oft nicht miteinander vereinbaren lassen, ist eine objektive Nachhaltigkeitsbewertung nur selten eindeutig möglich. Für das vorgeschlagene Ideal-szenario sollen deshalb stofflich-energetische Messansätze beschrieben werden, die durch Input-Output-Analysen Rückschlüsse auf ökologische Wirkungen und auf die sozial gerechte Verwendung von Ressourcen unter Berücksichtigung der ökonomischen Umsetzbarkeit ziehen lassen.²⁰⁰¹ Die Beschränkung auf physische Größen mit eingeschränkter Aussagekraft für die anderen Aspekte der Nachhaltigkeit wird auf Grund der damit verbundenen Komplexitätsreduktion in Kauf genommen, auch wenn es bereits erste Ansätze gibt, ökonomische Größen in die stofflich-energetische Analyse zu integrieren.²⁰⁰²

7.6.1.2 Material Flow Accounts/Materialflussanalysen (MFA), Substance Flow Analysis/Stoffflussanalysen (SFA)

Unter der Zielsetzung, den industriellen Metabolismus naturverträglich bzw. nachhaltig zu gestalten, bedarf es der genauen Kenntnis, der der Wirtschaftstätigkeit zu Grunde liegenden Stoffströme.²⁰⁰³ Da der Metabolismus von Stoffen und Energie, der durch die Anthroposphäre verursacht wird, als grundsätzlicher Auslöser für die Belastung der Umwelt identifiziert ist, ist es naheliegend, diese Stoff- und Materialströme zu analysieren und auf Basis dieser Informationen so zu steuern, dass die natürlichen Ökosysteme

¹⁹⁹⁹ Vgl. Fromm, Kratochvil, Lindenthal u.a. (2000); Eine tiefer gehende Analyse insbesondere der ISO Standards liefert das „International Institute for Sustainable Development (IISD)“; Vgl. IISD (Hrsg. 1996)

²⁰⁰⁰ Vgl. Seager und Theis (2004), S. 869; „The triple bottom line“ bezieht sich auf die Dimensionen Ökologie, Ökonomie und Sozialgerechtigkeit; Vgl. CHE (Hrsg. 1998), S. 1

²⁰⁰¹ Vgl. de Haes, Heijungs, Huppel u.a. (2000), S. 47

²⁰⁰² Vgl. Kytzia, Faist und Baccini (2004), S. 877 und Kytzia und Nathani (2004), S. 152

²⁰⁰³ Vgl. Hofmeister (1998), S. 132

langfristig vor Schädigungen geschützt werden.²⁰⁰⁴ Damit ist die MFA eines der grundlegenden Instrumente zum Verständnis des industriellen Metabolismus. Ziel ist die Feststellung bzw. Messung der Materialintensität ökonomischer Aktivitäten.²⁰⁰⁵ Langfristig sind folgende fundamentale Fragen zu beantworten:²⁰⁰⁶

- Welche (ausgewählten) Stoffströme geben den industriellen Metabolismus hinreichend genau wieder?
- Wie hoch dürfen nachhaltige Stoffströme (pro Zeiteinheit) über die Grenze Ökosphäre/Anthroposphäre sein?
- Wie können diese Umfänge effizient erreicht und gehalten werden?

Als Gesamtheit betrachtet bezieht sich die Stoffflussanalyse auf den Weg eines Stoffes über den gesamten Lebenszyklus entlang der Wertschöpfungskette eines Produktes von der Rohstoffgewinnung bis zur Wiederverwertung.²⁰⁰⁷ Bezugspunkt kann dabei jeweils ein Ausschnitt aus dem ganzen Prozess wie z. B. die Bilanzierung innerhalb eines Unternehmens sein. Anhand des Massenerhaltungssatzes kann mittels Input-Outputanalyse die Bewegung und der Verbleib von Stoffen und Materialien analysiert werden.²⁰⁰⁸ Die scheinbar simple Tatsache, dass alle Stoffe, die ins industrielle System gelangen und nicht dort verbleiben, dieses (über mehr oder weniger bekannte Wege) auch verlassen müssen, wird zum handlungsleitenden Motiv verantwortlichen Wirtschaftens.²⁰⁰⁹ Die Kenntnis der raumzeitlichen Bewegung und des Verbleibs, vor allem toxischer Stoffe, ist für richtungssichere Aktivitäten in einer IÖ unerlässlich. Als entsprechende Instrumente haben sich Material Flow Accounts bzw. Materialflussanalyse (MFA) und Substance Flow Analysis bzw. Stoffflussanalyse (SFA) etabliert.²⁰¹⁰ Erstere

²⁰⁰⁴ Vgl. Schenkel und Reiche (1993), S. 102; Darüber hinaus ist bei näherer Betrachtung zu konstatieren, dass sich Nachhaltige Entwicklung natürlich nicht alleine an biophysikalischen Entwicklungen messen lassen kann, sondern auch wichtige normative und politische Fragen zu beantworten hat; Vgl. dazu Malghan (2005), S. 13

²⁰⁰⁵ Vgl. Bailey, Bras und Allen (2004), S. 70

²⁰⁰⁶ Vgl. Brunner, Daxbeck und Baccini (1994), S. 166 und Fischer-Kowalski, Haberl und Payer (1994), S. 338

²⁰⁰⁷ Vgl. De Haes, Huppel und De Snoo (1998), S. 56

²⁰⁰⁸ Vgl. Bailey, Allen und Bras (2004), S. 52

²⁰⁰⁹ Vgl. Kleijn (1999), S. 9

²⁰¹⁰ Vgl. Wernick (1998), S. 85; Hier wird die Bezeichnung Material Flow Analysis als synonym betrachtet; Vgl. Brunner (2002), S. 8; Weitere Methoden, die unter der MFA subsumiert werden sind z. B. Total Material Requirement and Output (TMRO), Physische Input-Output-Tabellen (PIOT) und der ökologische Fußabdruck; Vgl. Daniels und Moore (2001), S. 76f

behandelt die Massenströme von Material (in Sonderfällen auch Energie²⁰¹¹) auf tendenziell makro-ökonomischer Ebene, ist also mit dem MIPS-Konzept artverwandt, letztere betrachtet insbesondere toxische und stark umwelt- und gesundheitsgefährdende Stoffe, die in kleineren Mengen anfallen und beschränkt sich auf die Analyse einzelner chemischer Elemente oder streng definierter Stoffe.²⁰¹² Einzelstoffe sind gerade im regionalen Kontext von großer Bedeutung, da Verursachung und Betroffenheit der beteiligten Akteure nah beieinander liegen und die IÖ dazu dient, ökotoxische Wirkungen des industriellen Metabolismus zu minimieren. Hier setzt die SFA mit der engeren Definition von Stoffen und Raum einen Rahmen für Ursache-Wirkungs-Analysen.²⁰¹³ Bereits kleine Beimengungen gefährlicher Substanzen erschweren auch die Verwertung der großen Massenströme, da die Substanzen dadurch weiter in der Geosphäre verteilt werden. Deshalb ist deren Überwachung von besonderer Bedeutung für die Einhaltung der Nachhaltigkeitsregeln und für die Erstellung von LCAs.²⁰¹⁴ Darüber hinaus ist die Verfolgung toxischer Substanzen in kleinen Mengen schwierig, da sie häufig auch über Massenströme ins ökonomische System eingeschleust werden und erst bei den primären Verarbeitungsschritten freigesetzt werden.²⁰¹⁵ Hier ist die Verfolgung der Ströme von punktuellen Emissionsquellen (z. B. Kraftwerke) wesentlich einfacher als bei diffusen Emittenten (z. B. Verbrennungsmotoren), dafür sind sie in letzterem Fall wesentlich niedriger konzentriert. Die Ströme, Depots und der Verbleib dieser Substanzen können mit den verschiedenen Formen der MFA/SFA beschrieben, überwacht und gesteuert werden. Hierbei entwickelte sich durch unterschiedliche raum-zeitliche Grenzziehungen der untersuchten Systeme eine Vielzahl von Betrachtungsperspektiven auf den industriellen Metabolismus.²⁰¹⁶ Die Dimensionen reichen von maschinenorientierten Untersuchung einzelner Produktionsschritte bis hin zu makroökonomischen Betrachtungen.

²⁰¹¹ Prinzipiell kann mit den gleichen Methoden auch der Energiefluss sowohl materieller Energieträger als auch unterschiedlicher Energiearten (Wärme, Strom) analysiert werden – dies wird hier nicht weiter vertieft, auch wenn weiter oben gezeigt wurde, dass der energetische Metabolismus für eine IÖ mindestens so wichtig ist wie der stoffliche; Vgl. dazu Haberl (2001), S. 12ff

²⁰¹² Vgl. Lindqvist und von Malmborg (2004), S. 910 und Daniels (2002), S. 67; Mit dieser Sichtweise sind sowohl ökologische Gesichtspunkte natürlicher Funktionen als auch soziale Aspekte wie Ungleichverteilung von Gesundheitsrisiken abgedeckt.

²⁰¹³ Vgl. Daniels (2002), S. 76

²⁰¹⁴ Vgl. Brunner (2001), S. 3

²⁰¹⁵ Vgl. Stigliani und Anderberg (1994), S. 122

²⁰¹⁶ Vgl. Kleijn (1999), S. 8

tungen, wie sie z. B. in der PIOT beschrieben sind.²⁰¹⁷ Allerdings lässt sich nicht letztgültig klären, ob es sich bei der PIOT um eine Variation der MFA handelt oder ob beide Instrumente als eigenständig zu betrachten sind. Unstrittig ist jedoch, dass beide eine ähnliche Informationsgrundlage liefern und auf ähnlichen Daten basieren.²⁰¹⁸ Durch unterschiedliche räumliche Skalierung lassen sich ökologische Schwerpunkte von industriellen Produktionsprozessen, Branchen oder konsumtiver Nachfrage ermitteln.²⁰¹⁹ Für die operative Steuerung der IÖ sind die mikro- und meso-ökonomischen Ansätze besonders relevant. Auf dieser Skalengröße liegen jedoch derzeit noch keine integrierten Modelle vor. Weder die Stoff- und Energieströme noch deren Verbindung zu ökonomischen Größen werden auf mikro- und meso-ökonomischer Ebene regelmäßig und systematisch analysiert.²⁰²⁰ Das Folgende ist damit rein präskriptiver Natur und gibt eine normative Forderung wieder, ohne die das Konzept IÖ nicht eingelöst werden kann. Für das Idealszenario gehören diese Instrumente quasi zum ökonomischen Tagesgeschäft. Es werden relevante Informationen für das regionale Management im Hinblick auf eine Substanz oder Stoffgruppe erhoben, wobei sowohl direkte als auch indirekte Stoffflüsse berücksichtigt werden können.²⁰²¹ Die relative Bedeutung eines Stoffes für die regionalen Ökosysteme wird im Verhältnis zur ökonomischen Aktivität anhand der In- und Outputströme, der Depots und der Verluste der betreffenden Substanz analysiert.²⁰²² Im Idealfall können die stofflichen Emissionen verortet werden und Umweltanalysen der Immissionen bzw. Konzentrationen der Stoffe in der Umwelt gegenübergestellt werden.²⁰²³ Die Systemgrenzen und der Zeitraum werden hierfür definitiv festgelegt, um raumzeitliche Vergleiche anstellen und regionale Zu- und Abflüsse definieren zu können. Deshalb unterscheidet man bei der MFA je nach Umfang des betrachteten Systems die prozessorientierte MFA als betriebliches und die industriebasierte MFA als raumübergreifendes Konzept.²⁰²⁴ Idealerweise steht den Entscheidungsträgern dann zumindest eine statische Matrix mit Stoff- und Energie-

²⁰¹⁷ Vgl. hierzu Abschnitt 5.5.3

²⁰¹⁸ Vgl. Daniels (2002), S. 74

²⁰¹⁹ Vgl. Daniels und Moore (2001), S. 70

²⁰²⁰ Vgl. Sinclair, Papathanasopoulou, Mellor u.a. (2005), S. 70

²⁰²¹ Vgl. Bailey, Allen und Bras (2004), S. 62

²⁰²² Vgl. Timmermans und van Holderbeke (2004), S. 936

²⁰²³ Vgl. Lifset (2000), S. 2; Diese Ableitung von Ursache-Wirkungsbeziehungen ist jedoch komplex, da Unwägbarkeiten wie historische Ereignisse und Transmissionswege berücksichtigt werden müssen – deshalb sind diese Ableitungen nicht sehr verbreitet.

²⁰²⁴ Vgl. Kytzia und Nathani (2004), S. 146

stromwerten für einen definierten Zeitraum und/oder definierte Raumausschnitte zur Verfügung, an Hand derer das Ausmaß des anthropogenen Metabolismus analysiert werden kann, allerdings hoch aggregiert.²⁰²⁵ Für die Umsetzung der IÖ müssten damit die interindustriellen Verflechtungen wie sie in Abbildung 16 (Vernetzung von EIPs) gezeigt wurden, regelmäßig informatorisch abgedeckt werden. Dabei gelten alle nicht vom Menschen kontrollierten Kompartimente der Lebenswelt als Umwelt. Treten mengenmäßige Lücken in der Verfolgung der Ströme auf, so ist dies ein Hinweis auf unkontrollierte Dissipation und auf den Verbleib der Stoffe an unerwünschter Stelle. Dies ist das hauptsächliche Erkenntnisinteresse, da die ungewollte Dissipation in die Umwelt die Ursache der meisten ökologischen Probleme ist. In solch einem Fall müssen dann prophylaktische Maßnahmen am Ort der Entstehung des Stoffstromes oder zumindest am Ort der Dissipation eingeleitet werden. Es steht also bei den geringen Mengen weniger der Verlust an nutzbaren Ressourcen im Vordergrund als vielmehr die Vermeidung von Umweltschäden durch dissipative Verluste. Die lange geltende Sichtweise einer Abfallwirtschaft als End-of-pipe-Hilfsfunktion weicht einer Sichtweise, in der sie integraler Bestandteil der produktiven Tätigkeiten ist und somit Teil eines alle Lebenszyklen von Produkten umfassenden Stoffstrommanagements wird, das über die MFA gesteuert wird. Letztendlich braucht man jedoch für eine richtungssichere Bewertung verschiedener Produkt- und Produktionsalternativen zur Erstellung eines definierten Nutzens die Information über den kompletten Lebensweg, sowohl was die Herkunft als auch den Verbleib aller Komponenten des Produktes betrifft. Es bedarf dafür der Berücksichtigung der holarchischen Beziehungen der Stoffströme auf verschiedenen Systemebenen mit exakter Abgrenzung sich teilender und zusammengeführter Mengenströme. Erst dann können richtungssicher Entscheidungen im Sinn eines ökologischen Managements entlang der Wertschöpfungskette getroffen werden, da sich Veränderungen an einer Stelle der Kette auf den gesamten Prozess auswirken können.²⁰²⁶ Dies ist eine komplexe Problemstellung und beim derzeitigen Stand nicht gegeben, da der gesamte Herstellungsprozess von der Rohstoffgewinnung bis zum Endprodukt viele

²⁰²⁵ Vgl. Sinclair, Papathanasopoulou, Mellor u.a. (2005), S. 71 und Kleijn (2000), S. 7; Problematisch wird diese Form der Abbildung, wenn für die Erfassung von Stoffströmen bei Vorprodukten Gewichtsmaße und für fertige Produkte Stück-, Flächen- oder Volumenmaße verwendet werden – hier stößt das Konzept an die Grenzen der Darstellbarkeit, da gerade bei komplexen industriellen Gütern die Gewichtsanteile unterschiedlicher Bestandteile innerhalb einer Güterklasse stark variieren können.

²⁰²⁶ Vgl. Krcal (1999), S. 130

Verarbeitungsschritte an unterschiedlichen Orten durchläuft, die alle informationstechnisch abgedeckt sein müssten, um die aus Sicht Nachhaltiger Entwicklung beste Alternative zur Produkterstellung oder Nutzenbereitstellung auswählen zu können.²⁰²⁷ Darüber hinaus ist auch die Verbindung zwischen einzelbetrieblicher Mikro-Ebene und volkswirtschaftlicher Makro-Ebene noch nicht gelöst.²⁰²⁸ Auch für die Evaluation der Ergebnisse nach den Mengenerhebungen ist noch kein allgemeingültiger Ansatz definiert, was den Vergleich unterschiedlicher Erhebungen erschwert.²⁰²⁹ Die Verfolgung der industriellen Stoffströme ist demnach noch sehr lückenhaft und noch nicht konsistent über verschiedene sachliche oder raumzeitliche Ebenen möglich.²⁰³⁰ Eine flächendeckende Einführung und damit kostengünstige Bereitstellung entsprechender Informationen ist damit noch auf Jahre hinaus nicht realisierbar.²⁰³¹

MFA/SFA innerbetrieblich

Zur Analyse von Stoffflussprozessen innerhalb von Unternehmen oder zwischen den Betrieben eines EIP eignen sich jedoch zumindest die bereits erprobten datentechnischen Instrumente zur Prozess-Simulation.²⁰³² Alle hierfür erforderlichen Informationen über Prozesse und Stoffeigenschaften müssen zuvor selbst erarbeitet werden, so lange es noch keine genormten Datenbanken dafür gibt. Die dissipativen Verluste in Form von Emissionen lassen sich damit modellieren und somit lässt sich die ökologische Gesamtwirkung des modellierten Systems berechnen und optimieren. Durch die Kombination mit Messwerten über den Produktnutzen lassen sich Indikatoren für die Materialproduktivität berechnen, die in einer IÖ kontinuierlich gesteigert werden soll.²⁰³³ Industrielle Produktions- und Wertschöpfungsprozesse verlaufen durch die zunehmende Spezialisierung, die mit der Globalisierung noch beschleunigt wird, über immer mehr unterschiedliche Verarbeitungsstufen, die jeweils mit Bündelung und Verteilung von zu unterscheidenden Stoffkompartimenten einhergehen, was die Grenze zu den Materialflussanalysen fließend macht. Die zunehmende Vielfalt an Verarbeitungs-

²⁰²⁷ Vgl. Chen und Guo (2005), S. 10

²⁰²⁸ Vgl. Weisz (2001), S. 6

²⁰²⁹ Vgl. Brunner (2002), S. 8

²⁰³⁰ Vgl. Brunner (2001), S. 4

²⁰³¹ Vgl. Allen (2005), S. 10

²⁰³² Vgl. Casavant und Côté (2004), S. 905

²⁰³³ Vgl. Bailey, Bras und Allen (2004), S. 71

schritten- und Prozessen mit diversen Einsatz-, Hilfs-, Roh- und Betriebsstoffen führt zu einer kaum überschaubaren Verästelung von Stoffströmen und Vermischungen. Insbesondere der Verbund unterschiedlicher Stoffe zu industriell weiterverarbeitbaren Materialien lässt sich beim derzeitigen Stand der Informationsbereitstellung nur unzureichend abbilden. Dazu kommen materielle Bestände in der Anthroposphäre, die nicht bekannt sind (missing stocks), da bislang nur unvollständige Informationen über den Verbleib der Materialien und Stoffe erhoben werden.²⁰³⁴ Diese Stoffe sind faktisch für eine weitere Nutzung verloren. Dabei wäre gerade die Kenntnis der Stoffwege und deren Umfang in Gewichtseinheiten für die Bewertung der Stoffströme innerhalb eines definierten Ausschnittes des industriellen Produktionssystems jeweils handlungsleitend für lokal oder regional zu treffende Entscheidungen.²⁰³⁵ Ebenfalls zu berücksichtigen sind unterschiedliche Arten der Verbindung von Stoffen zu Materialien, dieser Materialien zu Vorprodukten oder Elementen von Produkten, die wiederum durch unterschiedliche Verbindungstechniken zu Endprodukten zusammengesetzt werden. Es dürfte derzeit kaum ein technisches Produkt auf dem Markt sein, dessen tatsächliche stoffliche Zusammensetzung vollkommen bekannt ist, weil zwischen den Produzenten der einzelnen Verarbeitungsstufen diesbezüglich keine oder nur unzureichende Informationen übermittelt werden. Um aber die ökologische Wirkmächtigkeit von Materialströmen einschätzen und steuern zu können, ist gerade diese Kenntnis unabdingbar. Ein Mobiltelefon z. B. besteht bei einem Gewicht von ca. 100g aus über 800 Einzelteilen aus aller Welt. Dabei wird bei der Herstellung aller Komponenten in etwa das 450fache an Masse in Form von Stoffen in Bewegung gesetzt.²⁰³⁶ Die genaue Kenntnis über die Spuren dieser Stoffströme lassen sich über die einzelnen Produktionsstufen derzeit jedoch kaum zurückverfolgen und somit lässt sich deren gesamte ökologische Wirkung auch nur annähernd abschätzen. Das Wissen über toxikologische und Mengenwirkungen, die den Nachhaltigkeitsregeln zuwider laufen, ist noch rudimentär oder nur für eine kleine Auswahl von Stoffen und Stoffgemischen verfügbar. Um also die für eine IÖ notwendige Informationsverfügbarkeit und Transparenz zu ermöglichen ist ein noch nicht absehbarer Aufwand vonnöten. Inhaltlich sind darüber

²⁰³⁴ Vgl. Brunner (2004), S. 5

²⁰³⁵ Vgl. Kytzia, Faist und Baccini (2004), S. 879

²⁰³⁶ Vgl. Schmidt (2004), o. S.

hinaus Stoffstrombilanzen und -analysen zu unterscheiden. Die Unterscheidung zwischen Stoffstromanalysen und Stoffbilanzen liegt in ihrer Dimensionalität.²⁰³⁷

- Stoffbilanzen sind eindimensionale Betrachtungen eines bestimmten Stoffes, in der Regel wird der Übertritt von einem System in ein anderes bilanziert
- Stoffstromanalysen untersuchen das mehrdimensionale Zusammenspiel verschiedener Stofffraktionen innerhalb eines bestimmten Systems; hier geht es um das Verständnis des gesamten stoffflussinduzierenden Prozesses und dessen Wirkungen

Eine Stoffflussanalyse umfasst eine Abfolge von Methodenschritten, die die Abgrenzung des zu beschreibenden Systems, die Systembeschreibung und Datenerfassung sowie die Auswertung und Interpretation der Ergebnisse beinhalten.²⁰³⁸

Die Interpretation der Ergebnisse einer MFA/SFA erfordert dann unterschiedliche Schritte:²⁰³⁹

- Definition der Stoffe, die problematisch für die Umwelt oder die menschliche Gesundheit sein können
- Analyse der direkten industriellen Ursachen des Stoffstromes und der Verluste
- Entscheidungen über Maßnahmen zur Steuerung und Kontrolle der Ströme
- Überprüfung der Effektivität der Maßnahmen

Allerdings sind solche Analysen auch mit Grenzen behaftet, da es sich um statische, lineare und vereinfachte Modelle handelt und die Aggregation unterschiedlicher Stoffe die Aussagekraft für das Gesamtsystem mindert bzw. nicht wertfrei möglich ist. Durch fehlende Standardisierung sind Ergebnisse verschiedener Untersuchungen nur bedingt vergleichbar, weshalb MFA und SFA nur im Zusammenhang mit anderen Instrumenten eingesetzt werden sollten.²⁰⁴⁰ Im Rahmen der Untersuchung von Umfang und Wirkungen von Stoffströmen kommt in jüngster Zeit zunehmend der Begriff MIPS in die Diskussion, der bereits in der Ökologischen Ökonomik als übersichtliches Instrument

²⁰³⁷ Vgl. Koch (2000), S. 192

²⁰³⁸ Vgl. Frischknecht und Schmied (2002), S. 31f

²⁰³⁹ Vgl. Timmermans und van Holderbeke (2004), S. 941

²⁰⁴⁰ Vgl. Bailey, Bras und Allen (2004), S. 86f

zur Verdeutlichung von Stoffströmen vorgestellt wurde.²⁰⁴¹ Hierbei werden die direkten und indirekten ökologischen Impacts im Rahmen einer Materialintensitätsanalyse in Gewichte beanspruchter Ressourcen umgerechnet und aufaddiert.²⁰⁴² In der Aufstellung der bewegten Massen pro erbrachter Serviceeinheit wird ein Indikator gesehen, der annähernd ein Maß für die ökologische Wirkung darstellt, da jede Stoffbewegung eine Wirkung auf die Ökosysteme hat.²⁰⁴³ Darüber hinaus ist durch die thermodynamischen Erkenntnisse der Kuppelproduktion verdeutlicht, dass jeder Materialinput, der nicht in das Produkt eingeht, ein potenziell unerwünschtes Kuppelprodukt darstellt. Berücksichtigt werden dabei die Material-Inputs, die durch Energie- und Rohstoffbereitstellung, Transportleistungen und Entsorgung anfallen. Durch die Bildung von Modulen mit hinterlegten MIPS für bestimmte Leistungen liegt eine Datenbasis vor, die die Berechnung von produktspezifischen MIPS erleichtern soll. Dies ergibt einen stets vergleichbaren Indikator, da nur eine relevante Messgröße vorliegt. Das MIPS-Konzept hat aber auch unübersehbare Schwächen. Betrachtet man die Wirkungen der Wirtschaftstätigkeit auf stofflicher Ebene, so ist es in der Regel mit einer rein mengenbezogenen Herangehensweise nicht getan. Außerdem steht und fällt die Berechnung mit der Validität der zu Grunde liegenden Daten, die nicht für jeden Fertigungsschritt neu erhoben werden. Auch die qualitativen Wirkungen von Stoffströmen auf ökologische Zusammenhänge müssen berücksichtigt werden. MIPS liefert also zumindest richtungssichere Abschätzungen, wenn man sich der Grenzen der Erhebung bewusst ist. Das Konzept offenbart seine Schwäche darin, dass nur die Flussgröße „Gewicht“ Eingang in die Bewertung findet, was bei Abwägungsprozessen über die Bewertung und Gestaltung von Stoffströmen unzureichend ist.²⁰⁴⁴ Dafür gibt es weitergehende Instrumente.

Sonderform Emergy-Accounting

Eine noch nicht sehr verbreitete Sonderform der physikalischen Abbildung von Stoff- und Energieströmen stellt das Emergy-Accounting dar, das sich allerdings noch in der Entwicklungsphase befindet. Es ist noch komplexer in Aufbau und Durchführung, da

²⁰⁴¹ Durch die Produktorientierung ist MIPS ein Mischkonzept, das auch der LCA zugeordnet werden kann; Vgl. Daniels und Moore (2001), S. 81

²⁰⁴² Vgl. Liedtke und Hinterberger (1998), S. 190

²⁰⁴³ Vgl. Templet (2004a), S. 860

²⁰⁴⁴ Vgl. Hofmeister (1998), S. 169f

damit versucht wird, die „physikalische Wahrheit“ der Stoffströme noch realitätsnäher abzubilden, indem stoffliche und energetische Größen kombiniert werden. Damit soll der fundamentale ökologische Wert von Produkten und Dienstleistungen ermittelt werden. Diese Sichtweise entspringt den Erkenntnissen der Thermodynamik und kommt dem Ideal, die Entropie als physikalische Währung ökonomischer Vorgänge einzuführen, schon sehr nahe, da letztendlich die in einem Produkt gespeicherte (solare) Prozessenergie sowohl ein Maß für den ökologischen und thermodynamischen als auch für den ökonomischen Aufwand darstellt.

7.6.1.3 LCA/LZA

Life Cycle Assessment (LCA)²⁰⁴⁵ bzw. Lebenszyklusanalyse (LZA), produktorientierte ökologische Informationssysteme (PIS), Produktlinienanalyse (PLA) oder Produkt-Ökobilanzierung sind sich ähnelnde Ansätze, die die Umweltwirkungen eines Produktes über die komplette Wertschöpfungskette „*from cradle to grave*“²⁰⁴⁶ bzw. „*from cradle to cradle*“²⁰⁴⁷ bis zum Ende seiner Nutzung analysieren.²⁰⁴⁸ Damit wird das LCA²⁰⁴⁹ zu einem wesentlichen Managementinstrument für die Umsetzung einer IÖ, da gerade die Produkterstellung über mehrere Wertschöpfungsstufen hinweg unterschiedliche Unternehmen und Betriebe betrifft.²⁰⁵⁰ Diese Verflechtungen können über eine LCA als eine zu optimierende Kette dargestellt werden, was einen wichtigen Aspekt der IÖ abdeckt.²⁰⁵¹ Es können damit verschiedene Produktalternativen oder funktionelle Einheiten eines Produktes hinsichtlich ihrer ökologischen Wirkungen verglichen und damit ein strategischer Beitrag zu einer richtungssicheren Produktpolitik geleistet werden.²⁰⁵² In der letzten Stufe einer LCA für ein spezifisches Produkt steht die

²⁰⁴⁵ Wird andernorts auch als Life Cycle Analysis bezeichnet, genauso abgekürzt und meint das gleiche; Vgl. Kituyi (2004a), S. 1048 und Kleijn (1999), S. 8

²⁰⁴⁶ Garner und Keoleian (1995), S. 11

²⁰⁴⁷ Braungart und McDonough (2003), S. 14; An vorigem und diesem Zitat lässt sich erkennen, dass auch umweltökonomische Metaphern einer Evolution unterliegen.

²⁰⁴⁸ Vgl. Sonnemans, Castells und Schuhmacher (2004), S. 37, Schwarz und Strebel (1999), S. 205 und Konrad (2005), S. 90

²⁰⁴⁹ Im Weiteren werden alle Methodenbausteine unter dem Begriff LCA subsumiert, was allerdings zu einer Verallgemeinerung führt, die unter dem Begriff einen ganzen Strauss unterschiedlicher Ansätze und Werkzeuge zusammenfasst – auch hier gibt es Bedarf für eine dezidierte Auseinandersetzung, die in dieser Arbeit nicht geleistet werden kann; Vgl. de Haes, Heijungs, Suh u.a. (2004), S: 23ff

²⁰⁵⁰ Vgl. Baumann (2004), S. 293

²⁰⁵¹ Vgl. Schlarb (2001), S. 16

²⁰⁵² Vgl. Kytzia und Nathani (2004), S. 146 und Field, Kirchain und Clark (2000), S. 72

Evaluation zur ökologischen Optimierung des Produktdesigns und der Produktionsschritte für ein nachhaltiges Produkt.²⁰⁵³ Basis hierfür kann eine systematische Aufstellung der Bewertung der Eigenschaften technische Machbarkeit, ökologische Wirkungen, soziale Wirkungen, ökonomisches Ergebnis, Kundennutzen und Produktionslogistik über alle Lebensphasen sein. Allerdings ist allein dies eine sehr komplexe Aufgabenstellung, da unterschiedliche Alternativen verschiedene ökologische Wirkungen haben, die für einen Vergleich bewertet und abgewogen werden müssen.²⁰⁵⁴ Andererseits kann eine ökologische Wirkung auf verschiedene Ursachen zurückzuführen sein, was Synergien mit einschließt. Allein an dieser Aufstellung ist zu erkennen, dass im Rahmen einer LCA multivariate Sachverhalte, die sich gegenseitig beeinflussen, auf das Ziel nachhaltige Entwicklung hin optimiert werden sollen.²⁰⁵⁵ Das Ergebnis wird sich schwerlich in einem objektiven Wert ausdrücken lassen, sondern zeigt sich eher in einer Matrix alternativer Lösungen. Außerdem hängt ein Großteil der Wirkungen während der Nutzungsphase vom Nutzerverhalten und von der Nutzungsdauer ab, die in der LCA aufgrund der komplexen Möglichkeiten nicht explizit berücksichtigt werden können, sondern Durchschnittswerte erfordern.²⁰⁵⁶ Potenzielle Wirkungen sind darüber hinaus mehrdimensional und müssen entsprechend gewichtet werden. Dimensionen sind die ökotoxische Schädlichkeit (Qualitätseffekte), Störung der natürlichen Balance (Mengeneffekte), Entropiesteigerung (physikalische Gewichtung) und Verletzung gemeinschaftlicher Verantwortung (moralische Gewichtung).²⁰⁵⁷ Diese Informationen müssen für betriebswirtschaftliche Entscheidungen situationsgerecht aufbereitet werden. Auf der anderen Seite wird bei entsprechender Kommunikation zwischen Produzenten und Konsumenten die „Welt hinter dem Produkt“ für die Kunden transparenter und sie können entsprechende Konsumententscheidungen treffen.²⁰⁵⁸ Als Mittler treten hierbei häufig Non-Governmental-Organisations (NGOs) auf, die als vertrauenswürdige

²⁰⁵³ Vgl. Graedel (1999), S. 87

²⁰⁵⁴ Vgl. Graedel, Horkeby und Norberg-Bohm (1998), S. 360; Dabei können Kriterien wie Raumwirkungen, Wichtigkeit des betroffenen Ökosystems, Schwere der Einwirkung, Verteilung der Wirkungen und zeitlicher Verlauf herangezogen werden.

²⁰⁵⁵ Vgl. Seppälä (2002), S. 64

²⁰⁵⁶ Vgl. Field, Kirchain und Clark (2000), S. 89

²⁰⁵⁷ Vgl. Fischer-Kowalski, Haberl und Payer (1994), S. 340

²⁰⁵⁸ Vgl. Leeuw (2005), S. 7

Informationsmakler wahrgenommen werden.²⁰⁵⁹ Darüber hinaus werden relevante Informationen für ein integriertes Supply Chain Management (SCM) und DfE generiert, was darauf abzielt, die Umweltwirkungen über alle Wertschöpfungsstufen der Produktherstellung zu analysieren und zu minimieren.²⁰⁶⁰ Dabei steht das durchführende Unternehmen mit in der Verantwortung aller vorgelagerten Wertschöpfungsstufen und versucht Einfluss auf die ökonomische, ökologische und soziale Optimierung der gesamten Zulieferkette auszuüben bzw. eine entsprechende Kooperation zwischen den beteiligten Betrieben zu gestalten, um die Umweltstandards über die gesamte Kette zu koppeln.²⁰⁶¹ Allerdings ist die direkte Kopplung von SCM und LCA noch wenig ausgeprägt und bedarf des Einsatzes neuer Managementansätze und Informationstechnologie.²⁰⁶² Chancen und Risiken einer solchen Kooperation werden zwischen den beteiligten Unternehmen verteilt, was die Wahrscheinlichkeit der Umsetzung nachhaltiger Verbesserungen wesentlich steigert.²⁰⁶³ Weitere Vorteile sind die universelle Einsetzbarkeit und, zumindest für ökologische Größen, die holistische Sichtweise. Darin liegt jedoch auch ein Nachteil, da nur ökologische Aspekte betrachtet werden und andere Nachhaltigkeitsdimensionen nicht berücksichtigt werden.²⁰⁶⁴ Außerdem wird durch die Systemabgrenzung ein beträchtlicher Teil der mit dem Produkt verbundenen ökologischen Wirkungen ausgeklammert. In Studien zur Vollständigkeit von LCAs wird dieser Anteil sogar auf bis zu 50 % geschätzt.²⁰⁶⁵ Es ist somit bei der Verwendung dieses Tools zur Entscheidungsfindung immer das Potenzial suboptimaler Insellösungen zu beachten, auch weil die Modellierung ökologischer Wirkungen in der Regel linear vorgenommen wird. In der Ökologie werden jedoch

²⁰⁵⁹ Vgl. O'Rourke (2005), S. 116; Dies sind Institutionen wie z. B. Öko-Test, Greenpeace oder Eco-top-ten, die wesentlich zur Bewusstseinsbildung der interessierten Öffentlichkeit beitragen.

²⁰⁶⁰ Vgl. Zhu und Côté (2004), S. 1026; Seuring unterscheidet noch „Integrated chain management“ von SCM und betrachtet ersteren als erweiterten Ansatz; Vgl. Seuring (2004), S. 1061 – hier sollen beide Ansätze unter dem Begriff des integrierten SCM subsumiert werden, da sie prinzipiell die gleiche Zielsetzung verfolgen.

²⁰⁶¹ Vgl. Seuring und Müller (2006), S. 5 und Kovács (2006), S. 52

²⁰⁶² Vgl. Faruk, Lamming, Cousins u.a. (2001), S. 16

²⁰⁶³ Vgl. Winkler (2006), S. 11

²⁰⁶⁴ Vgl. de Haes, Heijungs, Suh u.a. (2004), S. 20

²⁰⁶⁵ Vgl. Lenzen und Treloar (2002), S. 138; Vorschläge, damit umzugehen bzw. den Fehler zu reduzieren, tendieren zu kombinierten Werkzeugen aus LCA und Input-Output-Analyse von vorgelagerten Prozessen; Dadurch wird die Vorgehensweise jedoch auch komplexer und es wird von Kosten-Nutzen-Abwägungen abhängen, ob sich solche Ansätze durchsetzen; Zumindest ist jedoch beim Vergleich von Produkt-Komponenten sicher zu stellen, dass der berücksichtigte Systemumfang gleich ist – allerdings ist damit noch nicht sicher gestellt, dass die tatsächlich bessere Alternative bevorzugt wird.

vorwiegend nicht-lineare Zusammenhänge mit ungleicher zeitlicher Verteilung entdeckt. Aus diesen Gründen ist auch die LCA ein Instrument, das sich noch in der Entwicklung befindet und dessen Einsatzmöglichkeiten weiter ausgedehnt werden. Ein Ansatz ist die Erweiterung der Bewertungsmethoden über bereits bekannte Indikatorenansätze wie der Pressure-State-Response-Ansatz der OECD.²⁰⁶⁶ Allerdings ist als Hemmschwelle für die praktische Anwendung die Komplexität und der Datenbedarf bzw. Arbeitsaufwand zu beachten. Hier bedarf es der Weiterverfolgung von Konzepten wie der Bereitstellung von Datenbanken mit ökologischen Kennwerten von Prozessen und Materialien, um den Aufwand für LCAs in vertretbarem Rahmen zu halten.²⁰⁶⁷ Wenn aus bereits bestehenden Datensätzen zu einzelnen Produktionsprozessen unter exakter Grenzziehung und Sorgfalt der Auswahl Informationen für ein LCA zusammengestellt werden, verringert sich der Aufwand und es werden trotzdem relevante Entscheidungsgrundlagen geschaffen.²⁰⁶⁸ Hier wird noch viel Arbeit notwendig sein, auch was die Kooperationsbereitschaft der beteiligten Branchen und Einzelfirmen betrifft.

Ablauf einer LCA

Der Ablauf einer LCA teilt sich in die Phasen der Zieldefinition, Sachbilanzierung, Wirkungsbilanzierung und Bewertung bzw. Interpretation auf.²⁰⁶⁹ Eine funktionale bzw. historische Differenzierung kann zwischen der Wertschöpfungsphase (Upstream-Pollution) und der Nachnutzungsphase (Downstream-Waste) mit jeweils typischen Mustern des Metabolismus vorgenommen werden.²⁰⁷⁰ Upstream ist von der Rohstoffebene bis zur Nutzung eine zunehmende Wertschöpfung zu verzeichnen, downstream ist beim Recycling von der Wiederverwendung bis hinab zur stofflichen Weiterverwertung eine zunehmende Wertvernichtung zu konstatieren.²⁰⁷¹ Wesentlich ist die Definition von Systemgrenzen als Ausschnitt der vorgefundenen Gesamtzusammenhänge, über die die Flüsse von Stoffen und Energie bilanziert

²⁰⁶⁶ Vgl. Kijak und Moy (2004), S. 36; Dieser wurde in Abschnitt 5.5.2 kurz angerissen.

²⁰⁶⁷ Vgl. Borland und Wallace (1999), S. 37

²⁰⁶⁸ Vgl. Matthews und Small (2000), S. 8; Für die Emissionsfaktoren unterschiedlicher Elektrizitätserzeugung gibt es z. B. entsprechende regionstypische Tabellen – solche Werte müssen also nicht selbst erhoben werden.

²⁰⁶⁹ Vgl. Hertwich, Hammitt und Pease (2000), S. 14

²⁰⁷⁰ Vgl. Walls und Palmer (2000), S. 9

²⁰⁷¹ Vgl. Fleig (Hrsg. 2000), S. 16

werden.²⁰⁷² Allerdings sind alle Phasen durch subjektive Bewertungen und Entscheidungen seitens der Durchführenden gekennzeichnet, so dass für eine Vergleichbarkeit eine hohe Transparenz der Methodenbausteine erforderlich ist.²⁰⁷³ Insbesondere die Bewertungsphase erfordert hohe Transparenz, um zumindest eine annähernde Vergleichbarkeit unterschiedlicher Studien zu erreichen.²⁰⁷⁴ Schon für die Ermittlung produktrelevanter Emissionen gibt es unterschiedliche Ansätze wie direkte Messungen, Berechnung von Mengenbilanzen über Verhältniswerte zwischen Input, Prozess und Output, Verwendung von allgemeinen Emissionsfaktoren, Verwendung von komplexeren Prozessmodellen zur Berechnung oder inverse Berechnungen aus gemessenen Immissionen.²⁰⁷⁵ Dabei können die Emissionen einer bestimmten Aktivität raumzeitlich variieren oder müssen evtl. unterschiedlichen Koprodukten zugewiesen werden, die dem gleichen Prozess entstammen.²⁰⁷⁶ Doppelverbuchungen von Umweltverbräuchen sind dabei zu vermeiden. Die einzigen nachweisbar exakten Werte liefert die Messung an der Emissionsquelle, doch diese ist nur in seltenen Fällen praktikabel und noch seltener ökonomisch durchführbar, weshalb für einen breiten Einsatz auf die mittelbare Erhebung der relevanten Daten zurückgegriffen werden muss. In der Phase des Life Cycle Impact Assessment werden die erhobenen Daten ökologisch gewichtet und bewertet, um die ökologische Gesamtwirkung einer Produktalternative abzubilden. Dabei müssen multiple Attribute der verschiedenen Produktalternativen in einem möglichst transparenten und nachvollziehbaren Prozess gegeneinander abgewogen werden.²⁰⁷⁷ Hierfür werden in der Regel Matrizenrechnungen eingesetzt. Die raumzeitliche Abgrenzung des Einflussbereiches der LCA, die abzudeckenden Bereiche wie Umweltrisiken, Gesundheitsgefahren und Arbeitssicherheit, die zu bestimmenden Attribute dieser Bereiche sowie deren Gewichtung und Bewertung sind von Belang für ein zielführendes Ergebnis. Allein diese grobe Aufteilung ergibt schon eine Ahnung von der Komplexität, die mit einer solchen Modellierung abgebildet

²⁰⁷² Vgl. Berlin und Uhlin (2004), S. 188

²⁰⁷³ Vgl. Khan, Sadiq und Veitch (2004), S. 61

²⁰⁷⁴ Vgl. Hertwich, Hammitt und Pease (2000), S. 15ff

²⁰⁷⁵ Vgl. Frey und Small (2003), S. 9

²⁰⁷⁶ Vgl. Weidema (2000), S. 13; Dies kann gelöst werden durch 100%ige Verbuchung auf das dominante Koprodukt; Wirkungen, die das Nebenprodukt in anderen Prozessen auslöst, können ebenfalls dem dominanten Koprodukt zugewiesen werden.

²⁰⁷⁷ Vgl. Seppälä, Basson und Norris (2001), S. 48

werden soll und lässt den ökonomischen Aufwand erahnen, der damit verbunden ist.²⁰⁷⁸ Die Anforderungen an die Datengrundlage der Bewertungen sind sehr hoch, damit als Entscheidungsgrundlage vergleichbare Daten und Ergebnisse zur Verfügung stehen.²⁰⁷⁹ Die damit einhergehende Forderung nach Transparenz der Daten für eine ganzheitliche Bewertung stößt in der Regel aber schnell auf betriebswirtschaftliche Grenzen, da sich aus den Daten, sollten sie öffentlich gemacht werden, Rückschlüsse auf Produktionsmethoden ziehen lassen, die als Betriebsgeheimnisse gelten. Hier ist an den Schnittstellen zur Öffentlichkeit mit den größten Problemen bei der konsequenten Umsetzung der Erhebungsmethoden zu rechnen. Ökobilanzen werden in der Regel als betriebswirtschaftliches Managementinstrument eingesetzt und sind nicht zur Weitergabe an Zulieferer oder Abnehmer bestimmt. Aber nur die Weitergabe würde das Aufstellen einer lückenlosen LCA ermöglichen. Dies scheint nur in Netzwerken zu funktionieren, in denen ein langjähriges Vertrauen aufgebaut wurde, wie z. B. in EIPs. Ferner ist davon auszugehen, dass die ökologische Relevanz mit zunehmender Nähe zum Endprodukt zunimmt, das Know-how am Ort über die bereits ausgelösten ökologischen Wirkungen jedoch tendenziell abnimmt. Daran könnte nur die durchgehende Weitergabe ökologisch relevanter Informationen von der Grundstoffgewinnung über alle weiteren Fertigungsschritte etwas ändern. Genau wie die Kosten jedes Schrittes der Fertigung als Information im Preis vorliegen, müssten den jeweiligen Einkäufern Informationen über die akkumulierten ökologischen Wirkungen vorliegen. Dafür bedarf es jedoch eines standardisierten Bewertungsrasters, das z. B. mit den ISO Normen der Reihe 14040 für die LCA nur in grober Form vorliegt.²⁰⁸⁰ Die offen gehaltenen Schritte der Auswahl von Wirkindikatoren, deren Gewichtung und Zusammenfassung erschweren die Bildung von validen Vergleichsreferenzen.²⁰⁸¹

²⁰⁷⁸ Vgl. Lifset (2000), S. 2

²⁰⁷⁹ Vgl. Spiller (1998), S. 151

²⁰⁸⁰ Vgl. ISO (Hrsg. 2000), S. 10

²⁰⁸¹ Vgl. ISO (Hrsg. 2003), S. 6

7.6.1.4 Spezifische Managementanforderungen

Nachhaltige IÖ umfasst alle Ebenen der Gesellschaft und bringt völlig neue Managementanforderungen mit sich, die Pioniergeist und Kreativität vereinigen.²⁰⁸² Neuartige Strukturen und Denkmodelle in der industriellen Produktion erfordern neue Managementansätze, die den komplexen Problemstellungen angemessen sind.²⁰⁸³ Hier ist nicht „mehr desselben“ angebracht, sondern ein adäquater Ansatz für ein holistisches Nachhaltigkeitsmanagement erforderlich, das den vernetzten Phänomenen der Welt mit adaptivem Systemverständnis und vernetztem Denken begegnet und die Möglichkeiten der Innovation dementsprechend einsetzt.²⁰⁸⁴ Das für Insellösungen vielleicht effiziente Denken muss für die Umsetzung einer nachhaltigen IÖ einem organischen und kreativen Denken im Management weichen und ist auf entsprechende Strukturen zur systembildenden und systemkoppelnden Koordination angewiesen.²⁰⁸⁵ Dafür ist sowohl der konstruktive Aufbau als auch die operationale Steuerung eines EIPs auf die Ansprüche der öko-industriellen Entwicklung auszurichten.²⁰⁸⁶ Konventionelle Strategien ökonomischer Optimierung greifen für eine IÖ zu kurz, alte Verhaltensmuster verschärfen die ökologische Krise und tragen nicht zur Lösung bei.²⁰⁸⁷ Organisatorische Einzeldisziplinen entlang der Wertschöpfungskette, die nunmehr als Wertschöpfungskreislauf anzusehen ist, werden über den integrativen Aspekt der Stoffströme gemeinsam berücksichtigt. Alle Managementfunktionen sind somit ins Stoffstrommanagement (SSM) eingebunden. SSM wird zwar landläufig als eigene Disziplin betrachtet, dieser Ansatz führt aber letztendlich nur den monokausalen linearen Managementansatz leicht differenziert weiter. Das war in der Phase der Industrialisierung zwar sehr erfolgreich, wird den aktuellen Entwicklungen und den zukünftigen Erfordernissen einer nachhaltigen Entwicklung aber nicht mehr gerecht. Gebraucht wird eine ökologische Kompetenz, die folgendes beinhaltet:²⁰⁸⁸

- Nutzung interdisziplinären Wissens
- Steuerung von interorganisationalen Beziehungen

²⁰⁸² Vgl. Braungart und McDonough (2003), S. 150

²⁰⁸³ Vgl. Posch und Steiner (o.J.), S. 4

²⁰⁸⁴ Vgl. Vester (1999), S. 9

²⁰⁸⁵ Vgl. Zwierlein und Isenmann (1995), S. 132

²⁰⁸⁶ Vgl. Francis und Erkman (2001), S. Background - 36

²⁰⁸⁷ Vgl. Ryan (2001), S. 9

²⁰⁸⁸ Vgl. Cohen-Rosenthal (2003b), S. 65

- Integration nachhaltiger Technologie in alle technischen Prozesse
- Schaffung eines werteorientierten Diskurses über alle Ebenen und Funktionen

Nachhaltiges Stoffstrommanagement stellt damit ein ganzheitliches Komplexitätsmanagement im organischen oder zumindest im verstehenden Sinne der kybernetischen Zusammenhänge dar, um tatsächlich die geforderte Annäherung an die „Spielregeln der Natur“ leisten zu können.²⁰⁸⁹ Dies beinhaltet auch die Entwicklung von Netzwerkstrukturen zur Steuerung des Transformationsprozesses zur IÖ.²⁰⁹⁰ In dem komplexen Systemgefüge aus vernetzten Ökosystemen und vernetzten Produktionssystemen mit vernetzten Managementsystemen ergibt sich die Anforderung einer Navigation im sozio-ökologischen Komplex mit sich kreuzenden Interdependenzen, nicht-linearen Rückkopplungen und Unsicherheit.²⁰⁹¹ Dies erfordert ein funktionsübergreifendes Management und den Transfer von ökologischem Wissen und ökologischer Informationen mit Informationsverdichtung, ohne dass entscheidungsrelevante Inhalte dabei verloren gehen.²⁰⁹² Das bedeutet, dass der intra- und interorganisationalen Integration und Organisation öko-industrieller Prozesse eine tragende Rolle zukommt. Bisher gibt es dafür zwar theoretische Konzepte, letztendlich wirksam im Sinn der Nachhaltigkeit ist jedoch noch kaum eines, da es nicht zur allgemeinen Managementpraxis industrieller Produktion gehört. In der Regel geht es um multivariate Entscheidungen unter Unsicherheit, die eine entsprechende Bewertung der Handlungsalternativen erschwert, da verschiedene Akteure die Optionen unterschiedlich (und auch subjektiv) bewerten. Der Anteil an subjektiver Einschätzung sollte jedoch mit geeigneten Managementinstrumenten so niedrig wie möglich gehalten werden, um zu konsensfähigen Entscheidungen zu gelangen.²⁰⁹³ Es liegen keine eindimensionalen Sachverhalte zur Entscheidungsfindung vor, sondern eine Vielzahl von Variablen, die für eine ökonomisch, ökologisch und sozial optimale Lösung relevant sind und sich gegenseitig beeinflussen. Die kostengünstigste Entscheidung kann, muss aber nicht die ökologisch sinnvollste sein, vergleichbare oder gar standardisierte Kriterien für die sozialen Wirkungen wirtschaftlicher Entscheidungs-

²⁰⁸⁹ Vgl. Huber (1999), S. 5; Hier verstanden als planende Gestaltung des anthropogenen Metabolismus auf wissenschaftlicher Grundlage, ohne die Natursysteme zu gefährden und mit Rückgriff auf die weiter oben dargestellten Erkenntnisse des Geo-Engineering oder geokybernetischen Managements.

²⁰⁹⁰ Vgl. Mirata (2004), S. 982

²⁰⁹¹ Vgl. Cundill, Fabricius und Marti (2005), S. 1

²⁰⁹² Vgl. Bauer und Sheng (2001), S. 103

²⁰⁹³ Vgl. Lenzen (2005), S. 8

gen, die sich auch noch dem Druck der Globalisierung zu stellen haben, liegen noch nicht in konsistenter Weise vor.²⁰⁹⁴ Es fallen also Entscheidungen unter hochgradiger Unsicherheit unter Berücksichtigung einer Vielzahl von Stakeholdern, die darüber hinaus noch langfristig die Kriterien nachhaltiger Entwicklung zu erfüllen haben. Der signifikante Vorteil solcher stakeholderbasierten und transsektoralen Diskursprozesse liegt in der Qualität der daraus entwickelten Ergebnisse.²⁰⁹⁵ Entscheidend ist hierfür der Verlauf und die aktive Steuerung des partizipativen Prozesses. In der realen Entscheidungsfindung sind normaler Weise nicht alle Informationen über unterschiedliche Handlungsalternativen und deren Implikationen verfügbar. Matches zwischen unerwünschten Kuppelprodukten und der Nachfrage nach ebenjenen sind nur über eine konsequente Verfolgung umfassender Informationsbeziehungen möglich. Schon allein auf Unternehmensebene sind damit Implikationen verbunden, die von den Unternehmen verlangen, ressortübergreifend, in voller Verantwortung gesellschaftsbezogen und vorausschauend zu handeln.²⁰⁹⁶ Davon ist die derzeitige industrielle Wirtschaftsweise jedoch weit entfernt. Posch und Steiner fassen die zukünftigen Anforderungen bzw. Herangehensweisen folgendermaßen zusammen:²⁰⁹⁷

- Logische und analytische Denkweisen verbinden
- Individuelle und gruppenorientierte Lösungssuche
- Vertikales und laterales Denken berücksichtigen
- Intelligenz und Emotionale Intelligenz einsetzen
- Extrinsische und intrinsische Motivation abrufen
- Spezialwissen und ganzheitliches Wissen abfragen
- Lineare und zirkuläre Modellannahmen zulassen
- Struktur und deterministisches Chaos nutzen

So kann dem Lösungsansatz nachgekommen werden, einem komplexen Problem ein komplexes Problemlösungssystem zur Seite zu stellen, das adäquat reagieren kann.

²⁰⁹⁴ Vgl. Posch (2004), S. 117

²⁰⁹⁵ Vgl. Beierle (2000), S. 27; Als Kriterien können hierfür die Kosteneffizienz, kollektiver Nutzen, Einschätzungen der Teilnehmer, Breite der Wissensbasis, Zugewinn an Information, mehrdimensionale Analyse, Innovative Ideen aus dem Diskurs heraus und Ganzheitlichkeit der Sichtweise herangezogen werden.

²⁰⁹⁶ Vgl. Leitschuh-Fecht (2002), S. 188

²⁰⁹⁷ Vgl. Posch und Steiner (o. J.), S. 5

Informationsbereitstellung

Die für die Umsetzung einer IÖ auf allen Akteursebenen notwendige Informationsverarbeitung steht vor der komplexen Aufgabe, die für alle Teilprozesse notwendigen Entscheidungen vorzubereiten und relevante Informationen zum gewünschten Zeitpunkt in sicherer und adäquater Qualität bereitzustellen.²⁰⁹⁸ Dazu gehört die Prämisse, dass am Ort der Entscheidung für eine bestimmte Handlungsweise die Ressourcen für die Umsetzung der als „richtig“ erkannten Handlungsweise vorliegen. Im Rahmen eines ganzheitlichen ökologischen Wissensmanagements, das die Bestandsgrößen und Flussgrößen aus MFA und LCA als zentrale Entscheidungsgrundlage zusammenfasst, werden diese Erkenntnisse in das strategische und operationale Management integriert.²⁰⁹⁹ Diese Informationsbereitstellung ist mit einem Bündel von Transaktionskosten verbunden, das besonders durch folgende Punkte gekennzeichnet ist:²¹⁰⁰

- Begrenzte kognitive Kapazitäten erhöhen den Zeitaufwand der Informationsverarbeitung
- Involvierte Akteure sehen häufig keinen Anreiz, ihre Pläne und Präferenzen offen zu legen
- Ökologische Ressourcen haben Eigenschaften, die nur durch lange und intensive Beschäftigung nachvollziehbar sind
- Ökologisch orientierte Steuerung von Produktionsprozessen erfordert Echtzeitsteuerung, bedarf jedoch vielfältiger Lernprozesse, Zeit und Ressourcen
- Institutionelle Informationsverarbeitung generiert Reibungsverluste

Hier bedarf es neben der notwendigen informationstechnischen Ausstattung insbesondere der Bereitschaft der beteiligten Akteure, an den Prozessen der Informationsbeschaffung und Weiterleitung aktiv teilzunehmen. Die materiellen Prozesse, die sich auf allen Ebenen an einer Kreislaufführung orientieren, lassen sich in zusammenhängende Teilprozesse mit Rückkopplungsschleifen und Verwertungsschienen auf unterschiedlichen Ebenen aufteilen. Diesem Ansatz muss das steuernde Management mit entsprechenden Strukturen angepasst sein, um die Vielzahl von Schnittstellenproblemen zwischen den unterschiedlichen Wertstufen bewältigen zu

²⁰⁹⁸ Vgl. Meusbürger (2003), S. 297

²⁰⁹⁹ Vgl. Wernick (2002), S. 7

²¹⁰⁰ Vgl. Paavola und Adger (2005), S. 357

können oder diese Probleme erst gar nicht aufkommen zu lassen.²¹⁰¹ Das am stofflichen und energetischen Fluss orientierte Stoffstrommanagement ist die dafür in jüngster Zeit weiterentwickelte betriebswirtschaftliche Disziplin, die sich auch in größeren räumlichen Kontexten bereits bewährt hat.²¹⁰² Es ist dabei auf die gesicherten Informationen aus der Stoffstromanalyse nebst weichen Daten aus dem Systemzusammenhang angewiesen. Dies wird vor dem Hintergrund betrachtet, dass bei allen Managementprozessen eine Vorstellung von der Beschaffenheit und dem Zusammenspiel der Systemkomponenten vorhanden sein muss und deren Regulation in ein kognitives Modell von der Wirklichkeit mit einbezogen wird.²¹⁰³ Nicht die Fülle an Information, sondern das Verständnis vom Zusammenspiel der Systemelemente und deren informatorischer Repräsentanz bestimmt die Qualität des Modells und damit die Richtungssicherheit der Entscheidungen für die Transformation zu einer Industriellen Ökologie.

²¹⁰¹ Vgl. Zwierlein und Isenmann (1995), S. 198

²¹⁰² Vgl. Henseling (1998), S. 17ff

²¹⁰³ Vgl. Vester (1999), S. 26

8. Schlussbetrachtung

In der vorliegenden Arbeit wurde ein sehr ambitioniertes und umfassendes Szenario auf einer breiten theoretischen Basis entwickelt und es wird behauptet, dass es in die faktische Realität übersetzt werden kann. Wie realistisch ist das? Ist es mehr als nur ein Angebot? Kann es das bleiben? Kann die Theorie im Fall der Industriellen Ökologie tatsächlich in die Lebenswelt übertragen werden? Dies scheint beim derzeitigen Stand des Wissens, der Kultur, der ökonomischen Rahmenbedingungen und der Technologie sehr schwierig. Wie können die notwendigen Schritte zu einer IÖ konkret umgesetzt werden, um nicht im Stadium der erwünschten Zielstellungen zu verharren oder eine Reihe von Feasibility-Studies ohne konkrete Verbesserungen für eine Nachhaltige Entwicklung zu produzieren? Die Rahmenbedingungen für die derzeitige Art zu produzieren sind nicht darauf ausgelegt, Stoffkreisläufe konsequent zu schließen, geschweige denn darauf, dass irgendjemand die globale Verantwortung für die durch die Produktionsweisen ausgelösten Nebenwirkungen übernimmt. Außerdem müssen für eine Einschätzung der metabolischen Situation der Wirtschafts- und Konsumtätigkeit Art und Umfang der ausgelösten Stoff- und Energieströme und deren Wirkungen bekannt sein, um notwendige Maßnahmen ableiten zu können.²¹⁰⁴ Informationen über das Ausmaß der ausgelösten Metabolismen sind handlungsleitend. Ayres umschreibt dies so: „*What gets measured gets done*“.²¹⁰⁵ Darüber hinaus wäre die Bewältigung der Transformation zur IÖ schon bei idealen Ausgangsbedingungen eine äußerst komplexe Aufgabe, die eine Vielzahl unterschiedlicher Maßnahmen auf verschiedenen organisatorischen Ebenen erfordert.²¹⁰⁶ Es existiert eine große Zahl von Handlungsoptionen, die häufig in ambivalentem Verhältnis zueinander stehen. Die Anbieter stehen vor Fragestellungen, die durch die erweiterte Produktverantwortung über den gesamten Lebenszyklus ausgelöst werden.²¹⁰⁷ Einerseits sollen die industriell in Umlauf gebrachten Produkte möglichst rohstoffarm hergestellt werden, im Gebrauch einen möglichst

²¹⁰⁴ Vgl. Sinclair, Papathanasopoulou, Mellor u.a. (2005), S. 70

²¹⁰⁵ Ayres (1998), S. 1

²¹⁰⁶ Vgl. Harris und Pritscard (2004), S. 92

²¹⁰⁷ Vgl. Roine und Brattebo (2003), S. 101

geringen Ressourcenbedarf aufweisen und sich am Ende ihres Lebenszyklus auch noch weiterverwenden oder recyceln lassen und dabei für den Kunden noch preislich interessant gegenüber Konkurrenzprodukten sein. Dies alles sind Optimierungsbedingungen, die von den Unternehmen zu tragen sind und die sich scheinbar nur bedingt miteinander vereinbaren lassen.²¹⁰⁸ Eine tatsächliche Lösung der Problematik des industriellen Metabolismus lässt sich dabei nur mit einer holistischen Herangehensweise erreichen, die sowohl die Produkt- als auch die Prozessorientierung berücksichtigt. Nachhaltige Stoffkreislaufwirtschaft²¹⁰⁹ kann es nur mit nachhaltigen Produkten geben, nachhaltige Produkte nur mit einer Stoffkreislaufwirtschaft. Jedes dieser beiden Konzepte für sich betrachtet wird nicht ausreichend sein für eine Nachhaltige Entwicklung. Es ergeben sich daraus multivariate Entscheidungsprozesse, die die Lebenszyklen industriell erzeugter Produkte oder Dienstleistungen gestalten und die jeweils mehrere ökonomische und politische Akteure betreffen. Jeder Versuch, eine Phase des Lebenszyklus zu optimieren, hat Folgen für die anderen Phasen, da immer vor- und nachgelagerte Bereiche des industriellen Produktionssystems mit betroffen sind. Der Ansatz der EIPs verspricht hierbei mit seiner innovationsfreundlichen Kooperationsstruktur ein Grundstein für die notwendigen neuen Entwicklungen in Technik, Verhalten und Institutionen zu sein, ist aber nur ein Glied in der Kette zu optimierender Sachverhalte.²¹¹⁰ Und er erfordert die Bereitschaft und Motivation für eine offene Kommunikation zwischen den Akteuren, freiwilliger Partizipation von Firmen und Verwaltung, Bereitschaft zur Innovation in Technik, Verhalten und institutionellen Rahmenbedingungen sowie ständiger Evaluation.²¹¹¹ Sind aber Produkte, eingesetzte Materialien und Fertigungs- sowie Reduktionsprozesse nicht aufeinander abgestimmt, greift auch das EIP-Konzept zu kurz.

Transformation und Umdenken

Ein grundsätzliches Überdenken industrieller Produktions- und Entsorgungsprozesse führt zwangsläufig zu einer Umverteilung an volkswirtschaftlichem Wohlstand auf die „neuen“ oder stärker berücksichtigten Glieder der Wertschöpfungskette. Dies wird im

²¹⁰⁸ Vgl. Lehner und Schmidt-Bleek (1999), S. 141

²¹⁰⁹ Im Sterrschen Sinne, Sterr (2003)

²¹¹⁰ Vgl. Peck & Associates (o. J.), S. 10

²¹¹¹ Vgl. BCSD-GM (1997), S. 15

sozio-ökonomischen System nicht widerspruchsfrei ablaufen können. Die empirischen öko-industriellen Beispiele sind angesichts des Umfanges der industriellen Produktion praktisch vernachlässigbar. Ist nun die Theorie (oder das Szenario) deswegen falsch? Die Realität kann ja nicht falsch sein, sie ist so wie sie ist, oder zumindest so, wie wir sie wahrnehmen und interpretieren. Ist es also praktikabel, ein Szenario aufzustellen, ohne zu wissen, inwiefern es (lebensweltlich) umsetzbar ist? Dass es denkbar ist, ist ja (wenn auch nicht zweifelsfrei) mit dieser Arbeit bewiesen. Es bleibt die Frage nach der praktischen Umsetzbarkeit. Der Konflikt zwischen ökonomischer und ökologischer Entwicklung wird vielerorts annähernd wie ein Naturgesetz hingenommen, was grundsätzlich gegen die Praktikabilität einer ökologisch nachhaltigen Wirtschaftsweise zu sprechen scheint.²¹¹² Wo liegen also die tatsächlichen Hindernisse und Probleme bei der Umsetzbarkeit einer IÖ? Zweifellos existieren eine Vielzahl solcher Barrieren, denn sonst wäre es längst zum von Schmidheiny bereits 1992 geforderten Kurswechsel gekommen.²¹¹³ Barrieren könnten technischer, informationeller, ökonomischer, rechtlicher, psychologischer oder motivationaler Natur sein.²¹¹⁴ Wie hoch sind also realistisch betrachtet die Umsetzungschancen des erarbeiteten Ideal-Szenarios? Eine harte ökonomische Wahrscheinlichkeit lässt sich in diesem Zusammenhang kaum mit vertretbarem Aufwand ableiten, die Frage ist also mehr rhetorisch zu verstehen und soll ergründen helfen, was diese nicht nur wünschenswerte, sondern notwendige zukünftige Entwicklung industrieller Produktion betrifft. Die Einführung von Umweltmanagementsystemen ist z. B. noch kein Garant dafür, dass sich die materiell messbare ökologische Performance des betreffenden Unternehmens tatsächlich verbessert. Umweltmanagement führt nicht zwangsläufig zu „sauberer Produktion“.²¹¹⁵ Also bedarf es einer Verknüpfung der bekannten Umweltmanagementansätze mit der konkreten Zielbildung, wie sich IÖ materiell in Zukunft idealerweise auswirken soll. Eines ist deutlich geworden: Ohne langfristige ökologische Stabilität ist eine ökonomische und soziale Stabilität nicht zu gewährleisten. Dies ist das stärkste und unwiderlegbare Argument. Und im-

²¹¹² Vgl. Immler (1993), S. 135

²¹¹³ Vgl. Schmidheiny (1992), S. 13ff

²¹¹⁴ Vgl. Gibbs (2003), S. 228f und Farmer (1998), S. 187

²¹¹⁵ Vgl. Frostell und Nilson (2005), S. 255

merhin lassen sich grundlegende Prinzipien finden, die bei der Umsetzung der IÖ erfolgswirksam sind:²¹¹⁶

- Nachhaltige industrielle Umsetzungsstrategien müssen lokal spezifisch angepasst und global vernetzt sein
- Die Entwicklung der Elemente einer IÖ verbindet idealerweise dynamische Abstimmung von Wissenschaftlern, politischen Steuerungsinstanzen, Industrie und regionalen Stakeholdern
- Die neuen industriellen Ansätze erfordern eine flexible und adaptive Anpassung an Chancen und Risiken bei der Suche nach und Realisierung von nachhaltigen Visionen

Die zur Verfügung stehenden Werkzeuge für das Management des Transformationsprozesses erfordern bei aller Komplexität und der damit verbundenen zu verarbeitenden Datenfülle trotzdem eine Anwendbarkeit auf allen Ebenen dieses Prozesses, um wegen des damit verbundenen Aufwandes die betroffenen Akteure nicht abzuschrecken.²¹¹⁷

Für die konsequente Anwendung gibt es keine Alternative: Leben die Menschen so weiter, wie sie es in den letzten beiden Jahrhunderten getan haben, so tun sie dies nicht mehr lange.²¹¹⁸ Es gilt mit Hassenpflug:²¹¹⁹

„Das Überleben der technischen Zivilisation ist nicht mehr von ihrer ökologischen Durchgestaltung zu trennen.“

Und dies umfasst wie selbstverständlich die soziale bzw. die Gerechtigkeitsfrage, die mit der Forderung einer Nachhaltigen Entwicklung untrennbar verbunden ist.

Was war also der Zweck dieser Arbeit? Soll sie optimistisch stimmen? Soll sie pessimistisch stimmen, damit eine Handlung induziert wird, um dem pessimistischen Szenario und damit der Fortschreibung des Jetzigen zu entgehen? Im besten Fall stößt sie den Diskurs weiter an. Wie eine IÖ nach der hier vorgelegten theoretischen Grundlegung operational tatsächlich ausgestaltet sein könnte, ist mit der Szenario-Technik letztendlich nicht eindeutig darstellbar. Das Finden operationaler Steuerungsansätze und die (erforderliche) lebensweltliche Ausgestaltung werden Gegenstand weiterer For-

²¹¹⁶ Vgl. Bell (2005), S. 268

²¹¹⁷ Vgl. Masoni, Scimia und Raggi (2004), S. 204

²¹¹⁸ Vgl. die Auflistung der Quellen im Kapitel „Zur Begründung einer Arbeit über ökologische Nachhaltigkeit“ und Gordon, Bertram und Graedel (2006), S. 1209 ff

²¹¹⁹ Hassenpflug (1991), S. 138

schung und Ergebnis menschlichen Bewusstseinswandels sein. Der Stein muss weiter den Berg hinauf gerollt werden und mit etwas Glück bleibt er mal so lange oben liegen, dass wir uns eine kleine Pause gönnen können. Wir setzen uns auf den Fels, essen einen Apfel aus ökologischem Anbau und versuchen uns vorzustellen, wie eine Industrielle Ökologie beschaffen sein könnte.

Literaturverzeichnis

- ABEL, T. (2000): *Ecosystems, Sociocultural Systems and Ecological Economics for understanding development: The case of Ecotourism on the island of Bonaire, N.A. Florida*, Diss. 2000 .
- ABEL, T. UND STEPP, J. R. (2003): *A New Ecosystems Ecology for Anthropology* In: *Conservation Ecology [online] www.consecol.org*, 7. Jg. (2003), H. 3/Art12, S. 1-13.
- ABUBAKR, I. (2003): *Ökosysteme* Aus: Pahl-Wostl, C. und Ebenhöf, E. (Hrsg. 2003): *Komplexe adaptive Systeme Beiträge des Instituts für Umweltforschung der Universität Osnabrück Nr. 27* Osnabrück 2003. S. 5-13.
- ACHARD, M. (2004): *Perspektiven der ökologischen Werkstoffwahl* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 12. Jg. (2004), H. 3, S. 24-28.
- ADAM, A. (2003): *Das endlose Ende der Geschichte* Aus: Adam, A.; Kohout, F.; Merk, P.K. u.a. (Hrsg. 2003): *Perspektiven der politischen Ökologie* Würzburg 2003. S. 23-39.
- ADAM, A.; KOHOUT, F.; MERK, P.K. u.a. (Hrsg. 2003): *Perspektiven der politischen Ökologie* Würzburg 2003.
- ADAM, A.; KOHOUT, F.; MERK P.K. U.A. (2003): *Zum Horizont der Politischen Ökologie im Denken von Peter Cornelius Mayer-Tasch* Aus: Adam, A.; Kohout, F.; Merk, P.K. u.a. (Hrsg. 2003): *Perspektiven der politischen Ökologie* Würzburg 2003. S. 7-13.
- ADRIAANSE, A.; BRINGEZU, S.; HAMMOND, A. u.a. (1998): *Stoffströme: Die materielle Basis von Industriegesellschaften* Berlin 1998.
- ALBER, K. (Hrsg. 1990): *Philosophisches Jahrbuch 97. Jg. 1. Halbband* Freiburg 1990.
- ALCAMO, J.; VUUREN, D. von; RINGLER, C. u.a. (2005): *Changes in Nature's Balance Sheet: Model-based Estimates of Future Worldwide Ecosystem Services* In: *Ecology and Society*, 10. Jg. (2005), H. 2/Art. 19, S. 1-27.
- ALEXANDER, D.; BENOIT, C.; MALLOCH, I. u.a. (2002): *Food Cycling within New Haven, Connecticut: Creating Opportunities for Economic, Civic and Environmental Progress Through Industrial Symbiosis* Aus: Chertow, M.; Portlock, M. und Coppock, J. (Hrsg. 2002): *Developing Industrial Ecosystems: Approaches, Cases, and Tools* New Haven 2002. (=Yale University Bulletin Series. 106) S. 379-412.
- ALLEN, P.M. (1994): *Evolution, sustainability, and industrial metabolism* Aus: Ayres, R.U. und Simonis, U.E. (1994): *Industrial metabolism: Restructuring for sustainable development* Tokyo, New York, Paris 1994. S. 78-102.
- ALLEN, D.T. (2001): *Strategic Vision* Aus: Gutowski, T.G.; Murphy, C.F.; Allen, D.T. u.a. (Hrsg. 2001): *Environmentally Benign Manufacturing WTEC Panel - Final Report* Baltimore 2001. S. 23-30.

- ALLEN, D.T. (2003): *An Industrial Ecology: Material flows and engineering design. Department of Chemical Engineering, University of Texas - Discussion Paper Austin 2003.*
- ALLEN, F.W. (2005): *Material Flows Accounts. Moving from Prototypes to Practice* In: *Journal of Industrial Ecology*, 9. Jg. (2005), H. 3, S. 8-11.
- ALLENBY, B. (1999): *Culture and Industrial Ecology* In: *Journal of Industrial Ecology*, 3. Jg. (1999), H. 1, S. 2-4.
- ALLENBY, B. (1999a): *High Modernism Redivivus? Response to Comment by Friedman* In: *Journal of Industrial Ecology*, 3. Jg. (1999), H. 4, S. 21-27.
- ALLENBY, B.R. (2002): *Industrial Ecology Redivivus* In: *Journal of Industrial Ecology*, 6. Jg. (2002), H. 3-4, S. 4-6.
- ALLENBY, B. (2004): *Clean production in context: An information infrastructure perspective* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-12, S. 833-839.
- ALT, K. W. (2001): *Mensch und Umwelt - Ökologische Grenzbetrachtungen* Aus: Alt, K. W. und Rauschenberger, N. (Hrsg. 2001): *Ökohistorische Reflexionen Mensch und Umwelt zwischen Steinzeit und Silicon Valley* Freiburg 2001. (=Rombach Wissenschaften Reihe Ökologie. 6) S. 19-60.
- ALT, K. W. UND RAUSCHENBERGER, N. (Hrsg. 2001): *Ökohistorische Reflexionen. Mensch und Umwelt zwischen Steinzeit und Silicon Valley* Freiburg 2001. (= Rombach Wissenschaften Reihe Ökologie. 6)
- ALT, K. W. UND RAUSCHENBERGER, N. (2001): *Vorwort* Aus: Alt, K. W. und Rauschenberger, N. (Hrsg. 2001): *Ökohistorische Reflexionen Mensch und Umwelt zwischen Steinzeit und Silicon Valley* Freiburg 2001. (=Rombach Wissenschaften Reihe Ökologie. 6) S. 9-15.
- ALTHAUS, D. (1992): *Müll ist Mangel an Phantasie. An der Schwelle zur Kreislaufgesellschaft* Hamburg 1992.
- ALTNER, G.; METTLER-MEIBOM, B.; SIMONIS, U.E. u.a. (Hrsg. 1995): *Jahrbuch Ökologie 1996* München 1995.
- ALTNER, G.; LEITSCHUH-FECHT, H.; MICHELSEN, G. u.a. (Hrsg. 2004): *Jahrbuch Ökologie 2005* München 2004.
- ALTNER, G.; LEITSCHUH-FECHT, H.; MICHELSEN, G. u.a. (Hrsg. 2005): *Jahrbuch Ökologie 2006* München 2005.
- ALTNER, G.; METTLER-VON MEIBOM, B.; SIMONIS, U.E. u.a. (Hrsg. 2000): *Jahrbuch Ökologie 2001* München 2000.
- ALTNER, G.; METTLER-VON MEIBORN, B.; SIMONIS, U.E. u.a. (Hrsg. 2001): *Jahrbuch Ökologie 2002* München 2001.
- ALTNER, G. UND MICHELSEN, G. (Hrsg. 2001): *Ethik und Nachhaltigkeit. Grundsatzfragen und Handlungsperspektiven im universitären Agendaprozess* Frankfurt a.M. 2001.

- ALVORD, D. (2003): *Making it happen. Financing eco-industrial development* Aus: Cohen-Rosenthal, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003. S. 200-242.
- AMERY, C. (1976): *Natur als Politik. Die ökologische Chance des Menschen* Reinbek bei Hamburg 1976.
- AMERY, C. UND SCHEER, H. (2001): *Klimawechsel. Von der fossilen zur solaren Kultur* München 2001.
- ANDERIES, J.M. (2000): *On modeling human behavior and institutions in simple ecological economic systems* In: *Ecological Economics*, 35. Jg. (2000), H. 3, S. 393-412.
- ANDERIES, J.M.; JANSSEN, M.A. UND OSTROM, E. (2004): *A Framework to Analyze the Robustness of Social-ecological Systems from an Institutional Perspective* www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art18 In: *Ecology and Society*, 9. Jg. (2004), H. 1/Art 18, S. 1-17.
- ANDREWS, C.J. (2000): *Building a Micro Foundation for Industrial Ecology* In: *Journal of Industrial Ecology*, 4. Jg. (2000), H. 3, S. 35-51.
- APPEL, E. (2002): *Konzeption und Durchführung von Projekten der nachhaltigen Regionalentwicklung. Projektevaluierung zur Ermittlung und Darstellung wesentlicher Faktoren bei der Umsetzung regionaler Entwicklungsinitiativen* Berlin, Diss. 2002 .
- ARL (Hrsg. 1993): *Aspekte einer raum- und umweltverträglichen Abfallentsorgung Teil 1* Hannover 1993. (= Forschungs- und Sitzungsberichte. 195)
- ASPO (Hrsg. 2006): *ASPO Newsletter No. 67 - July 2006* www.peakoil.ie/downloads/newsletters/newsletter67_200607.pdf am 5.09.06 Cork 2006.
- AUSTREM, I. (2003): *The exergy efficiency of hydrogen-fired gas power plants* Trondheim, Diss. 2003 .
- AUSUBEL, J. H. (2001): *Industrial ecology, its origins, progress, and relation to IIASA Conference on Systems Analysis, IIASA, and Finland 4 May 2001* Hanasaari, Espoo, Finnland 2001. <http://phe.rockefeller.edu> am 12.8.04.
- AYRES, R.U. (1994): *Industrial metabolism: Theory and policy* Aus: Ayres, R.U. und Simonis, U.E. (1994): *Industrial metabolism: Restructuring for sustainable development* Tokyo, New York, Paris 1994. S. 3-20.
- AYRES, R.U. (1998): *Rationale for a physical account of economic activities* Aus: Vellinga, P.; Berkhout, F. und Gupta, J. (1998): *Managing a Material World: Perspectives on Industrial Ecology* Dordrecht 1998. S. 1-20.
- AYRES, R.U. (1999): *The second law, the fourth law, recycling and limits to growth* In: *Ecological Economics*, 29. Jg. (1999), H. 3, S. 473-483.
- AYRES, R. U. (2000): *Resources, Scarcity, Growth and the Environment* Fontainebleau Cedex, France 2000.
- AYRES, R.U. (2002): *On industrial ecosystems* Aus: Ayres, R.U. und Ayres, L.W. (2002): *A handbook of industrial ecology* Cheltenham 2002. S. 44-59.

- AYRES, R.U. UND SIMONIS, U.E. (1993): *Industrieller Metabolismus. Konzept und Konsequenzen mit umfassender Bibliographie* o.O. 1993.
- AYRES, R.U. UND AYRES, L.W. (1994): *Consumptive uses and losses of toxic heavy metals in the United States, 1880-1890* Aus: Ayres, R.U. und Simonis, U.E. (1994): *Industrial metabolism: Restructuring for sustainable development* Tokyo, New York, Paris 1994. S. 259-298.
- AYRES, R.U. UND AYRES, L.W. (2002): *A handbook of industrial ecology* Cheltenham 2002.
- AYRES, R.U.; SCHLESINGER, W.H. UND SOCOLOW, R.H. (1994): *Human Impacts on the Carbon and Nitrogen Cycles* Aus: Socolow, R.; Andrews C.; Berkhout F. u.a. (Hrsg. 1994): *Industrial Ecology and Global Change* Cambridge 1994. S. 121-155.
- AYRES, R.U. UND SIMONIS, U.E. (1994): *Industrial metabolism: Restructuring for sustainable development* Tokyo, New York, Paris 1994.
- BAAS, L. (2000): *Developing an Industrial Ecosystem in Rotterdam. Learning by ... What?* In: *Journal of Industrial Ecology*, 4. Jg. (2000), H. 2, S. 4-6.
- BAAS, L.W. UND BOONS, F.A. (2004): *An industrial ecology project in practice: exploring the boundaries of decision-making levels in regional industrial systems* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 1073-1085.
- BACCINI, P. UND BADER, H.-P. (1996): *Regionaler Stoffhaushalt. Erfassung, Bewertung und Steuerung* Heidelberg 1996.
- BACCINI, P. und Brunner P.H. (1991): *Metabolism of the Antroposphere* Berlin u.a. 1991.
- BACKHAUS, U. (1998): *Die Entropie als Größe zur Beschreibung der Unumkehrbarkeit von Vorgängen* 2. Aufl. Koblenz 1998.
- BACKHOUSE, C.J.; CLEGG, A.J. UND STAIKOS, T. (2004): *Reducing the environmental impacts of metal castings through life-cycle management* In: *Progress in Industrial Ecology*, 1. Jg. (2004), H. 1/2/3, S. 271-285.
- BAHLMANN, O. UND PEUBNER, M. (2003): *Self-organized Criticality* Aus: Pahl-Wostl, C. und Ebenhöf, E. (Hrsg. 2003): *Komplexe adaptive Systeme Beiträge des Instituts für Umweltforschung der Universität Osnabrück Nr. 27* Osnabrück 2003. S. 55-68.
- BAILEY, R.; ALLEN, J.K. UND BRAS, B. (2004): *Applying Ecological Input- Output Analysis to Material Flows in Industrial Systems Part I: Tracing Flows* In: *Journal of Industrial Ecology*, 8. Jg. (2004), H. 1-2, S. 45-68.
- BAILEY, R.; BRAS, B. UND ALLEN, J.K. (2004): *Applying Ecological Input-Output Flow Analysis to Material Flows in Industrial Systems Part II: Flow Metrics* In: *Journal of Industrial Ecology*, 8. Jg. (2004), H. 1-2, S. 69-91.
- BAK, P. (1999): *How nature works. The science of self-organized criticality* New York 1999.
- BAKKER, F.G.A. de (2001): *Product-Oriented Environmental Management* In: *Journal of Industrial Ecology*, 5. Jg. (2002), H. 2, S. 55-69.

- BALDWIN, J.S.; MURRAY, R.; WINDER, B. u.a. (2004): *A non-equilibrium thermodynamic model of industrial development: analogy or homology?* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 841-853.
- BALDWIN, J. S.; RIDGWAY, K.; WINDER, B. u.a. (2004): *Modelling industrial ecosystems and the "problem" of evolution* In: *Progress in Industrial Ecology*, 1. Jg. (2004), H. 1/2/3, S. 39-60.
- BARGATZKY, T. (1992): *Kulturelle Rekonstruktion von Natur: Mythos, Wissenschaft und der "Weg der Physis"* Aus: Glaeser, B. und Teherani-Krönner, P. (Hrsg. 1992): *Humanökologie und Kulturökologie Grundlagen, Ansätze, Praxis*. Opladen 1992. S. 71-87.
- BARIS, M.; DION, K.; NELSON, C. u.a. (2002): *Industrial Symbiosis in New Haven Harbor: English Station West* Aus: Chertow, M.; Portlock, M. und Coppock, J. (Hrsg. 2002): *Developing Industrial Ecosystems: Approaches, Cases, and Tools* New Haven 2002. (=Yale University Bulletin Series. 106) S. 413-438.
- BARTELMUS, P. UND VESPER, A. (2000): *Umweltökonomische Gesamtrechnung: Monetäre Bewertung und Stoffstrommessung* Aus: Hartard, S.; Stahmer, C. und Hinterberger, F. (Hrsg. 2000): *Magische Dreiecke Berichte für eine nachhaltige Gesellschaft - Band 1 / Stoffflussanalysen und Nachhaltigkeitsindikatoren* Marburg 2000. S. 127-158.
- BARTMANN, H. (1996): *Umweltökonomie - ökologische Ökonomie* Stuttgart 1996.
- BARTOLOMEO, M.; KEMP, R.; RENNINGS, K. u.a. (2003): *Employment impacts of cleaner production: Theory, methodology and results* Aus: Rennings, K. und Zwick, T. (Hrsg. 2003): *Employment Impacts of Cleaner Production ZEW Economic Studies 21* Heidelberg 2003. S. 3-53.
- BARTON, A. (1999): *The Oil Mallee Project. A Multifaceted Industrial Ecology Case Study* In: *Journal of Industrial Ecology*, 3. Jg. (1999), H. 2&3, S. 161-176.
- BASTIAN, T. (1996): *Zur Kritik der ökologischen Unvernunft. Die Wurzeln der Diskrepanz zwischen Wissen und Handeln* Aus: Wehrt, H. (Hrsg. 1996): *Humanökologie. Beiträge zum ganzheitlichen Verständnis unserer geschichtlichen Lebenswelt* Basel 1996. S. 130-154.
- BAUER, J. (1996): *Standards und Verwirklichungsgrad verschiedener Formen der Umweltberichterstattung* Aus: Majer, H.; Bauer, J.; Leipert, C. u.a. (1996): *Regionale Nachhaltigkeitslücken Ökologische Berichterstattung für die Ulmer Region* Sternenfels - Berlin 1996. S. 123-131.
- BAUER, D. UND SHENG, P. (2001): *Cross-cutting technologies and applications* Aus: Gutowski, T.G.; Murphy, C.F.; Allen, D.T. u.a. (Hrsg. 2001): *Environmentally Benign Manufacturing WTEC Panel - Final Report* Baltimore 2001. S. 101-114.
- BAUMANN, H. (2004): *Environmental assessment of organising: Towards a framework for the study of organisational influence on environmental performance* In: *Progress in Industrial Ecology*, 1. Jg. (2004), H. 1/2/3, S. 292-306.
- BAUMGÄRTNER, S. (2002): *Der ökonomische Wert der biologischen Vielfalt* Aus: Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege (Hrsg. 2002): *Grundlagen zum Verständnis der Artenvielfalt und seiner Bedeutung und der Maßnahmen, dem*

- Artensterben entgegen zu wirken* Laufen/Salzach 2002. (=Laufener Seminarbeiträge. 2/02) S. 73-90.
- BAUMGÄRTNER, S. (2002a): *Thermodynamics of Waste Generation* Aus: Bisson, K. und Proops, J. (Hrsg. 2002): *Waste in Ecological Economics* Cheltenham, UK 2002. S. 13-37.
- BAUMGÄRTNER, S. (2002b): *Ambivalent Joint Production and the Natural Environment. An Economic and Thermodynamic Analysis* Heidelberg and New York 2002.
- BAUMGÄRTNER, S. (2002c): *Thermodynamics and the Economics of absolute Scarcity - Why and how Thermodynamics is relevant for Ecological, Environmental and Resource Economics. Contribution to the panel session of ecological economics: Ecology, Entropie, Epistemology and Ethics at the 2nd World Congress of Environmental and Resource Economists, June 24-27, 2002, Monterey, CA, USA* Monterey 2002.
- BAUMGÄRTNER, S. (2004): *Thermodynamik Models* Aus: Proops, J. und Safonov, P. (Hrsg. 2004): *Modelling in Ecological Economics* Cheltenham 2004. S. 102-129.
- BAUMGÄRTNER, S. UND SWAAN ARONS, J. DE (2003): *Necessity and Inefficiency in the Generation of Waste. A Thermodynamical Analysis* In: *Journal of Industrial Ecology*, 7. Jg. (2003), H. 2, S. 113-123.
- BAUMGÄRTNER, S. UND SCHILLER, J. (2001a): *Vielfalt und Nachhaltigkeit. Der Einfluss von Beständen und des Zeithorizonts auf zukünftige ökonomische Wahlmöglichkeiten* Aus: Spehl, H. und Held, M. (Hrsg. 2001): *Vom Wert der Vielfalt - Diversität in Ökonomie und Ökologie* o.O. 2001. (=Zeitschrift für angewandte Umweltforschung - Sonderheft. 13/2001) S. 136-147.
- BAUMGÄRTNER, S. UND SCHILLER, J. (2001): *Kuppelproduktion. Ein Konzept zur Beschreibung und Entstehung von Umweltproblemen* Aus: Beckenbach, F.; Hampicke, U.; Leipert, C. u.a. (2001): *Jahrbuch Ökologische Ökonomik, Band 2: Ökonomische Naturbewertung* Marburg 2001. S. 353-393.
- BAUMGÄRTNER, S.; BECKER, C.; FABER, M. u.a. (2004): *Relative and absolute scarcity of nature. Assessing the roles of economics and ecology for biodiversity conservation* Heidelberg 2004.
- BAUMGÄRTNER, S.; DYCKHOFF, H.; FABER, M. u.a. (2001): *The concept of joint production and ecological economics* In: *Ecological Economics*, 36. Jg. (2001), H. 2, S. 365-372.
- BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN (Hrsg. 2000): *Entwicklung der Umwelt seit der letzten Eiszeit* München 2000. (= Rundgespräche der Kommission für Ökologie. 18)
- BAYERISCHE AKADEMIE FÜR NATURSCHUTZ UND LANDSCHAFTSPFLEGE (Hrsg. 2002): *Grundlagen zum Verständnis der Artenvielfalt und seiner Bedeutung und der Maßnahmen, dem Artensterben entgegen zu wirken* Laufen/Salzach 2002. (= Laufener Seminarbeiträge. 2/02)
- BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR LANDESENTWICKLUNG UND UMWELTFRAGEN (Hrsg. 1996): *Chemikalien in der Umwelt. Toxikologie, Prüfungen, gesetzliche Regelungen* München 1996.

- BCSD-GM (Hrsg. 1997): *By-product Synergy: A Strategy for Sustainable Development A Primer* Austin, TX 1997.
- BECHMANN, G. UND STEHR, N. (2004): *Praktische Erkenntnis: Vom Wissen zum Handeln* Aus: BMBF (Hrsg. 2004): *Vom Wissen zum Handeln? Die Forschung zum globalen Wandel und ihre Umsetzung* Bonn, Berlin 2004. S. 27-30.
- BECK, U. (1986): *Risikogesellschaft. Auf dem Weg in eine andere Moderne* Frankfurt a.M. 1986.
- BECK, S. (1999): *Kassandras Fall: Zur Rolle der Wissenschaft(en) im Falle von globalen Umweltveränderungen* Aus: IWT (Hrsg. 1999): *Die "Natur" der Natur Tagungsdokumentation Universität Bielefeld, 12.-14. November 1998* Bielefeld 1999. (=IWT paper. 23) S. 8-27.
- BECKENBACH, F. (Hrsg. 1991): *Die ökologische Herausforderung für die ökonomische Theorie* Marburg 1991. (= Ökologie und Wirtschaftsforschung. 2)
- BECKENBACH, F. (1991): *Zwischen Frosch- und Vogelperspektive: Das Ökologieproblem als Verknüpfung von ökonomischer Entscheidungs- und Reproduktionstheorie* Aus: Beckenbach, F. (Hrsg. 1991): *Die ökologische Herausforderung für die ökonomische Theorie* Marburg 1991. (=Ökologie und Wirtschaftsforschung. 2) S. 63-108.
- BECKENBACH, F. (2001): *Technologische Innovation und Nachhaltigkeit* Aus: Lorenz, H.-W. und Meyer, B. (Hrsg. 2001): *Studien zur Evolutorischen Ökonomik IV Evolutorische Makroökonomik, Nachhaltigkeit und Institutionenökonomik* Berlin 2001. S. 145-181.
- BECKENBACH, F.; HAMPICKE, U.; LEIPERT, C. u.a. (2001): *Jahrbuch Ökologische Ökonomik, Band 2: Ökonomische Naturbewertung* Marburg 2001.
- BECKENBACH, F. UND DIEFENBACHER, H. (Hrsg. 1994): *Zwischen Entropie und Selbstorganisation. Perspektiven einer ökologischen Ökonomie* Marburg 1994.
- BECKENBACH, F.; HAMPICKE, U.; LEIPERT, C. u.a. (Hrsg. 2005): *Innovation und Nachhaltigkeit* Marburg 2005. (= Jahrbuch Ökologische Ökonomik. 4)
- BECKENBACH, F.; HAMPICKE, U.; LEIPERT, C. u.a. (Hrsg.1999): *Jahrbuch Ökologische Ökonomik 1. Zwei Sichtweisen auf das Umweltproblem: Neoklassische Umweltökonomik versus Ökologische Ökonomik* Marburg 1999.
- BECKER, C. (2005): *Wie Ökonomen über Natur denken* Aus: Altner, G.; Leitschuh-Fecht, H.; Michelsen, G. u.a. (Hrsg. 2005): *Jahrbuch Ökologie 2006* München 2005. S. 87-98.
- BECKER, S.; MINICK, C.; NEWMAN, M. u.a. (2002): *AES - Thames and the Stone Container Corporation: The Montville Eco-Industrial System 1997* Aus: Chertow, M.; Portlock, M. und Coppock, J. (Hrsg. 2002): *Developing Industrial Ecosystems: Approaches, Cases, and Tools* New Haven 2002. (=Yale University Bulletin Series. 106) S. 191-214.
- BECKER, E. UND JAHN, TH. (2003): *Umriss einer kritischen Theorie gesellschaftlicher Naturverhältnisse* Aus: Böhme, G. und Manzei, A. (2003): *Kritische Theorie der Technik und der Natur* München 2003. S. 1-22.

- BECKMANN, K. (2003): *Nachhaltigkeit - ein Wohlfahrtskriterium?* Aus: Geiss, J.; Wortmann, D. und Zuber, F. (Hrsg. 2003): *Nachhaltige Entwicklung - Strategie für das 21. Jahrhundert? Eine interdisziplinäre Annäherung* Opladen 2003. S. 143-168.
- BEESE, F. (2003): *Böden - vergessene Naturschätze* Aus: Hempel, G. und Schulz-Baldes, M. (Hrsg. 2003): *Nachhaltigkeit und globaler Wandel Guter Rat ist teuer* Frankfurt/M 2003. S. 31-62.
- BEHREND, H. UND DÖGE, P. (2001): *Nachhaltigkeit als Politische Ökologie - Eine Kontroverse über Natur, Technik und Umweltpolitik* - Berlin 2001. (= Auf der Suche nach der verlorenen Zukunft. 14)
- BEHRENDT, S.; JONUSCHAT, H.; HEINZE, M. u.a. (2003): *Literaturstudie zu den ökologischen Folgen des E-Commerce* Berlin 2003.
- BEIERLE, T.C. (2000): *The Quality of Stakeholder-Based Decisions: Lessons from the Case Study Record* Washington 2000.
- BELL, S. (2005): *The Oil Mallee Project: Sustainable Industry Development in Western Australia* Aus: Filho, W.L. (Hrsg. 2005): *Handbook of Sustainability Research* Frankfurt/M 2005. (=Environmental Education, Communication and Sustainability. 20) S. 267-296.
- BELLMANN, K. UND HIPPE, A. (Hrsg. 1996): *Management von Unternehmensnetzwerken - Interorganisationale Konzepte und praktische Umsetzung* Wiesbaden 1996.
- BENKO, T.; KOCZKA, K.; SZANYI, A. u.a. (2005): *Agreements and Contradictions in the Environmental and Economic Evaluation of Waste Solvent Treatment Options* Aus: Royal Institute of Technology (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005. S. 96-97.
- BENNETT, E.B.; HEITKAMP, E.L.; KLEE, R.J. u.a. (2002): *Clark Special Economic Zone: Finding Linkages in an existing Industrial Estate 1998* Aus: Chertow, M.; Portlock, M. und Coppock, J. (Hrsg. 2002): *Developing Industrial Ecosystems: Approaches, Cases, and Tools* New Haven 2002. (=Yale University Bulletin Series. 106) S. 137-165.
- BERKHOFF, K.; KASTENS, B. UND NEWIG, J. (2004): *Komplexität und Komplexe Adaptive Systeme - Ansätze des Santa Fe Instituts* Aus: BMBF (Hrsg. 2004a): *Steuerung und Transformation Überblick über theoretische Konzepte in den Projekten der sozial-ökologischen Forschung* Berlin 2004. (=Querschnittsarbeitsgruppe Steuerung und Transformation im Förderschwerpunkt Sozial-ökologische Forschung des BMBF Diskussionspapier. 01) S. 101-107.
- BERKHOUT, F. (1994): *Nuclear Power: An Industrial Ecology That Failed?* Aus: Socolow, R.; Andrews C.; Berkhout F. u.a. (Hrsg. 1994): *Industrial Ecology and Global Change* Cambridge 1994. S. 319-327.
- BERLIN, D. UND UHLIN, H.-E. (2004): *Opportunity cost principles for lifecycle assessment: toward strategic decision making in agriculture* In: *Progress in Industrial Ecology*, 1. Jg. (2004), H. 1/2/3, S. 187-202.

- BERRYMAN, A.A. (2001): *Functional web analysis: Detecting the structure of population dynamics from multi-species time series* In: *Basic and Applied Ecology*, 4. Jg. (2001), H. 2, S. 311-321.
- BETTS, R. (2004): *Box 2.2. Biogeophysical effects of Vegetation on Climate* Aus: Steffen, W.; Sanderson, A.; Tyson, P.D. u.a. (2004): *Global Change and the Earth System A Planet Under Pressure* Heidelberg u.a. 2004. S. 25.
- BICK, H. (1998): *Grundzüge der Ökologie 3. Auflage* Stuttgart 1998.
- BIERTER, W. (1995): *Wege zum ökologischen Wohlstand* Berlin 1995. (= Wuppertal Texte)
- BIERTER, W. (2001): *System-Design - Radikale Produkt- und Prozessinnovationen* Aus: Altner, G.; Mettler-von Meiborn, B.; Simonis, U.E. u.a. (Hrsg. 2001): *Jahrbuch Ökologie 2002* München 2001. S. 171-187.
- BILLEN, G. (2003): *From ecology of natural systems to industrial ecology. The need for an extension of the scope of ecology* Aus: Bourg, D. und Erkman, S. (Hrsg. 2003): *Perspectives on Industrial Ecology* Wien (Greenleaf Publishing) 2003. S. 324-337.
- BINSWANGER, H.C. (1989): *Ökologisch orientierte Wirtschaftswissenschaft* Aus: Glaeser, B. (Hrsg. 1989): *Humanökologie Grundlagen präventiver Umweltpolitik* Opladen 1989. S. 143-152.
- BINSWANGER, H.C. (1991): *Geld und Natur. Das wirtschaftliche Wachstum im Spannungsfeld zwischen Ökonomie und Ökologie* Stuttgart 1991.
- BINSWANGER, M. (1994): *Das Entropiegesetz als Grundlage einer ökologischen Ökonomie* Aus: Beckenbach, F. und Diefenbacher, H. (Hrsg. 1994): *Zwischen Entropie und Selbstorganisation. Perspektiven einer ökologischen Ökonomie* Marburg 1994. S. 155-200.
- BINSWANGER, M. (1996): *Führt technischer Fortschritt zu einer Erhöhung der ökologischen Effizienz?* Aus: Wehrt, H. (Hrsg. 1996): *Humanökologie. Beiträge zum ganzheitlichen Verständnis unserer geschichtlichen Lebenswelt* Basel 1996. S. 65-95.
- BISSON, K. UND PROOPS, J. U.A. (Hrsg. 2002): *Waste in Ecological Economics* Cheltenham, UK 2002.
- BIXLER, R.D. UND JAMES, J.J. (2005): *Environmental Socialisation: The Critical Peripheral?* Aus: Filho, W.L. (Hrsg. 2005): *Handbook of Sustainability Research* Frankfurt/M 2005. (=Environmental Education, Communication and Sustainability. 20) S. 15-30.
- BLASI, L. di; GOEBEL, B. UND HÖSLE, V. (Hrsg. 2001): *Nachhaltigkeit in der Ökologie. Wege in eine zukunftsfähige Welt* München 2001.
- BLÄTTEL-MINK, B. (2001): *Wirtschaft und Umweltschutz. Grenzen der Integration von Ökonomie und Ökologie* Frankfurt 2001.
- BLÄTTEL-MINK, B.; KASTENHOLZ, H.; SCHNEIDER, M. u.a. (2003): *Nachhaltigkeit und Transdisziplinarität: Ideal und Forschungspraxis* Stuttgart 2003. (= TA-Akademie Arbeitsbericht. 229)

- BLECKER, T. (1998): *Logistische Aspekte der Kreislaufwirtschaft* Aus: Kaluza, B. (Hrsg. 1998): *Kreislaufwirtschaft und Umweltmanagement* Hamburg 1998. (=Duisburger Betriebswirtschaftliche Schriften Bd 17) S. 97-134.
- BLEISCHWITZ, R. (2002): *Governance of Eco-Efficiency in Japan* Wuppertal 2002. <http://www.wupperinst.org> am 12.8.04.
- BLFU (Hrsg. 2003): *Photovoltaik- und Solarthermieanlagen - Aufbau, Verwendung, Verwertung und Entsorgung* Augsburg 2003.
- BMBF (Hrsg. 2000): *Bekanntmachung von Richtlinien zur Förderung von Sondierungsprojekten auf dem Gebiet der "Sozial-ökologischen Forschung"* Vom 3. Januar 2000 Bonn 2000.
- BMBF (Hrsg. 2004): *Vom Wissen zum Handeln? Die Forschung zum globalen Wandel und ihre Umsetzung* Bonn, Berlin 2004.
- BMBF (Hrsg. 2004a): *Steuerung und Transformation. Überblick über theoretische Konzepte in den Projekten der sozial-ökologischen Forschung* Berlin 2004. (= Querschnittsarbeitsgruppe Steuerung und Transformation im Förderschwerpunkt Sozial-ökologische Forschung des BMBF Diskussionspapier. 01)
- BML (Hrsg. 1997): *Biologische Vielfalt in Ökosystemen* Bonn 1997. (= Schriftenreihe des BML "Angewandte Wissenschaft". 465)
- BMWi UND BMU (Hrsg. 2006): *Energieversorgung für Deutschland. Statusbericht für den Energiegipfel am 3. April 2006* Berlin 2006.
- BMZ (Hrsg. 2004): *Erneuerbare Energien* Berlin 2004.
- BOCKSTAEL, N.; COSTANZA, R.; STRAND, I. u.a. (1995): *Ecological economic modeling and valuation of ecosystems* In: *Ecological Economics*, 14. Jg. (1995), H. 2, S. 143-159.
- BÖHME, G. UND MANZEI, A. (2003): *Kritische Theorie der Technik und der Natur* München 2003.
- BOLZ, N. UND BOSSHART, D. (1995): *Kultmarketing* Düsseldorf 1995.
- BOONS, F. UND ROOME, N. (2000): *Industrial Ecology as a Cultural Phenomenon. On Objectivity as a Normative Position* In: *Journal of Industrial Ecology*, 4. Jg. (2000), H. 2, S. 49-54.
- BORLAND, N. UND WALLACE, D. (1999): *Environmentally Conscious Product Design. A Collaborative Internet-based Modeling Approach* In: *Journal of Industrial Ecology*, 3. Jg. (2000), H. 2&3, S. 33-46.
- BORS DORF, A. (2002): *Die Mensch-Umwelt-Beziehung - ein zentrales Forschungsthema der Geographie* Aus: Winiwarter, V. und Wilfing, H. (Hrsg. 2002): *Historische Humanökologie. Interdisziplinäre Zugänge zu Menschen und und ihrer Umwelt* Wien 2002. S. 27-58.
- BOULDING, K.E. (2006): *Die Ökonomik des zukünftigen Raumschiffs Erde* Aus: Höhler, S. und Luks, F. (Hrsg. 2006): *Beam us up, Boulding! 40 Jahre "Raumschiff Erde"* Hamburg 2006. (=VÖÖ Beiträge und Berichte. 7) S. 9-21.

- BOURG, D. UND ERKMAN, S. (Hrsg. 2003): *Perspectives on Industrial Ecology* Wien (Greenleaf Publishing) 2003.
- BP (Hrsg. 2006): *Quantifying Energy. BP Statistical Review of World Energy June 2006* o.O. 2006.
- BRAND, K.-W. (Hrsg. 1997): *Nachhaltige Entwicklung. Eine Herausforderung an die Soziologie* Opladen 1997.
- BRAND, K.-W. (1997): *Probleme und Potentiale einer Neubestimmung des Projekts der Moderne unter dem Leitbild "nachhaltige Entwicklung". Zur Einführung* Aus: Brand, K.-W. (Hrsg. 1997): *Nachhaltige Entwicklung Eine Herausforderung an die Soziologie* Opladen 1997. S. 9-32.
- BRAND, K.-W. (1999): *Soziologie und Natur - eine schwierige Beziehung. Problemaufriß* Aus: IWT (Hrsg. 1999): *Die "Natur" der Natur Tagungsdokumentation Universität Bielefeld, 12.-14. November 1998* Bielefeld 1999. (=IWT paper. 23) S. 28-45.
- BRAND, K.-W. (2002): *"Zukunftsfähiges Deutschland" machte Nachhaltigkeit populär* Aus: BUND/Misereor (Hrsg. 2002): *Wegweiser für ein zukunftsfähiges Deutschland* München 2002. S. 81-86.
- BRAND, K.-W. (2004): *Akteur-Netzwerk-Theorie* Aus: BMBF (Hrsg. 2004a): *Steuerung und Transformation. Überblick über theoretische Konzepte in den Projekten der sozial-ökologischen Forschung* Berlin 2004. (=Querschnittsarbeitsgruppe Steuerung und Transformation im Förderschwerpunkt Sozial-ökologische Forschung des BMBF Diskussionspapier. 01) S. 83-91.
- BRAND, K.-W. (Hrsg. 1998): *Soziologie und Natur. Theoretische Perspektiven* Opladen 1998.
- BRAND, K.-W. UND KROPP, C. (2004): *Naturverständnisse in der Soziologie* Aus: Rink, D. und Wächter, M. (Hrsg.2004): *Naturverständnisse in der Nachhaltigkeitsforschung* Frankfurt 2004. S. 103-139.
- BRAND, K.-W. UND JOCHUM, G. (2000): *Der Deutsche Diskurs zu Nachhaltiger Entwicklung. Abschlussbericht eines DFG-Projekts zum Thema "Sustainable Development/Nachhaltige Entwicklung - Zur sozialen Konstruktion globaler Handlungskonzepte im Umweltdiskurs"* München o.J.
- BRAND, K.-W. UND KROPP, C. (2001): *Naturverständnisse in der Soziologie. Bericht zum Unterauftrag des UFZ zum BMBF-Sondierungsprojekt "Naturbilder in der Nachhaltigkeitsforschung"* München 2001.
- BRATTEBO, H. (2001): *Industrial Ecology and Education* In: *Journal of Industrial Ecology*, 5. Jg. (2002), H. 3, S. 1-2.
- BRAUNGART, M. (1994): *Product Life-Cycle Management to Replace Waste Management* Aus: Socolow, R.; Andrews C.; Berkhout F. u.a. (Hrsg. 1994): *Industrial Ecology and Global Change* Cambridge 1994. S. 335-337.
- BRAUNGART, M. (2002): *Intelligent Material Pooling. Evolving a Profitable Technical Metabolism* o.O. 2002. www.mbdc.com.

- BRAUNGART, M.R. UND MCDONOUGH, W.A. (1999): *Die nächste industrielle rEvolution* In: *Politische Ökologie*, 17. Jg. (1999), H. 62, S. 18-22.
- BRAUNGART, M. UND MCDONOUGH, B. (2003): *Einfach intelligent produzieren. Cradle to cradle: Die Natur zeigt, wie wir die Dinge besser machen können* Berlin 2003.
- BRECKLING, B. (1999): *Funktionalität und Ungewissheit in einfachen Modellen ökologischer Prozesse* Aus: Jobman, A. und Spindler, B. (Hrsg. 1999): *"Theorien über Theorien über Theorien" Tagungsdokumentation*. Bielefeld 1999. (=IWT-Paper. 24) S. 24-36.
- BRECKLING, B. UND MÜLLER, F. (Hrsg. 2000): *Der Ökologische Risikobegriff. Theorie in der Ökologie Band 1* Frankfurt/M 2000.
- BREITENBAUMER, Ch. (1998): *Anforderungen aus der Praxis für Recyclingnetzwerke am Beispiel des Zementwerkes Retznei* Aus: Strebel, H. und Schwarz, E. (Hrsg. 1998): *Kreislauforientierte Unternehmenskooperation. Stoffstrommanagement durch innovative Verwertungsnetze* München 1998. (=Lehr- und Handbücher zur Ökologischen Unternehmensführung und Umweltökonomie) S. 287-298.
- BREWSTER, J. A. (2001): *Industrial Ecology and Its Relationship to Cleaner Production. Papers delivered at international conference on cleaner production Beijing, China -- September 2001 -- Paper 9 of 30* Beijing, China 2001.
<http://www.chinacp.com/eng/cpconfer/iccp01/iccp16html>.
- BRINGEZU, S. (2003): *Industrial Ecology and Material-Flow Analysis. Basic concepts, policy, relevance and some case studies* Aus: Bourg, D. und Erkman, S. (Hrsg. 2003): *Perspectives on Industrial Ecology* Wien (Greenleaf Publishing) 2003. S. 20-31.
- BRINGEZU, S. (2004): *Erdlandung. Navigation zu den Ressourcen der Zukunft* Stuttgart 2004.
- BROWN, W.M.; CROSS, D. UND WIGGS, L. (2002): *The MatchMaker!System: Creating Virtual Eco Industrial Parks* Aus: Chertow, M.; Portlock, M. und Coppock, J. (Hrsg. 2002): *Developing Industrial Ecosystems: Approaches, Cases, and Tools* New Haven 2002. (=Yale University Bulletin Series. 106) S. 103-136.
- BRÜGGEMEIER, F.-J. (2001): *Umweltgeschichte* Aus: Alt, K. W. und Rauschenberger, N. (Hrsg. 2001): *Ökohistorische Reflexionen. Mensch und Umwelt zwischen Steinzeit und Silicon Valley* Freiburg 2001. (=Rombach Wissenschaften Reihe Ökologie. 6) S. 197-214.
- BRÜGGEMEIER, F.-J. UND TOYKA-SEID, M. (Hrsg. 1995): *Industrie-Natur. Lesebuch zur Geschichte der Umwelt im 19. Jahrhundert*. Frankfurt/M 1995.
- BRÜHL, T. UND SIMONIS, U.E. (2001): *World Ecology and Global Environmental Governance* Berlin 2001. (= WZB-Papers. FS II 01-402)
- BRUNNENGRÄBER, A. UND HIRSCHL, B. (2004): *Global Governance und Klimawandel - Eine Mehrebenenanalyse zu den Bedingungen, Risiken und Chancen sozial-ökologischer Transformation* Aus: BMBF (Hrsg. 2004a): *Steuerung und Transformation. Überblick über theoretische Konzepte in den Projekten der sozial-ökologischen Forschung* Berlin 2004. (=Querschnittsarbeitsgruppe Steuerung und

- Transformation im Förderschwerpunkt Sozial-ökologische Forschung des BMBF Diskussionspapier. 01) S. 25-30.
- BRUNNER, P.H. (2001): *Material Flow Analysis. Vision and Reality* In: *Journal of Industrial Ecology*, 5. Jg. (2002), H. 2, S. 3-5.
- BRUNNER, P.H. (2002): *Beyond Materials Flow Analysis* In: *Journal of Industrial Ecology*, 6. Jg. (2002), H. 1, S. 8-10.
- BRUNNER, P.H. (2004): *Materials Flow Analysis and the Ultimate Sink* In: *Journal of Industrial Ecology*, 8. Jg. (2004), H. 3, S. 4-7.
- BRUNNER, P.H.; DAXBECK, H. UND BACCINI, P. (1994): *Industrial metabolism at the regional and lokal level: A case-study on a Swiss region* Aus: Ayres, R.U. und Simonis, U.E. (1994): *Industrial metabolism: Restructuring for sustainable development* Tokyo, New York, Paris 1994. S. 163-193.
- BULL, A.T. (1996): *Biotechnology for environmental quality: closing the circles* In: *Biodiversity and Conservation*, 5. Jg. (1996), H. 1, S. 1-25.
- BUND/MISEREOR (Hrsg. 2002): *Wegweiser für ein zukunftsfähiges Deutschland* München 2002.
- BUND/MISERIOR (Hrsg. 1996): *Zukunftsfähiges Deutschland. Ein Beitrag zu einer global nachhaltigen Entwicklung - Studie des Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt, Energie GmbH* Basel 1996.
- BURSCHEL, C. (2002): *Nachhaltiges Designmanagement* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 10. Jg. (2002), H. 2, S. 84-89.
- BUSCH-LÜTY, C. (1995): *Nachhaltige Entwicklung als Leitmodell einer ökologischen Ökonomie* Aus: Fritz, P.; Huber, J. und Levi, H. W. (Hrsg. 1995): *Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive* Stuttgart 1995. S. 115-126.
- BUSCH-LÜTY, C. (2003): *Nachhaltigkeit als integratives Lebensprinzip. Gedankengänge rund um einen potentiellen Gesundbrunnen unserer Wissenschaftskultur im Allgemeinen und der Ökonomie im Besonderen* Aus: Yüce, N. und Plöger, P. (Hrsg. 2003): *Die Vielfalt der Wechselwirkungen. Eine transdisziplinäre Exkursion im Umfeld der Evolutionären Kulturökologie* Freiburg 2003. S. 15-37.
- BUSCH-LÜTY, C. UND DÜRR, H.-P. (1996): *Ökonomie und Natur: Versuch einer Annäherung im interdisziplinären Dialog* Aus: Wehrt, H. (Hrsg. 1996): *Humanökologie. Beiträge zum ganzheitlichen Verständnis unserer geschichtlichen Lebenswelt* Basel 1996. S. 96-128.
- CALCOTT, P. UND WALLS, M. (2002): *Waste, Recycling and "Design for Environment": Roles for Markets and Policy Instruments* Washington 2002.
- CALLENBACH, E. (2000): *Ökologie von A-Z. Ein Wegweiser* Hamburg 2000.
- CAMPBELL, B. (1985): *Ökologie des Menschen* München 1985.
- CAMPBELL, S.; KAKIZAWA, Y.; MEYER, E. u.a. (2002): *Tools from Industrial Ecology: Yale University Electronics Recycling* Aus: Chertow, M.; Portlock, M. und Coppock, J. (Hrsg. 2002): *Developing Industrial Ecosystems: Approaches, Cases, and Tools* New Haven 2002. (=Yale University Bulletin Series. 106) S. 23-47.

- CANTOR, R. UND RAYNER, S. (1994): *Changing Perceptions of Vulnerability* Aus: Socolow, R.; Andrews C.; Berkhout F. u.a. (Hrsg. 1994): *Industrial Ecology and Global Change* Cambridge 1994. S. 69-83.
- CAPRA, F. (1988): *Wendezeit. Bausteine für ein neues Weltbild - einmalige Sonderausgabe* München 1988.
- CAPRA, F. (1990): *Das Neue Denken* Bern 1990.
- CAPRA, F. (1996): *Lebensnetz. Ein neues Verständnis der lebendigen Welt* Bern 1996.
- CAPRA, F. (1997): *Turn Turn Turn: Understanding Nature's Cycles Center of Ecoliteracy Paper* Berkeley 1997.
- CAPRA, F. (1998): *Synthese. Neue Bausteine für das Weltbild von morgen* Bern 1998.
- CAPRA, F. (2003): *Ökologie und Gemeinschaft* Aus: Yüce, N. und Plöger, P. (Hrsg. 2003): *Die Vielfalt der Wechselwirkungen. Eine transdisziplinäre Exkursion im Umfeld der Evolutionären Kulturökologie* Freiburg 2003. S. 49-60.
- CARPINTERO, O. (2005): *MFA and Spanish Socio-Economic Metabolism: A Long Term Perspective* Aus: Royal Institute of Technology (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005. S. 29-31.
- CASAVANT, T.E. UND COTE, R.P. (2004): *Using chemical process simulation to design industrial ecosystems* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 901-908.
- CASTELL, A.; CLIFT, R. UND FRANCE, C. (2004): *Extended Producer Responsibility Policy in the European Union. A Horse or a Camel?* In: *Journal of Industrial Ecology*, 8. Jg. (2004), H. 1-2, S. 4-7.
- CHADWICK, M. (1998): *Substance flows through environment and society. A natural scientist's perspective* Aus: Vellinga, P.; Berkhout, F. und Gupta, J. (1998): *Managing a Material World: Perspectives on Industrial Ecology* Dordrecht 1998. S. 21-30.
- CHAO, C. (1999): *Promotion and development of industrial Eco-Systems in Taiwan* Aus: Scott, J. A. und Pagan, R. J. (1999): *Global Competitiveness through Cleaner Production. Proceedings of the 2nd Asia Pacific Cleaner Production Roundtable 21-23 April, 1999, Brisbane, Australia* Brisbane 1999. S. 415-422.
- CHAPIN, F.S.; WALKER, B.H.; HOBBS, R.J. u.a. (1997): *Biotic Control over the Functioning of Ecosystems* In: *Science*, 277. Jg. (1997), H. 5325, S. 500-504.
- CHE (Hrsg. 1998): *The triple Bottom Line. The challenge of the new industrial revolution* Edinburgh 1998.
- CHELSEA CENTER FOR RECYCLING AND ECONOMIC DEVELOPMENT (Hrsg. 2002): *A Feasibility Analysis for the Expansion of Corx, Inc. - Phase II RBED Report August 2002* Chelsea 2002.
- CHELSEA CENTER FOR RECYCLING AND ECONOMIC DEVELOPMENT (Hrsg. 2001): *Springfield Ecoindustrial Baseline Study RBED Report May 2001* Chelsea 2001.

- CHEN, R.S. (1994): *The Human Dimension of Vulnerability* Aus: Socolow, R.; Andrews C.; Berkhout F. u.a. (Hrsg. 1994): *Industrial Ecology and Global Change* Cambridge 1994. S. 85-105.
- CHEN, J. (2002): *Economic and biological evolution: A non-equilibrium thermodynamic theory* Discussion paper, School of Business, University of Northern British Columbia, Prince George, BC, Canada, April 2002 .
- CHEN, X. UND GUO, Y. (2005): *Material-energy Metabolism and Environmental Impacts of the Cement Industry in the Beijing Area* Aus: Royal Institute of Technology (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005. S. 10.
- CHERTOW, M.R. (1999): *Industrial Symbiosis: A Multi-Firm Approach to Sustainability 1999 Greening of Industry Network Conference - Best Practice Proceedings* o.O. 1999.
- CHERTOW, M.R. (2000): *Industrial Symbiosis: Literature and Taxonomie* In: *Annual Review of Energy and Environment*, 25. Jg. (2000), S. 313-337.
- CHERTOW, M. (2002): *Introduction* Aus: Chertow, M.; Portlock, M. und Coppock, J. (Hrsg. 2002): *Developing Industrial Ecosystems: Approaches, Cases, and Tools* New Haven 2002. (=Yale University Bulletin Series. 106) S. 9-22.
- CHERTOW, M.R. (2003): *Evaluating the Success of eco-industrial Development* Aus: Cohen-Rosenthal, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003. S. 258-267.
- CHERTOW, M. (2004): *Industrial Symbiosis Research Symposium* In: *The Eco-Industrial Advantage*, o. Jg. (2004), H. 1, S. 2.
- CHERTOW, M.; ASHTON, W. UND KUPPALLI, R. (2004): *The Industrial Symbiosis Research Symposium at Yale: Advancing the Study of Industry and Environment* Yale 2004.
- CHERTOW, M.; PORTLOCK, M. UND COPPOCK, J. (Hrsg. 2002): *Developing Industrial Ecosystems: Approaches, Cases, and Tools* New Haven 2002. (= Yale University Bulletin Series. 106)
- CHIU, A.S.F. (2001): *Ecology, Systems, and Networking. Walking the Talk in Asia* In: *Journal of Industrial Ecology*, 5. Jg. (2001), H. 2, S. 6-8.
- CHIU, A.S.F. UND YONG, G. (2004): *On the industrial ecology potential in Asian Developing Countries* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 1037-1045.
- CHRISTEN, M. (2002): *Botschafter der Komplexität. Das Santa-Fe-Institut in New Mexico* In: *Neue Züricher Zeitung*, Nr. 252 vom 30.10.02.
- CHRISTENSEN, J. (1998): *Zwischenbetriebliches Stoffstrommanagement in der Praxis - Die Industriesymbiose Kalundborg (Dänemark)* Aus: Liesegang, D.G.; Sterr, T. und Würzner, E. (1998): *Kostenvorteile durch Umweltmanagement-Netzwerke* Heidelberg 1998. (=Betriebswirtschaftlich-ökologische Arbeiten des IUWA. 2) S. 99-110.

- CHRISTENSEN, J. (1998a): *Die industrielle Symbiose Kalundborg - Ein frühes Beispiel eines Recycling-Netzwerks* Aus: Strebel, H. und Schwarz, E. (Hrsg. 1998): *Kreislauforientierte Unternehmenskooperation. Stoffstrommanagement durch innovative Verwertungsnetze* München 1998. (=Lehr- und Handbücher zur Ökologischen Unternehmensführung und Umweltökonomie) S. 323-337.
- CHRISTENSEN, I.; ASHLEY, S.; KRISHNAMOHAN, K. u.a. (1999): *What is needed to encourage adoption of industrial ecology?* Aus: Scott, J. A. und Pagan, R. J. (1999): *Global Competitiveness through Cleaner Production. Proceedings of the 2nd Asia Pacific Cleaner Production Roundtable 21-23 April, 1999, Brisbane, Australia* Brisbane 1999. S. 405-413.
- CHRISTIAN, R.R. UND LUCZKOVICH, J.J. (1999): *Organizing and understanding a winter's seagrass foodweb network through effective trophic levels* In: *Ecological Modeling*, 117. Jg. (1999), H. 1, S. 99-124.
- CHRUSCZ, D. (1992): *Kulturökologisches Denken nach Marvin Harris* Aus: Glaeser, B. und Teherani-Krönner, P. (Hrsg. 1992): *Humanökologie und Kulturökologie. Grundlagen, Ansätze, Praxis*. Opladen 1992. S. 177-190.
- CLARK, W.; JÄGER, J. UND KATES, R.W. (2004): *Box 6.9. Globalisation and Environmental Change* Aus: Steffen, W.; Sanderson, A.; Tyson, P.D. u.a. (2004): *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure* Heidelberg u.a. 2004. S. 290-291.
- CLARK, W.C.; CRUTZEN, P.J. UND SCHELLNHUBER, H.J. (2005): *Science for Global Sustainability: Toward a New Paradigm* Harvard 2005.
- CLAUSSEN, M. (2004): *Box 6.7 CLIMBER: An example of an earth system model on intermediate complexity (EMIC)* Aus: Steffen, W.; Sanderson, A.; Tyson, P.D. u.a. (2004): *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure* Heidelberg u.a. 2004. S. 282-283.
- CLEVELAND, C. J. (1999): *Biophysical Economics: From Physiocracy to Ecological Economics and Industrial Ecology* Aus: Gowdy, J. und Mayumi, K. (1999): *Bioeconomics and Sustainability: Essays in Honor of Nicholas Georgescu-Roegen* Cheltenham, England 1999. S. 125-154.
- COHEN-ROSENTHAL, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003.
- COHEN-ROSENTHAL (2003): *What is Eco-Industrial Development?* Aus: Cohen-Rosenthal, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003. S. 14-29.
- COHEN-ROSENTHAL, E. (2003a): *Making Sense of industrial ecology. A framework for analysis and action* Aus: Cohen-Rosenthal, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003. S. 30-50.
- COHEN-ROSENTHAL, E. (2003b): *A Walk on the human Side of Industrial Ecology* Aus: Cohen-Rosenthal, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003. S. 51-66.
- COHEN-ROSENTHAL, E. (2003c): *Management of Eco-Industrial Parks, Networks and Companies* Aus: Cohen-Rosenthal, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003. S. 163-185.

- COHEN-ROSENTHAL, E. (2004): *Making sense out of industrial ecology: a framework for analysis and action* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 1111-1123.
- COHEN-ROSENTHAL, E. UND SMITH, M. (2003): *Real Estate and eco-industrial development* Aus: Cohen-Rosenthal, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003. S. 243-257.
- COMMON, M. UND STAGL, S. (2005): *Ecological Economics. An Introduction* Cambridge 2005.
- CONRAD, J. (1995): *Grundsätzliche Überlegungen zu einer nachhaltigen Energieversorgung* Aus: Nutzinger, H.G. (Hrsg. 1995): *Nachhaltige Wirtschaftsweise und Energieversorgung. Konzepte, Bedingungen, Ansatzpunkte* Marburg 1995. S. 51-79.
- CONRAD, J. (1997): *Nachhaltige Entwicklung - ein ökologisch modernisiertes Modell der Moderne?* Aus: Brand, K.-W. (Hrsg. 1997): *Nachhaltige Entwicklung. Eine Herausforderung an die Soziologie* Opladen 1997. S. 51-69.
- COOPER, T. (2005): *Slower Consumption. Reflections on Product Life Spans and the "Throwaway Society"* In: *Journal of Industrial Ecology*, 9. Jg. (2005), H. 1-2, S. 51-67.
- CORDER, G.D.; BRERETON, D.; SMIRK, D. u.a. (2005): *Developing Synergies in the Gladstone Region - an Intensive Industrial Area* Aus: Royal Institute of Technology (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005. S. 131-132.
- COSTANZA, R. (1989): *What is Ecological Economics?* In: *Ecological Economics*, 1. Jg. (1989), H. 1, S. 1-7.
- COSTANZA, R. (Hg 1991): *Ecological Economics. The Science and Management of Sustainability* New York 1991.
- COSTANZA, R. (1996): *Ecological Economics: Reintegrating the Study of Humans and Nature* In: *Ecological Applications*, 6. Jg. (1996), H. 4, S. 978-990.
- COSTANZA, R.; CUMBERLAND, J.; DALY, H. u.a. (2001): *Einführung in die Ökologische Ökonomik* Stuttgart 2001.
- COSTANZA, R.; DALY, H. E. UND BARTHOLOMEW, J. A. (1991): *Goals, Agenda and Policy. Recommendations for Ecological Economics* Aus: Costanza, R. (Hg 1991): *Ecological Economics. The Science and Management of Sustainability* New York 1991. S. 1-20.
- CÔTÉ, R. (1999): *Exploring the Analogy Further* In: *Journal of Industrial Ecology*, 3. Jg. (2000), H. 2&3, S. 11-12.
- CÔTÉ, R.P. (2003a): *Environmental and Resource Issues. An overview* Aus: Cohen-Rosenthal, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003. S. 148-162.
- CÔTÉ, R. (2004): *The Burnside Ecosystem Model* In: *The Eco-Industrial Advantage*, Jg. 2004, H. 1, S. 4.
- CÔTÉ, R.P. (2003): *A Primer on Industrial Ecosystems. A Strategy for Sustainable Industrial Development* Halifax 2003.

- CÔTÉ, R. UND COHEN-ROSENTHAL, E. (1998): *Designing eco-industrial parks: a synthesis of some experiences* In: *Journal of Cleaner Production*, 6. Jg. (1998), H. 3-4, S. 181-188.
- COTE, R.P. UND CRAWFORD, P. (2003): *A Case Study in eco-industrial Development. The transformation of Burnside Industrial Park* Aus: Cohen-Rosenthal, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003. S. 322-329.
- COTGREAVE, P. UND FORSETH, I. (2002): *Introductory Ecology* Malden, MA 2002.
- COUSIN, R. (2005): *A Theoretical Framework for Measuring the Sustainability Capacity of Modes of Governance* Aus: Filho, W.L. (Hrsg. 2005): *Handbook of Sustainability Research* Frankfurt/M 2005. (=Environmental Education, Communication and Sustainability. 20) S. 31-48.
- CRUTZEN (2004): *Box 2.7. Anti-Gaia* Aus: Steffen, W.; Sanderson, A.; Tyson, P.D. u.a. (2004): *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure* Heidelberg u.a. 2004. S. 72.
- CRUTZEN (2004a): *Box 5.5 The Ozone Hole* Aus: Steffen, W.; Sanderson, A.; Tyson, P.D. u.a. (2004): *Global Change and the Earth System A Planet Under Pressure* Heidelberg u.a. 2004. S. 236-237.
- CUMMING, G.S. UND COLLIER, J. (2005): *Change and Identity in Complex Systems* In: *Ecology and Society*, 10. Jg. (2005), H. 1/Art 29, S. 1-13.
- CUNDILL, G.N.R.; FABRICIUS, C. UND MARTI, N. (2005): *Foghorns to the Future: Using Knowledge and Transdisziplinarity to navigate Complex Systems* www.ecologyandsociety.org/vol10/iss2/art18 In: *Ecology and Society*, 10. Jg. (2005), H. 2/Art. 18, S. 1-14.
- CZECH, B. (2000): *The importance of ecological economics to wildlife conservation* In: *Wildlife Society Bulletin*, 28. Jg. (2000), H. 1, S. 2-3.
- CZECH, B. UND DALY, H. (2004): *In my Opinion: The steady state economy - what it is, entails and connotes* In: *Wildlife Society Bulletin*, 32. Jg. (2004), H. 2, S. 598-605.
- CZESKLEBA-DUPONT, R. (1999): *Can Social Science Help in Restructuring Energetic and Material Metabolism for Sustainable Development* Roskilde/Dänemark 1999.
- DAHMUS, J.B. UND GUTOWSKI, T.G. (2005): *Effizienz und Produktion: Historische Trends für sieben Industriebranchen. Working paper, presented at the 3rd Biennial Conference of the US Society for Ecological Economics, Tacoma, WA, July 20-23 2005* Tacoma o.J.
- DALY, H. E. (1991): *Elements of Environmental Macroeconomics* Aus: Costanza, R. (Hg 1991): *Ecological Economics. The Science and Management of Sustainability* New York 1991. S. 32-46.
- DANIELS, P.L. (2002): *Approaches for Quantifying the Metabolism of Physical Economies: A Comparative Survey Part II: Review of Individual Approaches* In: *Journal of Industrial Ecology*, 6. Jg. (2002), H. 1, S. 65-88.
- DANIELS, P.L. UND MOORE, S. (2001): *Approaches for Quantifying the Metabolism of Physical Economies Part I: Methodological Overview* In: *Journal of Industrial Ecology*, 5. Jg. (2001), H. 4, S. 69-93.

- DASGUPTA, P.; LEVIN, S. UND LUBCHENCO, J. (2000): *Economic Pathways to Ecological Sustainability: Challenges for the New Millennium* In: *BioScience*, 50. Jg. (2000), H. 4, S. 339-345.
- DAUFRESNE, T. UND HEDIN, L.O. (2005): *Plant coexistence depends on ecosystem nutrient cycles: Extension of the resource-ratio theory* In: *PNAS*, 102. Jg. (2005), H. 26, S. 9212-9217.
- DAVIDSON-HUNT, I. UND BERKES, F. (2003): *Learning as You Journey: Anishinaabe Perception of Social-ecological Environments and Adaptive Learning* www.ecologyandsociety.org/vol8/iss1/art5 In: *Ecology and Society*, 8. Jg. (2003), H. 1/Art 5, S. 1-21.
- DAVIS, G.R. (1990): *Energy for Planet Earth* In: *Scientific American*, 263. Jg. (1990), H. 3, S. 21-27.
- DAY, R. M. (1998): *Beyond Eco-Efficiency: Sustainability as a Driver for Innovation* o.O. 1998. <http://www.wri.org/wri/meb/sei/beyond.html> am 16.06.04.
- DEGELE, N. (1997): *Zur Steuerung komplexer Systeme - eine sozialkybernetische Reflexion* In: *Soziale Systeme*, 3. Jg. (1997), H. 1, S. 81-99.
- DEPPE, M. UND SCHLARB, M. (o.J.): *Eco-Industrial Development Workbook. This Report was prepared under an Award from the US Department of Commerce Economic Development Administration - Grant 99-06-07467.01* Los Angeles o.J.
- DEPPE; M.; LEATHERWOOD, T.; LOWITT, P. u.a. (2000): *A Planner's Overview of Eco-Industrial Development* o.O. 2000. <http://www.asu.edu/caed/proceedings00/DEPPE/deppe.htm>.
- DESROCHERS, P. (1998): *Industrial Ecology, Market Processes and the Creation of 'Industrial Loops': A Critical Reappraisal* Montreal 1998. www.mises.org/journals/scholar/desrochers.pdf.
- DESROCHERS, P. (2000): *Eco Industrial Parks. The Case for Private Planning* Bozeman 2000.
- DESROCHERS, P. (2000a): *Market Processes and the Closing of "Industrial Loops". A Historical Reappraisal* In: *Journal of Industrial Ecology*, 4. Jg. (2000), H. 1, S. 29-43.
- DESROCHERS, P. (2001): *Eco-Industrial Parks - The Case for Private Planning* In: *The Independent Review*, o.J.. Jg. (2001), H. 3, S. 345-371.
- DESROCHERS, P. (2001a): *Cities and Industrial Symbiosis. Some Historical Perspectives and Policy Implications* In: *Journal of Industrial Ecology*, 5. Jg. (2001), H. 4, S. 29-44.
- DESROCHERS, P. (2002): *Industrial ecology and the rediscovery of inter-firm recycling linkages: Historical evidence and policy implications* In: *Industrial and Corporate Change*, 11. Jg. (2002), H. 5, S. 1031-1057.
- DESROCHERS, P. (2004): *Industrial Symbiosis: The case for market coordination* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 1099-1110.

- DESROCHERS, P. (2005): *Learning from history or from nature or both? Recycling networks and their metaphors in early industrialisation* In: *Progress in Industrial Ecology*, 2. Jg. (2005), H. 1, S. 19-34.
- DESROCHERS, P. (o. J.): *Eco-Industrial Parks and the Rediscovery of Inter-Firm Recycling Linkages* o. O. o. J. www.mises.org/journals/Scholar/Eco6a.pdf am 15.10.2004.
- DETTENKOFER, M.; ZUNDER, T. UND LACOUR, M. (2001): *Mensch - Umwelt - Krankheit. Grundlagen und Konzepte der Umweltmedizin*. Aus: Alt, K. W. und Rauschenberger, N. (Hrsg. 2001): *Ökohistorische Reflexionen. Mensch und Umwelt zwischen Steinzeit und Silicon Valley* Freiburg 2001. (=Rombach Wissenschaften Reihe Ökologie. 6) S. 61-73.
- DEUTSCHER BUNDESTAG (Hg 2002): *Bericht des Ausschusses für Bildung Forschung und Technikfolgenabschätzung (19 Ausschuss). Technikfolgenabschätzung; hier: Monitoring Kernfusion* Berlin 2002.
- DEUTZ, P.; GIBBS, D. UND PROCTOR, A. (2003): *Eco-Industrial development: Its potential as a stimulator of local economic development. Paper presented to the Annual Meeting of the Association of American Geographers, New Orleans, 4-8 March 2003* New Orleans 2003.
- DIW (Hrsg. 2004): *Sustainability Impact Assessment - Herausforderungen für die ökologisch-ökonomische Modellbildung - Hintergrund und Fragen Expertenworkshop am 7./8. Juni im DIW Berlin - Tagungsankündigung* Berlin 2004.
- DOBSON, A. (2003): *Metalife!* In: *Science*, 301. Jg. (2003), H. 5639, S. 1488-1490.
- DOERR, A. (2005): *Überleben oder Untergehen* In: *Der Spiegel*, Nr. 50 vom 19.12.2005.
- DOSCH, K. (2004): *Mehr Hirnströme statt Massenströme* Aus: Altner, G.; Leitschuh-Fecht, H.; Michelsen, G. u.a. (Hrsg. 2004): *Jahrbuch Ökologie 2005* München 2004. S. 189-194.
- DOSCH, K. (2004a): *Neue Materialien - Ein Weg aus der Durchflusswirtschaft?* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 12. Jg. (2004), H. 3, S. 4-7.
- DOUGLAS, I. UND LAWSON, N. (2000): *The Human Dimensions of Geomorphological Work in Britain* In: *Journal of Industrial Ecology*, 4. Jg. (2001), H. 2, S. 9-33.
- DRUMMOND, K.; GARLAND, M.; O'MALLEY, B. u.a. (2002): *Efficacy of Industrial Symbiosis for Food Residues in the Greater New Haven Area* Aus: Chertow, M.; Portlock, M. und Coppock, J. (Hrsg. 2002): *Developing Industrial Ecosystems: Approaches, Cases, and Tools* New Haven 2002. (=Yale University Bulletin Series. 106) S. 351-378.
- DUBESTER, L. (2000): *Materials Flow Through The Community: Creating New Resource Opportunities. RBED Report August 2000* Chelsea 2000.
- DUNNE, J. A.; WILLIAMS, R.J. UND MARTINEZ, N.D. (2002): *Food-web structure and networktheory: The role of connectance and size* In: *PNAS*, 99. Jg. (2002), H. 20, S. 12917-12922.

- DÜRR, H.P. (1999): *Vorwort - Wirklichkeit des Lebens* Aus: Fischbeck, H.J. (Hrsg. 1999): *Leben in Gefahr - Von der Erkenntnis des Lebens zu einer neuen Ethik des Lebendigen* Neukirchen 1999. S. 1-5.
- DÜRR, H. P. (2003): *Was heißt wissenschaftliches Querdenken?* Aus: Yüce, N. und Plöger, P. (Hrsg. 2003): *Die Vielfalt der Wechselwirkungen. Eine transdisziplinäre Exkursion im Umfeld der Evolutionären Kulturökologie* Freiburg 2003. S. 61-78.
- EAC SWEDEN (Hrsg. 2002): *Resilience and Sustainable Development: Building adaptive Capacity in a World of Transformation* Stockholm 2002.
- EBLINGHAUS, H. UND STICKLER, A. (1996): *Nachhaltigkeit und Macht. Zur Kritik von Sustainable Development* Frankfurt/M. 1996.
- EDER, K. (1992): *Die Ambivalenz des modernen Naturverständnisses: Ökologische Ethik und der neue Geist des Kapitalismus* Aus: Glaeser, B. und Teherani-Krönner, P. (Hrsg. 1992): *Humanökologie und Kulturökologie. Grundlagen, Ansätze, Praxis*. Opladen 1992. S. 89-105.
- EFA (Hrsg. o.J.): *PIUS auf den Punkt gebracht. Produktions-integrierter Umweltschutz mit der Effizienz-Agentur NRW* Duisburg o.J.
- EGGER, K. (1996): *Evolution, Menschenbild und Umweltkrise. Ein Versuch zur human-ökologischen Hypothesenbildung* Aus: Wehrt, H. (Hrsg. 1996): *Humanökologie. Beiträge zum ganzheitlichen Verständnis unserer geschichtlichen Lebenswelt* Basel 1996. S. 155-189.
- EGGER, K. UND RUDOLPH, S. (1992): *Zum anschaulichen Umgang mit komplexen Aspekten der Kultur- und Ökokrise* Aus: Glaeser, B. und Teherani-Krönner, P. (Hrsg. 1992): *Humanökologie und Kulturökologie. Grundlagen, Ansätze, Praxis*. Opladen 1992. S. 221-234.
- EHRENFELD, J.R. (2001): *Environmental Management Systems. A Partner for Industrial Ecology?* In: *Journal of Industrial Ecology*, 5. Jg. (2001), H. 1, S. 1-3.
- EHRENFELD, J.R. (2001a): *Industrial Ecology - An Idea Whose Time Has Come? Paper Presented at the 4th NTVA Seminar and Workshop on Industrial Ecology, Trondheim, 14-15 June 2001* Trondheim 2001.
- EHRENFELD, J. (2002): *Industrial Ecology - Becoming a New Field? Prepared for Presentation at AIChE 2002 Annual Meeting, November 3-8, 2002* o.O. 2002. www.capitalizingonchange.org/docs/IndustrialEcologyEhrenfeld.pdf am 17.06.04.
- EHRENFELD, J. (2003): *Putting a Spotlight on Metaphors and Analogies in Industrial Ecology* In: *Journal of Industrial Ecology*, 7. Jg. (2003), H. 1, S. 1-4.
- EHRENFELD, J. (2004): *Industrial Ecology: A new field or only a metaphor?* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-12, S. 825-831.
- EHRENFELD, J.R. (2004a): *Can Industrial Ecology be the "Science of Sustainability"?* In: *Journal of Industrial Ecology*, 8. Jg. (2004), H. 1-2, S. 1-3.
- EILERING, J. A. M. UND VERMEULEN, W. J. V. (2004): *Eco-industrial parks: Towards industrial symbiosis and utility sharing in practice* In: *Progress in Industrial Ecology*, 1. Jg. (2004), H. 1/2/3, S. 245-270.

- EISEL, U. (1991): *Warnung vor dem Leben. Gesellschaftstheorie als "Kritik der Politischen Biologie"* Aus: Hassenpflug, D. (Hrsg. 1991): *Industrialismus und Ökorumantik. Geschichte und Perspektiven der Ökologisierung* Wiesbaden 1991. S. 159-192.
- EISEL, U. (1992): *Individualität als Einheit der konkreten Natur: Das Kulturkonzept der Geographie* Aus: Glaeser, B. und Teherani-Krönner, P. (Hrsg. 1992): *Humanökologie und Kulturökologie. Grundlagen, Ansätze, Praxis*. Opladen 1992. S. 107-151.
- EKINS, P. (1997): *The Kuznets curve for the environment and economic growth: Examining the evidence* In: *Environment and Planning*, Jg. 1997, H. 29, S. 805-830.
- EKINS, P. UND MAX-NEEF, M. (eds 1992): *Real-life economics: Understanding wealth creation* London 1992.
- ELOHIM, J.L.; STUHLER, E.A. UND PARRA-LUNA, F. (Hrsg. 2000a): *Sustainable Development II. Strategic views supported by measurement, modelling and/or simulation* München 2000.
- ELOHIM, J.L.; STUHLER, E.A. UND PARRA-LUNA, F. (Hrsg. 2000): *Sustainable Development I. Some philosophical, ideological and theoretical views* München 2000. (= Research on cases and theories. 8)
- ELSNER, W. UND BIESECKER, A., (2003): *Neuartige Netzwerke und nachhaltige Entwicklung. Komplexität und Koordination in Industrie, Stadt und Region* Frankfurt/M 2003.
- ENDRES, A. UND HOLM-MÜLLER, K. (1998): *Die Bewertung von Umweltschäden. Theorie und Praxis sozioökonomischer Verfahren* Stuttgart 1998.
- ENDRES, A. UND QUERNER, I. (2000): *Die Ökonomie natürlicher Ressourcen. 2te überarbeitete Auflage*. Stuttgart 2000.
- ENDRUWEIT, G. UND TROMMSDORF, G. (Hrsg. 2002): *Wörterbuch der Soziologie. 2. völlig neubearbeitete und erweiterte Auflage* Stuttgart 2002.
- ENQUETE KOMMISSION -SCHUTZ DES MENSCHEN UND DER UMWELT- DES DEUTSCHEN BUNDESTAGES: *Umweltverträgliches Stoffstrommanagement - Konzepte Instrumente Bewertung Studien im Auftrag der Enquete Kommission Bd.1* Bonn 1994.
- ENQUETE-KOMMISSION -SCHUTZ DES MENSCHEN UND DER UMWELT- DES DEUTSCHEN BUNDESTAGES (Hg 1994): *Die Industriegesellschaft gestalten. Perspektiven für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen* Bonn 1994.
- ENQUETE-KOMMISSION -SCHUTZ DES MENSCHEN UND DER UMWELT- DES DEUTSCHEN BUNDESTAGES (Hrsg. 1998): *Konzept Nachhaltigkeit - Vom Leitbild zur Umsetzung* Bonn 1998.
- EPA (Hrsg. 2000): *Moving Toward Sustainability* Washington 2000.
- ERBRICH, P. (2004): *Grenzen des Wachstums im Widerstreit der Meinungen. Leitlinien für eine nachhaltige ökologische, soziale und ökonomische Entwicklung* Stuttgart 2004. (= Globale Solidarität - Schritte zu einer neuen Weltkultur. 8)
- ERKMAN, S. (1997): *Industrial ecology: an historical view* In: *Journal of Cleaner Production*, 5. Jg. (1997), H. 1-2, S. 1-10.

- ERKMAN, S. (2001): *Industrial ecology: A new perspective on the future of the industrial system* In: *Swiss Med Weekly*, o.J.. Jg. (2001), H. 37, S. 531-538.
- ERKMAN, S. (2002): *The recent history of industrial ecology* Aus: Ayres, R.U. und Ayres, L.W. (2002): *A handbook of industrial ecology* Cheltenham 2002. S. 27-35.
- ERKMAN, S. (2003): *Perspectives on Industrial Ecology* Aus: Bourg, D. und Erkman, S. (Hrsg. 2003): *Perspectives on Industrial Ecology* Wien (Greenleaf Publishing) 2003. S. 338-342.
- ERKMAN, S. UND RAMASWAMY, R. (2003): *Applied Industrial Ecology. A New Platform for Planning Sustainable Societies* Bangalore 2003.
- ERKMAN, S. UND RAMASWAMY, R. (2001): *Industrial Ecology: A new Cleaner Production strategy* In: *UNEP Industry and Environment*, 24. Jg. (2001), H. 1-2, S. 64-67.
- ERKMAN, S.; FRANCIS, C. UND RAMASWAMY, R. (2001): *Industrial Ecology: An Agenda for the Long-term Evolution of the Industrial System. "Cahier de propositions" of the Industrial Ecology Workshop, Geneva, 27 August 2001* Geneva 2001.
- ESPENHORST, S. (o.J.): *Perspectives of Inter-Industrial Recycling Networks* Discussion Paper, International Summer Academy on Technology Studies-Corporate Sustainability, Graduiertenkolleg Umwelt- und Ressourcenökonomik am Inter-disziplinären Institut für Umweltökonomie, Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg .
- EBBACH, W. (2001): *Zur Anthropologie artifizieller Umwelt* Aus: Alt, K. W. und Rauschenberger, N. (Hrsg. 2001): *Ökohistorische Reflexionen. Mensch und Umwelt zwischen Steinzeit und Silicon Valley* Freiburg 2001. (=Rombach Wissenschaften Reihe Ökologie. 6) S. 171-195.
- EUMETSAT (Hrsg. 2000): *Proceedings of the SAF Training Workshop - Climate Monitoring held from 20-22 November in Dresden* Dresden 2000. (= www.eumetsat.int - Publications - Conference and Workshop Proceedings)
- EUROSOLAR (Hrsg. 2003a): *Verstreute, dezentralisierte und erneuerbare Energiequellen: Alternativen zur nationalen Verwundbarkeit und Krieg* In: *Solarzeitalter*, o.J.. Jg. (2003), H. 1, S. 6-8.
- EUROSOLAR (Hrsg. 2000): *Solarzeitalter Serie: "Vollversorgung der Gesellschaft mit erneuerbaren Energien"* In: *Solarzeitalter*, o.J.. Jg. (2000), H. 4, S. 1-4.
- EUROSOLAR (Hrsg. 2003): *Memorandum zur Energieforschung* Bonn 2003.
- EYERER, P. UND WOLF, M.-A. (2000): *Zero Emissions - Was geht und was nicht geht* Aus: Altner, G.; Mettler-von Meibom, B.; Simonis, U.E. u.a. (Hrsg. 2000): *Jahrbuch Ökologie 2001* München 2000. S. 136-148.
- FABER, M. UND MANSTETTEN, R. (2003): *Mensch - Natur - Wissen Grundlagen der Umweltbildung* Göttingen 2003.
- FABER, M. UND PETERSEN, T. (2003): *Umwelt: Welcher Preis?* Heidelberg 2003.
- FABER, M.; FRANK, K.; KLAUER, B. u.a. (2005): *Grundlagen einer allgemeinen Theorie der Bestände* Aus: Beckenbach, F.; Hampicke, U.; Leipert, C. u.a. (Hrsg. 2005): *Innovation und Nachhaltigkeit* Marburg 2005. (=Jahrbuch Ökologische Ökonomik. 4) S. 251-294.

- FABER, M.; MANSTETTEN, R. UND PROOPS, J. (1998): *Ecological Economics. Concepts and Methods* Cheltenham 1998.
- FARMER, K. (1998): *Volkswirtschaftlich-ordnungsökonomische Aspekte zwischenbetrieblicher Verwertungsbeziehungen im produzierenden Bereich* Aus: Strebel, H. und Schwarz, E. (Hrsg. 1998): *Kreislauforientierte Unternehmenskooperation. Stoffstrommanagement durch innovative Verwertungsnetze* München 1998. (=Lehr- und Handbücher zur Ökologischen Unternehmensführung und Umweltökonomie) S. 165-198.
- FARUK, A.C.; LAMMING, R.C.; COUSINS, P.D. u.a. (2001): *Analyzing, Mapping, and Managing Environmental Impacts along Supply Chains* In: *Journal of Industrial Ecology*, 5. Jg. (2001), H. 2, S. 13-36.
- FAUCHEUX, S. UND NOEL, J.-F. (2001): *Ökonomie natürlicher Ressourcen und der Umwelt* Marburg 2001. (= Grundlagen der Wirtschaftswissenschaft. 9)
- FAUCHEUX, S.; PEARCE, D. UND PROOPS, J. (1996): *Models of Sustainable Development. New Horizons in Environmental Economics* Cheltenham 1996.
- FICHTER, K. (2005): *Interpreneurship. Nachhaltigkeitsinnovationen in interaktiven Perspektiven eines vernetzenden Unternehmertums* Marburg 2005.
- FICHTNER, W.; FRANK, M. UND RENTZ, O. (2004): *Inter-firm energy supply concepts: an option for cleaner energy production* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 891-899.
- FICHTNER, W.; FRANK, M. UND RENTZ, O. (2000): *Information und Kommunikation innerhalb von technisch determinierten Verwertungsnetzwerken* Aus: Liesegang, D.G.; Sterr, T. und Ott, T. (2000): *Aufbau und Gestaltung regionaler Stoffstrommanagementnetzwerke. Betriebswirtschaftlich-Ökologische Arbeiten des IUWA, Band 4* Heidelberg 2000. S. 107-124.
- FICHTNER, W.; TIETZE-STÖCKINGER, I.; FRANK, M. u.a. (2005): *Barriers of interorganisational environmental management: Two case studies on environmental symbiosis* In: *Progress in Industrial Ecology*, 2. Jg. (2005), H. 1, S. 73-88.
- FICHTNER, W.; TIETZE-STÖCKINGER, I.; RENTZ, O. u.a. (2004): *On industrial symbiosis networks and their classification* In: *Progress in Industrial Ecology*, 1. Jg. (2004), H. 1/2/3, S. 130-142.
- FIELD, F.; KIRCHHAIN, R. UND CLARK, J. (2000): *Life-Cycle Assessment and Temporal Distributions of Emissions* In: *Journal of Industrial Ecology*, 4. Jg. (2000), H. 2, S. 71-91.
- FILHO, W.L. (Hrsg. 2005): *Handbook of Sustainability Research* Frankfurt/M 2005. (= Environmental Education, Communication and Sustainability. 20)
- FILHO, W.L.; ZICKIENE, S. UND TAMASausKIENE, Z. (2005): *An Appraisal of the Application of Indicators for Assessing Sustainable Development* Aus: Filho, W.L. (Hrsg. 2005): *Handbook of Sustainability Research* Frankfurt/M 2005. (=Environmental Education, Communication and Sustainability. 20) S. 459-474.
- FINKE, P. (1997): *Wirtschaft - ein kulturelles Ökosystem. Über Evolution, Dummheit und Reformen* Aus: VÖÖ (Hrsg. 1997): *Arbeiten in einer nachhaltig wirtschaftenden Gesellschaft* Heidelberg 1997. S. 31-47.

- FINKE, P. (2003): *Die Wechselwirkung der Vielfalt* Aus: Yüce, N. und Plöger, P. (Hrsg. 2003): *Die Vielfalt der Wechselwirkungen. Eine transdisziplinäre Exkursion im Umfeld der Evolutionären Kulturökologie* Freiburg 2003. S. 237-323.
- FINSTER, M.; EAGAN, P. UND HUSSEY, D. (2001): *Linking Industrial Ecology with Business Strategy. Creating Value for Green Product design* In: *Journal of Industrial Ecology*, 5. Jg. (2001), H. 3, S. 107-125.
- FISCHBECK, H.J. (Hrsg. 1999): *Leben in Gefahr - Von der Erkenntnis des Lebens zu einer neuen Ethik des Lebendigen* Neukirchen 1999.
- FISCHER KOWALSKI, M.; KRAUSMANN, F.; SCHANDL, H. u.a. (2003): *The transformation of society's natural relations: From the agrarian to the industrial system. Research strategy for an empirically informed approach towards a European Environmental History* Wien 2003.
- FISCHER-KOWALSKI, M. (2002): *Gesellschaft, Natur und Freiheit. Ein Kommentar aus soziologischer Perspektive*. Aus: Winiwarter, V. und Wilfing, H. (Hrsg. 2002): *Historische Humanökologie. Interdisziplinäre Zugänge zu Menschen und ihrer Umwelt* Wien 2002. S. 237-245.
- FISCHER-KOWALSKI, M. (2002a): *Exploring the history of industrial metabolism* Aus: Ayres, R.U. und Ayres, L.W. (2002): *A handbook of industrial ecology* Cheltenham 2002. S. 16-26.
- FISCHER-KOWALSKI, M. (2003): *On the History of Industrial Metabolism* Aus: Bourg, D. und Erkman, S. (Hrsg. 2003): *Perspectives on Industrial Ecology* Wien (Greenleaf Publishing) 2003. S. 35-45.
- FISCHER-KOWALSKI, M. (2003a): *Gesellschaftlicher Metabolismus, Territorium und Nachhaltigkeit* In: *Gaia*, 12. Jg. (2003), H. 1, S. 1-2.
- FISCHER-KOWALSKI, M. UND ERB, K. (2003): *Gesellschaftlicher Stoffwechsel im Raum. Auf der Suche nach einem sozialwissenschaftlichen Zugang zur biophysischen Realität* Aus: Meusburger, P. und Schwan, T. (Hg 2003): *Humanökologie. Ansätze zur Überwindung der Natur-Kultur-Dichotomie* Wiesbaden 2003. (=Erdkundliches Wissen. 135) S. 257-285.
- FISCHER-KOWALSKI, M. UND WEISZ, H. (1998): *Gesellschaft als Verzahnung materieller und symbolischer Welten* Aus: Brand, K.-W. (Hrsg. 1998): *Soziologie und Natur. Theoretische Perspektiven* Opladen 1998. S. 145-172.
- FISCHER-KOWALSKI, M.; HABERL, H.; HÜTTLER, W. u.a. (Hrsg. 1997): *Gesellschaftlicher Stoffwechsel und Kolonisierung von Natur. Ein Versuch in Sozialer Ökologie*. Amsterdam 1997.
- FISCHER-KOWALSKI, M.; HABERL, H. UND PAYER, H. (1994): *A phletora of paradigms: Outlining an information system on physical exchanges between the economy and nature* Aus: Ayres, R.U. und Simonis, U.E. (1994): *Industrial metabolism: Restructuring for sustainable development* Tokyo, New York, Paris 1994. S. 337-360.
- FISCHHOFF, B. UND SMALL, M.J. (1999): *Human Behaviour in Industrial Ecology Modeling* In: *Journal of Industrial Ecology*, 3. Jg. (1999), H. 2&3, S. 4-7.

- FLEIG, A.-K. (2000): *Eco-Industrial Parks. A Strategy towards Industrial Ecology in Developing and Newly Industrialised Countries* Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH: Eschborn 2000. www.gtz.de/utk/.
- FLEIG, J. (Hrsg. 2000): *Zukunftsfähige Kreislaufwirtschaft. Mit Nutzenverkauf, Langlebigkeit und Aufarbeitung ökonomisch und ökologisch wirtschaften* Stuttgart 2000.
- FLEISCHER, G. UND LICHTENVORT, K. (2004): *Neue Pfade für innovative Werkstoffauswahl: euroMat* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 12. Jg. (2004), H. 3, S. 19-23.
- FLITNER, M. (2003): *Umweltgerechtigkeit. Ein neuer Ansatz der sozialwissenschaftlichen Umweltforschung* Aus: Meusburger, P. und Schwan, T. (Hg 2003): *Humanökologie Ansätze zur Überwindung der Natur-Kultur-Dichotomie* Wiesbaden 2003. (=Erdkundliches Wissen. 135) S. 139-160.
- FOLKE, C. (2004): *Box 6.8 Enhancing Resilience for Adapting to Global Change* Aus: Steffen, W.; Sanderson, A.; Tyson, P.D. u.a. (2004): *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure* Heidelberg u.a. 2004. S. 287.
- FOLLATH, E. (2006): *Der neue kalte Krieg* In: *Der Spiegel*, Nr. 13 vom 2006.
- FORAN, B. UND POLDY, F. (2002): *Future Dilemmas: Options to 2050 for Australia's population, technology, resources and environment* Canberra 2002. (= Resource Future Working Paper. 02/01)
- FOSTER, J.B. UND BURKETT, P. (2004): *Ecological Economics and classical Marxism. The "Podilinsky Business" reconsidered* In: *Organization & Environment*, 17. Jg. (2004), H. 1, S. 32-60.
- FRANCIS, S. UND ERKMAN, S. U.A. (o.J.): *Environmental Management for Industrial Estates - A Background Paper on the UNEP-DTIE Approach* Geneva o.J.
- FRANCIS, C. UND ERKMAN, S. (2001): *Environmental Management for Industrial Estates - A Background Paper on the UNEP-DTIE Approach* Aus: Francis, C. und Erkman, S. (Hrsg. 2001): *Environmental Management for Industrial Estates - Information and Training Resources Prepared for UNEP, Division of Technology, Industry and Economics* Paris 2001. S. 1-100.
- FRANCIS, C. UND ERKMAN, S. (Hrsg. 2001): *Environmental Management for Industrial Estates - Information and Training Resources Prepared for UNEP, Division of Technology, Industry and Economics* Paris 2001.
- FRANCOIS, C. UND ULLOA, R.R. (2000): *General Conditions for Sustainable Development* Aus: Elohim, J.L.; Stuhler, E.A. und Parra-Luna, F. (Hrsg. 2000): *Sustainable Development I. Some philosophical, ideological and theoretical views* München 2000. (=Research on cases and theories. 8) S. 49-54.
- FRÄNZLE, S. (2000): *Stöchiometrische Netzwerk-Modelle in der ökologischen Risikoanalyse* Aus: Breckling, B. und Müller, F. (Hrsg. 2000): *Der Ökologische Risikobegriff. Theorie in der Ökologie Band 1* Frankfurt/M 2000. S. 161-177.
- FREITAG, F. O. (2001): *Der ganze Mensch. Skizzen zur Humanökologie* Müllheim 2001.
- FRENZEL, B. (2000): *Datiert der klimawirksame Eingriff des Menschen in den Haushalt der Natur erst aus dem beginnenden Industriezeitalter?* Aus: Bayerische Akademie

- der Wissenschaften (Hrsg. 2000): *Entwicklung der Umwelt seit der letzten Eiszeit* München 2000. (=Rundgespräche der Kommission für Ökologie. 18) S. 33-46.
- FREY, H.C. UND SMALL, M.J. (2003): *Integrated Environmental Assessment, Part I* In: *Journal of Industrial Ecology*, 7. Jg. (2003), H. 1, S. 9-11.
- FRIEDMANN, R.M. (1999): *When You Find Yourself in a Hole, Stop Digging. Comments on Earth Systems Engineering* In: *Journal of Industrial Ecology*, 3. Jg. (1999), H. 4, S. 15-19.
- FRIEGE, H.; ENGELHARDT, C. UND HENSELING, K.O. (Hrsg. 1998): *Das Management von Stoffströmen. Geteilte Verantwortung - Nutzen für alle* Berlin, Heidelberg 1998.
- FRIO, M-L. (1998): *Industrial Ecology: A Primer on Green Strategy for Business. A Publication of the Industrial Ecology Module (PRIME) Project* Makati City 1998.
- FRISCHKNECHT, P. UND SCHMIED, B. (2002): *Umgang mit Umweltsystemen. Methodik zum Bearbeiten von Umweltproblemen unter Berücksichtigung des Nachhaltigkeitsgedankens* München 2002.
- FRITSCH, B. (1994): *Mensch - Umwelt - Innovationen: Wirtschaft und Ökologie im Widerstreit?* München 1994.
- FRITZ, P.; HUBER, J. und LEVI H. W. (1995): *Das Konzept der nachhaltigen Entwicklung als neue Etappe der Suche nach einem umweltverträglichen Entwicklungsmodell der modernen Gesellschaft* Aus: Fritz, P.; Huber, J. und Levi, H. W. (Hrsg. 1995): *Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive* Stuttgart 1995. S. 7-16.
- FRITZ, P.; HUBER, J. UND LEVI, H. W. (Hrsg. 1995): *Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive* Stuttgart 1995.
- FROMM, E.; KRATOCHVIL, R.; LINDENTHAL, T. u.a. (2000): *Nachhaltigkeit erkennbar und planbar machen. Beitrag zum 2. SUSTAIN Bericht "Umsetzung Nachhaltiger Entwicklung in Österreich"* Wien 2000.
- FROSCH, R.A. (1998): *Towards the end of waste. Reflections on a new ecology of industry* Aus: Vellinga, P.; Berkhout, F. und Gupta, J. (1998): *Managing a Material World: Perspectives on Industrial Ecology* Dordrecht 1998. S. 31-44.
- FROSCH, R.A. UND GALLOPOULOS, N.E. (1989): *Strategies for manufacturing* In: *Scientific American*, 261. Jg. (1989), H. 3, S. 144-152.
- FROSTELL, B. UND NILSON, L. (2005): *Application of Industrial Ecology as a Basis for Cleaner Production. Measures and an Improved Corporate Environmental Management* Aus: Royal Institute of Technology (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005. S. 255-256.
- FUMIKAZU, M. (2001): *Producing Eco-value for a Recycling-based Society by Industrial Design* Tokyo Zokei University 2001.
- FUMIKAZU, M.; SATSUKI, K.; NAOKI, I. u.a. (2001): *Eco-Value as an Indicator for Sustainable Design* Tokyo Zokei University 2001.

- FUNUTOWICZ, S.O. UND RAVETZ, J.R. (1991): *A new scientific methodology for global environmental issues* Aus: Costanza, R. (Hg 1991): *Ecological Economics. The Science and Management of Sustainability* New York 1991. S. 137-152.
- FUSE, M. UND KASHIMA, S. (2005): *A Proposal for an Evaluation Method of Cycles in Economic Activities and the Environmental Loads for Specific End-of-Life Products* Aus: Royal Institute of Technology (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005. S. 36-37.
- GAITSCH, R. (2000): *Nachhaltige Regionalentwicklung* Aus: Gehrlein, U. (Hrsg. 2000): *Wege zur Zukunftsbeständigkeit. Strategien und Instrumente zur Umsetzung des Leitbildes nachhaltiger Entwicklung* Münster 2000. (=Darmstädter interdisziplinäre Beiträge. 3) S. 73-97.
- GARNER, A., UND KEOLEIAN, G. A. (1995): *Industrial Ecology: An Introduction* Michigan 1995.
- GEHRLEIN, U. (2000a): *Nachhaltige Entwicklung: Geschichte, Gegenwart und Umsetzungsperspektiven eines Leitbildes* Aus: Gehrlein, U. (Hrsg. 2000): *Wege zur Zukunftsbeständigkeit. Strategien und Instrumente zur Umsetzung des Leitbildes nachhaltiger Entwicklung* Münster 2000. (=Darmstädter interdisziplinäre Beiträge. 3) S. 11-34.
- GEHRLEIN, U. (Hrsg. 2000): *Wege zur Zukunftsbeständigkeit. Strategien und Instrumente zur Umsetzung des Leitbildes nachhaltiger Entwicklung* Münster 2000. (= Darmstädter interdisziplinäre Beiträge. 3)
- GEISENDORF, S. (2001): *Evolutorische Ökologische Ökonomie* Marburg 2001. (= Hochschulschriften. 64)
- GEISENDORF, S., GRONEMANN, S., HAMPICKE, U. u.a. (1998): *Die Bedeutung des Naturvermögens und der Biodiversität für eine nachhaltige Wirtschaftsweise. Möglichkeiten und Grenzen ihrer Erfassbarkeit und Wertmessung* Berlin 1998. (= UBA Forschungsbericht. 10103165/02)
- GEISS, J.; WORTMANN, D. UND ZUBER, F. (Hrsg. 2003): *Nachhaltige Entwicklung - Strategie für das 21. Jahrhundert? Eine interdisziplinäre Annäherung* Opladen 2003.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1975): *Energy and Economic Myths* In: *Southern Economic Journal* , 41. Jg. (1975), H. 3, S. 347-381.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1984): *Feasible Recipes versus Viable Technologies* In: *Atlantic Economic Journal*, 12. Jg. (1984), H. 1, S. 20-31.
- GEORGESCU-ROEGEN, N. (1987): *The Entropy-Law and the Economic Process in Retrospect. Übersetzt aus dem Englischen von: Ley, Jutta* Berlin 1987. (= Schriftenreihe des IÖW. 05/87)
- GEOTECHNOLOGIEN (Hrsg. 2006): *Newesletter No. 4* Potsdam 2006.
- GERDES, J. (2005): *Mit der Natur reden - statt über sie* In: *Gaia*, 14. Jg. (2005), H. 2, S. 90-95.

- GETHMANN, C. F. (2004): *Kann das Ganze Thema der Forschung sein?* Aus: BMBF (Hrsg. 2004): *Vom Wissen zum Handeln? Die Forschung zum globalen Wandel und ihre Umsetzung* Bonn, Berlin 2004. S. 23-26.
- GETZNER, M. (1999): *Die monetäre Bewertung der Natur aus Sicht der ökologischen Ökonomie* Aus: Beckenbach, F.; Hampicke, U.; Leipert, C. u.a. (1999): *Jahrbuch Ökologische Ökonomie I. Zwei Sichtweisen auf das Umweltproblem: Neoklassische Umweltökonomie versus Ökologische Ökonomie* Marburg 1999. S. 219-242.
- GIBBS, D. (2003): *Trust and Networking in Inter-firm Relations: The Case of Eco-industrial Development* In: *Local Economy*, 18. Jg. (2003), H. 3, S. 222-236.
- GIBBS, D.; DEUTZ, P. und Proctor (2002): *Sustainability and the local Economy: The role of Eco-Industrial Parks. Paper presented to the conference Ecosites and Eco-Centres in Europe, Brussels, 19 June 2002* Brussels 2002.
- GIJSEL, P., DE; GERLACH, K.; GLOMBOWSKI, J. u.a. (HG. 1995): *Ökonomie und Gesellschaft Jahrbuch 11: Markt, Norm und Moral* Frankfurt 1995.
- GIJSEL, P. de; GERLACH, K.; GLOMBOWSKI, J. u.a. (1997): *Ökonomie und Gesellschaft Jahrbuch 14: Nachhaltigkeit in der ökonomischen Theorie* Frankfurt/M 1997.
- GILJUM, S. UND EISENMENGER, N. (2003): *North-South trade and the distribution of environmental goods and burdens. A biophysical perspective* Wien 2003.
- GILLETT, S.L. u.a. (2006): *Entropy and its misuse, I. Energy, free and otherwise* In: *Ecological Economics*, 56. Jg. (2006), H. 1, S. 58-70.
- GLAESER, B. (Hrsg. 1989): *Humanökologie Grundlagen präventiver Umweltpolitik* Opladen 1989.
- GLAESER, B. (1992): *Natur in der Krise? Ein kulturelles Mißverständnis* Aus: Glaeser, B. und Teherani-Krönner, P. (Hrsg. 1992): *Humanökologie und Kulturökologie. Grundlagen, Ansätze, Praxis.* Opladen 1992. S. 49-70.
- GLAESER, B. (2002): *Der humanökologische Baustein zur interdisziplinären Theoriebildung* Aus: Winiwarter, V. und Wilfing, H. (Hrsg. 2002): *Historische Humanökologie. Interdisziplinäre Zugänge zu Menschen und ihrer Umwelt* Wien 2002. S. 59-86.
- GLAESER, B. UND TEHERANI-KRÖNNER, P. (Hrsg. 1992): *Humanökologie und Kulturökologie. Grundlagen, Ansätze, Praxis.* Opladen 1992.
- GLEICH, A. von (1991): *Wissenschaft und Technik als Mitverursacher und Bewältiger der ökologischen Krise?* Aus: Hassenpflug, D. (Hrsg. 1991): *Industrialismus und Ökorumantik. Geschichte und Perspektiven der Ökologisierung* Wiesbaden 1991. S. 236-271.
- GLÜSING, J.; JUNG, A.; KLUSMANN, U. u.a. (2006): *Der Fluch der Ressourcen* In: *Der Spiegel*, Nr. 15 vom 10.04.2006.
- GODELIER, M. (1990): *Natur, Arbeit, Geschichte. Zu einer universalgeschichtlichen Theorie der Wirtschaftsformen* Hamburg 1990.
- GOERTZEL, B. (1997): *From Complexity to Creativity. Exploration in Evolutionary, Autopoietic, and Cognitive Dynamics* New York 1997.

- GOKLANY, I.M. (2003): *The Future of the Industrial System* Aus: Bourg, D. und Erkman, S. (Hrsg. 2003): *Perspectives on Industrial Ecology* Wien (Greenleaf Publishing) 2003. S. 194-222.
- GÖLL, E. UND THIO, S. L. (2005): *Nachhaltigkeitsgremien als Institutionen der Politik* Aus: Altner, G.; Leitschuh-Fecht, H.; Michelsen, G. u.a. (Hrsg. 2005): *Jahrbuch Ökologie 2006* München 2005. S. 221-226.
- GÖNNER, C. (2001): *Muster und Strategien der Ressourcennutzung. Eine Fallstudie aus einem Dayak Benuaq-Dorf in Ost Kalimantan, Indonesien* ETH Zürich, Forstwissenschaftliche Beiträge der Professur Forstpolitik und Forstökonomie Nr. 24 .
- GORDEN, M., (2002): *Sustainable New Bedford Phase I. RBED Report November 2002* Chelsea 2002.
- GORDON, R. B.; BERTRAM, M. UND GRAEDEL, T. E. (2006): *Metal stocks and sustainability* In: *PNAS*, 103. Jg. (2006), H. 5, S. 1209-1214.
- GÖRG, C. (1997): *Schutz durch nachhaltige Nutzung? Der Konflikt um die biologische Vielfalt*. Aus: Brand, K.-W. (Hrsg. 1997): *Nachhaltige Entwicklung. Eine Herausforderung an die Soziologie* Opladen 1997. S. 111-129.
- GOTTSCHICK, M.; HAFKESBRINK, J.; STERR, T. u.a. (2004): *Nachhaltigkeitsorientierte Stoffstrommanagementnetzwerke und -kooperationen für das produzierende Gewerbe* Bremen 2004. (= Bremer Diskussionspapiere zur Institutionellen Ökonomie und Sozial-Ökonomie. 57)
- GOUDIE, A. (1994): *Mensch und Umwelt. Eine Einführung* Heidelberg 1994.
- GOWDY, J.M. (2003): *Biophysikalische Grenzen der Naturausbeutung* Aus: Wallimann, I. und Dobkowski, M.N. (Hrsg. 2003): *Das Zeitalter der Knappheit. Ressourcen, Konflikte, Lebenschancen* Bern u.a. 2002. S. 79-94.
- GOWDY, J. UND MAYUMI, K. (1999): *Bioeconomics an Sustainability: Essays in Honor of Nicholas Gerogescu-Roegen* Cheltenham, England 1999.
- GRAEDEL, T. (1994): *Industrial Ecology: Definition and Implementation* Aus: Socolow, R.; Andrews C.; Berkhout F. u.a. (Hrsg. 1994): *Industrial Ecology and Global Change* Cambridge 1994. S. 23-41.
- GRAEDEL, T.E. (1999): *A Structured Approach to LCA. Improvement Analysis* In: *Journal of Industrial Ecology*, 3. Jg. (1999), H. 2&3, S. 85-93.
- GRAEDEL, T.E. UND ALLENBY, B.R. (1998): *Industrial Ecology and the Automobile* Upper Saddle River 1998.
- GRAEDEL, T.; HORKEBY, I. UND NORBERG-BOHM, V. (1998): *Prioritizing Impacts in Industrial Ecology* Aus: Strebel, H. und Schwarz, E. (Hrsg. 1998): *Kreislauforientierte Unternehmenskooperation. Stoffstrommanagement durch innovative Verwertungsnetze* München 1998. (=Lehr- und Handbücher zur Ökologischen Unternehmensführung und Umweltökonomie) S. 359-370.
- GRABL, H. (2003): *Effizient forschen in der Wissensgesellschaft oder Wie evaluiert man die Erdsystemanalyse?* In: *Gaia*, 12. Jg. (2003), H. 2, S. 81-82.

- GRABL, H. (2003a): *Klimaschutz - in der Sackgasse?* Aus: Hempel, G. und Schulz-Baldes, M. (Hrsg. 2003): *Nachhaltigkeit und globaler Wandel. Guter Rat ist teuer* Frankfurt/M 2003. S. 121-132.
- GRAUMANN, C.F. UND KRUSE, L. (2003): *Räumliche Umwelt - Die Perspektive der humanökologisch orientierten Umweltpsychologie* Aus: Meusburger, P. und Schwan, T. (Hg 2003): *Humanökologie Ansätze zur Überwindung der Natur-Kultur-Dichotomie* Wiesbaden 2003. (=Erdkundliches Wissen. 135) S. 239-256.
- GREEN, K. UND RANGLES, S. (2003): *Industrial Ecology and Spaces of Innovation*. A two-day workshop organised by the Centre for Research on Innovation and Competition, Institute of Innovation Research, University of Manchester, 17/18 June 2003 .
- GREGOIRE, N. UND PRIGOGINE, I. (1987): *Die Erforschung des Komplexen - Auf dem Weg zu einem neuen Verständnis der Naturwissenschaften* München, Zürich 1987.
- GREN, I.-M.; FOLKE, C.; TURNER, K. u.a. (1994): *Primary and Secondary Values of Wetland Ecosystems* In: *Environment and Resource Economics*, 4. Jg. (1994), H. 1, S. 55-74.
- GROß, M. (2001): *Die Natur der Gesellschaft. Eine Geschichte der Umweltsoziologie* Weinheim 2001.
- GROBMANN, D.; DRACHENBERG, I. UND SANDER, K. (2003): *Analyse und Steuerung regionaler Stoff- und Energieströme. Abschlussbericht - Az 5963621002* Hamburg 2003.
- GROBMANN, D; SANDER, K.; DRACHENBERG, I. u.a. (2003): *Analyse und Steuerung regionaler Stoff- und Energieströme - im Gewerbegebiet Henstedt-Ulzburg/Kaltenkirchen. Abschlussbericht - Az: 17682-31* Hamburg 2003.
- GRÜBLER, A. (1994): *Industrialization as a Historical Phenomenon* Aus: Socolow, R.; Andrews C.; Berkhout F. u.a. (Hrsg. 1994): *Industrial Ecology and Global Change* Cambridge 1994. S. 43-68.
- GRÜBLER, A. (2003): *Technology, Global Change and Industrial Ecology* Aus: Bourg, D. und Erkman, S. (Hrsg. 2003): *Perspectives on Industrial Ecology* Wien (Greenleaf Publishing) 2003. S. 46-57.
- GRÜBLER, G. (2004): *Müll, Natur und Zeit. Wege einer philosophischen Ökologie* Berlin 2004.
- GRUHL, H. (1992): *Himmelfahrt ins Nichts. Der geplünderte Planet vor dem Ende* München 1992.
- GRÜNDINGER, W. (2002): *Öko-Realismus. Die Krise der Umwelt die Solare Revolution* Oldenburg 2002.
- GRUNWALD, A. (Hrsg. 2002): *Technikgestaltung für eine nachhaltige Entwicklung. Von der Konzeption zur Umsetzung* Berlin 2002.
- GRUNWALD, A. (1999): *Transdisziplinäre Umweltforschung: Methodische Probleme der Qualitätssicherung* In: *TA-Datenbank-Nachrichten*, 8. Jg. (1999), H. 3/4, S. 32-39.
- GRUNWALD, A.; GRÜNWALD, R.; OERTEL, D. u.a. (2003): *Kernfusion. Sachstandsbericht* Berlin 2002.

- GUGGENBERGER, B. (2003): *Nachhaltigkeiten. Was leistet dieses Konzept und wohin führt es uns?* Aus: Adam, A.; Kohout, F.; Merk, P.K. u.a. (Hrsg. 2003): *Perspektiven der politischen Ökologie* Würzburg 2003. S. 111-117.
- GUNDERSON, L.; HOLLING, C.S.; PRITCHARD, L. u.a. (2002): *Resilience* Aus: Munn, T. (Hg 2002): *Encyclopedia of Global Environmental Change Volume 2, The earth system: biological and ecological dimensions of global environmental change* Chichester, UK 2002. S. 530-531.
- GÜNTHER, E. UND SCHEIBE, L. (2005): *The hurdles analysis as an instrument for improving environmental value chain management* In: *Progress in Industrial Ecology*, 2. Jg. (2005), H. 1, S. 107-131.
- GUTOWSKI, T.G.; MURPHY, C.F.; ALLEN, D.T. u.a. (Hrsg. 2001): *Environmentally Benign Manufacturing WTEC Panel - Final Report* Baltimore 2001.
- HABER, W. (2001): *Ökologie und Nachhaltigkeit - Einführung in die Grundprinzipien der theoretischen Ökologie* Aus: Blasi, L. di; Goebel, B. und Hösle, V. (Hrsg. 2001): *Nachhaltigkeit in der Ökologie. Wege in eine zukunftsfähige Welt* München 2001. S. 66-95.
- HABER, W. (1993): *Ökologische Grundlagen des Umweltschutzes* Bonn 1993. (= Umweltschutz - Grundlagen und Praxis. 1)
- HABER, W. (1995): *Das Nachhaltigkeitsprinzip als ökologisches Konzept* Aus: Fritz, P.; Huber, J. und Levi, H. W. (Hrsg. 1995): *Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive* Stuttgart 1995. S. 17-30.
- HABERL, H. (2001): *The Energetic Metabolism of Societies Part I: Accounting Concepts* In: *Journal of Industrial Ecology*, 5. Jg. (2001), H. 1, S. 11-33.
- HABERL, H. (2001a): *The Energetic Metabolism of Societies Part II: Empirical Examples* In: *Journal of Industrial Ecology*, 5. Jg. (2001), H. 2, S. 71-88.
- HAES, H.U. de; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G. u.a. (2000): *Full Mode and Attribution Mode in Environmental Analysis* In: *Journal of Industrial Ecology*, 4. Jg. (2000), H. 1, S. 45-56.
- HAES, H.U. de; HEIJUNGS, R.; SUH, S. u.a. (2004): *Three Strategies to Overcome the Limitations of Life-Cycle Assessment* In: *Journal of Industrial Ecology*, 8. Jg. (2004), H. 3, S. 19-32.
- HAES, H.U., DE; HUPPES, G. UND SNOO, G., DE (1998): *Analytical Tools for Chain Management* Aus: Vellinga, P.; Berkhout, F. und Gupta, J. (1998): *Managing a Material World: Perspectives on Industrial Ecology* Dordrecht 1998. S. 55-84.
- HÄFELE, W. (1995): *Zivilisationsmuster schaffen Ökologiemuster* Aus: Altner, G.; Mettler-Meibom, B.; Simonis, U.E. u.a. (Hrsg. 1995): *Jahrbuch Ökologie 1996* München 1995. S. 229-238.
- HAKEN, H. (1983): *Erfolgsgesheimnisse der Natur. Synergetik: Die Lehre vom Zusammenwirken* 3. Aufl. Stuttgart 1983.
- HALFMANN, J. (1999): *Naturkonzepte im Vergleich: Ein theoretischer Vorschlag* Aus: IWT (Hrsg. 1999): *Die "Natur" der Natur. Tagungsdokumentation Universität Bielefeld, 12.-14. November 1998* Bielefeld 1999. (=IWT paper. 23) S. 84-95.

- HALL, R.O.; WALLACE, J.B. und Eggert S.L. (2000): *Organic matter flow in stream food webs with reduced detrital resource base* In: *Ecology*, 81. Jg. (2000), H. 12, S. 3445-3463.
- HALL, S.J. und Raffaelli D. (1991): *Food-Web Patterns: Lessons from a Species-Rich Web* In: *Journal of Animal Ecology*, 60. Jg. (1991), H. 3, S. 823-841.
- HAMPICKE, U. (1992): *Ökologische Ökonomie* Opladen 1992. (= Individuum und Natur in der Neoklassik - Natur in der ökonomischen Theorie. 4)
- HAMPICKE, U. (1999): *Das Problem der Verteilung in der Neoklassischen und in der Ökologischen Ökonomie* Aus: Beckenbach, F.; Hampicke, U.; Leipert, C. u.a. (1999): *Jahrbuch Ökologische Ökonomik 1. Zwei Sichtweisen auf das Umweltproblem: Neoklassische Umweltökonomik versus Ökologische Ökonomik* Marburg 1999. S. 153-188.
- HAMPICKE, U. (1995): *Moral, Zivilisation, Gerechtigkeit und die ökologische Bedrohung* Aus: Gijssels, P., de; Gerlach, K.; Glombowski, J. u.a. (HG. 1995): *Ökonomie und Gesellschaft Jahrbuch 11. Markt, Norm und Moral* Frankfurt 1995. S. 265-300.
- HARBORTH, H.- J. (o. J.): *Dauerhafte Entwicklung. Zur Entstehung eines neuen ökologischen Konzepts* Berlin o. J.
- HARDY, C. UND GRAEDEL, T.E. (2002): *Industrial Ecosystems as Food Webs* In: *Journal of Industrial Ecology*, 6. Jg. (2002), H. 1, S. 29-38.
- HARRIS, S. UND PRITCHARD, C. (2004): *Industrial Ecology as a learning process in business strategy* In: *Progress in Industrial Ecology*, 1. Jg. (2004), H. 1/2/3, S. 89-111.
- HARTARD, S. UND STAHER, C. (2000): *Vorwort* Aus: Hartard, S.; Stahmer, C. und Hinterberger, F. (Hrsg. 2000): *Magische Dreiecke. Berichte für eine nachhaltige Gesellschaft - Band 1 / Stoffflussanalysen und Nachhaltigkeitsindikatoren* Marburg 2000. S. 7-12.
- HARTARD, S.; STAHER, C. UND HINTERBERGER, F. (Hrsg. 2000): *Magische Dreiecke. Berichte für eine nachhaltige Gesellschaft - Band 1 / Stoffflussanalysen und Nachhaltigkeitsindikatoren* Marburg 2000.
- HASHIMOTO, S.; TANIKAWA, H. und Moriguchi (2005): *Are all net additions to stock (NAS) potential waste in the future? Missing stock and its treatment within the framework of economy-wide MFA* Aus: Royal Institute of Technology (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005. S. 188-189.
- HASSENPFUG, D. (Hrsg. 1991): *Industrialismus und Ökoromantik. Geschichte und Perspektiven der Ökologisierung* Wiesbaden 1991.
- HASSENPFUG, D. (1991): *Die Dynamik des Naturzustands* Aus: Hassenpflug, D. (Hrsg. 1991): *Industrialismus und Ökoromantik. Geschichte und Perspektiven der Ökologisierung* Wiesbaden 1991. S. 125-140.
- HAWKEN, P. (1996): *Kollaps oder Kreislaufwirtschaft Wachstum nach dem Vorbild der Natur* Berlin 1996.

- HAWKEN, P.; LOVINS, A. UND LOVINS, H. (2000): *Öko-Kapitalismus. Die industrielle Revolution des 21. Jahrhunderts - Wohlstand im Einklang mit der Natur* München 2000.
- HEENEY D. UND MURPHY, L. (1999): *From waste management to knowledge management* Toronto 1999. www.indeco.com/www.nsf/papers/wm24m.
- HEERES, R.R.; VERMEULEN, W.J.V. UND WALLE, F.B. DE (2004): *Eco-industrial park initiatives in the USA and the Netherlands: first lessons* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 985-995.
- HEIDEMANN, R. (2005): *Branchen-Match für Stoffkreisläufe* Universität Stuttgart, Institut für Volkswirtschaftslehre und Recht, Abteilung für Umwelt- und Innovationsforschung, Diplomarbeit 2005 .
- HEIDER, M. UND BOSEWITZ, S. (2002): *Rechtliche und ökonomische Rahmenbedingungen beim Absatz von Kunststoff-Recycling-Produkten* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 10. Jg. (2002), H. 2, S. 10-14.
- HEINEMANN, G. (1991): *Der Naturbegriff und die Ordnung der Welt. Zur Problematik neuzeitlichen und griechischen Naturverständnisses* Aus: Hassenpflug, D. (Hrsg. 1991): *Industrialismus und Ökoromantik. Geschichte und Perspektiven der Ökologisierung* Wiesbaden 1991. S. 311-371.
- HEINEMANN, V. (1994): *Zur Überführbarkeit des Entropiebegriffes in die Ökonomie* Aus: Beckenbach, F. und Diefenbacher, H. (Hrsg. 1994): *Zwischen Entropie und Selbstorganisation. Perspektiven einer ökologischen Ökonomie* Marburg 1994. S. 201-215.
- HEINTZENBERG, J. (2004): *Box 3.3. Aerosols and their Characteristics* Aus: Steffen, W.; Sanderson, A.; Tyson, P.D. u.a. (2004): *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure* Heidelberg u.a. 2004. S. 106-107.
- HEINZ, M. UND NISSEN, H. J. (2001): *Mensch und Umwelt - Kultur und Umwelt* Aus: Alt, K. W. und Rauschenberger, N. (Hrsg. 2001): *Ökohistorische Reflexionen. Mensch und Umwelt zwischen Steinzeit und Silicon Valley* Freiburg 2001. (=Rombach Wissenschaften Reihe Ökologie. 6) S. 149-170.
- HEINZE, A. (2000): *Material- und Energiefluss-Informationssystem (MEFIS) des Statistischen Bundesamtes. Ein Bericht aus der Werkstatt* Aus: Hartard, S.; Stahmer, C. und Hinterberger, F. (Hrsg. 2000): *Magische Dreiecke. Berichte für eine nachhaltige Gesellschaft - Band 1 / Stoffflussanalysen und Nachhaltigkeitsindikatoren* Marburg 2000. S. 211-220.
- HEMPEL, G. UND SCHULZ-BALDES, M. (Hrsg. 2003): *Nachhaltigkeit und globaler Wandel. Guter Rat ist teuer* Frankfurt/M 2003.
- HENDRICKS, B. UND GIANNINI-SPOHN, S. (2003): *The Role of Government in Eco-Industrial Development* Aus: Cohen-Rosenthal, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003. S. 68-88.
- HENSELING, K.O. (1998): *Grundlagen des Managements von Stoffströmen* Aus: Friege, H.; Engelhardt, C. und Henseling, K.O. (Hrsg. 1998): *Das Management von Stoffströmen. Geteilte Verantwortung - Nutzen für alle* Berlin, Heidelberg 1998. S. 17-19.

- HENSELING, K.-O. UND SCHWANHOLD, E. (1995): *Eine nachhaltig zukunftsverträgliche Stoffwirtschaft als politisches Leitbild* Aus: Fritz, P.; Huber, J. und Levi, H. W. (Hrsg. 1995): *Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive* Stuttgart 1995. S. 81-89.
- HERRMANN, B. (2002): *Anthropologie, Ethnologie, Urgeschichte: Gemeinsam zum Verständnis von Mensch-Umweltbeziehungen?* Aus: Winiwarter, V. und Wilfing, H. (Hrsg. 2002): *Historische Humanökologie. Interdisziplinäre Zugänge zu Menschen und ihrer Umwelt* Wien 2002. S. 11-26.
- HERTWICH, E. (1997): *Eco-Efficiency and its Role in Industrial Transformation. Working Paper of the Institute for Environmental Studies, Free University of Amsterdam* Amsterdam 1997.
- HERTWICH, E.G. (2005): *Consumption and the Rebound Effect* In: *Journal of Industrial Ecology*, 9. Jg. (2005), H. 1-2, S. 85-98.
- HERTWICH, E.G.; HAMMITT, J.K. UND PEASE, W.S. (2000): *A Theoretical Foundation for Life-Cycle Assessment. Recognizing the Role of Values in Environmental Decision Making* In: *Journal of Industrial Ecology*, 4. Jg. (2000), H. 1, S. 13-28.
- HESSE, H. (1999): *Vom Zweck zur Funktion - Hinweise aus wissenschaftsphilosophischer Sicht* Aus: Jax, K. (Hrsg. 1999): *Funktionsbegriff und Unsicherheit in der Ökologie* Frankfurt a. M. 1999. (=Theorie in der Ökologie. 2) S. 19-30.
- HEYDEMANN, B. (1987): *Einführung in die Ökologie. Grundlagen - Erkenntnisse - Entwicklungen* Aus: Wegmann, K. u.a. (Hrsg. 1987): *Meyers kleines Lexikon - Ökologie* Mannheim 1987. S. 5-15.
- HEYDEMANN, B. (2001): *Die Natur als System-Managerin und ihr Leistungs-Spektrum* Aus: Strassert, G. und Wittenberg, W. (Hrsg. 2001): *Ökologie und Ökonomie - eine vernetzte Welt. Auf dem Weg zu einem integrativen Ansatz* Karlsruhe 2001. (=VÖÖ - Beiträge und Berichte. 3/2001) S. 2-10.
- HINTERBERGER, F.; OMANN, I.; SCHMITZ, S. u.a. (2000): *Ein ökologisch-soziales Nachhaltigkeitsszenario für Deutschland. Theoretische Grundlagen und empirische Ergebnisse* Aus: Hartard, S.; Stahmer, C. und Hinterberger, F. (Hrsg. 2000): *Magische Dreiecke. Berichte für eine nachhaltige Gesellschaft - Band 1 / Stoffflussanalysen und Nachhaltigkeitsindikatoren* Marburg 2000. S. 13-41.
- HOFFMANN, F. UND ROMBACH, T. (1993): *Die Recyclinglüge. Vermeiden statt verwerten* Stuttgart 1993.
- HOFMEISTER, S. (1998): *Von der Abfallwirtschaft zur ökologischen Stoffwirtschaft. Wege zu einer Ökonomie der Reproduktion* Opladen 1998.
- HÖHLER, S. UND LUKS, F. (Hrsg. 2006): *Beam us up, Boulding! 40 Jahre "Raumschiff Erde"* Hamburg 2006. (= VÖÖ Beiträge und Berichte. 7)
- HOLLING, C. S. (2004): *From Complex Regions to Complex Worlds* www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art11 In: *Ecology and Society*, 9. Jg. (2004), H. 1, S. 1-10.
- HOLLING, C.S.; FOLKE, C.; GUNDERSON, L. u.a. (2000): *Final Report of the Projekt "Resilience of Ecosystems, Economic Systems and Institutions" Submitted to: The John D. and Catherine T. Macarthur Foundation* o.O. 2000.

- HOLSTEIN, L. (2003): *Nachhaltigkeit und neoklassische Ökonomik. Der homo oeconomicus und die Begründung intergenerationeller Gerechtigkeit* Marburg 2003. (= Hochschulschriften. 83)
- HÖNING, A. (1998): *Natürliche Ressourcen in der klassischen Theorie* Marburg 2001. (= Hochschulschriften. 39)
- HOSANG, M. (1999): *Homo Sapiens Integralis. Menschliche Manager in der Region 21* Berlin, Habilitationsschrift 1999 .
- HOSANG, M. (2004): *Natur, Mensch und Gesellschaft: Thesen zu einer integrativen sozial-ökologischen Heuristik* Aus: BMBF (Hrsg. 2004a): *Steuerung und Transformation. Überblick über theoretische Konzepte in den Projekten der sozial-ökologischen Forschung* Berlin 2004. (=Querschnittsarbeitsgruppe Steuerung und Transformation im Förderschwerpunkt Sozial-ökologische Forschung des BMBF Diskussionspapier. 01) S. 57-68.
- HÖSLE, V. (2001): *Dimensionen einer Krise - Das Umweltproblem im 21. Jahrhundert* Aus: Blasi, L. di; Goebel, B. und Hösle, V. (Hrsg. 2001): *Nachhaltigkeit in der Ökologie. Wege in eine zukunftsfähige Welt* München 2001. S. 9-36.
- HUBACEK, K. UND BERGH, J.C.J.M VAN DEN (2006): *Changing concepts of "land" in economic theory: From single to multi-disciplinary approaches* In: *Ecological Economics*, 56. Jg. (2006), H. 1, S. 5-27.
- HUBER, J. (1995): *Nachhaltige Entwicklung. Strategien für eine ökologische und soziale Erdpolitik* Berlin 1995.
- HUBER, J. (1995a): *Nachhaltige Entwicklung durch Suffizienz, Effizienz und Konsistenz* Aus: Fritz, P.; Huber, J. und Levi, H. W. (Hrsg. 1995): *Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive* Stuttgart 1995. S. 31-46.
- HUBER, J. (1998): *Towards Industrial Ecology: Sustainable Development as a Concept of Ecological Modernization. Paper prepared for the International Workshop on "Ecological Modernization" at the University of Helsinki, 10-13 September 1998* Helsinki 1998.
- HUBER, J. (1998a): *Die Konsistenz-Strategie* In: *Politische Ökologie*, 16. Jg. (1998), H. Sonderheft 11, S. 26-29.
- HUBER, J. (1999): *Industrielle Ökologie - Konsistenz, Effizienz und Suffizienz in zyklusanalytischer Betrachtung. Vortragsskript der "Global Change" VDW-Jahrestagung, Berlin, 28.-29. Oktober 1999* Berlin 1999.
- HUBER, L. (2002): *Der Mensch im Spannungsfeld von Natur und Kultur* Aus: Winiwarter, V. und Wilfing, H. (Hrsg. 2002): *Historische Humanökologie. Interdisziplinäre Zugänge zu Menschen und ihrer Umwelt* Wien 2002. S. 115-134.
- HUBER, J. (2002a): *Umweltsoziologie* Aus: Endruweit, G. und Trommsdorf, G. (Hrsg. 2002): *Wörterbuch der Soziologie. 2. völlig neubearbeitete und erweiterte Auflage* Stuttgart 2002. S. 641-645.
- HUESEMANN, M.H. (2003): *The limits of technological solutions to sustainable development* In: *Clean Technologies and Environmental Policy*, 5. Jg. (2003), H. 1, S. 21-34.

- HUISINGH, D. (2002): *Stakeholder perspectives: Facilitating organizations* In: *UNEP Industry and Environment*, 25. Jg. (2002), H. 3-4, S. 48-51.
- HUMMEL, D. UND KLUGE, T. (2004): *Das Konzept Gesellschaftliche Naturverhältnisse* Aus: BMBF (Hrsg. 2004a): *Steuerung und Transformation. Überblick über theoretische Konzepte in den Projekten der sozial-ökologischen Forschung* Berlin 2004. (=Querschnittsarbeitsgruppe Steuerung und Transformation im Förderschwerpunkt Sozial-ökologische Forschung des BMBF Diskussionspapier. 01) S. 93-100.
- HUSAR, R.B. (1994): *Ecosystem and the biosphere: Metaphors for human-induced material flows* Aus: Ayres, R.U. und Simonis, U.E. (1994): *Industrial metabolism: Restructuring for sustainable development* Tokyo, New York, Paris 1994. S. 21-30.
- ICS (Hrsg. 2005): *Harnessing Science, Technology and Innovation for Sustainable Development. A report from the ICSU-ISTS-TWAS Consortium ad hoc Advisory Group* Paris 2005.
- IEA (Hrsg. 2005): *Key world energy statistics* Paris 2005.
- IISD (Hrsg. 1996): *Global green standards: ISO 14000 and sustainable development* Winnipeg 1996.
- ILLGEMANN, U. UND JAHN, T. (Hrsg. 2001): *Kritische Analyse des 6. Forschungsrahmenprogrammes der EU aus der Sicht der transdisziplinären Nachhaltigkeitsforschung* Frankfurt/Freiburg 2001.
- IMMELMANN, K. (1987): *Interdisziplinarität zwischen Natur- und Geisteswissenschaften - Praxis und Utopie* Aus: Kocka, J. (Hrsg. 1987): *Interdisziplinarität Praxis - Herausforderung - Ideologie* Frankfurt a. M. 1987. S. 82-91.
- IMMLER, H. (1989): *Vom Wert der Natur. Zur ökologischen Reform von Wirtschaft und Gesellschaft* Opladen 1989. (= Natur in der ökonomischen Theorie. Teil 3)
- IMMLER, H. (1991): *Lebt die Industrie von der Natur? Anmerkungen zum Verhältnis von Naturproduktivität und Industriesystem* Aus: Hassenpflug, D. (Hrsg. 1991): *Industrialismus und Ökorumantik. Geschichte und Perspektiven der Ökologisierung* Wiesbaden 1991. S. 141-158.
- IMMLER, H. (1993): *Welche Wirtschaft braucht die Natur? Mit Ökonomie die Ökokrise lösen* Frankfurt/M 1993.
- IMMLER, H. UND HOFMEISTER, S. (1998): *Natur als Grundlage und Ziel der Wirtschaft. Grundzüge einer Ökonomie der Reproduktion* Opladen 1998.
- INDUSTRIAL ECONOMICS, Inc (1998): *Applying Decision Support Tools for Eco-Industrial Park Planning: A Case Study in Burlington, Vermont* Cambridge, MA 1998.
- IPCC (Hrsg. 2001): *Summary for Policymakers. A Report of Working Group I of the Intergovernmental Panel on Climate Change* o.O. 2001.
- ISENMANN, R. (2002): *Further Efforts to Clarify Industrial Ecology's Hidden Philosophy of Nature* In: *Journal of Industrial Ecology*, 6. Jg. (2003), H. 3-4, S. 27-48.
- ISENMANN, R. (2003): *Natur als Vorbild. Plädoyer für ein differenziertes und erweitertes Verständnis der Natur in der Ökonomie* Marburg 2003.

- ISHII, K. (1998): *Design for Environment and Recycling: Overview of Research in the United States Discussion-Paper on the 5th CIRP International Seminar on Life-cycle Engineering, Stockholm, Sept. 16-18, 1998* Stockholm 1998.
- ISO (Hrsg. 2000): *ISO 14042: Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment. First Edition 2000-03-01* Geneva 2000.
- ISO (Hrsg. 2003): *Technical Report ISO/TR 14047: Environmental management - Life cycle impact assessment - Examples of application of ISO 14042 First edition 2003-10-01* Geneva 2003.
- IW (Hrsg. 2004): *Deutschland in Zahlen 2004* Köln 2004.
- IW (Hg 2005): *Deutschland in Zahlen 2005* Köln 2005.
- IWT (Hrsg. 1999): *Die "Natur" der Natur. Tagungsdokumentation Universität Bielefeld, 12.-14. November 1998* Bielefeld 1999. (= IWT paper. 23)
- JACKSON, T. (2005): *Live Better by Consuming Less? Is there a "Double Dividend" in Sustainable Consumption?* In: *Journal of Industrial Ecology*, 9. Jg. (2005), H. 1-2, S. 19-36.
- JACOBSEN, N.B. (2006): *Industrial Symbiosis in Kalundborg, Denmark. A Quantitative Assessment of Economic and Environmental Aspects* In: *Journal of Industrial Ecology*, 10. Jg. (2006), H. 1-2, S. 239-255.
- JAFFE, A.B.; NEWELL, R.G. UND STAVINS, R.N. (2000): *Technological Change and the Environment* Washington 2000.
- JÄGER, H. (1994): *Einführung in die Umweltgeschichte* Darmstadt 1994.
- JÄGER, J. (2004): *Box 6.10. Sustainability Science* Aus: Steffen, W.; Sanderson, A.; Tyson, P.D. u.a. (2004): *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure* Heidelberg u.a. 2004. S. 296-297.
- JAHN, Th. (2001): *Transdisziplinäre Nachhaltigkeitsforschung - Konturen eines neuen, disziplinenübergreifenden Forschungstyps. Beitrag zu der Veranstaltungsreihe "Wissenschaftsstadt Frankfurt" vom 3.3.2001* Frankfurt/M 2001.
- JANSSEN, M.A. UND SCHEFFER, M. (2004): *Overexploitation of Renewable Resources by Ancient Societies and the Role of Sunk-Cost Effects* www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art6.print.pdf. In: *Ecology and Society*, 9. Jg. (2004), H. 1/6, S. 1-14.
- JANSSEN, M. A. UND VAN DEN BERGH, J. C. J. M. (1999): *Simbioses: Modelling industrial metabolism in a multi-regional economic system* Amsterdam 1999. www.tinbergen.nl/discussionpapers/99060.pdf.
- JANSSEN, M. A. und van den Bergh J. C. J. M. (o. J.): *Optimal Multi-Regional Patterns of Economics Development and Material Resource Use* Amsterdam o.J.
- JANUSKEVICIUS, D.; KILDISAS, V. UND AMUNDSEN, A. (2003): *Integration of Cleaner Production, Environment and Energy Management Systems* In: *Environmental research, engineering and management*, 24. Jg. (2003), H. 2, S. 3-11.
- JAX, K. (Hrsg. 1999): *Funktionsbegriff und Unsicherheit in der Ökologie* Frankfurt a. M. 1999. (= Theorie in der Ökologie. 2)

- JAX, K. (1999): *Naturkonzepte in der wissenschaftlichen Ökologie* Aus: IWT (Hrsg. 1999): *Die "Natur" der Natur. Tagungsdokumentation Universität Bielefeld, 12.-14. November 1998* Bielefeld 1999. (=IWT paper. 23) S. 96-103.
- JAX, K. (1999a): *Verschiedene Verständnisse des Funktionsbegriffs in den Umweltwissenschaften* Aus: Jax, K. (Hrsg. 1999): *Funktionsbegriff und Unsicherheit in der Ökologie* Frankfurt a. M. 1999. (=Theorie in der Ökologie. 2) S. 7-17.
- JAX, K. (2002): *Die Einheiten der Ökologie: Analyse, Methodenentwicklung und Anwendung in Ökologie und Naturschutz* Frankfurt a. M. 2002. (= Theorie in der Ökologie. 5)
- JAX, K.; VARESCHI, E. UND ZAUKE, G.-P. (1993): *Entwicklung eines theoretischen Konzepts zur Ökosystemforschung Wattenmeer* Berlin 1993.
- JOBMAN, A. UND SPINDLER, B. (Hrsg. 1999): *"Theorien über Theorien über Theorien". Tagungsdokumentation.* Bielefeld 1999. (= IWT-Paper. 24)
- JOCHIMSEN, M.A.; KESTING, S. UND KNOBLOCH, U. (2004): *Lebensweltökonomie* Bielefeld 2004. (= Reihe Lebensweltökonomie. 1)
- JOHANSSON, A. (2002): *Industrial ecology and industrial metabolism: Use and misuse of metaphors* Aus: Ayres, R.U. und Ayres, L.W. (2002): *A handbook of industrial ecology* Cheltenham 2002. S. 70-75.
- JOHNSON, S.; STEWARD, S.; TIERNEY, R. u.a. (2002): *Wallingford Connecticut Eco-Industrial Park: A Question of Scale* Aus: Chertow, M.; Portlock, M. und Coppock, J. (Hrsg. 2002): *Developing Industrial Ecosystems: Approaches, Cases, and Tools* New Haven 2002. (=Yale University Bulletin Series. 106) S. 215-250.
- JONAS, H. (1984): *Das Prinzip Verantwortung* Frankfurt/M 1984.
- JONAS, H. (1988): *Materie, Geist und Schöpfung* Frankfurt a.M. 1988.
- JONGMAN, R.H.G. UND PUNGETTI, G. (2004): *Introduction: ecological networks and greenways* Aus: Jongman, R.H.G. und Pungetti, G. (Hrsg. 2004): *Ecological Networks and Greenways: Concept, Design, Implementation* Cambridge 2004. S. 1-6.
- JONGMAN, R.H.G. UND PUNGETTI, G. (Hrsg. 2004): *Ecological Networks and Greenways: Concept, Design, Implementation* Cambridge 2004.
- JÖNS, H. (2003): *Mensch-Umwelt-Beziehungen aus einer erweiterten Akteursnetzwerkperspektive* Aus: Meusbürger, P. und Schwan, T. (Hg 2003): *Humanökologie. Ansätze zur Überwindung der Natur-Kultur-Dichotomie* Wiesbaden 2003. (=Erdkundliches Wissen. 135) S. 101-137.
- JÖRISSEN, J.; BRANDL, V. UND KOPFMÜLLER, J. (2002): *Ein integratives Konzept nachhaltiger Entwicklung: Der theoretisch konzeptionelle Ansatz des HGF-Verbundprojektes* In: *TA-Datenbank-Nachrichten*, 9. Jg. (2002), H. 2, S. 35-42.
- KÄB, H. (2002): *Naturnahe Kreislaufwirtschaft mit Biologisch abbaubaren Werkstoffen. Eine Revolution in der Kunststoffindustrie?* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 10. Jg. (2002), H. 2, S. 15-20.
- KABERGER, T. UND MANSSON, B. (2001): *Entropy and economic processes - physics perspectives* In: *Ecological Economics*, 36. Jg. (2001), H. 1, S. 165-179.

- KAISER, R. (Hrsg. 1981): *Global 2000 - Der Bericht an den Präsidenten* Frankfurt 1981.
- KALUSCHE, D. (1999): *Ökologie. Ein Lernbuch, 3. grundlegend überarbeitete Auflage* Wiesbaden 1999.
- KALUZA, B.; DULLNIG, H. UND GOEBEL, B. (2001): *Überlegungen zur Konzeption eines Produktionsplanungs- und Recyclingplanungs- und Steuerungssystems für Verwertungs- und Entsorgungsnetzwerke* Discussion Paper of the College of Business Administration University of Klagenfurt, Austria, Februar 2001 .
- KALUZA, B. (Hrsg. 1998): *Kreislaufwirtschaft und Umweltmanagement* Hamburg 1998. (= Duisburger Betriebswirtschaftliche Schriften Bd 17)
- KALUZA, B. UND BLECKER, T. (1998): *Entsorgungsnetzwerke als Instrument des betrieblichen Umweltmanagements* Aus: Kaluza, B. (Hrsg. 1998): *Kreislaufwirtschaft und Umweltmanagement* Hamburg 1998. (=Duisburger Betriebswirtschaftliche Schriften Bd 17) S. 263-302.
- KALUZA, B. UND BLECKER, T. (1996): *Management interindustrieller Entsorgungsnetzwerke* Aus: Bellmann, K. und Hippe, A. (Hrsg. 1996): *Management von Unternehmensnetzwerken - Interorganisationale Konzepte und praktische Umsetzung* Wiesbaden 1996. S. 379-417.
- KALUZA, B. UND BLECKER, T. (1998a): *Stabilität und Funktionsmechanismen von Umweltmanagement-Netzwerken* Aus: Liesegang, D.G.; Sterr, T. und Würzner, E. (1998): *Kostenvorteile durch Umweltmanagement-Netzwerke* Heidelberg 1998. (=Betriebswirtschaftlich-ökologische Arbeiten des IUWA. 2) S. 27-50.
- KANNIAH, R. (2002): *Cleaner production in the context of sustainable development* In: *UNEP Industry and Environment*, 25. Jg. (2002), H. 3-4, S. 41-43.
- KAPLOWITZ, M.D. UND HOEHN, J.P. (2001): *Do focus groups and individual interviews reveal the same information for natural resource valuation?* In: *Ecological Economics*, 36. Jg. (2001), H. 2, S. 237-247.
- KARAFYLLIS, N.C. (2002): *Biologisch, natürlich, nachhaltig. Philosophische Aspekte des Naturzugangs im 21. Jahrhundert* Stuttgart 2002.
- KARLSSON, S. (1999): *Closing the Technospheric Flows of Toxic Metals* In: *Journal of Industrial Ecology*, 3. Jg. (1999), H. 1, S. 23-40.
- KASPERSON, J.X. UND KASPERSON, R.E. (2001): *International Workshop on Vulnerability and Global Environmental Change, 17-19 May 2001 A Workshop Summary* Stockholm 2001.
- KATES, R.W.; CLARK, W.C.; CORELL, R. u.a. (2001): *Sustainability Science* In: *Science*, 292. Jg. (2001), H. 5517, S. 641-642.
- KATZ, C. (2004): *Der Mensch und das Naturverständnis in der Humanökologie* Aus: Rink, D. und Wächter, M. (Hrsg.2004): *Naturverständnisse in der Nachhaltigkeitsforschung* Frankfurt 2004. S. 73-101.
- KATZ, C.; MÜLLER, C. UND WINTERFELD, U. VON (2004): *Globalisierung und gesellschaftliche Naturverhältnisse* Wuppertal 2004. (= Wuppertal Papers. 143)

- KATZENSTEIN, H. (1996): *Umweltzerstörung und Alltagshandeln - Versuch einer Annäherung* Aus: Zimmer, M. (Hrsg. 1996): *Von der Kunst, umweltgerecht zu planen und zu handeln. Zur Bedeutung der Verhaltenswissenschaften für die Ökologie und für einen konstruktiven Umgang mit unserer Umwelt. Tagungsband einer Tagung der internationalen Erich-Fromm-Gesellschaft vom 4.-6.10. 1996 in Georgsmarienhütte Osnabrück 1996. S. 48-55.*
- KAUFFMANN, S. (1996): *Der Öltropfen im Wasser. Chaos, Komplexität, Selbstorganisation in Natur und Gesellschaft* München 1996.
- KAUFMANN, F.-X., (1987): *Interdisziplinäre Wissenschaftspraxis. Erfahrungen und Kriterien* Aus: Kocka, J. (Hrsg. 1987): *Interdisziplinarität Praxis - Herausforderung - Ideologie* Frankfurt a. M. 1987. S. 63-81.
- KAY, J. J. (2002): *On Complexity. Theory, Exergy and Industrial Ecology: Some Implications for Construct Ecology* Aus: Kibert, C.; Sendzimir, J. und Guy, B. (2002): *Construction Ecology: Nature as the Basis for Green Buildings* Waterloo, Ontario (Spon Press) 2002. S. 72-107.
- KAY, J.J.; ALLEN, T.; FRASER, R. u.a. (2001): *Can we use energy based indicators to characterize and measure the status of ecosystems, human, disturbed and natural? Proceedings of the international workshop: Advances in Energy Studies: exploring supplies, constraints and strategies, Porto Venere, Italy, 23-27 May, 2000, pp. 121-133* Porto Venere 2001.
- KEIDEL, T. UND MAYR, A. (2001): *Austauschbeziehungen gewerblicher Nutzungen im Stadtumland - Empirische Untersuchungen an Beispielen aus der Stadtregion Halle-Leipzig* Leipzig 2001. (= UFZ-Bericht. 18/2001)
- KELLOG, T.; PFEISTER, D.; PHILLIP-NEILL, J. u.a. (2002): *The Green Triangle of Boston, Massachusetts: An Eco-Industrial Cluster* Aus: Chertow, M.; Portlock, M. und Coppock, J. (Hrsg. 2002): *Developing Industrial Ecosystems: Approaches, Cases, and Tools* New Haven 2002. (=Yale University Bulletin Series. 106) S. 251-277.
- KELLY, K. (1997): *Das Ende der Kontrolle* o.O. 1997.
- KHAN, F.I.; SADIQ, R. UND VEITCH, B. (2004): *Life cycle iNdeX (LInX): a new indexing procedure for process and product design and decision-making* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 1, S. 59-76.
- KIBERT, C.; SENDZIMIR, J. UND GUY, B. (2002): *Construction Ecology: Nature as the Basis for Green Buildings* Waterloo, Ontario (Spon Press) 2002.
- KIJAK, R. UND MOY, D. (2004): *A Decision Support Framework for Sustainable Waste Management* In: *Journal of Industrial Ecology*, 8. Jg. (2004), H. 3, S. 33-50.
- KIM, D. UND POWELL, J.C. (2005): *The Attitude of Korean Stakeholders to an Eco-Industrial Park* Aus: Royal Institute of Technology (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005. S. 127.
- KINCAID, J. (2003): *Metropolitan Industrial Ecosystem Development* Aus: Bourg, D. und Erkman, S. (Hrsg. 2003): *Perspectives on Industrial Ecology* Wien (Greenleaf Publishing) 2003. S. 95-100.

- KINCAID, J. UND OVERCASH, M. (2001): *Industrial Ecosystem Development at the Metropolitan Level* In: *Journal of Industrial Ecology*, 5. Jg. (2001), H. 1, S. 117-126.
- KING, A.A. UND LENOX, M.J. (2001): *Does It Really Pay to Be Green? An Empirical Study of Firm Environmental and Financial Performance* In: *Journal of Industrial Ecology*, 5. Jg. (2001), H. 1, S. 105-116.
- KIRCHGEORG, M. (1998): *Marktbezogene Problemstellungen in der Kreislaufwirtschaft - neue Herausforderungen an das Marketing* Aus: Kaluza, B. (Hrsg. 1998): *Kreislaufwirtschaft und Umweltmanagement* Hamburg 1998. (=Duisburger Betriebswirtschaftliche Schriften Bd 17) S. 3-32.
- KIRCHNER, J.W. (2002): *The Gaia Hypothesis: Fact, Theory and wishful Thinking* In: *Climatic Change*, 52. Jg. (2002), H. 4, S. 391-408.
- KIRSCHTEN, U. (2002): *Innovationsnetzwerke für eine nachhaltige Entwicklung. Merkmale, Chancen und Risiken* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 10. Jg. (2002), H. 2, S. 60-65.
- KIRSCHTEN, U. (2005): *Sustainable innovation networks: Conceptual framework and institutionalisation* In: *Progress in Industrial Ecology*, 2. Jg. (2005), H. 1, S. 132-147.
- KITUUYI, E. (2004): *Integrating life cycle approaches to African national development policies: Considering the institutional dimension of industrial ecology* In: *Progress in Industrial Ecology*, 1. Jg. (2004), H. 1/2/3, S. 229-244.
- KITUUYI, E. (2004a): *Towards sustainable production and use of charcoal in Kenya: Exploring the potential in life cycle management approach* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 1047-1057.
- KLEE, R.J. (2002): *Eco-Industrial Development Primer* Aus: Chertow, M.; Portlock, M. und Coppock, J. (Hrsg. 2002): *Developing Industrial Ecosystems: Approaches, Cases, and Tools* New Haven 2002. (=Yale University Bulletin Series. 106) S. 439-442.
- KLEIBER, C. (2001): *What kind of science does our world need today and tomorrow? A new contract between science and society* Aus: Thompson Klein, J.; Grossenbacher-Mansuy, W.; Häberli, R. u.a. (Hrsg. 2001): *Transdisziplinarität: Joint problem solving among science, technology and society: An effective way for managing complexity* Basel 2001. S. 47-58.
- KLEIJN, R. (1999): *IN = OUT. The Trivial Central Paradigm of MFA?* In: *Journal of Industrial Ecology*, 3. Jg. (2000), H. 2&3, S. 8-10.
- KLEIJN, R. (2000): *Adding it all Up. The Sense and Non-Sense of Bulk-MFA* In: *Journal of Industrial Ecology*, 4. Jg. (2001), H. 2, S. 7-8.
- KLEMMER, P. (2003): *Globale Energiepolitik - eine Herkulesaufgabe* Aus: Hempel, G. und Schulz-Baldes, M. (Hrsg. 2003): *Nachhaltigkeit und globaler Wandel. Guter Rat ist teuer* Frankfurt/M 2003. S. 141-152.
- KLIX, F. UND LANIUS, K. (1999): *Wege und Irrwege der Menschenartigen. Wie wir wurden, wer wir sind* Stuttgart 1999.

- KLUGE, T. (1991): *Gesellschaft ohne Natur - Natur ohne Gesellschaft* Aus: Hasenpflug, D. (Hrsg. 1991): *Industrialismus und Ökoromantik. Geschichte und Perspektiven der Ökologisierung* Wiesbaden 1991. S. 93-102.
- KLÜTER, H. (2003): *Raum als Umgebung* Aus: Meusburger, P. und Schwan, T. (Hg. 2003): *Humanökologie Ansätze zur Überwindung der Natur-Kultur-Dichotomie* Wiesbaden 2003. (=Erdkundliches Wissen. 135) S. 217-238.
- KNAUS, A. UND RENN, O. (1998): *Den Gipfel vor Augen. Unterwegs in eine nachhaltige Zukunft* Marburg 1998.
- KNEESE, A. V. (Hrsg. 1995): *Natural Resource Economics. Selected Papers of Allen V. Kneese*. Brookfield 1995.
- KNEESE, A. V. (1995): *The Economics of Natural Resources* Aus: Kneese, A. V. (Hrsg. 1995): *Natural Resource Economics. Selected Papers of Allen V. Kneese*. Brookfield 1995. S. 3-31.
- KNEESE, A. V. (1998): *Industrial Ecology and "Getting the Prices Right"* In: *Resources*, o.J.. Jg. (1998), H. 130, S. 10-13.
- KNOLL, M. (2003): *Politische Ökologie und Politische Ökonomie. Die Umweltkrise und die Dynamik des globalen ökonomischen Wachstums* Aus: Adam, A.; Kohout, F.; Merk, P.K. u.a. (Hrsg. 2003): *Perspektiven der politischen Ökologie* Würzburg 2003. S. 119-138.
- KNYAZEVA, H. (2000): *Sustainability and Coevolution of Complex Systems: The Synergetic Approach* Aus: Elohim, J.L.; Stuhler, E.A. und Parra-Luna, F. (Hrsg. 2000a): *Sustainable Development II. Strategic views supported by measurement, modelling and/or simulation* München 2000. S. 41-52.
- KOCH, M. (2000): *Stoffflussanalysen und Stoffbilanzen auf der Makroebene: Konzepte und Anwendungsbeispiele* Aus: Hartard, S.; Stahmer, C. und Hinterberger, F. (Hrsg. 2000): *Magische Dreiecke. Berichte für eine nachhaltige Gesellschaft - Band 1 / Stoffflussanalysen und Nachhaltigkeitsindikatoren* Marburg 2000. S. 191-210.
- KOCKA, J. (Hrsg. 1987): *Interdisziplinarität Praxis - Herausforderung - Ideologie* Frankfurt a. M. 1987.
- KOENIG, A. (2005): *Quo vadis EIP? How Eco-industrial Parks are Evolving* In: *Journal of Industrial Ecology*, 9. Jg. (2005), H. 3, S. 12-14.
- KOENIG, H.E. UND CANTLON, J.E. (1999): *Quantitative Industrial Ecology & Ecological Economics* In: *Journal of Industrial Ecology*, 3. Jg. (2000), H. 2&3, S. 63-83.
- KONRAD, W. (2005): *Product-oriented ecological information systems and life-cycle management: Quantitative and qualitative analysis in the German chemical and electrical industries* In: *Progress in Industrial Ecology*, 2. Jg. (2005), H. 1, S. 89-106.
- KOPFMÜLLER, J. (1995): *Ungelöste Probleme der Sustainability-Leitidee* Aus: Fritz, P.; Huber, J. und Levi, H. W. (Hrsg. 1995): *Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive* Stuttgart 1995. S. 105-113.
- KOPFMÜLLER, J.; BRANDL, V.; JÖRISSSEN, J. u.a. (2001): *Nachhaltige Entwicklung integrativ betrachtet. Konstitutive Elemente, Regeln, Indikatoren* Berlin 2001.

- KÖPPEL, J. (1996): *Relevanz von Umweltgütern für Nachhaltigkeit* Aus: Pfister, G. und Renn, O. (Hrsg. 1996): *Indikatoren einer regionalen nachhaltigen Entwicklung* Stuttgart 1996. (=Dokumentation der Workshop-Berichte. 65) S. 101-116.
- KOPYTZIÖK, N. UND SCHWARZ, N. (2001): *Abfall als Indikator von Nachhaltigkeit* Aus: Altner, G.; Mettler-von Meiborn, B.; Simonis, U.E. u.a. (Hrsg. 2001): *Jahrbuch Ökologie 2002* München 2001. S. 188-198.
- KORHONEN, J. (2004a): *Industrial ecology in the strategic sustainable development model: Strategic applications of industrial ecology* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 809-823.
- KORHONEN, J. (2001): *Four ecosystem principles for an industrial ecosystem* In: *Journal of Cleaner Production*, 9. Jg. (2001), H. 3, S. 253-259.
- KORHONEN, J. (2004): *Theory of industrial ecology* In: *Progress in Industrial Ecology*, 1. Jg. (2004), H. 1/2/3, S. 61-88.
- KORHONEN, J. (2005): *Theory of industrial ecology: The case of the concept of diversity* In: *Progress in Industrial Ecology*, 2. Jg. (2005), H. 1, S. 35-72.
- KORHONEN, J.; MALMBORG, F. von; STRACHAN, P.A. u.a. (2004): *Management and Policy Aspects of Industrial Ecology: An Emerging Research Agenda* In: *Business Strategy and the Environment*, 13. Jg. (2004), H. 5, S. 289-305.
- KORHONEN, J.; SAVOLAINEN, I. UND OHLSTRÖM, M. (2004): *Applications of the industrial ecology concept in a research project: Technology and Climate Change (CLIMTECH) Research in Finland* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 1087-1097.
- KORHONEN, J. UND STRACHAN, P. A. (2004): *Towards progress in industrial ecology* In: *Progress in Industrial Ecology*, 1. Jg. (2004), H. 1/2/3, S. 1-23.
- KORONEOS, C.; XYDIS, G. und Moussiopoulos (2005): *The Role of Renewable Energy Sources and Energy Efficiency in Sustainable Manufacturing* Aus: Royal Institute of Technology (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005. S. 54.
- KÖSTERS, H. UND KOLL, P. (1998): *Der Markt für Sekundärrohstoffe* Aus: Kaluza, B. (Hrsg. 1998): *Kreislaufwirtschaft und Umweltmanagement* Hamburg 1998. (=Duisburger Betriebswirtschaftliche Schriften Bd 17) S. 55-70.
- KOVÁCS, G. (2006): *Umweltverantwortlichkeit in globalen Lieferantennetzen* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 14. Jg. (2006), H. 3, S. 51-54.
- KOWARIK, I. (Hrsg. 1998): *Naturschutz und Denkmalpflege* Zürich 1998.
- KPMG (Hg 2002): *KPMG International Survey of Corporate Sustainability Reporting 2002* Meern 2002.
- KRATOCHWIL, A. UND SCHWABE, A. (2001): *Ökologie der Lebensgemeinschaften* Stuttgart 2001.
- KRAUS, J. (2002): *Wer etwas auf sich hält ist höchst nachhaltig - zum inflationären Gebrauch eines Begriffes* Aus: BUND/Misereor (Hrsg. 2002): *Wegweiser für ein zukunftsfähiges Deutschland* München 2002. S. 97-98.

- KRAUSE, M. UND BRINKEMA, C. (2003): *The Green Institute Phillips Eco-Enterprise Center in Minneapolis, Minnesota* Aus: Cohen-Rosenthal, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003. S. 276-287.
- KRAUSMANN, F.; SCHANDL, H.; SCHULZ, N. B. (2003): *Long-Term industrial Transformation. A Comparative Study on the development of Social Metabolism and Land Use in Austria and the United Kingdom 1830-2000* Wien 2003.
- KRCAL, H.-C. (1999): *Industrielle Umweltschutzkooperationen. Ein Weg zur Verbesserung der Umweltverträglichkeit von Produkten* Heidelberg 1999.
- KRCAL, H.-C. (2000): *Regionale Netzwerke für das Stoffstrommanagement - Eine Kooperationsform für den Entsorgungsprozess* - Aus: Liesegang, D.G.; Sterr, T. und Ott, T. (2000): *Aufbau und Gestaltung regionaler Stoffstrommanagementnetzwerke. Betriebswirtschaftlich-Ökologische Arbeiten des IUWA, Band 4* Heidelberg 2000. S. 26-35.
- KREIKEBAUM, H. (1998): *Industrial Ecology - Organisatorische Voraussetzungen der Kontinuität eines Netzwerkes* Aus: Strebel, H. und Schwarz, E. (Hrsg. 1998): *Kreislauforientierte Unternehmenskooperation. Stoffstrommanagement durch innovative Verwertungsnetze* München 1998. (=Lehr- und Handbücher zur Ökologischen Unternehmensführung und Umweltökonomie) S. 59-79.
- KROHN, W. (1999): *Vorwort: Die Natur der Natur - Ambivalenz eines Themas* Aus: IWT (Hrsg. 1999): *Die "Natur" der Natur. Tagungsdokumentation Universität Bielefeld, 12.-14. November 1998* Bielefeld 1999. (=IWT paper. 23) S. 4-7.
- KROPP, C. (2002): *"Natur" Soziologische Konzepte - Politische Konsequenzen* Opladen 2002.
- KRÜGER, L. (1987): *Einheit der Welt - Vielheit der Wissenschaft* Aus: Kocka, J. (Hrsg. 1987): *Interdisziplinarität Praxis - Herausforderung - Ideologie* Frankfurt a. M. 1987. S. 106-125.
- KÜHR, R. (2000): *Das Zero-Emissions-Konzept - Zum Stand der Dinge* Aus: Altner, G.; Mettler-von Meibom, B.; Simonis, U.E. u.a. (Hrsg. 2000): *Jahrbuch Ökologie 2001* München 2000. S. 119-128.
- KÜMMEL, R. (1998): *Stoffkreisläufe in Produktionsprozessen - Bausteine des integrierten Umweltschutzes* Aus: Kaluza, B. (Hrsg. 1998): *Kreislaufwirtschaft und Umweltmanagement* Hamburg 1998. (=Duisburger Betriebswirtschaftliche Schriften Bd 17) S. 33-53.
- KURDZIEL, M. UND BECKER, D. (2004): *Effizienz durch Synergie Die Exportinitiative erneuerbare Energien* In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen*, 54. Jg. (2004), H. 1/2, S. 446-448.
- KURZ, R. (2002): *Ethisches Konzept statt Modewort* Aus: BUND/Misereor (Hrsg. 2002): *Wegweiser für ein zukunftsfähiges Deutschland* München 2002. S. 90-96.
- KURZ, R. (2002a): *Die strategische Bedeutung von Zielen wird unterschätzt* Aus: BUND/Misereor (Hrsg. 2002): *Wegweiser für ein zukunftsfähiges Deutschland* München 2002. S. 112-117.

- KYTZIA, S.; FAIST, M. UND BACCINI, P. (2004): *Economically extended-MFA: A material flow approach for a better understanding of food production chain* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 877-889.
- KYTZIA, S. UND NATHANI, C. (2004): *Bridging the gap to economic analysis: Economic tools for industrial ecology* In: *Progress in Industrial Ecology*, 1. Jg. (2004), H. 1/2/3, S. 143-164.
- LAINE, V. (2000): *Surface Albedo Within The SAF on Climate Monitoring* Aus: Eumetsat (Hrsg. 2000): *Proceedings of the SAF Training Workshop - Climate Monitoring held from 20-22 November in Dresden* Dresden 2000. (=www.eumetsat.int - Publications - Conference and Workshop Proceedings) S. 1-8.
- LANG, E. (2003): *Wendezeit für den Staat* Aus: Yüce, N. und Plöger, P. (Hrsg. 2003): *Die Vielfalt der Wechselwirkungen. Eine transdisziplinäre Exkursion im Umfeld der Evolutionären Kulturökologie* Freiburg 2003. S. 163-186.
- LÄSSIG, M.; BASTOLLA, U.; MANRUBIA, S.C. u.a. (2001): *The shape of ecological networks* In: *Physical Review Letters*, 86. Jg. (2001), H. 19, S. 4418-4421.
- LASZLO, E. (2003): *Eine neue Vision aus der Wissenschaft* Aus: Yüce, N. und Plöger, P. (Hrsg. 2003): *Die Vielfalt der Wechselwirkungen. Eine transdisziplinäre Exkursion im Umfeld der Evolutionären Kulturökologie* Freiburg 2003. S. 79-92.
- LAUTERJUNG, J. (2003): *"Geosystem: Erde im Wandel" - Programm 1 im Forschungsbereich "Erde und Umwelt"* In: *Gaia*, 12. Jg. (2003), H. 4, S. 318-320.
- LAWRENCE, R.J. (2005): *Human Ecology and its Applications for Sustainability Research* Aus: Filho, W.L. (Hrsg. 2005): *Handbook of Sustainability Research* Frankfurt/M 2005. (=Environmental Education, Communication and Sustainability. 20) S. 121-146.
- LEAKEY, R. UND LEWIN, R. (1996): *Die sechste Auslöschung. Lebensvielfalt und die Zukunft der Menschheit* Frankfurt/M. 1996.
- LEEUW, B. de (2005): *The World behind the Product* In: *Journal of Industrial Ecology*, 9. Jg. (2005), H. 1-2, S. 7-10.
- LEHNER, F. UND SCHMIDT-BLEEK, F. (1999): *Die Wachstumsmaschine. Der ökonomische Charme der Ökologie*. München 1999.
- LEI, S.; DONGHUI, Z.; JINGZHU, S. u.a. (2001): *A Generalized Framework and Methodology for Product Planning in Eco-Industrial Parks. Paper Delivered at International Conference on CP, Beijing, China -- September -- Paper 15 of 30* Beijing 2001.
- LEIPERT, C. (1989): *Die heimlichen Kosten des Fortschritts. Wie Umweltzerstörung das Wirtschaftswachstum fördert* Frankfurt/M 1989.
- LEITSCHUH-FECHT, H. (2002): *Nachhaltigkeit verändert die Unternehmenskultur* Aus: BUND/Misereor (Hrsg. 2002): *Wegweiser für ein zukunftsfähiges Deutschland* München 2002. S. 186-188.
- LENTON, T. (2002): *Testing Gaia: The Effect of Life on Earth's Habitability and Regulation* In: *Climatic Change*, 52. Jg. (2002), H. 4, S. 409-422.

- LENTON, T. (2004): *Gaia - Box 2.6*. Aus: Steffen, W.; Sanderson, A.; Tyson, P.D. u.a. (2004): *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure* Heidelberg u.a. 2004. S. 70-71.
- LENZEN, M. (2005): *Reducing subjectivity in multi-criteria decision making* Aus: Royal Institute of Technology (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005. S. 8.
- LENZEN, M. UND TRELOAR, G. (2002): *Differential Convergence of Life-Cycle Inventories toward Upstream Production Layers. Implications for Life-Cycle Assessment* In: *Journal of Industrial Ecology*, 6. Jg. (2002), H. 3-4, S. 137-160.
- LEONCINI, R. UND MONTRESOR, S. (2003): *Technological Systems and Intersectoral Innovation Flows* Cheltenham 2003.
- LEONTIEF, W. (1970): *Environmental Repercussions and the Economic Structure: An Input-Output Approach* In: *The Review of Economics and Statistics*, 52. Jg. (1970), H. 3, S. 262-271.
- LERCH, A. UND NUTZINGER, H. (1996): *Nachhaltige Entwicklung aus ökonomischer Sicht* Aus: Morath, K. (Hg 1996): *Welt im Wandel. Wege zu dauerhaft umweltgerechtem Handeln* Bad Homburg 1996. S. 41-58.
- LEVI, H.-W. (1995): *Das Problem der Nachhaltigkeit in der Energieversorgung* Aus: Fritz, P.; Huber, J. und Levi, H. W. (Hrsg. 1995): *Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive* Stuttgart 1995. S. 47-58.
- LEVINE, S.H. (1999): *Products and Ecological Models* In: *Journal of Industrial Ecology*, 3. Jg. (2000), H. 2&3, S. 47-62.
- LEWIS, C.H. (2003): *Die globale Industriegesellschaft: Der unausweichliche Zusammenbruch* Aus: Wallimann, I. und Dobkowski, M.N. (Hrsg. 2003): *Das Zeitalter der Knappheit Ressourcen, Konflikte, Lebenschancen* Bern u.a. 2002. S. 59-74.
- LIAO, P.H.; ZENG, S.L.; LANGER C.E. U.A. (2005): *Establishing Ecological Industry Park (EIP) in China - A Pilot Case Study*. Aus: Royal Institute of Technology (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005. S. 245-247.
- LIEDTKE, C. UND HINTERBERGER, F. (1998): *Was hat Ressourceneffizienz mit der Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens zu tun?* Aus: Kaluza, B. (Hrsg. 1998): *Kreislaufwirtschaft und Umweltmanagement* Hamburg 1998. (=Duisburger Betriebswirtschaftliche Schriften Bd 17) S. 185-214.
- LIESEGANG, D.G. (1996): *Reduktions- und Produktionswirtschaft* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 4. Jg. (1996), H. 4, S. 3-5.
- LIESEGANG, D.G. (1999): *Das Konzept einer Reduktionswirtschaft als Herausforderung für das Umweltmanagement* Aus: Seidel, E. (Hrsg. 1999): *Betriebliches Umweltmanagement im 21. Jahrhundert; Aspekte, Aufgaben, Perspektiven* Berlin u.a. 1999. S. 181-217.
- LIESEGANG, D.G. (1999a): *PIUS - und das nicht nur zur Weihnachtszeit* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 7. Jg. (1999), H. 2, S. 3-4.

- LIESEGANG, D.G. (2002): *Industrielle Reproduktionswirtschaft* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 10. Jg. (2002), H. 2, S. 3.
- LIESEGANG, D.G.; STERR, T. UND OTT, T. (2000): *Aufbau und Gestaltung regionaler Stoffstrommanagementnetzwerke Betriebswirtschaftlich-Ökologische Arbeiten des IUWA, Band 4* Heidelberg 2000.
- LIESEGANG, D.G.; STERR, T. UND WÜRZNER, E. (1998): *Kostenvorteile durch Umweltmanagement-Netzwerke* Heidelberg 1998. (= Betriebswirtschaftlich-ökologische Arbeiten des IUWA. 2)
- LIFSET, R. (2000): *Moving from Mass to What Matters* In: *Journal of Industrial Ecology*, 4. Jg. (2000), H. 2, S. 1-3.
- LIFSET, R. (2001): *Closing the Loop and Honing Our Tools* In: *Journal of Industrial Ecology*, 5. Jg. (2002), H. 4, S. 1-2.
- LIFSET, R. (2004): *Probing Metabolism* In: *Journal of Industrial Ecology*, 8. Jg. (2004), H. 3, S. 1-3.
- LIFSET, R. UND GRAEDEL, T.E. (2002): *Industrial ecology: Goals and definitions* Aus: Ayres, R.U. und Ayres, L.W. (2002): *A handbook of industrial ecology* Cheltenham 2002. S. 3-15.
- LINDQVIST, A. UND MALMBORG, F.VON (2004): *What can we learn from local substance flow analysis? The review of cadmium flows in Swedish municipalities* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 909-918.
- LINES, M. (2004): *Advancing cleaner production worldwide, through partnerships - The Pollution Prevention World Information Network* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 1125-1127.
- LIU, J. (2001): *Integrating ecology with human demography, behavior, and socio-economics: Needs and approaches* In: *Ecological Modeling*, 140. Jg. (2001), H. 1-2, S. 1-8.
- LOCKWOOD, M. (1997): *Integrated value theory for natural areas* In: *Ecological Economics*, 20. Jg. (1997), H. 1, S. 83-93.
- LOHMANN, U. (2004): *Box 4.10 - From North America and Europe to the Sahel: A Cascade of Effects Triggered by Fossil Fuel Combustion* Aus: Steffen, W.; Sanderson, A.; Tyson, P.D. u.a. (2004): *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure* Heidelberg u.a. 2004. S. 169.
- LOHRBERG, F. (2002): *Die ökologische Stadt - eine Absurdität* In: *Landschaftsplanung.NET*, Jg. 2002, H. 1, S. 1-3.
- LOMBORG, B. (2002): *Apocalypse No! Wie sich die menschlichen Lebensgrundlagen wirklich entwickeln* Lüneburg 2002.
- LOREAU, M.; MOUQUET, N. UND GONZALES, A. (2003): *Biodiversity as spatial insurance in heterogeneous landscapes* In: *PNAS*, 100. Jg. (2003), H. 22, S. 12765-12770.
- LORENZ, H.-W. UND MEYER, B. (Hrsg. 2001): *Studien zur Evolutorischen Ökonomik IV. Evolutorische Makroökonomik, Nachhaltigkeit und Institutionenökonomik* Berlin 2001.

- LORENZ, U. UND PENN-BRESSEL, G. (2005): *Das Umwelt-Barometer Deutschland - Schwerpunktthema "Flächeninanspruchnahme"* Aus: Altner, G.; Leitschuh-Fecht, H.; Michelsen, G. u.a. (Hrsg. 2005): *Jahrbuch Ökologie 2006* München 2005. S. 258-268.
- LOVELOCK, J. (1991): *Das Gaia-Prinzip. Die Biographie unseres Planeten* Zürich 1991.
- LOVELOCK, J. (1992): *Gaia - Die Erde ist ein Lebewesen* Bern, München, Wien 1992.
- LÖW, R. (1990): *Das philosophische Problem der "Natur an sich"* Aus: Alber, K. (Hrsg. 1990): *Philosophisches Jahrbuch 97. Jg. 1. Halbband* Freiburg 1990. S. 53-68.
- LOWE, E.A.; MORAN, S.R. UND HOLMES, D.B. (1996): *EIP-Fieldbook. Fieldbook for the development of Eco-Industrial Parks. Report prepared for the office of Policy, Planning and Evaluation at the EPA.* Washington 1996.
- LOWE, E.A. (1998): *Regional Resource Recovery, and Eco-Industrial Parks. An Integrated Strategy* Aus: Strebel, H. und Schwarz, E. (Hrsg. 1998): *Kreislauforientierte Unternehmenskooperation. Stoffstrommanagement durch innovative Verwertungsnetze* München 1998. (=Lehr- und Handbücher zur Ökologischen Unternehmensführung und Umweltökonomie) S. 27-58.
- LOWE, E. A. (2001): *Eco Industrial Parks Handbook* Washington 2001.
- LOWE, E. (2003): *Eco-industrial Development in Asian Developing Countries* Aus: Cohen-Rosenthal, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003. S. 341-352.
- LOWE, E.; GARNER, A. (1995): *Industrial Ecology. Annotated Bibliography* Michigan 1995.
- LOWITT, P. C. (1998): *Sustainable Development with a Local Focus: Sustainable Londonderry* o.O. 1998. <http://www.asu.edu/caed/proceedings98/Lowitt/lowitt.html>.
- LOWITT, P.C. (2003): *Sustainable Londonderry* Aus: Cohen-Rosenthal, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003. S. 300-306.
- LOZADA, G.A. (2006): *Entropy, free energy, work and other thermodynamic variables in economics* In: *Ecological Economics*, 56. Jg. (2006), H. 1, S. 71-78.
- LÜDEKE, M.K.B.; PETSCHL-HELD, G. UND SCHELLNHUBER, H.-J. (2004): *Syndromes of Global Change: The first Panoramic View* In: *Gaia*, 13. Jg. (2004), H. 1, S. 42-49.
- LUDWIG, D.; BROCK, W.A. UND CARPENTER, S. R. (2005): *Uncertainty in Discount Models and Environmental Accounting* www.ecologyandsociety.org/vol10/iss2/art13 In: *Ecology and Society*, 10. Jg. (2005), H. 2/Art. 13, S. 1-14.
- LUHMANN, N. (1984): *Soziale Systeme. Grundriss einer allgemeinen Theorie* Frankfurt/M 1984.
- LUHMANN, N. (1990): *Ökologische Kommunikation 3. Aufl.* Opladen 1990.
- LUKS, F. (2001): *Stationärer Zustand, "Steady State" und Scale* Aus: Costanza, R.; Cumberland, J.; Daly, H. u. a. (2001): *Einführung in die Ökologische Ökonomik* Stuttgart 2001. S. 37-38.

- LUKS, F. (2002): *Nachhaltigkeit. Wissen 3000* Hamburg 2002.
- LUKS, F. (2006): *Bouldings "Raumschiff Erde": Ein ökologisch-ökonomischer Klassiker* Aus: Höhler, S. und Luks, F. (Hrsg. 2006): *Beam us up, Boulding! 40 Jahre "Raumschiff Erde"* Hamburg 2006. (=VÖÖ Beiträge und Berichte. 7) S. 30-42.
- MAJER, H. (2001a): *Institutionentheoretische Aspekte nachhaltiger Entwicklung* Aus: Lorenz, H.-W. und Meyer, B. (Hrsg. 2001): *Studien zur Evolutorischen Ökonomik IV. Evolutorische Makroökonomik, Nachhaltigkeit und Institutionenökonomik* Berlin 2001. S. 117-144.
- MAJER, H. (1998): *Wirtschaftswachstum und nachhaltige Entwicklung 3. Auflage* München 1998.
- MAJER (1999): *Wachstum aus Sicht der ökologischen Ökonomie* Aus: Beckenbach, F.; Hampicke, U.; Leipert, C. u.a. (1999): *Jahrbuch Ökologische Ökonomik 1. Zwei Sichtweisen auf das Umweltproblem: Neoklassische Umweltökonomik versus Ökologische Ökonomik* Marburg 1999. S. 319-348.
- MAJER, H. (2000): *Das nachhaltige Unternehmen - Versuch einer Begriffsbestimmung* Aus: Pfriem, R. und Beschorner, T. (Hrsg. 2000): *Evolutorische Ökonomik und Theorie der Unternehmung* Marburg 2000. S. 377-417.
- MAJER, H. (2001): *Moderne Makroökonomik - ganzheitliche Sicht* München 2001.
- MAJER, H. (2001b): *Kapitel 6.5 - Eingebettete Kreislaufwirtschaft - sechs Schritte zur Industrial Ecology* Aus: Wruk, H.-P. und Ellringmann, H. (Hrsg. 2001): *Praxishandbuch Umweltschutz-Management. Grundwerk einschließlich Aktualisierungs- und Ergänzungslieferung Juli 2001* Köln 2001. S. 1-16.
- MAJER, H. (2002): *Netzwerke und Innovation - Ergebnisse des INNET-Projektes* In: *unw-nachrichten*, 10. Jg. (2002), H. 10, S. 34-35.
- MAJER, H. (2002a): *Eingebettete Technik - Die Perspektive der ökologischen Ökonomik* Aus: Grunwald, A. (Hrsg. 2002): *Technikgestaltung für eine nachhaltige Entwicklung. Von der Konzeption zur Umsetzung* Berlin 2002. S. 37-63.
- MAJER, H. (2003): *Regionale Netzwerkarbeit für Nachhaltigkeit mit Industrieunternehmen - Neun Thesen -* Aus: Elsner, W. und Biesecker, A., (2003): *Neuartige Netzwerke und nachhaltige Entwicklung. Komplexität und Koordination in Industrie, Stadt und Region* Frankfurt/M 2003. S. 151-176.
- MAJER, H. (2003a): *Nachhaltige Entwicklung - Leitbild für Zukunftsfähigkeit* In: *WISU*, 32. Jg. (2003), H. 7, S. 935-943.
- MAJER, H. (2003b): *Nachhaltige Entwicklung - Eine Vision für Zukunftsfähigkeit* In: *Wissenschaftsmanagement*, 9. Jg. (2003), H. 2, S. 33-35.
- MAJER, H. (2004): *Nachhaltigkeit - was bedeutet das?* In: *unw-nachrichten*, Jg. 2004, H. 12/2004, S. 23-29.
- MAJER, H. (2004a): *Systemtransformation für Nachhaltigkeit. Eine konzeptionelle Skizze* Aus: Jochimsen, M.A.; Kesting, S. und Knobloch, U. (2004): *Lebensweltökonomie* Bielefeld 2004. (=Reihe Lebensweltökonomie. 1) S. 343-364.
- MAJER, H. (2005): *Happy New Times. Applying the sustainability concept - unveröffentlichtes Diskussionspapier* Stuttgart o.J.

- MAJER, H.; BAUER, J.; HETTNER, J. u.a. (1999): *Nachhaltigkeit als Leitbild eines Umweltbildungssystems für die mittelständische Industrie in der Ulmer Region - Konzeption und Umsetzung Endbericht* Ulm 1999.
- MAJER, H.; BAUER, J.; LEIPERT, C. u.a. (1996): *Regionale Nachhaltigkeitslücken - Ökologische Berichterstattung für die Ulmer Region* Sternenfels - Berlin 1996.
- MALCOLM, R. UND CLIFT, R. (2002): *Barriers to Industrial Ecology. The Strange Case of "The Tombesi Bypass"* In: *Journal of Industrial Ecology*, 6. Jg. (2002), H. 1, S. 4-7.
- MALGHAN, D. (2005): *Scale as an Empirical Tool for Sustainability: Lessons from and for Industrial Ecology* Aus: Royal Institute of Technology (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005. S. 11-13.
- MALINSKY, A.H. (1999): *Regionales Systemmanagement: Stoffstromorientierte Grundzüge* Aus: Seidel, E. (Hrsg. 1999): *Betriebliches Umweltmanagement im 21. Jahrhundert; Aspekte, Aufgaben, Perspektiven* Berlin u.a. 1999. S. 193-204.
- MAN, R. de (1994): *Erfassung von Stoffströmen aus naturwissenschaftlicher und wirtschaftswissenschaftlicher Sicht - Akteure, Entscheidungen und Informationen im Stoffstrommanagement*. Aus: Enquete Kommission -Schutz des Menschen und der Umwelt- des Deutschen Bundestages: *Umweltverträgliches Stoffstrommanagement – Konzepte, Instrumente, Bewertung. Studie im Auftrag der Enquete Kommission Bd.1* Bonn 1994. S. 3-47.
- MANAHAN, S. E. (1999): *Industrial Ecology, Environmental Chemistry and Hazardous Waste* Boca Raton 1999.
- MANSTETTEN, R. UND FABER, M. (1999): *Umweltökonomie, Nachhaltigkeitsökonomie und Ökologische Ökonomie - Drei Perspektiven auf Mensch und Natur* Aus: Beckenbach, F.; Hampicke, U.; Leipert, C. u.a. (1999): *Jahrbuch Ökologische Ökonomie I. Zwei Sichtweisen auf das Umweltproblem: Neoklassische Umweltökonomie versus Ökologische Ökonomie* Marburg 1999. S. 53-98.
- MARGGRAF, R. (1999): *Monetäre Bewertung der Natur aus Sicht der neoklassischen Ökonomie* Aus: Beckenbach, F.; Hampicke, U.; Leipert, C. u.a. (1999): *Jahrbuch Ökologische Ökonomie I. Zwei Sichtweisen auf das Umweltproblem: Neoklassische Umweltökonomie versus Ökologische Ökonomie* Marburg 1999. S. 189-218.
- MARGULIS, L. (1999): *Die andere Evolution* Heidelberg, Berlin 1999.
- MARHEINEKE, T.; KREWITT, W.; NEUBARTH, J. u.a. (2000): *Ganzheitliche Bilanzierung der Energie- und Stoffströme von Energieversorgungstechniken* Stuttgart 2000.
- MARON, M. (2004): *An Ecological Approach to the Evolution of Organism Complexity* Sussex 2004.
- MARQUET, P.A. (2000): *Invariants, Scaling Laws and Ecological Complexity* In: *Science*, 289. Jg. (2000), H. 5484, S. 1487-1488.
- MARSANICH, A. (2003): *Biomass* Aus: Rennings, K. und Zwick, T. (Hrsg. 2003): *Employment Impacts of Cleaner Production. ZEW Economic Studies 21* Heidelberg 2003. S. 119-131.

- MARTEN, G.G. (2001): *Human Ecology - Basic Concepts for sustainable development* London 2001.
- MARTIN, K. (2002): *Ökologie der Biozönosen* Berlin 2002.
- MARTIN, S.A.; WEITZ, K.A.; CUSHMAN, R.A. u.a. (1996): *Eco-Industrial Parks: A Case Study and Analysis of Economic, Environmental, Technical and Regulatory Issues. Final Report* Washington 1996.
- MASONI, P.; SCIMIA, B.S.; SCIMIA, E. UND RAGGI, A. (2004): *VerdEE: a tool for adoption of life cycle assessment in small and medium sized enterprises in Italy* In: *Progress in Industrial Ecology*, 1. Jg. (2004), H. 1/2/3, S. 203-228.
- MASSARRAT, M. (1993): *Endlichkeit der Natur und Überfluß in der Marktökonomie. Schritte zum Gleichgewicht* Marburg 1993. (= Ökologie und Wirtschaftsforschung. 8)
- MATTHES, F.C. (1995): *Nachhaltige Energiewirtschaft. Zur Operationalisierung einer unscharfen Zielkategorie* Aus: Nutzinger, H.G. (Hrsg. 1995): *Nachhaltige Wirtschaftsweise und Energieversorgung. Konzepte, Bedingungen, Ansatzpunkte* Marburg 1995. S. 141-167.
- MATTHEWS, E.; AMANN, C.; BRINGEZU, S. u.a. (2000): *The Weight of Nations. Material Outflows from industrial Economies* Washington, DC 2000.
- MATTHEWS, H.S. UND MITCHELL, J.S. (2000): *Extending the Boundaries of Life-Cycle Assessment through Environmental Economic Input-Output Models* In: *Journal of Industrial Ecology*, 4. Jg. (2000), H. 3, S. 7-10.
- MATTHIES, M. (2002): *Einführung in die Systemwissenschaft - WS 2002/2003 Skript des Studiengangs "Allgemeine Systemwissenschaft" an der Universität Osnabrück* Osnabrück 2002.
- MATURANA, H.R. (1982): *Erkennen: Die Organisation und Verkörperung von Wirklichkeit. Ausgewählte Arbeiten zur biologischen Epistemologie* Braunschweig 1982.
- MATURANA, H.R. (2000): *Biologie der Realität* Frankfurt 2000.
- MAY, R. (1999): *Unanswered questions in ecology* In: *Philosophical Transaction: Biological sciences*, 354. Jg. (1999), H. 1392, S. 1951-1959.
- MAYR, E. (1984): *Die Entwicklung der biologischen Gedankenwelt. Vielfalt, Evolution und Vererbung* Berlin 1984.
- MCCANN, K.S. (2000): *The diversity-stability debate* In: *Nature*, 405. Jg. (2000), H. 6783, S. 228-233.
- MCCANN, K.; HASTINGS, A. UND HUXEL, G.R. (1998): *Weak trophic interactions and the balance of nature* In: *Nature*, 395. Jg. (1998), H. 6704, S. 794-798.
- MCEVOY, D.; RAVETZ, J. UND HANDLEY, J. (2004): *Managing the Flow of Construction Minerals in the North West Region of England* In: *Journal of Industrial Ecology*, 8. Jg. (2004), H. 3, S. 121-140.
- MCCMAHON, S.M.; MILLER, K.H. UND DRAKE, J. (2001): *Networking Tips for Social Scientists and Ecologists* In: *Science*, 293. Jg. (2001), H. 5535, S. 1604-1605.

- MEA - MILLENIUM ECOSYSTEM ASSESSMENT (Hrsg. 2005): *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis* Washington 2005.
- MEADOWS, D. L.; MEADOWS D.; ZAHN, E. u.a. (1972): *Grenzen des Wachstums* Stuttgart 1972.
- MEADOWS, D. und D. (1992): *Die neuen Grenzen des Wachstums. Die Lage der Menschheit: Bedrohung und Zukunftschancen* Stuttgart 1992.
- MEADOWS, D.; RANDERS, J. UND MEADOWS, D. (2004): *Limits to Growth. The 30-Year Update* White River Junction 2004.
- MESSNER, F. (2000): *Dematerialisierung, Transmaterialisierung und globale Umweltentlastung* Aus: Hartard, S.; Stahmer, C. und Hinterberger, F. (Hrsg. 2000): *Magische Dreiecke. Berichte für eine nachhaltige Gesellschaft - Band 1 / Stoffflussanalysen und Nachhaltigkeitsindikatoren* Marburg 2000. S. 159-189.
- MEUSBURGER, P. (2003): *"Wissen" als Erklärungsvariable in den Mensch-Umwelt-Beziehungen* Aus: Meusburger, P. und Schwan, T. (Hg 2003): *Humanökologie Ansätze zur Überwindung der Natur-Kultur-Dichotomie* Wiesbaden 2003. (=Erdkundliches Wissen. 135) S. 287-308.
- MEUSBURGER, P. UND SCHWAN, T. (Hg 2003): *Humanökologie Ansätze zur Überwindung der Natur-Kultur-Dichotomie* Wiesbaden 2003. (= Erdkundliches Wissen. 135)
- MEUSBURGER, P. UND SCHWAN, T. (2003): *Einleitung* Aus: Meusburger, P. und Schwan, T. (Hg 2003): *Humanökologie Ansätze zur Überwindung der Natur-Kultur-Dichotomie* Wiesbaden 2003. (=Erdkundliches Wissen. 135) S. 5-14.
- MEYER-ABICH, K.M. (1997): *Ist biologisches Produzieren natürlich? Leitbilder einer naturgemäßen Technik* In: *Gaia*, 6. Jg. (1997), H. 4, S. 247-252.
- MEYER-ABICH, K.-M. (2001): *Ethische Bewertung einer nachhaltigen Wirtschaft in der Natur* Aus: Altner, G. und Michelsen, G. (Hrsg. 2001): *Ethik und Nachhaltigkeit. Grundsatzfragen und Handlungsperspektiven im universitären Agendaprozess* Frankfurt a.M. 2001. S. 20-29.
- MEYER, B.; BOCKERMAN, A.; EWERHART, G. u.a. (1998): *Modellierung der Nachhaltigkeitslücke. Eine umweltökonomische Analyse* Heidelberg 1998.
- MEYERHOFF, J. (1997): *Ökonomische Bewertung biologischer Vielfalt - aufgezeigt an der Kosten-Nutzen-Analyse der Bundesverkehrswegeplanung* Aus: Gijssels, P. de; Gerlach, K.; Glombowski, J. u.a. (1997): *Ökonomie und Gesellschaft Jahrbuch 14: Nachhaltigkeit in der ökonomischen Theorie* Frankfurt/M 1997. S. 208-238.
- MILCHRAHM, E. UND HASLER, A. (2002): *Knowledge Transfer in Recycling Networks: Fostering Sustainable Development* In: *Journal of Universal Computer Science*, 8. Jg. (2002), H. 5, S. 546-556.
- MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR (Hrsg. 2001): *Umwelt-plan Baden-Württemberg* Stuttgart 2001.
- MINISTERIUM FÜR UMWELT UND VERKEHR BADEN-WÜRTTEMBERG (Hg 2004): *Zwischen Optimismus und Apokalypse. Die Zukunft der Umwelt* Stuttgart, Leipzig 2004.

- MIRATA, M. (2004): *Experiences from early stages of a national industrial symbiosis programme in the UK: Determinants and coordination challenges* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 967-983.
- MIRINDA, M.; BURRIS, P.; BINGCANG, J.F. u.a. (2003): *Mining and critical Ecosystems: Mapping the Risks* Washington 2003.
- MITCHELL, L. UND BAHL, D. (o. J.): *Alameda Corridor Industrial Area Industrial Revitalisation Strategy* Los Angeles o. J.
- MITTELBACH, K. (2005): *Keine Einseitigkeit zugunsten der Ökologie* Aus: Altner, G.; Leitschuh-Fecht, H.; Michelsen, G. u.a. (Hrsg. 2005): *Jahrbuch Ökologie 2006* München 2005. S. 141-148.
- MOFFATT, I. (1989): *Global Dynamics: Gaia or Geochemistry?* In: *The Environmentalist*, 9. Jg. (1989), H. 1, S. 39-44.
- MOHANTY, MISRA UND DRZAL, (2002): *Sustainable Bio-Composites from Renewable Resources: Opportunities and Challenges in the Green Materials World* In: *Journal of Polymers and the Environment*, 10. Jg. (2002), H. 1/2, S. 19-26.
- MÖLDERS, T.; KATZ, C. UND UNTERREINER, S. (2004): *Im Namen der Natur! Welcher Natur? Naturverständnisse und -verhältnisse bei ausgewählten Natur- und Umweltschutzverbänden* Aus: Rink, D. und Wächter, M. (Hrsg.2004): *Naturverständnisse in der Nachhaltigkeitsforschung* Frankfurt 2004. S. 173-202.
- MÖLLER, A; ROLF, A. UND MANDEL, R. (2001): *Sozial-ökologische Forschungsperspektiven für eine "Nachhaltige Informationsgesellschaft". Endbericht (Langfassung) im Rahmen des Sondierungsprojektes SOE 38 des BMBF* Hamburg 2001.
- MONSTADT, J. (2004): *Regional Governance* Aus: BMBF (Hrsg. 2004a): *Steuerung und Transformation. Überblick über theoretische Konzepte in den Projekten der sozial-ökologischen Forschung* Berlin 2004. (=Querschnittsarbeitsgruppe Steuerung und Transformation im Förderschwerpunkt Sozial-ökologische Forschung des BMBF Diskussionspapier. 01) S. 31-40.
- MOOMAW, W. UND TULLIS, M. (1994): *Charting Development Paths: A Multicountry Comparison of Carbon Dioxide Emissions* Aus: Socolow, R.; Andrews C.; Berkhout F. u.a. (Hrsg. 1994): *Industrial Ecology and Global Change* Cambridge 1994. S. 157-172.
- MORATH, K. (Hg 1996): *Welt im Wandel. Wege zu dauerhaft umweltgerechtem Handeln* Bad Homburg 1996.
- MORIOKA, T.; YOSHIDA, N. UND YAMAMOTO, Y. (2003): *Cycle-closing product chain management with appropriate production site metabolism toward zero emission in an industrial machinery corporation* In: *Clean Technologies and Environmental Policy*, 6. Jg. (2003), H. 1, S. 7-17.
- MORTON, B.; SIMON, S. UND STIRRATT, T. (2002): *Connecticut Newsprint: A Conceptual Model for Eco-Industrial Material Flows* Aus: Chertow, M.; Portlock, M. und Coppock, J. (Hrsg. 2002): *Developing Industrial Ecosystems: Approaches, Cases, and Tools* New Haven 2002. (=Yale University Bulletin Series. 106) S. 167-189.
- MOSBRUGGER, V. (2000): *Natürliche Ökosystemdynamik - Lernen aus der Vergangenheit* Aus: Bayerische Akademie der Wissenschaften (Hrsg. 2000): *Entwicklung der*

- Umwelt seit der letzten Eiszeit* München 2000. (=Rundgespräche der Kommission für Ökologie. 18) S. 17-28.
- MOUZAKITIS, Y.; ADIMEDES, E. UND GOUTSOS, S. (2003): *Sustainability and Industrial Estates: The Emergence of Eco-Industrial Parks* In: *Environmental research, engineering and management*, 26. Jg. (2003), H. 4, S. 85-91.
- MULDER, C.P.H.; ULIASSI, D.D. UND DOAK, D.F. (2001): *Physical stress and diversity-productivity relationships: The role of positive interactions* In: *PNAS*, 98. Jg. (2001), H. 12, S. 6704-6708.
- MÜLLER, H.-J. (1991): *Ökologie 2., überarb. Aufl.* Jena 1991.
- MÜLLER, F. (2003): *Versorgungssicherheit. Die Risiken der internationalen Energieversorgung* In: *Internationale Politik*, 58. Jg. (2003), H. 3, S. 3-10.
- MÜLLER-CHRIST, G. (2001): *Nachhaltiges Ressourcenmanagement. Eine wirtschafts-ökologische Fundierung* Marburg 2001.
- MÜLLER-CHRIST, G. (2006): *Unternehmen und Nachhaltigkeit - Zwischen Selbst- und Fremdsteuerung. VÖÖ Beiträge und Berichte, 3/2006* Karlsruhe 2006.
- MÜLLER-FÜRSTENBERGER, G. (2002): *Umweltökonomie* Aus: Frischknecht, P. und Schmied, B. (2002): *Umgang mit Umweltsystemen. Methodik zum Bearbeiten von Umweltproblemen unter Berücksichtigung des Nachhaltigkeitsgedankens* München 2002. S. 65-84.
- MÜLLER-SCHÄRER, H.; LÄSSIG, R. UND HIRSCH HADORN, G. (2003): *Interdisziplinarität auf dem Prüfstand* In: *Gaia*, 12. Jg. (2003), H. 4, S. 241-242.
- MUMFORD, L. (1977): *Mythos der Maschine. Kultur, Technik und Macht. Die umfassende Darstellung der Entdeckung und Entwicklung der Technik* Frankfurt a. M. 1977.
- MUNN, T. (Hg 2002): *Encyclopedia of Global Environmental Change Volume 2, The earth system: Biological and ecological dimensions of global environmental change* Chichester, UK 2002.
- MURANO, A.; FUJITA, T. UND FANG, W.L. (2005): *Environmental Evaluation of Industrial Symbiotic Collaboration in Kawasaki Eco-town* Aus: Royal Institute of Technology (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005. S. 129-130.
- MURPHY, J. (2001): *Ecological Modernisation: The Environment and the Transformation of Society* Oxford 2001.
- MUSTER, W.J. (2004): *Werkstoffentwicklung auf neuen Pfaden* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 12. Jg. (2004), H. 3, S. 8-14.
- MWV (Hrsg. 2001): *Mineralölforum - Energiemarkt im Wandel* Hamburg 2001.
- NAESS, A. (1989): *Ecology, Community and Lifestyle* Cambridge 1989.
- NAGEL, E. (1961): *The structure of Science: Problems in the logic of scientific explanation* New York 1961.

- NAGEL, U.J.; AENIS, T.; DOSCH, A. u.a. (2004): *Zur Wirkungsanalyse transdisziplinärer Forschung. Ein Untersuchungskonzept der Nachhaltigkeit des Landnutzungsprojektes GRANO* Weikersheim 2004.
- NAKICENOVIC, N. UND MESSNER, S. (2002): *Die IIASA Studie für eine vollständige Energieversorgung Westeuropas mit Erneuerbaren Energien* In: *Solarzeitalter*, Jg. 2002, H. 1, S. 31-39.
- NATHANI, C. (2005): *Economic Modelling Approaches in Industrial Ecology* Aus: Royal Institute of Technology (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005. S. 50.
- NENTWIG, W. (1995): *Humanökologie. Fakten, Argumente, Ausblicke*. Berlin, Heidelberg 1995.
- NERGER, M. UND BLEISCHWITZ, R. (2005): *FAKTOR VIER - zwei Praxisbeispiele* Aus: Altner, G.; Leitschuh-Fecht, H.; Michelsen, G. u.a. (Hrsg. 2005): *Jahrbuch Ökologie 2006* München 2005. S. 182-189.
- NEWMAN, P. (2005): *Regional Sustainability: Principles and Practices with a Case Study on Western Australia* Aus: Filho, W.L. (Hrsg. 2005): *Handbook of Sustainability Research* Frankfurt/M 2005. (=Environmental Education, Communication and Sustainability. 20) S. 439-458.
- NILL, J. UND PETSCHOW, U. (2003): *Obstacles and Opportunities for a "Green" Industrial Policy* Aus: Bourg, D. und Erkman, S. (Hrsg. 2003): *Perspectives on Industrial Ecology* Wien (Greenleaf Publishing) 2003. S. 223-232.
- NITSCH, J. (2001): *Perspektiven regenerativer Energien am Beispiel Deutschlands* In: *TA-Datenbank-Nachrichten*, 10. Jg. (2001), H. 3, S. 12-21.
- NITSCH, J.; NAST, M.; PEHNT, N. u.a. (2001): *Schlüsseltechnologie regenerative Energien. Teilbericht im Rahmen des HGF-Projektes "Global zukunftsfähige Entwicklung - Perspektiven für Deutschland Teil A und B* Stuttgart, Karlsruhe 2001.
- NÖLTING, B. (2004): *Der Ansatz des akteurzentrierten Institutionalismus und institutionelle Steuerung* Aus: BMBF (Hrsg. 2004a): *Steuerung und Transformation. Überblick über theoretische Konzepte in den Projekten der sozial-ökologischen Forschung* Berlin 2004. (=Querschnittsarbeitsgruppe Steuerung und Transformation im Förderschwerpunkt Sozial-ökologische Forschung des BMBF Diskussionspapier. 01) S. 17-23.
- NORBERG, J.; SWANEY, D.P.; DUSHOFF, J. u.a. (2001): *Phenotypic diversity and ecosystem functioning in changing environments: A theoretical framework* In: *PNAS*, 98. Jg. (2001), H. 20, S. 11376-11381.
- NORGAARD, R. (1992): *Coevolution of economy, society and environment* Aus: Ekins, P. und Max-Neef, M. (eds 1992): *Real-life economics: Understanding wealth creation* London 1992. S. 76-88.
- NRTEE (Hrsg. 2001): *Eco-efficiency Indicators Workbook. Calculating Eco-efficiency Indicators: A Workbook for Industry* Ottawa 2001.

- NÜSSER, M. (2003): *Ressourcennutzung und Umweltveränderung: Mensch-Umwelt-Beziehungen in peripheren Gebirgsräumen* Aus: Meusbürger, P. und Schwan, T. (Hg 2003): *Humanökologie Ansätze zur Überwindung der Natur-Kultur-Dichotomie* Wiesbaden 2003. (=Erdkundliches Wissen. 135) S. 327-342.
- NUTZINGER, H.G. (2001): *Die Physiokraten* Aus: Costanza, R.; Cumberland, J.; Daly, H. u. a. (2001): *Einführung in die Ökologische Ökonomik* Stuttgart 2001. S. 26-26.
- NUTZINGER, H.G. (Hrsg. 1995): *Nachhaltige Wirtschaftsweise und Energieversorgung. Konzepte, Bedingungen, Ansatzpunkte* Marburg 1995.
- O'RIORDAN, T. (1994): *The precaution principle in environmental management* Aus: Ayres, R.U. und Simonis, U.E. (1994): *Industrial metabolism: Restructuring for sustainable development* Tokyo, New York, Paris 1994. S. 299-318.
- O'ROURKE, D. (2005): *Market Movements. Nongovernmental Organization Strategies to influence Global Production and Consumption* In: *Journal of Industrial Ecology*, 9. Jg. (2005), H. 1-2, S. 115-121.
- O'ROURKE, D.; CONNELLY, L. UND KOSHLAND, C. P. (1996): *Industrial ecology: A critical review* In: *International Journal for Environment and Pollution*, 6. Jg. (1996), H. 213, S. 89-112.
- O'CONNOR, M. (1996): *Cherishing the Future, Cherishing the Other: A "Post-Classical" Theory of Value* Aus: Faucheux, S.; Pearce, D. und Proops, J. (1996): *Models of Sustainable Development. New Horizons in Environmental Economics* Cheltenham 1996. S. 321-344.
- ODUM, E. P. (1999): *Ökologie Grundlagen - Standorte - Anwendung; 3. völlig neubearbeitete Auflage* Stuttgart 1999.
- ODUM, E.P. UND REICHHOLF, J. (1980): *Ökologie - Grundbegriffe, Verknüpfungen, Perspektiven* München u.a. 1980.
- OECHSLE, M. (1991): *Überlegungen zu einem historischen Naturbegriff* Aus: Hassenpflug, D. (Hrsg. 1991): *Industrialismus und Ökoromantik. Geschichte und Perspektiven der Ökologisierung* Wiesbaden 1991. S. 103-124.
- OERTEL, D. UND GRUNWALD, A. (2006): *Potenziale und Anwendungsperspektiven der Bionik. Vorstudie durch das TAB* Berlin 2006.
- OHLSSON, M.C.; KJELLBERG, K. UND BRANDT, N. (2005): *Criteria for Sustainable Technology* Aus: Royal Institute of Technology (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005. S. 9-9.
- OLDFIELD, F. UND STEFFEN, W. (2004): *Box 1.1. The Earth System* Aus: Steffen, W.; Sanderson, A.; Tyson, P.D. u.a. (2004): *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure* Heidelberg u.a. 2004. S. 7-7.
- OLDFIELD, F. UND MESSERLI, B. (2004): *Box 5.3. Vulnerability: Past, Present and Future* Aus: Steffen, W.; Sanderson, A.; Tyson, P.D. u.a. (2004): *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure* Heidelberg u.a. 2004. S. 210-211.

- ÖMER-RIEDER (2005): *Nachhaltigkeitsinnovationen - was sie sind und wie sie entstehen* Aus: Altner, G.; Leitschuh-Fecht, H.; Michelsen, G. u.a. (Hrsg. 2005): *Jahrbuch Ökologie 2006* München 2005. S. 20-31.
- ORNETZEDER, M. UND ROHRACHER, H. (2005): *Social Learning, Innovation and Sustainable Technology* Aus: Filho, W.L. (Hrsg. 2005): *Handbook of Sustainability Research* Frankfurt/M 2005. (=Environmental Education, Communication and Sustainability. 20) S. 147-176.
- ORTHABER, A. (2001): *Systemische Ökologie nach Eugene P. Odum unter der Leitung von Prof. Günther Ossimitz im Fach "Einführung in die Systemwissenschaften"* Graz 2001.
- ORTMANN, G. UND SYDOW, J. (Hrsg. 2001): *Strategie und Strukturation. Strategisches Management von Unternehmen, Netzwerken und Konzernen* Wiesbaden 2001.
- OSÓRIO-PETERS, S. (2003): *Recycling* Aus: Rennings, K. und Zwick, T. (Hrsg. 2003): *Employment Impacts of Cleaner Production. ZEW Economic Studies 21* Heidelberg 2003. S. 83-117.
- OTT, T. (2000): *Gestaltung und Vernetzung EDV-technischer Systembausteine für das zwischenbetriebliche Stoffstrommanagement* Aus: Liesegang, D.G.; Sterr, T. und Ott, T. (2000): *Aufbau und Gestaltung regionaler Stoffstrommanagementnetzwerke. Betriebswirtschaftlich-Ökologische Arbeiten des IUWA, Band 4* Heidelberg 2000. S. 78-92.
- OTT, K.; DÖRING, R.; GORKE, M. u.a. (2003): *Über einige Maschen der neuen Vermessung der Welt - eine Kritik an Lomborgs "Apokalypse No!"* In: *Gaia*, 12. Jg. (2003), H. 1, S. 45-51.
- PAAVOLA, J. UND ADGER, W.N. (2005): *Institutional ecological economics* In: *Ecological Economics*, 53. Jg. (2005), H. 3, S. 353-368.
- PAHL-WOSTL, C. UND EBENHÖH, E. (Hrsg. 2003): *Komplexe adaptive Systeme. Beiträge des Instituts für Umweltforschung der Universität Osnabrück Nr. 27* Osnabrück 2003.
- PALM, K. (1999): *Der Naturbegriff in der feministischen Debatte* Aus: IWT (Hrsg. 1999): *Die "Natur" der Natur. Tagungsdokumentation Universität Bielefeld, 12.-14. November 1998* Bielefeld 1999. (=IWT paper. 23) S. 148-155.
- PAPANEK, V. (1995): *The Green Imperative. Ecology and Ethics in Design and Architecture* London 1995.
- PARK, C. (2002): *The Natural Step and Eco-Industrial Networking* In: *The Eco-Industrial Advantage*, 2. Jg. (2002), H. 1, S. 3-5.
- PARRY, I.W.H.; PIZER, W.A. UND FISCHER, C. (2000): *How Important is Technological Innovation in Protecting the Environment* Washington 2000.
- PASCKERT, A. (1997): *Zukunftsfähige Wertschöpfungskreisläufe* Hamburg 1997. (=Duisburger Betriebswirtschaftliche Schriften. 15)
- PASCKERT, A. (1998): *Informative Kreislaufprodukte* Aus: Kaluza, B. (Hrsg. 1998): *Kreislaufwirtschaft und Umweltmanagement* Hamburg 1998. (=Duisburger Betriebswirtschaftliche Schriften Bd 17) S. 213-239.

- PASCUAL-SISON, G. (2000): *Integrating Cleaner Production with Industrial Ecology* In: *Closing the LOOP - newsletter*, o. Jg. (2000), H. 4, S. 1-2.
- PASTOWSKI, A. (1994): *Möglichkeiten und Grenzen entropiethoretisch begründeter Folgerungen für die Wirtschafts-, Umwelt- und Energiepolitik* Aus: Beckenbach, F. und Diefenbacher, H. (Hrsg. 1994): *Zwischen Entropie und Selbstorganisation. Perspektiven einer ökologischen Ökonomie* Marburg 1994. S. 217-244.
- PEARCE, D.W.; ATKINSON, G.D. UND DUBOURG, W.R. (1994): *The Economics of Sustainable Development* In: *Annual Review of Energy and Environment*, 19. Jg. (1994), S. 457-474.
- PEARCE, D. W. UND TURNER, R. K. (1990): *Economics of natural resources and the environment* New York, London 1990.
- PECK, S. (2002): *Future Prospects of Eco-Industrial Development. An Interview with Peter Lowitt* In: *The Eco-Industrial Advantage*, 2. Jg. (2002), H. 2, S. 3-5.
- PECK, S. (2002a): *The Evolution of Eco-Industrial Development* In: *The Eco-Industrial Advantage*, 2. Jg. (2002), H. 1, S. 1-2.
- PECK&ASSOCIATES (o. J.): *EIP Development and Canada: Final Report* Toronto o.J.
- PEISL, H.J. (1995): *Unsere Un-welt. Einsichten in ein komplexes System* Altkessel bei Saarbrücken 1995.
- PERROW, C. (1992): *Normale Katastrophen. Die unvermeidbaren Risiken der Großtechnik* Frankfurt/New York 1992. (= Campus. 1028)
- PESTEL, E. (1988): *Jenseits der Grenzen des Wachstums. Dritter Bericht an den Club of Rome* Stuttgart 1988.
- PETERSEN, T. (2000): *Nachhaltigkeit und Menschenbild* Aus: Hartard, S.; Stahmer, C. und Hinterberger, F. (Hrsg. 2000): *Magische Dreiecke. Berichte für eine nachhaltige Gesellschaft - Band 1 / Stoffflussanalysen und Nachhaltigkeitsindikatoren* Marburg 2000. S. 221-238.
- PETERSEN, A. (2003): *Links to the ISO 14000 Series at the Park and Company Level* Aus: Cohen-Rosenthal, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003. S. 186-199.
- PETERSEN, T. UND FABER, M. (2003): *Verantwortung, Kuppelproduktion und Wissen* Heidelberg 2003.
- PETERSON, G. (2000): *Political ecology and ecological resilience: An integration of human and ecological dynamics* In: *Ecological Economics*, 35. Jg. (2000), H. 3, S. 323-336.
- PFISTER, G. UND RENN, O. (Hrsg. 1996): *Indikatoren einer regionalen nachhaltigen Entwicklung* Stuttgart 1996. (= Dokumentation der Workshop-Berichte. 65)
- PFRIEM, R. (1993): *Unternehmenspolitik in sozialwissenschaftlichen Perspektiven* Oldenburg 1993.
- PFRIEM, R. (1999): *On the road again? Über die Schwierigkeiten, Unternehmen und Unternehmenstheorie auf eine ökologische Spur zu bringen* Aus: Beckenbach, F.; Hampicke, U.; Leipert, C. u.a. (1999): *Jahrbuch Ökologische Ökonomie* 1. Zwei

- Sichtweisen auf das Umweltproblem: Neoklassische Umweltökonomik versus Ökologische Ökonomik* Marburg 1999. S. 375-400.
- PFRIEM, R. UND BESCHORNER, T. (Hrsg. 2000): *Evolutorische Ökonomik und Theorie der Unternehmung* Marburg 2000.
- PIECHOCKI, R. (2005): *Das Landschaftsverständnis der Naturschützer* Aus: Altner, G.; Leitschuh-Fecht, H.; Michelsen, G. u.a. (Hrsg. 2005): *Jahrbuch Ökologie 2006* München 2005. S. 76-86.
- PILLER, B. (2002): *Öl-Reserven und das Tabu des Fördermaximums* In: *Energie & Umwelt*, Jg. 2003, H. 4, S. 8-9.
- PIMM, S. L. (1991): *The Balance of Nature? Ecological Issues in the Conservation of Species and Communities* Chicago 1991.
- PIMM, S. L.; LAWTON, J. H. UND COHEN, J.E. (1991): *Food web patterns and their consequences* In: *Nature*, 350. Jg. (1991), H. 6320, S. 669-674.
- PIQUERAS, M. (1998): *Meeting the Biospheres: On the translations of Vernadsky's work* In: *International Microbiology*, 1. Jg. (1998), H. 2, S. 165-170.
- PIRINGER, M. UND FISCHER, T. (2003): *Kreislaufwirtschaft mit Produkten aus nachwachsenden Rohstoffen. Voraussetzungen und Strategien* Wien 2003.
- PLÖTZ, C. (2003): *Sequestrierung von CO₂: Technologien, Potenziale, Kosten und Umweltauswirkungen. Externe Expertise für das WBGU Hauptgutachten 2003 "Welt im Wandel: Energiewende zur Nachhaltigkeit"* Berlin 2003.
- POHL, C. (2004): *Guidelines für die transdisziplinäre Forschung I. Vorschlag September 2004 zum Peer Review und zur Vernehmlassung* Bern 2004.
- POLSKY, C.; SCHRÖTER, D.; PATT, A. u.a. (2003): *Assessing Vulnerabilities to the Effects of Global Change: An Eight-Step Approach* Research and Assessment Systems for Sustainability Programm Diskussion Paper 2003-05, Cambridge 2003 .
- PONGRÁCZ, E. (2004): *Industrial Ecosystems, by-product synergies* University of Oulu Lecture Oulu 2004.
- POSCH, A. (2004): *Industrial recycling networks: Results of rational decision making or "organised anarchies"?* In: *Progress in Industrial Ecology*, 1. Jg. (2004), H. 1/2/3, S. 112-129.
- POSCH, A.; SCHWARZ, E.; STEINER, G. u.a. (1998): *Das Verwertungsnetz Obersteiermark und sein Potential* Aus: Strebel, H. und Schwarz, E. (Hrsg. 1998): *Kreislauforientierte Unternehmenskooperation. Stoffstrommanagement durch innovative Verwertungsnetze* München 1998. (=Lehr- und Handbücher zur Ökologischen Unternehmensführung und Umweltökonomie) S. 211-221.
- POSCH, A. UND STEINER, G. (o. J.): *Creativity Management in Sustainability Networks*. Discussion Paper, International Summer Academy on Technology Studies-Corporate Sustainability, Institut für Innovations- und Umweltmanagement, Karl-Franzens-Universität Graz
www.ifz.tugraz.at/index_en.php/filemanager/download/64/Posch_Steiner_SA03.pdf
 am 08.08.04 .

- POST, D.M. (2002): *The long and short of food-chain-length* In: *Trends in Ecology and Evolution*, 17. Jg. (2002), H. 6, S. 269-277.
- PRIEWE, J. (2002): *Begrenzt ökologische Nachhaltigkeit das Wirtschaftswachstum?* In: *Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht*, Jg. 2002, H. 2, S. 153-172.
- PROCTOR, A. (2003): *Regional restructuring for sustainable development: The potential role of ecosites. Paper presented to the Regional Studies Association conference, Reinventing Regions in the Global Economy, Pisa, Italy, April 12-15, 2003* o.O.
- PROCTOR, A.; DEUTZ, P. UND GIBBS, D. (2002): *Sustainability and the local Economy: The Role of Eco-Industrial Development Eco-Industrial Park Survey: Feedback Report for Respondents, August 2002* Hull 2002.
- PROKOSCH, P. UND HEINRICH, C. (2005): *Der Living Planet Report - die biologische Vielfalt der Erde schwindet* Aus: Altner, G.; Leitschuh-Fecht, H.; Michelsen, G. u.a. (Hrsg. 2005): *Jahrbuch Ökologie 2006* München 2005. S. 269-282.
- PROOPS, J.L.R. (1989): *Ecological Economics: Rationale and Problem Areas* In: *Ecological Economics*, 1. Jg. (1989), H. 1, S. 59-76.
- PROOPS, J. UND SAFONOV, P. (Hrsg. 2004): *Modelling in Ecological Economics* Cheltenham 2004.
- QUASCHNING, V. (2000): *Systemtechnik einer klimaverträglichen Elektrizitätsversorgung in Deutschland für das 21. Jahrhundert. Fortschritts-Bericht* Düsseldorf 2000. (= VDI Reihe 6. 437)
- RADKE, V. (1995): *Sustainable Development - eine ökonomische Interpretation* In: *Zeitschrift für angewandte Umweltforschung*, 8. Jg. (1995), H. 4, S. 532-543.
- RADKE, V. (1999): *Zum Naturverständnis der Ökonomie* Aus: IWT (Hrsg. 1999): *Die "Natur" der Natur. Tagungsdokumentation Universität Bielefeld, 12.-14. November 1998* Bielefeld 1999. (=IWT paper. 23) S. 156-183.
- RADKE, V. (2001): *Naturverständnisse in der ökonomischen Nachhaltigkeitsforschung* Aus: Rink, D. und Wächter, M. (Hrsg. 2001): *Naturverständnisse in der Nachhaltigkeitsforschung. Zur Analyse von Naturverständnissen und ihren normativen Implikationen in wissenschaftlichen Disziplinen und gesellschaftlichen Handlungsfeldern - Sondierungsstudie im Rahmen des Förderschwerpunktes "Sozialökologische Forschung"* Leipzig 2001. S. 52-70.
- RADKE, V. (2004): *Naturverständnisse in der ökonomischen Nachhaltigkeitsforschung* Aus: Rink, D. und Wächter, M. (Hrsg.2004): *Naturverständnisse in der Nachhaltigkeitsforschung* Frankfurt 2004. S. 141-172.
- RAFFAELLI, D. (2004): *How Extinction Patterns affect Ecosystems* In: *Science*, 306. Jg. (2004), H. 5699, S. 1141-1142.
- RAINHAM, D.G.C.; MCDOWELL, I. UND WILSON, J. (2005): *Does Improving Human-Well-being inevitably Drain Natural Capital?* Aus: Filho, W.L. (Hrsg. 2005): *Handbook of Sustainability Research* Frankfurt/M 2005. (=Environmental Education, Communication and Sustainability. 20) S. 177-204.
- RAMMERT, W. (1999): *Weder festes Faktum noch kontingentes Konstrukt: Natur als historisches Resultat experimenteller Interaktivität zwischen menschlicher und nicht-*

- menschlicher Natur* Aus: IWT (Hrsg. 1999): *Die "Natur" der Natur. Tagungsdokumentation Universität Bielefeld, 12.-14. November 1998* Bielefeld 1999. (=IWT paper. 23) S. 184-205.
- RAMOS-MARTIN, J. (2002): *Analysing the energy metabolism of economies from a complex-systems perspective* Kneese, Diss. 2002 .
- RAO, P. K. (2000): *Sustainable Development Economics and Policy* Oxford 2000.
- RASKIN, P.; BANURI, T.; GALLOPIN, G. u.a. (2002): *Great Transition - The Promise and Lure of the Times Ahead. A report of the Global Scenario Group* Boston 2002.
- REBERNIK, M.; MULEJ, M. UND KROSLIN, T. (Hrsg. 2004): *Stige 2004. Proceedings of 7th international conference on linking systems thinking, innovation, quality, entrepreneurship and environment, June 23-26, 2004 Maribor, Slovenia* Maribor 2004.
- REBHAN, A.; HAFKESBRINK, J. UND WALKER, D. (2002): *Stoffstromkooperationen. Neues Ringsystem für Fest-Flüssig Abfälle mit innovativer Entsorgungstechnik im Ruhrgebiet* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 10. Jg. (2002), H. 2, S. 35-38.
- RECHSTEINER, R. (2002): *Woher die Energie im Jahre 2033 kommt* In: *Energie & Umwelt*, Jg. 2002, H. 4, S. 10-11.
- RECHSTEINER, R. (2003): *Grün gewinnt. Die letzte Ölkrise und danach* Zürich 2003.
- REICHEL, A. (2006): *Die Lernarchitektur regionaler Nachhaltigkeitsnetzwerke. Transdisziplinäre Skizze eines Gedächtnisses für Nachhaltigkeit* Berlin 2006.
- REICHHOLF, J.H. (1998): *Der blaue Planet. Einführung in die Ökologie* München 1998.
- REISCH, L.A. (2002): *Und wir alle? - Wer nachhaltig konsumiert hat mehr vom Leben* Aus: BUND/Misereor (Hrsg. 2002): *Wegweiser für ein zukunftsfähiges Deutschland* München 2002. S. 199-205.
- REN21 (Hrsg. 2005): *Globaler Statusbericht 2005 - Erneuerbare Energien* Washington DC 2005.
- RENN, O. (2001): *Ethische Anforderungen an eine Nachhaltige Entwicklung. Zwischen globalen Zwängen und individuellen Handlungsspielräumen* Aus: Altner, G. und Michelsen, G. (Hrsg. 2001): *Ethik und Nachhaltigkeit. Grundsatzfragen und Handlungsperspektiven im universitären Agendaprozess* Frankfurt a.M. 2001. S. 64-99.
- RENN, O. (2003): *Umwelt, Globalisierung und Ethik - Orientierungen in einer Welt mit begrenzten Handlungsspielräumen* Aus: Hempel, G. und Schulz-Baldes, M. (Hrsg. 2003): *Nachhaltigkeit und globaler Wandel. Guter Rat ist teuer* Frankfurt/M 2003. S. 193-224.
- RENN, O. (2004): *Zwischen Optimismus und Apokalypse - eine Nachbetrachtung. Ein kritischer Blick auf die ökologische Herausforderung* Aus: Ministerium für Umwelt und Verkehr Baden-Württemberg (Hg 2004): *Zwischen Optimismus und Apokalypse. Die Zukunft der Umwelt* Stuttgart, Leipzig 2004. S. 127-142.
- RENN, O., LEON, C. D., CLAR, G. (2000): *Nachhaltige Entwicklung in Baden-Württemberg. Statusbericht 2000 - Kurzfassung* Stuttgart 2000.

- RENNINGS, K. UND ZWICK, T. (Hrsg. 2003): *Employment Impacts of Cleaner Production. ZEW Economic Studies 21* Heidelberg 2003.
- RENTZ, O.; TIETZE-STÖCKINGER, I. UND FICHTNER, W. (2003): *ReduParks - Entsorgerparks als Option zur Reduktion zwischenbetrieblicher Transportströme. Executive Summary - Forschungsvorhaben gefördert durch das BMBF Karlsruhe* 2003.
- RESKE, J.; KAMM, B. UND KAMM, M. (2002): *Perspektiven der industriellen Produktion auf Basis von Biomasse* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 10. Jg. (2002), H. 2, S. 21-25.
- REUSSWIG, F. (1997): *Nicht-nachhaltige Entwicklungen. Zur interdisziplinären Beschreibung und Analyse von Syndromen des Globalen Wandels* Aus: Brand, K.-W. (Hrsg. 1997): *Nachhaltige Entwicklung. Eine Herausforderung an die Soziologie* Opladen 1997. S. 71-90.
- REUTER, N. (2002): *Die Wachstumsoption im Spannungsfeld von Ökonomie und Ökologie* In: *UTOPIE kreativ*, Jg. 2002, H. 136, S. 131-144.
- REUTER, M.A. UND SCHAIK, A. VAN (2005): *Metrics for the Design for Recycling* Aus: Royal Institute of Technology (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005. S. 94-95.
- RICHTER, E. (1998): *Entwicklung zu einer Kreislaufwirtschaft im Elektronikbereich* Aus: Kaluza, B. (Hrsg. 1998): *Kreislaufwirtschaft und Umweltmanagement* Hamburg 1998. (=Duisburger Betriebswirtschaftliche Schriften Bd 17) S. 71-96.
- RINK, D. (2004): *Naturverständnisse in der Nachhaltigkeitsforschung: Fazit* Aus: Rink, D. und Wächter, M. (Hrsg.2004): *Naturverständnisse in der Nachhaltigkeitsforschung* Frankfurt 2004. S. 203-208.
- RINK, D. UND WÄCHTER, M. (Hrsg. 2001): *Naturverständnisse in der Nachhaltigkeitsforschung. Zur Analyse von Naturverständnissen und ihren normativen Implikationen in wissenschaftlichen Disziplinen und gesellschaftlichen Handlungsfeldern - Sondierungsstudie im Rahmen des Förderschwerpunktes "Sozialökologische Forschung"* Leipzig 2001.
- RINK, D. UND WÄCHTER, M. (Hrsg.2004): *Naturverständnisse in der Nachhaltigkeitsforschung* Frankfurt 2004.
- RINK, D.; WÄCHTER, M. UND POTTHAST, T. (2004): *Naturverständnisse in der Nachhaltigkeitsdebatte: Grundlagen, Ambivalenzen und normative Implikationen* Aus: Rink, D. und Wächter, M. (Hrsg.2004): *Naturverständnisse in der Nachhaltigkeitsforschung* Frankfurt 2004. S. 11-34.
- RIPL, W. (1995): *Nachhaltige Bewirtschaftung von Ökosystemen aus wasserwirtschaftlicher Sicht* Aus: Fritz, P.; Huber, J. und Levi, H. W. (Hrsg. 1995): *Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive* Stuttgart 1995. S. 69-80.
- RISOPOULOS, F.; POSCH, A. UND STEINER, G. (2004): *Transdisziplinäre Creation of a shared Vision for Sustainable Development* Aus: Rebernik, M.; Mulej, M. und Kroslin, T. (Hrsg. 2004): *Stiqe 2004. Proceedings of 7th international conference on*

- linking systems thinking, innovation, quality, entrepreneurship and environment, June 23-26, 2004 Maribor, Slovenia Maribor 2004. S. 109-118.*
- RITTHOFF, M.; ROHN, H. UND LIEDTKE, C. (2002): *MIPS berechnen. Ressourcenproduktivität von Produkten und Dienstleistungen* Wuppertal 2002.
- ROBERTS, B.H. (2004): *The application of industrial ecology principles and planning guidelines for the development of eco-industrial parks: An Australian case study* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 997-1010.
- ROBINSON, J. UND TINKER, J. (1996): *Reconciling Ecological, Economic and Sozial Imperatives: Towards an Analytical Framework. Paper prepared for the international Development Research Centre April 1996* o.O. 1996.
- ROGALL, H. (2002): *Neue Umweltökonomie - Ökologische Ökonomie. Ökonomische und ethische Grundlagen der Nachhaltigkeit, Instrumente zu ihrer Durchsetzung* Opladen 2002.
- ROINE, K. (2000): *Does Industrial Ecology provide any new Perspectives?* Trondheim 2000.
- ROINE, K. UND BRATTEBO, H. (2003): *Towards a methodology for assessing effectiveness of recovery systems - A process system approach* Aus: Bourg, D. und Erkman, S. (Hrsg. 2003): *Perspectives on Industrial Ecology* Wien (Greenleaf Publishing) 2003. S. 101-111.
- RÖPKE, J. (2004): *Blinde Flecke der Wirtschaftspolitik: Von der Theorie der Parallelwelten und der Notwendigkeit einer De-Ontologisierung der Wirklichkeit* Marburg 2004.
- ROSZAK, T. (1986): *Mensch und Erde auf dem Weg zur Einheit. Ein Manifest* Reinbeck bei Hamburg 1986.
- ROTH, J.K. (2003): *Vorwort: Engpässe und Auswege* Aus: Wallimann, I. und Dobkowski, M.N. (Hrsg. 2003): *Das Zeitalter der Knappheit. Ressourcen, Konflikte, Lebenschancen* Bern u.a. 2002. S. 9-18.
- ROTHMAN, D. S. UND DE BRUYN, S. M. (1998): *Probing into the environmental Kuznets curve hypothesis* In: *Ecological Economics*, 25. Jg. (1998), H. 2, S. 143-145.
- RÖTZER, F. (2004): *Der PC als Ökomonster* o.O. 2004.
www.heise.de/tp/deutsch/inhalt/te/16911/1.html am 17.11.2004.
- ROYAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005.
- RUIJVEN, J. VAN UND BERENDSE, F. (2005): *Diversity-productivity relationships: Initial effects, long-term patterns and underlying mechanisms* In: *PNAS*, 102. Jg. (2005), H. 3, S. 695-700.
- RYAN, C. (1999): *Information Technology and DfE. From Support Tool to Design Principle* In: *Journal of Industrial Ecology*, 3. Jg. (1999), H. 1, S. 5-8.
- RYAN, C. (2001): *EcoLab, Part I. A Jump toward Sustainability* In: *Journal of Industrial Ecology*, 5. Jg. (2002), H. 3, S. 9-12.

- SACHS, W. (1997): *Sustainable Development. Zur politischen Anatomie eines internationalen Leitbilds* Aus: Brand, K.-W. (Hrsg. 1997): *Nachhaltige Entwicklung. Eine Herausforderung an die Soziologie* Opladen 1997. S. 93-110.
- SACHS, W. (2002): *Nach uns die Zukunft. Der globale Konflikt um Gerechtigkeit und Ökologie* Frankfurt a. M. 2002.
- SAGOFF, M. (2003): *The Plaza and the Pendulum* In: *Biology and Philosophy*, 18. Jg. (2003), H. 4, S. 529-552.
- SALTHER, A. N. (2003): *Infodynamics, a Developmental Framework for Ecology/Economics* In: *Conservation Ecology [online]* www.consecol.org, 7. Jg. (2003), H. 3, S. art 3.
- SANDER, K. (2002): *Nachhaltiger Stahlkreislauf. Die Rolle des Kupfers als Störelement* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 10. Jg. (2002), H. 2, S. 29-35.
- SARKIS, J. UND REIMANN, M. D. (1994): *Manufacturing and supply chain management in the industry ecosystem* Arlington/Texas 1994.
- SARTORIUS, C. (1999): *Energie- und Stoffflüsse im ökologischen und ökonomischen Zusammenhang - ein Überblick* Aus: Beckenbach, F.; Hampicke, U.; Leipert, C. u.a. (1999): *Jahrbuch Ökologische Ökonomik 1. Zwei Sichtweisen auf das Umweltproblem: Neoklassische Umweltökonomik versus Ökologische Ökonomik* Marburg 1999. S. 425-452.
- SCHAEFER, M. (1997): *Biologische Vielfalt unter ökologischen Gesichtspunkten - wieviel Vielfalt ist nötig?* Aus: BML (Hrsg. 1997): *Biologische Vielfalt in Ökosystemen* Bonn 1997. (=Schriftenreihe des BML "Angewandte Wissenschaft". 465) S. 240-252.
- SCHÄFFLER, H. UND FAHL, U. (1995): *"Erhalt des Naturkapitals" als Bedingung einer nachhaltigen Energieversorgung?* Aus: Nutzinger, H.G. (Hrsg. 1995): *Nachhaltige Wirtschaftsweise und Energieversorgung. Konzepte, Bedingungen, Ansatzpunkte* Marburg 1995. S. 117-139.
- SCHEER, H. (1993): *Sonnenstrategie. Politik ohne Alternative* München 1993.
- SCHEER, H. (2002): *Bis 2050 wird die solare Vollversorgung möglich* Aus: BUND/Misereor (Hrsg. 2002): *Wegweiser für ein zukunftsfähiges Deutschland* München 2002. S. 314-319.
- SCHEER, H. (2005): *Erneuerbare Energien - die Chance für Entwicklungsländer* Aus: Altner, G.; Leitschuh-Fecht, H.; Michelsen, G. u.a. (Hrsg. 2005): *Jahrbuch Ökologie 2006* München 2005. S. 138-140.
- SHELLNHUBER, H.J. (1998): *Discourse: Earth System Analysis - The Scope of the Challenge* Aus: Schellnhuber, H.-J. und Wenzel, V. (Hg 1998): *Earth System Analysis. Integrating Science for Sustainability* Berlin u.a. 1998. S. 3-195.
- SHELLNHUBER, H.-J. (2003): *Geoengineering: Was können wir, was dürfen wir* Aus: Hempel, G. und Schulz-Baldes, M. (Hrsg. 2003): *Nachhaltigkeit und globaler Wandel. Guter Rat ist teuer* Frankfurt/M 2003. S. 133-140.
- SHELLNHUBER, H.-J. UND WENZEL, V. (Hg 1998): *Earth System Analysis. Integrating Science for Sustainability* Berlin u.a. 1998.

- SHELLNHUBER, H.-J. UND WENZEL, V. (1998): *Preface* Aus: Schellnhuber, H.-J. und Wenzel, V. (Hg 1998): *Earth System Analysis. Integrating Science for Sustainability* Berlin u.a. 1998. S. VII-XVI.
- SCHENK, N.J.; MOLL, H.C. UND POTTING, J. (2004): *The Nonlinear Relationship between Paper Recycling and Primary Pulp Requirements. Modeling Paper Production and Recycling in Europe* In: *Journal of Industrial Ecology*, 8. Jg. (2004), H. 3, S. 141-161.
- SCHENKEL, W. und Reiche J. (1993): *Abfallwirtschaft als Teil der Stoffflusswirtschaft* Aus: ARL (Hrsg. 1993): *Aspekte einer raum- und umweltverträglichen Abfallentsorgung Teil 1* Hannover 1993. (=Forschungs- und Sitzungsberichte. 195) S. 70-120.
- SCHERHORN, G. (2000): *Das Wechselspiel von Markt, Staat und Zivilgesellschaft bei der Einsparung und Substitution fossiler Energie. Referat in der Fachtagung "Energiesparen als Bildungsauftrag" des B.A.U.M. am 5.4.2004* o.O. 2000.
- SCHILLER, J. (2002): *Umweltprobleme und Zeit. Bestände als konzeptionelle Grundlage der ökologischen Ökonomik* Marburg 2002. (= Hochschulschriften. 74)
- SCHINDLER, D. (2004): *Die politische Steuerung von Netzwerken: Annäherung über Wissenspolitik und Advocacy-Coalitions-Ansatz* Aus: BMBF (Hrsg. 2004a): *Steuerung und Transformation. Überblick über theoretische Konzepte in den Projekten der sozial-ökologischen Forschung* Berlin 2004. (=Querschnittsarbeitsgruppe Steuerung und Transformation im Förderschwerpunkt Sozial-ökologische Forschung des BMBF Diskussionspapier. 01) S. 49-56.
- SCHLARB, M. (2001): *Eco-Industrial Development: A Strategy for building sustainable Communities* Ithaca 2001.
- SCHLARB, M. UND MUSNIKOW, J. (2003): *Community Engagement in Eco-Industrial Development* Aus: Cohen-Rosenthal, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003. S. 100-111.
- SCHMID, J. (1992): *Grundlagen einer modernen Kulturökologie* Aus: Glaeser, B. und Teherani-Krönner, P. (Hrsg. 1992): *Humanökologie und Kulturökologie. Grundlagen, Ansätze, Praxis*. Opladen 1992. S. 235-265.
- SCHMIDBAUER, W. (1992): *Weniger ist manchmal mehr - Zur Psychologie des Konsumverzichts. Vollständig überarbeitete und erweiterte Neuauflage* Reinbeck bei Hamburg 1992.
- SCHMIDHEINY, S. (1992): *Kurswechsel. Globale unternehmerische Perspektiven für Entwicklung und Umwelt* München 1992.
- SCHMIDT, C. (2004): *Handyrecycling* Berlin 2004.
www.umweltpanorama.de/schriften/04-cs-handyrecycling.html am 28.4.05.
- SCHMIDT, M. (2005): *Grenzen des Wachstums und Nachhaltigkeit - Die Meilensteine einer fortwährenden Debatte* Bremen 2005. (= Schriftenreihe des Fachbereichs Wirtschaft der Hochschule Bremen. 69)
- SCHMIDT-BLEEK, F. (1997): *Wieviel Umwelt braucht der Mensch? Faktor 10 - das Maß für ökologisches Wirtschaften* München 1997.

- SCHMIDT-BLEEK, F. (1998): *Das MIPS-Konzept. Weniger Naturverbrauch - mehr Lebensqualität durch Faktor 10*. München 1998.
- SCHMITZ, G. (1993): *Abfallentsorgungsnotstände in der Bundesrepublik Deutschland. Abfallwirtschaftliche Prioritäten aus raumordnerischer Sicht* Aus: ARL (Hrsg. 1993): *Aspekte einer raum- und umweltverträglichen Abfallentsorgung Teil 1* Hannover 1993. (=Forschungs- und Sitzungsberichte. 195) S. 53-69.
- SCHNEIDER, E.D. UND KAY, J.J. (1994): *Life as a manifestation of the second law of thermodynamics* In: *Mathematical and Computer Modelling*, 19. Jg. (1994), H. 6-8, S. 25-48.
- SCHNEIDEWIND, U. (2002): *Die Wirtschaft ist auf dem Weg der Effizienz, aber noch lange nicht am Ziel* Aus: BUND/Misereor (Hrsg. 2002): *Wegweiser für ein zukunftsfähiges Deutschland* München 2002. S. 181-185.
- SCHNEIDEWIND, U. (2005): *Umweltschutz sichert Wohlstand* Aus: Altner, G.; Leitschuh-Fecht, H.; Michelsen, G. u.a. (Hrsg. 2005): *Jahrbuch Ökologie 2006* München 2005. S. 149-153.
- SCHOENER, T.W. (1989): *Food webs from the small to the large. The Robert H. MacArthur Award Lecture* In: *Ecology*, 70. Jg. (1989), H. 6, S. 1559-1589.
- SCHOLES, R. J. (2004): *Box 2.5. The Terrestrial Carbon Cycle* Aus: Steffen, W.; Sanderson, A.; Tyson, P.D. u.a. (2004): *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure* Heidelberg u.a. 2004. S. 43.
- SCHÖNHERR, H.-M. (1991): *Negative Ökologie aus philosophiegeschichtlicher Perspektive* Aus: Hassenpflug, D. (Hrsg. 1991): *Industrialismus und Ökorumantik. Geschichte und Perspektiven der Ökologisierung* Wiesbaden 1991. S. 297-309.
- SCHÖNWIESE, C.-D., (1995): *Nachhaltige Entwicklung des Klimas* Aus: Fritz, P.; Huber, J. und Levi, H. W. (Hrsg. 1995): *Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive* Stuttgart 1995. S. 59-68.
- SCHRAMM, E. (1997): *Im Namen des Kreislaufs* Frankfurt a.M. 1997.
- SCHRAMM, E. (2001): *Neue Wege einer transdisziplinären Integration* Aus: Strassert, G. und Wittenberg, W. (Hrsg. 2001): *Ökologie und Ökonomie - eine vernetzte Welt Auf dem Weg zu einem integrativen Ansatz* Karlsruhe 2001. (=VÖÖ - Beiträge und Berichte. 3/2001) S. 36-44.
- SCHRAMM, E. (2005): *Naturale Aspekte sozial-ökologischer Regulation - Bericht aus dem Analysemodul "Ressourcenregulation" im Verbundvorhaben netWORKS* Berlin 2005. (= netWORKS-papers. 14)
- SCHWAN, T. (2003): *Clash of Imaginations - erfahrungswissenschaftliches Menschenbild versus postmoderne Konstruktionen* Aus: Meusburger, P. und Schwan, T. (Hg 2003): *Humanökologie Ansätze zur Überwindung der Natur-Kultur-Dichotomie* Wiesbaden 2003. (=Erdkundliches Wissen. 135) S. 161-173.
- SCHWARZ, E.J. (1998): *Ökonomische Aspekte regionaler Verwertungsnetze* Aus: Strebels, H. und Schwarz, E. (Hrsg. 1998): *Kreislauforientierte Unternehmenskooperation. Stoffstrommanagement durch innovative Verwertungsnetze* München 1998. (=Lehr- und Handbücher zur Ökologischen Unternehmensführung und Umweltökonomie) S. 11-25.

- SCHWARZ, M. (1998a): *Rechtliche Hürden beim zwischenbetrieblichen Recycling* Aus: Strebel, H. und Schwarz, E. (Hrsg. 1998): *Kreislauforientierte Unternehmenskooperation. Stoffstrommanagement durch innovative Verwertungsnetze* München 1998. (=Lehr- und Handbücher zur Ökologischen Unternehmensführung und Umweltökonomie) S. 199-210.
- SCHWARZ, A. E. (2000): *Frühe Ökologie im wissenschaftlichen und kulturellen Kontext. Oszillation dreier Basiskonzepte unter besonderer Berücksichtigung der aquatischen Ökologie* München, Diss. 2000 .
- SCHWARZ, E.J. UND STREBEL, H. (1999): *Produktlinienanalyse und Wertkettenmanagement als Grundlage für das Management von Verwertungsnetzen* Aus: Seidel, E. (Hrsg. 1999): *Betriebliches Umweltmanagement im 21. Jahrhundert; Aspekte, Aufgaben, Perspektiven* Berlin u.a. 1999. S. 205-217.
- SCHWEITZER, F. (1994): *Natur zwischen Ästhetik und Selbstorganisationstheorie* Aus: Wilke, J. (Hrsg. 1994): *Zum Naturbegriff in der Gegenwart Bd. 2* Stuttgart Bad-Canstatt 1994. S. 93-119.
- SCOTT, J. A. UND PAGAN, R. J. (1999): *Global Competitiveness through Cleaner Production. Proceedings of the 2nd Asia Pacific Cleaner Production Roundtable 21-23 April, 1999, Brisbane, Australia* Brisbane 1999.
- SCURRELL, B. (2002): *Nur mit kultureller Vielfalt schaffen wir die Wende* Aus: BUND/Misereor (Hrsg. 2002): *Wegweiser für ein zukunftsfähiges Deutschland* München 2002. S. 289-291.
- SEAGER, T.P. UND THEIS, T.L. (2004): *A taxonomy of metrics for testing the industrial ecology hypothesis and application to design of freezer insulation* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 865-875.
- SEHRER, W. (1998): *Ein relationaler Umweltbegriff. Von Uexküll über Gibson zu Mead - interdisziplinäre Anschlüsse für ein pragmatisch-subjektbezogenes Naturverständnis* Aus: Brand, K.-W. (Hrsg. 1998): *Soziologie und Natur. Theoretische Perspektiven* Opladen 1998. S. 173-200.
- SEIDEL, E. (Hrsg. 1999): *Betriebliches Umweltmanagement im 21. Jahrhundert; Aspekte, Aufgaben, Perspektiven* Berlin u.a. 1999.
- SEIDLER, H. (2002): *Humanökologie - Eine Herausforderung zur innovativen Interdisziplinarität* Aus: Winiwarter, V. und Wilfing, H. (Hrsg. 2002): *Historische Humanökologie. Interdisziplinäre Zugänge zu Menschen und ihrer Umwelt* Wien 2002. S. 3-5.
- SEIFFERT, H. UND RADNITZKY, G. (Hrsg. 1992): *Handlexikon zur Wissenschaftstheorie* München 1992.
- SEPPÄLÄ, J.; BASSON, L. UND NORRIS, G.A. (2001): *Decision Analysis. Frameworks for Life-Cycle Impact Assessment* In: *Journal of Industrial Ecology*, 5. Jg. (2002), H. 4, S. 45-68.
- SEURING, S. (2004): *Integrated chain management and supply chain management. Comparative analysis and illustrative cases* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 1059-1071.

- SEURING, S. UND MÜLLER, M. (2006): *Zum Entwicklungsstand des Nachhaltigen Managements von Wertschöpfungsketten* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 14. Jg. (2006), H. 3, S. 5-9.
- SHANABLEH, A.; ROBERTS, B. UND LIM, B. (1999): *Development of a framework for Eco-Industrial Parks in south east Queensland - Project summary* Aus: Scott, J. A. und Pagan, R. J. (1999): *Global Competitiveness through Cleaner Production. Proceedings of the 2nd Asia Pacific Cleaner Production Roundtable 21-23 April, 1999, Brisbane, Australia* Brisbane 1999. S. 437-440.
- SHARFMAN, M.; ELLINGTON, R.T. UND MEO, M. (1999): *Conoco and the Vapor Recovery Project* In: *Journal of Industrial Ecology*, 3. Jg. (1999), H. 1, S. 93-110.
- SHIVA, V. (1996): *Vielfältigkeit und Freiheit* Aus: Wehrt, H. (Hrsg. 1996): *Humanökologie Beiträge zum ganzheitlichen Verständnis unserer geschichtlichen Lebenswelt* Basel 1996. S. 27-32.
- SHOUSE, B. (2003): *Conflict over Cooperation* In: *Science*, 299. Jg. (2003), H. 5607, S. 644-646.
- SIEBENHÜNER, B. (2001): *Homo Sustinens. Auf dem Weg zu einem Menschenbild der Nachhaltigkeit* Marburg 2001.
- SIEBENHÜNER, B. (2004): *Homo sustinens - von Theorie und Praxis* Aus: Altner, G.; Leitschuh-Fecht, H.; Michelsen, G. u.a. (Hrsg. 2004): *Jahrbuch Ökologie 2005* München 2004. S. 26-35.
- SIEBENHÜNER, B. (2006): *Dancers of Change? Unternehmen im Governance-Prozess der Nachhaltigkeit* Aus: Müller-Christ, G. (2006): *Unternehmen und Nachhaltigkeit - Zwischen Selbst- und Fremdsteuerung. VÖÖ Beiträge und Berichte, 3/2006* Karlsruhe 2006. S. 15-35.
- SIEFERLE, R.P. (1994): *Jenseits der Epochenschwelle* In: *Gaia*, 3. Jg. (1994), H. 2, S. 63-64.
- SIEFERLE, R.P. u.a. (1997): *Kulturelle Evolution des Gesellschaft-Natur-Verhältnisses* Aus: Friege, H.; Engelhardt, C. und Henseling, K.O. (Hrsg. 1998): *Das Management von Stoffströmen. Geteilte Verantwortung - Nutzen für alle* Berlin, Heidelberg 1998. S. 37-53.
- SIKAVIRTA, H.; JÄRVINEN, P. UND LINNANEN, L. (2002): *Industrial Ecology and the greenhouse gas control* Helsinki University of Technology Lathi Center, The Publication Series of the Institute for Regional Economics and Business Strategy .
- SIMONIS, U.E. (2003): *Internationale Vorkehrungen zum Schutz der biologischen Vielfalt* Aus: Hempel, G. und Schulz-Baldes, M. (Hrsg. 2003): *Nachhaltigkeit und globaler Wandel. Guter Rat ist teuer* Frankfurt/M 2003. S. 91-108.
- SINCLAIR, P.; PAPANATHANASOPOULOU, E.; MELLOR, W. u.a. (2005): *Towards an Integrated Regional Materials Flow Accounting Model* In: *Journal of Industrial Ecology*, 9. Jg. (2005), H. 1-2, S. 69-84.
- SLONE, D.K. (2003): *The Energy of Eco-Industrial Development* Aus: Cohen-Rosenthal, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003. S. 128-135.

- SMITH, B. (1994): *The future of Pollution Prevention - An Alternative to Costly Waste Treatment* New York 1994. <http://www.p2pays.org/ref/01/00386.pdf>.
- SMITH, M. (2003): *The Developer's Role in Eco-Industrial Development* Aus: Cohen-Rosenthal, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003. S. 112-127.
- SOBCZAK, W.W.; CLOERN, J.E.; JASSBY, A. D. u.a. (2002): *Bioavailability of organic matter in a highly disturbed estuary: The role of detrital and algal resources* In: *PNAS*, 99. Jg. (2002), H. 12, S. 8101-8105.
- SOCOLOW, R. (1994): *Six Perspectives from Industrial Ecology* Aus: Socolow, R.; Andrews C.; Berkhout F. u.a. (Hrsg. 1994): *Industrial Ecology and Global Change* Cambridge 1994. S. 3-18.
- SOCOLOW, R.; ANDREWS C.; BERKHOUT F. u.a. (Hrsg. 1994): *Industrial Ecology and Global Change* Cambridge 1994.
- SOLÉ, R.V.; GAMARRA, J.G.P.; GINOVART, M. u.a. (1999): *Controlling Chaos in Ecology: From Deterministic to Individual-based Models* In: *Bulletin of Mathematical Biology*, 61. Jg. (1999), H. 6, S. 1187-1207.
- SÖLLNER, F. (2003): *Die ökologische Ökonomie - ein neuer Ansatz zur Lösung der Umweltproblematik* In: *Wirtschaftsdienst*, 77. Jg. (1997), H. 7, S. 423-428.
- SONNEMANS, G.; CASTELLS, F. UND SCHUHMACHER, M. (2004): *Integrated Life-Cycle and Risk Assessment for Industrial Processes* Boca Raton 2004.
- SOPER, K. (1995): *What is Nature? Culture, Politics and the Non-Human* Oxford 1995.
- SOSSINKA, R. (2003): *Natur, Naturschutz, Naturschützer* Aus: Yüce, N. und Plöger, P. (Hrsg. 2003): *Die Vielfalt der Wechselwirkungen. Eine transdisziplinäre Exkursion im Umfeld der Evolutionären Kulturökologie* Freiburg 2003. S. 41-48.
- SPAEMANN, R. (1992): *Teleologie* Aus: Seiffert, H. und Radnitzky, G. (Hrsg. 1992): *Handlexikon zur Wissenschaftstheorie* München 1992. S. 366-368.
- SPANGENBERG, J. H. (2003): *Globale Umweltveränderungen. Eine Literaturlauswertung* Wien 2003.
- SPEHL, H. UND HELD, M. (Hrsg. 2001): *Vom Wert der Vielfalt - Diversität in Ökonomie und Ökologie* o.O. 2001. (= Zeitschrift für angewandte Umweltforschung - Sonderheft. 13/2001)
- SPEHR, C. (1996): *Die Ökofalle: Nachhaltigkeit und Krise* Wien 1996.
- SPIEGELMAN, J. (2000): *Industrial Ecology - Putting Sustainable Development to Work* British Columbia, Canada 2000. www.basinfutures.net am 14.8.04.
- SPIEGELMAN, J. (2003): *Beyond the Food Web. Connections to a Deeper Industrial Ecology* In: *Journal of Industrial Ecology*, 7. Jg. (2003), H. 1, S. 17-23.
- SPILLER, A. (1998): *Gesamtökologische Bewertung von Kreislaufwirtschaftskonzepten* Aus: Kaluza, B. (Hrsg. 1998): *Kreislaufwirtschaft und Umweltmanagement* Hamburg 1998. (=Duisburger Betriebswirtschaftliche Schriften Bd 17) S. 135-168.
- SRU (Hrsg. 1994): *Umweltgutachten 1994. Für eine dauerhaft umweltgerechte Entwicklung* Stuttgart 1994.

- STÄHLI, F. (2004): *Respekt vor der Natur - warum? Vortragsmanuskript: Vortrag im Ökozentrum Langenbruck anlässlich des 25-jährigen Jubiläums, 19. September, Eidgenössischer Betttag Langenbruck 2004.*
- STAHMER, C. (2000): *Das magische Dreieck der Input-Output-Rechnung* Aus: Hartard, S.; Stahmer, C. und Hinterberger, F. (Hrsg. 2000): *Magische Dreiecke. Berichte für eine nachhaltige Gesellschaft - Band 1 / Stoffflussanalysen und Nachhaltigkeitsindikatoren* Marburg 2000. S. 43-91.
- STALA BW (Hrsg. 2004): *Umweltökonomische Gesamtrechnung (UGR) für Baden-Württemberg* Stuttgart 2004.
- STARZOMSKI, B.M.; CARDINALE, B.J.; DUNNE, J.A. u.a. (2004): *Contemporary Visions of Progress in Ecology and Thoughts for the future.* In: *Ecology and Society*, 9. Jg. (2004), H. 1/14, S. 1-5. www.ecologyandsociety.org/vol9/iss1/art14.print.pdf
- STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg. 2004): *Analyse von Lebenszyklen. Band 5 der Schriftenreihe Sozio-ökonomisches Berichtssystem für eine nachhaltige Gesellschaft* Wiesbaden 2004.
- STEFFEN, W.; SANDERSON, A.; TYSON, P.D. u.a. (2004): *Global Change and the Earth System. A Planet Under Pressure* Heidelberg u.a. 2004.
- STEGER, U. (1995): *Nachhaltige und dauerhafte Entwicklung aus wirtschaftswissenschaftlicher Sicht* Aus: Fritz, P.; Huber, J. und Levi, H. W. (Hrsg. 1995): *Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive* Stuttgart 1995. S. 91-97.
- STEINBORN, W. (2000): *Quantifizierung von Ökosystemeigenschaften als Grundlage für die Umweltbewertung* Kiel, Diss. 2000 .
- STEINER, D. (1992): *Humanökologie und Geographie. Die Notwendigkeit einer evolutionären Perspektive* Zürich 1992.
- STEINER, D. (1992a): *Auf dem Weg zu einer allgemeinen Humanökologie: Der kulturökologische Beitrag* Aus: Glaeser, B. und Teherani-Krönner, P. (Hrsg. 1992): *Humanökologie und Kulturökologie. Grundlagen, Ansätze, Praxis.* Opladen 1992. S. 191-219.
- STEINER, D. (1995): *Auf was bauen wir: Realität oder Rationalität? Zur humanökologischen Bedeutung des Weltbild-Wandels im Laufe der kulturellen Evolution* o.O. 1995. www.rz.uni-karlsruhe.de/~humangeographie/ergaenzung/steiner2.pdf am 4.1.2005.
- STEINER, D. (2003): *Humanökologie: Von hart zu weich. Mit Spurensuche bei und mit Peter Weichhart* Aus: Meusburger, P. und Schwan, T. (Hg 2003): *Humanökologie Ansätze zur Überwindung der Natur-Kultur-Dichotomie* Wiesbaden 2003. (=Erdkundliches Wissen. 135) S. 45-80.
- STEPHAN, G. UND ALHEIM, M. (1996): *Ökonomische Ökologie* Berlin 1996.
- STAPP, J. R.; JONES, E. C.; PAVAO-ZUCKERMAN, M. u.a. (2003): *Remarkable Properties of Human Ecosystems [online]* www.consecol.org/vol7/iss3/art11 am 27.12.04 In: *Conservation Ecology [online]* www.consecol.org, 7. Jg. (2003), H. 3, S. art 11.

- STERN, N. (2006): *The Economics of Climate Change. The Stern Review* Cambridge 2006.
- STERR, T. (1998): *Aufbau eines zwischenbetrieblichen Stoffverwertungsnetzwerks im Heidelberger Industriegebiet Pfaffengrund* Heidelberg 1998.
- STERR, T. (2000): *Gestaltungsaspekte eines informations- und kommunikationstechnischen Instrumentariums zur Förderung des "regionalen Stoffstrommanagements Rhein-Neckar"* Aus: Liesegang, D.G.; Sterr, T. und Ott, T. (2000): *Aufbau und Gestaltung regionaler Stoffstrommanagementnetzwerke. Betriebswirtschaftlich-Ökologische Arbeiten des IUWA, Band 4* Heidelberg 2000. S. 49-77.
- STERR, T. (2000a): *Konzeptionelle Grundlagen für den Umgang mit dem Regionsbegriff vor dem Hintergrund eines regionalen Stoffstrommanagements* Aus: Liesegang, D.G.; Sterr, T. und Ott, T. (2000): *Aufbau und Gestaltung regionaler Stoffstrommanagementnetzwerke. Betriebswirtschaftlich-Ökologische Arbeiten des IUWA, Band 4* Heidelberg 2000. S. 1-25.
- STERR, T. (2002): *Industrielle Reproduktionswirtschaft unter Minimierung ausgewählter Distanzparameter* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 10. Jg. (2002), H. 2, S. 4-9.
- STERR, T. (2003): *Industrielle Stoffkreislaufwirtschaft im regionalen Kontext. Betriebswirtschaftlich-ökologische und geographische Betrachtungen in Theorie und Praxis* Berlin, Heidelberg 2003.
- STERR, T. UND OTT, T. (2004): *The industrial region as a promising unit for eco-industrial development - reflections, practical experience and establishment of innovative instruments to support industrial ecology* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 947-965.
- STEVEN, M. (1996): *Recyclingaufgaben in PPS-Systemen* In: *Industrie Management*, 12. Jg. (1996), H. 2, S. 52-55.
- STIGLIANI, W.M. UND ANDERBERG, S. (1994): *Industrial metabolism at the regional level: The Rhine Basin* Aus: Ayres, R.U. und Simonis, U.E. (1994): *Industrial metabolism: Restructuring for sustainable development* Tokyo, New York, Paris 1994. S. 119-162.
- STOCK, M. (1999): *"Natur und Landschaft" nach deutschem Naturschutzrecht* Aus: IWT (Hrsg. 1999): *Die "Natur" der Natur. Tagungsdokumentation Universität Bielefeld, 12.-14. November 1998* Bielefeld 1999. (=IWT paper. 23) S. 206-225.
- STÖRMER, E. (2001): *Ökologieorientierte Unternehmensnetzwerke. Regionale umweltinformationsorientierte Unternehmensnetzwerke als Ansatz für eine ökologisch nachhaltige Wirtschaftsentwicklung* München 2001.
- STRASSERT, G. (2000): *Stoffflüsse und Systempreise. Produktionstheoretische Zusammenhänge von monetärer und physischer Input-Output-Rechnung* Aus: Hartard, S.; Stahmer, C. und Hinterberger, F. (Hrsg. 2000): *Magische Dreiecke. Berichte für eine nachhaltige Gesellschaft - Band 1 / Stoffflussanalysen und Nachhaltigkeitsindikatoren* Marburg 2000. S. 93-126.
- STRASSERT, G. (2001): *Das "Mühlrad des Lebens": Regimes der Biosphäre und übergreifende Zykluskonzepte seit Alfred J. Lotka* Aus: Strassert, G. und Wittenberg, W. (Hrsg. 2001): *Ökologie und Ökonomie - eine vernetzte Welt. Auf dem Weg zu einem*

- integrativen Ansatz* Karlsruhe 2001. (=VÖÖ - Beiträge und Berichte. 3/2001) S. 11-35.
- STRASSERT, G. (2001a): *Noch nicht gemachte Hausaufgaben der Ökologischen Ökonomie - dargestellt am Beispiel des "Regelkreises für eine ökologisch-ökonomische Politik"* Aus: Strassert, G. und Wittenberg, W. (Hrsg. 2001): *Ökologie und Ökonomie - eine vernetzte Welt. Auf dem Weg zu einem integrativen Ansatz* Karlsruhe 2001. (=VÖÖ - Beiträge und Berichte. 3/2001) S. 71-77.
- STRASSERT, G. UND WITTENBERG, W. (Hrsg. 2001): *Ökologie und Ökonomie - eine vernetzte Welt. Auf dem Weg zu einem integrativen Ansatz* Karlsruhe 2001. (= VÖÖ - Beiträge und Berichte. 3/2001)
- STRASSERT, G. UND WITTENBERG, W. (2001): *Vorwort* Aus: Strassert, G. und Wittenberg, W. (Hrsg. 2001): *Ökologie und Ökonomie - eine vernetzte Welt. Auf dem Weg zu einem integrativen Ansatz* Karlsruhe 2001. (=VÖÖ - Beiträge und Berichte. 3/2001) S. 1-1.
- STREBEL, H. (1998): *Das Konzept des regionalen Verwertungsnetzes* Aus: Strebel, H. und Schwarz, E. (Hrsg. 1998): *Kreislauforientierte Unternehmenskooperation. Stoffstrommanagement durch innovative Verwertungsnetze* München 1998. (=Lehr- und Handbücher zur Ökologischen Unternehmensführung und Umweltökonomie) S. 1-10.
- STREBEL, H. (o.J.): *Industrial recycling networks as an entrance into circular economy* Discussion Paper, International Summer Academy on Technology Studies-Corporate Sustainability, Institut für Innovations- und Umweltmanagement, Karl-Franzens-Universität Graz .
- STREBEL, H. UND SCHWARZ, E. (Hrsg. 1998): *Kreislauforientierte Unternehmenskooperation. Stoffstrommanagement durch innovative Verwertungsnetze* München 1998. (= Lehr- und Handbücher zur Ökologischen Unternehmensführung und Umweltökonomie)
- STREIT, B. (1994): *Ökologie kurzgefasst* Mannheim 1994. (= Meyers Forum. 25)
- STROBEL, M. (2001): *Systemisches Flussmanagement. Flußorientierte Kommunikation als Perspektive für eine ökologische und ökonomische Unternehmensentwicklung* Augsburg 2001.
- STUTZ, P. (2004): *Das Umwelt-Barometer Deutschland und der Deutsche Umweltindex (DUX)* Aus: Altner, G.; Leitschuh-Fecht, H.; Michelsen, G. u.a. (Hrsg. 2004): *Jahrbuch Ökologie 2005* München 2004. S. 265-282.
- SU, T.-T.; CHEN, C.-H. UND HWANG, J.-S. (1999): *Resource - A cornerstone of industrial Ecology* Aus: Scott, J. A. und Pagan, R. J. (1999): *Global Competitiveness through Cleaner Production. Proceedings of the 2 nd Asia Pacific Cleaner Production Roundtable 21-23 April, 1999, Brisbane, Australia* Brisbane 1999. S. 423-428.
- SUMMERER, S. (2002): *Mit der Effizienzrevolution gewinnen wir Zeit, mit der Suffizienzrevolution die Partie* Aus: BUND/Misereor (Hrsg. 2002): *Wegweiser für ein zukunftsfähiges Deutschland* München 2002. S. 255-260.

- SUZUKI, M. (2000): *Zero Emissions: Ein Konzept des 21. Jahrhunderts* Aus: Altner, G.; Mettler-von Meibom, B.; Simonis, U.E. u.a. (Hrsg. 2000): *Jahrbuch Ökologie 2001* München 2000. S. 129-135.
- SVOBODA, S. (1995): *Note on the Trash Crisis* Michigan 1995.
- SYDOW, J. UND WINDELER, A. (2001): *Strategisches Management von Unternehmensnetzwerken - Komplexität und Reflexivität* Aus: Ortmann, G. und Sydow, J. (Hrsg. 2001): *Strategie und Strukturation. Strategisches Management von Unternehmen, Netzwerken und Konzernen* Wiesbaden 2001. S. 129-143.
- TAINTER, J. A.; ALLEN, T. F. H.; LITTLE, A. u.a. (2003): *Resource Transitions and Energy Gain: Contexts of Organization* In: *Conservation Ecology* [online] www.consecol.org, 7. Jg. (2003), H. 3, S. art4.
- TAKÁCS-SÁNTA, A. (2004): *The Major Transitions in the History of Human Transformation of the Biosphere* In: *Human Ecology Review*, 11. Jg. (2004), H. 1, S. 51-66.
- TAKAHASHI, M. (2003): *The Role of local Government in Eco-Industrial Park Development* Aus: Cohen-Rosenthal, E. (Hrsg. 2003): *Eco Industrial Strategies* Cornell 2003. S. 89-99.
- TANG, Y.-H.; TSENG, R.-K.; CHIU S.-Y. u.a. (1999): *Promotion of industrial waste minimization through corporate synergy systems in Taiwan* Aus: Scott, J. A. und Pagan, R. J. (1999): *Global Competitiveness through Cleaner Production. Proceedings of the 2 nd Asia Pacific Cleaner Production Roundtable 21-23 April, 1999, Brisbane, Australia* Brisbane 1999. S. 429-436.
- TAYLOR, B. (2005): *Consumption. It is Time for Economists and Scientists to talk* In: *Journal of Industrial Ecology*, 9. Jg. (2005), H. 1-2, S. 14-17.
- TEHERANI-KRÖNNER, P. (1992): *Von der Humanökologie der Chicagoer Schule zur Kulturökologie* Aus: Glaeser, B. und Teherani-Krönner, P. (Hrsg. 1992): *Humanökologie und Kulturökologie. Grundlagen, Ansätze, Praxis*. Opladen 1992. S. 15-43.
- TEHERANI-KRÖNNER, P. (1992a): *Eine Kulturökologie im biologischen Gewand: Die Uexküllsche Umweltelehre* Aus: Glaeser, B. und Teherani-Krönner, P. (Hrsg. 1992): *Humanökologie und Kulturökologie. Grundlagen, Ansätze, Praxis*. Opladen 1992. S. 153-172.
- TEMPLET, P.H. (2004): *Diversity and other emergent properties of industrial economies* In: *Progress in Industrial Ecology*, 1. Jg. (2004), H. 1/2/3, S. 24-38.
- TEMPLET, P.H. (2004a): *Partitioning of resources in production: An empirical analysis* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 855-863.
- TESCHLER-NICOLA, M. (2002): *Mensch-Umwelt-Beziehungen aus evolutionsökologischer Sicht* Aus: Winiwarter, V. und Wilfing, H. (Hrsg. 2002): *Historische Humanökologie Interdisziplinäre Zugänge zu Menschen und und ihrer Umwelt* Wien 2002. S. 87-114.
- THE FACTOR 10 CLUB (Hrsg. 1999): *Factor 10: Making Sustainability Accountable, Putting Resource Productivity into Praxis* La Rabassière 1999.

- THÉBAULT, E. UND LOREAU, M. (2003): *Food-web constraints on biodiversity-ecosystem functioning relationships* In: *PNAS*, 100. Jg. (2003), H. 25, S. 14949-14954.
- THIOLOUSE, J.; CHESSEL, D. UND CHAMPELY, S. (1995): *Multivariate analysis of spatial patterns: A unified approach to local and global structures* In: *Environmental and Ecological Statistics*, 2. Jg. (1995), H. 1, S. 1-14.
- THOMAS, V. UND SPIRO, T. (1994): *Emissions and Exposure to Metals: Cadmium and Lead* Aus: Socolow, R.; Andrews C.; Berkhout F. u.a. (Hrsg. 1994): *Industrial Ecology and Global Change* Cambridge 1994. S. 297-318.
- THOMAS, V.; THEIS, T.; LIFSET, R. u.a. (2003): *Industrial Ecology: Policy Potential and Research Needs* In: *Environmental Engineering Science*, 20. Jg. (2003), H. 1, S. 1-9.
- THOMPSON KLEIN, J.; GROSSENBACHER-MANSUY, W.; HÄBERLI, R. u.a. (Hrsg. 2001): *Transdisziplinarität: Joint problem solving among science, technology and society: An effective way for managing complexity* Basel 2001.
- THOMPSON, J.N.; REICHMAN, O.J.; MORIN, P.J. u.a. (2001): *Frontiers of Ecology* In: *BioScience*, 51. Jg. (2001), H. 1, S. 15-24.
- THURSTON, D. UND BRAS, B. (2001): *Systems Level Issues* Aus: Gutowski, T.G.; Murphy, C.F.; Allen, D.T. u.a. (Hrsg. 2001): *Environmentally Benign Manufacturing. WTEC Panel - Final Report* Baltimore 2001. S. 31-42.
- TIBBS, H. (1993): *Industrial Ecology - An Environmental Agenda for Industry* Emeryville 1993.
- TIETENBERG, T. H. (2000): *Environmental and Natural Resource Economics 5th ed.* Reading 2000.
- TIETENBERG, T. (2006): *Environmental Natural Resource Economics seventh edition.* Boston 2006.
- TILMAN, D. (2001): *An evolutionary approach to ecosystem functioning* In: *PNAS*, 98. Jg. (2001), H. 20, S. 10979-10980.
- TILMAN, D. UND LEHMAN, C. (2001): *Human-caused environmental change: Impacts on plant diversity and evolution* In: *PNAS*, 98. Jg. (2001), H. 10, S. 5433-5440.
- TILMAN, D.; LEHMAN, C.L. UND THOMSON, K.T. (1997): *Plant diversity and ecosystem productivity: Theoretical considerations* In: *PNAS*, 94. Jg. (1997), H. 5, S. 1857-1861.
- TIMMERMANS, V. UND HOLDERBEKE, M. VAN (2004): *Practical experiences on applying substance flow analysis in Flanders: Bookkeeping and static modelling of chromium* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 935-945.
- TOMAN, M. (2003): *The Roles of the Environment and Natural Resources in Economic Growth Analysis* Washington 2003.
- TOWNSEND, C.R.; HARPER, J.L. UND BEGON, M.E. (2002): *Ökologie* Berlin, Heidelberg 2002.

- TRAINER, T. (2003): *Unsere nicht nachhaltige Gesellschaft - und die Alternativen* Aus: Wallimann, I. und Dobkowski, M.N. (Hrsg. 2003): *Das Zeitalter der Knappheit. Ressourcen, Konflikte, Lebenschancen* Bern u.a. 2002. S. 95-108.
- TREPL, L. (1987): *Geschichte der Ökologie* Frankfurt a. M. 1987.
- TREPL, L. (1991): *Zur politischen Geschichte der biologischen Ökologie. Wunsch und Wirklichkeit* Aus: Hassenpflug, D. (Hrsg. 1991): *Industrialismus und Ökoromantik. Geschichte und Perspektiven der Ökologisierung* Wiesbaden 1991. S. 193-210.
- TREPL, L. (1998): *Die Natur der Landschaft und die Wildnis der Stadt* Aus: Kowarik, I. (Hrsg. 1998): *Naturschutz und Denkmalpflege* Zürich 1998. S. 77-88.
- TRIEB, F. UND NITSCH, J. (2001): *Solarthermische Kraftwerke - eine Schlüsseltechnologie für Sonnenländer* In: *TA-Datenbank-Nachrichten*, 10. Jg. (2001), H. 3, S. 41-45.
- TRILLIUM PLANNING & DEVELOPMENT (2003): *Eco-Industrial Development Feasibility Study City of Fairborn, Bath & Mad River Townships* o. O. 2003.
- TROGE, A. (2002): *Schwerste Aufgabe steht noch bevor: Ein anderer Lebensstil* Aus: BUND/Misereor (Hrsg. 2002): *Wegweiser für ein zukunftsfähiges Deutschland* München 2002. S. 144-149.
- TROMMER, G. (2005): *Naturverständnis zwischen Null und Gerade* Aus: Altner, G.; Leitschuh-Fecht, H.; Michelsen, G. u.a. (Hrsg. 2005): *Jahrbuch Ökologie 2006* München 2005. S. 68-75.
- TROSPER, R.L. (2005): *Emergence Unites Ecology and Society*. In: *Ecology and Society*, 10. Jg. (2005), H. 1/Art. 14, S. 1-17 www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art14
- TUKKER, A.; JASSER, A.S. UND KLEIJN, R. (1997): *Material Suppliers and Industrial Metabolism* In: *Environmental Science and Pollution Research*, 4. Jg. (1997), H. 2, S. 113-120.
- TULBURE, I. (2004): *Ist die Zukunft berechenbar? Möglichkeiten und Grenzen der Szenariotechnik für Zukunftsprojektionen* Aus: Statistisches Bundesamt (Hrsg. 2004): *Analyse von Lebenszyklen. Band 5 der Schriftenreihe Sozio-ökonomisches Berichtssystem für eine nachhaltige Gesellschaft* Wiesbaden 2004. S. 23-46.
- TURNER, B.L.; KASOERSON, R.E.; MATSON, P.A. u.a. (2003): *A framework for vulnerability analysis in sustainability science* In: *PNAS*, 100. Jg. (2003), H. 14, S. 8074-8079.
- TYSON, P.; FUCHS, R.; FU, C. u.a. ((Hrsg. 2002): *Global-Regional Linkages in the Earth System* Berlin 2002.
- UFZ (Hrsg. 2001): *Feuerökologie in nordamerikanischen Wäldern* In: *Lebensräume - UFZ-Magazin*, o. Jg. (2001), H. 7, S. 6-8.
- UNEP (Hrsg. 1997): *The environmental Management of Industrial Estates* Paris 1997.
- UNIDO (Hrsg. 2001): *Evaluation of the National Cleaner Production Centres in Central Europe Report Volume 1 - Summary - Conclusions and Lessons Learned* Vienna 2001.

- USC (Hrsg. 2002): *Resource Manual on Infrastructure for Eco-Industrial Development July 2002* Los Angeles 2002.
- VALLÈS, J.-F. (2003): *Eco-Industrial Sites and Networks* Aus: Bourg, D. und Erkman, S. (Hrsg. 2003): *Perspectives on Industrial Ecology* Wien 2003. S. 91-94.
- VALSANGIACOMO, A. (1998): *Die Natur der Ökologi. Anspruch und Grenzen ökologischer Wissenschaften* Zürich 1998.
- CAMP, T. van (2002): *Industry Canada's Productivity through Eco-Efficiency Business Self-Assessment Tool* In: *The Eco-Industrial Advantage*, 2. Jg. (2002), H. 1, S. 7
- BERGH, J.C.J.M. van den (2000): *Themes, Approaches and Differences with Ecological Economics* Amsterdam 2000. (= Tinbergen Institute Discussion Paper. TI 2000-080/3)
- BERGH, J.C.J.M. van den (2003): *Evolutionary Analysis of the Relationship between Economic Growth, Environmental Quality and Resource Scarcity* Amsterdam 2003.
- BERGH, J.C.J.M., VAN DEN UND GOWDY, J.M. (1998): *Evolutionary Theories in Environmental and Resource Economics: Approaches and Applications* Tinbergen 1998.
- VAVRUCH, I. (2002): *Conceptual Problems of modern irreversible thermodynamics* In: *Chemical Listy*, 96. Jg. (2002), S. 271-275.
- VELLINGA, P.; BERKHOUT, F. UND GUPTA, J. (1998): *Managing a Material World: Perspectives on Industrial Ecology* Dordrecht 1998.
- VELLINGA, P. UND WIECZOREK, A.J. (2001): *Industrial Transformation - IT Research Questions relevant for the joint WCRP/IHDP/IGBP Global Carbon Cycle Project IHDP - IT Report, September 2001* Amsterdam 2001.
- VERHOEF, E.V.; DIJKEMA, G.P.J. UND REUTER, M. (2004): *Process Knowledge, System Dynamics, and Metal Ecology* In: *Journal of Industrial Ecology*, 8. Jg. (2004), H. 1-2, S. 23-43.
- VESTER, F. (1990): *Ausfahrt Zukunft - Strategien für den Verkehr von morgen. Eine Systemuntersuchung* München 1990.
- VESTER, F. (1991): *Unsere Welt - ein vernetztes System* München 1991.
- VESTER, F. (1999): *Die Kunst vernetzt zu denken. Ideen und Werkzeuge für einen neuen Umgang mit Komplexität* Stuttgart 1999.
- VIERECKE, A. (2003): *Politische Ökologie als Handlungswissenschaft. Ein Plädoyer* Aus: Adam, A.; Kohout, F.; Merk, P.K. u.a. (Hrsg. 2003): *Perspektiven der politischen Ökologie* Würzburg 2003. S. 143-150.
- VITOUSEK, P.M.; MOONEY, H.A.; LUBCHENCO, J. u.a. (1997): *Human Domination of Earth's Ecosystems* In: *Science*, 277. Jg. (1997), H. 5325, S. 494-499.
- VOGEL, M. P. (1999): *Environmental Kuznets Curves. A Study on the Economic Theory and political economy of environmental Quality Improvements in the course of economic growth* Berlin 1999.
- VOGTMANN, H. (2002): *Die Vielfalt des Lebens auf dem Planeten ist kein Luxus, sondern Bedingung für das Leben der Menschen* Aus: BUND/Misereor (Hrsg. 2002): *Wegweiser für ein zukunftsfähiges Deutschland* München 2002. S. 219-222.

- VON GLEICH, A. (1999): *Was können und sollen wir von der Natur lernen?* Aus: IWT (Hrsg. 1999): *Die "Natur" der Natur. Tagungsdokumentation Universität Bielefeld, 12.-14. November 1998* Bielefeld 1999. (=IWT paper. 23) S. 54-82.
- HAUFF, M. VON UND WILDERER, M.Z. (2000): *Eco Industrial Networking: A practicable approach for sustainable development in developing countries. Presentation at the Helsinki Symposium on Industrial Ecology and Material Flows, Helsinki August 31st - September 3rd 2000* Helsinki 2000.
- WEIZSÄCKER, E.U. von (1998): *Dematerialisation Why and how?* Aus: Vellinga, P.; Berkhout, F. und Gupta, J. (1998): *Managing a Material World: Perspectives on Industrial Ecology* Dordrecht 1998. S. 45-54.
- WEIZSÄCKER, E.U. von (2003): *Zum Geleit: Rettet die öffentlichen Güter* Aus: Hempel, G. und Schulz-Baldes, M. (Hrsg. 2003): *Nachhaltigkeit und globaler Wandel. Guter Rat ist teuer* Frankfurt/M 2003. S. 9-16.
- WEIZSÄCKER, E.U. von (2004): *Wann wird die Politik wach und wann wird sie handlungsbereit?* Aus: BMBF (Hrsg. 2004): *Vom Wissen zum Handeln? Die Forschung zum globalen Wandel und ihre Umsetzung* Bonn, Berlin 2004. S. 31-35.
- WEIZSÄCKER, E.U. von (2005): *Die Effizienzrevolution versöhnt Ökonomie und Ökologie* Aus: Altner, G.; Leitschuh-Fecht, H.; Michelsen, G. u.a. (Hrsg. 2005): *Jahrbuch Ökologie 2006* München 2005. S. 154-158.
- WEIZSÄCKER, E.U. von; LOVINS, A.B. UND LOVINS, L.H. (1995): *Faktor 4 - Doppelter Wohlstand - halbiertes Naturverbrauch. Der neue Bericht an den CLUB OF ROME* München 1995.
- VÖÖ (Hrsg. 1997): *Arbeiten in einer nachhaltig wirtschaftenden Gesellschaft* Heidelberg 1997.
- VORBACH, S. (1998): *Analyse zwischenbetrieblicher Verwertungsmöglichkeiten, aufgezeigt anhand ausgesuchter Beispiele* Aus: Strebel, H. und Schwarz, E. (Hrsg. 1998): *Kreislauforientierte Unternehmenskooperation. Stoffstrommanagement durch innovative Verwertungsnetze* München 1998. (=Lehr- und Handbücher zur Ökologischen Unternehmensführung und Umweltökonomie) S. 223-249.
- VORHOLZ, F. (2002): *Der geplünderte Planet* Aus: BUND/Misereor (Hrsg. 2002): *Wegweiser für ein zukunftsfähiges Deutschland* München 2002. S. 21-34.
- VORNHOLZ, G. (1993): *Zur Konzeption einer ökologisch tragfähigen Entwicklung* Marburg 1993.
- VOB, J.-P. (2004): *Ko-Evolution und reflexive Gestaltung* Aus: BMBF (Hrsg. 2004a): *Steuerung und Transformation. Überblick über theoretische Konzepte in den Projekten der sozial-ökologischen Forschung* Berlin 2004. (=Querschnittsarbeitsgruppe Steuerung und Transformation im Förderschwerpunkt Sozial-ökologische Forschung des BMBF Diskussionspapier. 01) S. 69-81.
- VOB, J.-P. UND BAUKNECHT, D. (2004): *Einleitung* Aus: BMBF (Hrsg. 2004a): *Steuerung und Transformation. Überblick über theoretische Konzepte in den Projekten der sozial-ökologischen Forschung* Berlin 2004. (=Querschnittsarbeitsgruppe Steuerung und Transformation im Förderschwerpunkt Sozial-ökologische Forschung des BMBF Diskussionspapier. 01) S. 7-16.

- WÄCHTER, M. (2004): *Naturverständnisse in der Ökologie: Dargestellt am Beispiel der Stadtökologie* Aus: Rink, D. und Wächter, M. (Hrsg. 2004): *Naturverständnisse in der Nachhaltigkeitsforschung* Frankfurt 2004. S. 35-72.
- WACKERNAGEL, M. UND REES, W. (1997): *Unser ökologischer Fußabdruck - Wie der Mensch Einfluß auf die Umwelt nimmt* Basel 1997.
- WACKERNAGEL, M.; SCHULZ, N.B.; DEUMLING, D. u.a. (2002): *Tracking the ecological overshoot of the human economy* In: *Progress in Industrial Ecology*, 99. Jg. (2002), H. 14, S. 9266-9271.
- WALKER, B. (2000): *Analysing integrated social-ecological systems. Report on a workshop for international cooperation in science, September 12-14, 2000, Royal Swedish Academy of Science, Stockholm* Stockholm 2000.
- WALKER, B.; CARPENTER, S.; ANDERIES, J. u.a. (2002): *Resilience Management in Social-ecological Systems: A Working Hypothesis for a Participatory Approach* In: *Conservation Ecology [online]* www.consecol.org, 6. Jg. (2002), H. 1, art14.
- WALKER, B.; HOLLING, C.S.; CARPENTER, S.R. u.a. (2004): *Resilience, Adaptability and Transformability in Social-ecological Systems* In: *Ecology and Society*, 9. Jg. (2004), H. 2/art5, S. 1-9.
- WALL, G. (o. J.): *Can the Greening of Industry be profitable?* Mölndal o.J. <http://www.exergy.se/ftp/cgip.pdf> am 7.10.04.
- WALLIMANN, I. UND DOBKOWSKI, M.N. (Hrsg. 2003): *Das Zeitalter der Knappheit Ressourcen, Konflikte, Lebenschancen* Bern u.a. 2002.
- WALLNER, H.P. (1998): *Industrielle Ökologie - mit Netzwerken zur nachhaltigen Entwicklung?* Aus: Strebel, H. und Schwarz, E. (Hrsg. 1998): *Kreislauforientierte Unternehmenskooperation. Stoffstrommanagement durch innovative Verwertungsnetze* München 1998. (=Lehr- und Handbücher zur Ökologischen Unternehmensführung und Umweltökonomie) S. 81-121.
- WALLS, M. UND PALMER, K. (2000): *Upstream Pollution, Downstream Waste Disposal, and the Design of Comprehensive Environmental Policies* Washington 2000.
- WALTHER, G.; STÖLTING, W. UND SPENGLER, T.S. (2006): *Lebenszyklusorientierte strategische Planung von Remanufacturing-Systemen* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 14. Jg. (2006), H. 3, S. 17-22.
- WALTNER-TOEWS, D. UND KAY, J. (2005): *The evolution of an Ecosystem Approach: The Diamond Schematic and an Adaptive Methodology for Ecosystem Sustainability and Health* In: *Ecology and Society*, 10. Jg. (2005), H. 1/Art. 38, S. 1-16. www.ecologyandsociety.org/vol10/iss1/art38
- WATANABE, C. UND ZHU, B. (2003): *A Systems Option for Sustainable Techno-Metabolism. An ecological assessment of Japan's industrial technology system* Aus: Bourg, D. und Erkman, S. (Hrsg. 2003): *Perspectives on Industrial Ecology* Wien (Greenleaf Publishing) 2003. S. 233-263.
- WATZLAWICK, P. (1988): *Anleitung zum Unglücklichsein* München 1988.
- WBCSD (Hg 1997): *Exploring Sustainable Development. WBCSD Global Scenarios 2000-2050 Summary Brochure* London 1997.

- WBGU (Hrsg. 1998): *Welt im Wandel - Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken* Berlin 1998.
- WBGU (1996): *Welt im Wandel: Herausforderungen für die Wissenschaft Jahresgutachten 1996* Berlin 1996.
- WBGU (Hrsg. 1999): *Jahresgutachten 1998 - Welt im Wandel Strategien zur Bewältigung globaler Umweltrisiken* Berlin 1999.
- WBGU (Hg 2000): *Jahresgutachten 1999 - Welt im Wandel - Erhaltung und nachhaltige Nutzung der Biosphäre* Berlin 2000.
- WBGU (Hrsg. 2003): *Welt im Wandel - Energiewende zur Nachhaltigkeit* Berlin 2003.
- WCED (1987): *Our Common Future* Oxford 1987.
- WEC UND DNK (Hrsg. 2004): *Energie für Deutschland. Fakten, Perspektiven und Positionen im globalen Kontext* Essen 2004.
- WEGMANN, K. u.a. (Hrsg. 1987): *Meyers kleines Lexikon - Ökologie* Mannheim 1987.
- WEHLING, P. (1997): *Sustainable Development - eine Provokation für die Soziologie?* Aus: Brand, K.-W. (Hrsg. 1997): *Nachhaltige Entwicklung. Eine Herausforderung an die Soziologie* Opladen 1997. S. 34-50.
- WEHRT, H. (Hrsg. 1996): *Humanökologie Beiträge zum ganzheitlichen Verständnis unserer geschichtlichen Lebenswelt* Basel 1996.
- WEHRT, H. UND VON UEXKÜLL, T. (1996): *Ökologie und die Problematik des Überlebens* Aus: Wehrt, H. (Hrsg. 1996): *Humanökologie. Beiträge zum ganzheitlichen Verständnis unserer geschichtlichen Lebenswelt* Basel 1996. S. 227-256.
- WEICHHART, P. (2003): *Gesellschaftlicher Metabolismus und Action Settings - Die Verknüpfung von Sach- und Sozialstrukturen im Alltagsweltlichen Handeln* Aus: Meusburger, P. und Schwan, T. (Hg 2003): *Humanökologie. Ansätze zur Überwindung der Natur-Kultur-Dichotomie* Wiesbaden 2003. (=Erdkundliches Wissen. 135) S. 15-44.
- WEIDEMA, B. (2000): *Avoiding Co-Product Allocation in Life-Cycle Assesment* In: *Journal of Industrial Ecology*, 4. Jg. (2001), H. 3, S. 11-33.
- WEIKARD, H.-P. (1998): *Wahlfreiheit für zukünftige Generationen: Neue Grundlagen für die Ressourcenökonomik* Marburg 1998. (= Ökonomische Essays. 11)
- WEIL, A. (2004): *Möglichkeiten und Grenzen der Beschreibung synökologischer Einheiten nach dem Modell des Organismus* München, Diss. 2004 .
- WEINBRENNER, P. (2003): *Welchen Beitrag kann die Wirtschaftsdidaktik zur Umweltbildung leisten?* Aus: Yüce, N. und Plöger, P. (Hrsg. 2003): *Die Vielfalt der Wechselwirkungen. Eine transdisziplinäre Exkursion im Umfeld der Evolutionären Kulturökologie* Freiburg 2003. S. 187-208.
- WEINZIERL, H. (2003): *Johannesburg 2002. Konsequenzen für die nationale und globale Nachhaltigkeitspolitik* Aus: Adam, A.; Kohout, F.; Merk, P.K. u.a. (Hrsg. 2003): *Perspektiven der politischen Ökologie* Würzburg 2003. S. 151-157.

- WEINZIERS, H. (2005): *Nachhaltige Lebensstile als Kulturentwurf!* Aus: Altner, G.; Leitschuh-Fecht, H.; Michelsen, G. u.a. (Hrsg. 2005): *Jahrbuch Ökologie 2006* München 2005. S. 39-45.
- WEISBUCH, G. (2000): *Environment and institutions: A complex dynamical systems approach* In: *Ecological Economics*, 34. Jg. (2000), H. 3, S. 381-391.
- WEISHEIMER, M. (2000): *Zur ökonomischen Dimension von Nachhaltigkeit und Entropiewirtschaft im Energiesektor* Halle 2000.
- WEISSMAHR, J.A. (2001): *Evolutionary Economics for the Eco-Industrial Age* Aus: Lorenz, H.-W. und Meyer, B. (Hrsg. 2001): *Studien zur Evolutorischen Ökonomik IV. Evolutorische Makroökonomik, Nachhaltigkeit und Institutionenökonomik* Berlin 2001. S. 225-243.
- WEISZ, H. (2001): *Materialflüsse im Krankenhaus, Entwicklung einer Input-Output Methodik. iff Social Ecology Working Paper 60* wien 2001.
- WEISZ, H. (2002): *Gesellschaft-Natur Koevolution: Bedingungen der Möglichkeit nachhaltiger Entwicklung* Berlin, Dissertation 2002 .
- WELFORD, R. (2004): *Commentary: Regional environmental management systems: Lessons and challenges for industrial ecology research* In: *Progress in Industrial Ecology*, 1. Jg. (2004), H. 1/2/3, S. 286-291.
- WEMHOFF, H. (2003): *Ökologieorientierte und marktbezogene Konzeption einer Reduktionswirtschaft in einer Kreislaufwirtschaft* Heidelberg, Diss. 2003 .
- WERLEN, B. UND WEINGARTEN, M. (2003): *Zum forschungsintegrativen Gehalt der (Sozial)Geographie. Ein Diskussionsvorschlag* Aus: Meusbürger, P. und Schwan, T. (Hg 2003): *Humanökologie Ansätze zur Überwindung der Natur-Kultur-Dichotomie* Wiesbaden 2003. (=Erdkundliches Wissen. 135) S. 197-216.
- WERNICK, I. (1998): *Material flow accounts: Definitions and data* Aus: Vellinga, P.; Berkhout, F. und Gupta, J. (1998): *Managing a Material World: Perspectives on Industrial Ecology* Dordrecht 1998. S. 85-96.
- WERNICK, I. (2002): *Environmental Knowledge Management* In: *Journal of Industrial Ecology*, 6. Jg. (2002), H. 2, S. 7-9.
- WERNICK, I.K. UND AUSUBEL, J.H. (1997): *Industrial Ecology: Some Directions for Research May 1997 - Pre Publication Draft* o.O. 1997.
- WESTBROEK, P. (1998): *Homage to earth book review of: Gaia's Body: Toward a Physiology of Earth by Tyler Volk* In: *Nature*, 391. Jg. (1998), H. 6667, S. 550-551.
- WESTERN, D. (2001): *Human-modified ecosystems and future evolution* In: *PNAS*, 98. Jg. (2001), H. 10, S. 5458-5465.
- WICKE, L. (1995): *Ein ökologischer Marshallplan* Aus: Fritz, P.; Huber, J. und Levi, H. W. (Hrsg. 1995): *Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive* Stuttgart 1995. S. 99-104.
- WIEDMANN, T.; MINX, J.; BARRETT, J. u.a. (2006): *Allocating ecological footprints to final consumption categories with input-output-analysis* In: *Ecological Economics*, 56. Jg. (2006), H. 1, S. 28-48.

- WIEGLEB, G. (2003): *Vorlesung allgemeine Ökologie* Vorlesungsskript am LS Allgemeine Ökologie der TU Cottbus im WS2003/2004 .
- WIESER, W. UND GNAIGER, E. (1980): *Über die Thermodynamik von Lebensprozessen* In: *Biologie in unserer Zeit*, 10. Jg. (1980), H. 4, S. 104-110.
- WIETSCHEL, M. (2004): *Energetische Bewertung von PKW-Leichtbaustrategien* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 12. Jg. (2004), H. 3, S. 29-35.
- WIETSCHEL, M. UND RENTZ, O. (2000): *Verwertungsnetzwerke im Vergleich zu anderen Unternehmensnetzwerken* Aus: Liesegang, D.G.; Sterr, T. und Ott, T. (2000): *Aufbau und Gestaltung regionaler Stoffstrommanagementnetzwerke. Betriebswirtschaftlich-Ökologische Arbeiten des IUWA, Band 4* Heidelberg 2000. S. 36-48.
- WIGGERING, H. UND HAHN, M. (2001): *Ist unsere Umwelt dauerhaft geschädigt? Bilanz und Perspektiven* Aus: Blasi, L. di; Goebel, B. und Hösle, V. (Hrsg. 2001): *Nachhaltigkeit in der Ökologie. Wege in eine zukunftsfähige Welt* München 2001. S. 37-65.
- WILDERER, M.Z. (2003): *Economic Growth, Environment and Development. The Significance of the Eco-Industrial Park Concept in India and Indonesia* New Delhi 2003.
- WILFING, H. (2002): *Kommentar aus der Sicht der Biologie* Aus: Winiwarter, V. und Wilfing, H. (Hrsg. 2002): *Historische Humanökologie. Interdisziplinäre Zugänge zu Menschen und und ihrer Umwelt* Wien 2002. S. 223-228.
- WILHELM, T. (2003): *An elementary dynamic model for non-binary food webs* Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries. Discussion paper, March 12, 2003 .
- WILKE, J. (Hrsg. 1994): *Zum Naturbegriff in der Gegenwart Bd. 2* Stuttgart Bad-Canstatt 1994.
- WILLIAMS, R. (1994): *Roles for Biomass Energy in Sustainable Development* Aus: Socolow, R.; Andrews C.; Berkhout F. u.a. (Hrsg. 1994): *Industrial Ecology and Global Change* Cambridge 1994. S. 199-225.
- WILSON, E.O. (1997): *Der Wert der Vielfalt. Die Bedrohung des Artenreichtums und das Überleben des Menschen - Ungekürzte Taschenbuchausgabe* München 1997.
- WINDSPERGER, A. (2003): *Industrielle Ökologie* In: *Soziale Technik*, 13. Jg. (2003), H. 3, S. 15-18.
- WINDSPERGER, A. UND B., WALLNER, H.P, SCHAUER, K. U.A. (2002): *Die Projekt-Innovations-Matrix - Ein Instrument zur nachhaltigen Regionalentwicklung Teil 2 - Weiterentwicklung und Fallstudien* Wien 2002.
- WINIWARTER, V. (2002): *Disziplinäre (Um-)weltbilder. Zur Verständigung zwischen Biologie und Geschichtswissenschaften* Aus: Winiwarter, V. und Wilfing, H. (Hrsg. 2002): *Historische Humanökologie. Interdisziplinäre Zugänge zu Menschen und und ihrer Umwelt* Wien 2002. S. 197-221.
- WILFING, H. UND WINIWARTER, V. (2002): *Querlagen. Versuch eines interdisziplinären Textnetzes* Aus: Winiwarter, V. und Wilfing, H. (Hrsg. 2002): *Historische*

Humanökologie. Interdisziplinäre Zugänge zu Menschen und und ihrer Umwelt
Wien 2002. S. 247-259.

- WINIWARTER, V. UND WILFING, H. (Hrsg. 2002): *Historische Humanökologie. Interdisziplinäre Zugänge zu Menschen und ihrer Umwelt* Wien 2002.
- WINKLER, H. (2006): *Einsatz nachhaltiger Supply Chain Netzwerke zur Umsetzung eines nachhaltigkeitsorientierten Supply Chain Management* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 14. Jg. (2006), H. 3, S. 10-16.
- WISSEL, C. (1995): *Nachhaltigkeit aus der Sicht der ökologischen Modellierung* Aus: Fritz, P.; Huber, J. und Levi, H. W. (Hrsg. 1995): *Nachhaltigkeit in naturwissenschaftlicher und sozialwissenschaftlicher Perspektive* Stuttgart 1995. S. 127-131.
- WISSEN, M. (2004): *Der Regulationsansatz* Aus: BMBF (Hrsg. 2004a): *Steuerung und Transformation. Überblick über theoretische Konzepte in den Projekten der sozial-ökologischen Forschung* Berlin 2004. (=Querschnittsarbeitsgruppe Steuerung und Transformation im Förderschwerpunkt Sozial-ökologische Forschung des BMBF Diskussionspapier. 01) S. 41-47.
- WISSING, L. UND BREMER, F.-J. (2004): *Nachhaltigkeit in der Materialentwicklung* In: *UmweltWirtschaftsForum*, 12. Jg. (2004), H. 3, S. 15-18.
- WITT, U. (1999): *Umweltökonomik - Wirtschaften mit oder in der Natur?* Aus: Beckenbach, F.; Hampicke, U.; Leipert, C. u.a. (1999): *Jahrbuch Ökologische Ökonomik 1. Zwei Sichtweisen auf das Umweltproblem: Neoklassische Umweltökonomik versus Ökologische Ökonomik* Marburg 1999. S. 99-107.
- WITTENBERG, U. (1998): *Untersuchung des globalen Kohlenstoffkreislaufs mit Hilfe der stabilen Isotope ^{12}C und ^{13}C* Gießen, Diss. 1998, <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/1999/54/> am 16.12.05 .
- WITTENBERG, W. (2001): *Gesellschaftliche Stoffdurchflüsse: Tragfähigkeit und Nachhaltigkeit* Aus: Strassert, G. und Wittenberg, W. (Hrsg. 2001): *Ökologie und Ökonomie - eine vernetzte Welt. Auf dem Weg zu einem integrativen Ansatz* Karlsruhe 2001. (=VÖÖ - Beiträge und Berichte. 3/2001) S. 45-58.
- WITTIG, R. UND STREIT, B. (2004): *Ökologie* Stuttgart 2004.
- WRISBERG, N. UND CLIFT, R. (1999): *Industrial Ecology in Europe. The CHAINET Concerted Action* In: *Journal of Industrial Ecology*, 3. Jg. (1999), H. 4, S. 8-9.
- WRUK, H.-P. UND ELLRINGMANN, H. (Hrsg. 2001): *Praxishandbuch Umweltschutz-Management. Grundwerk einschließlich Aktualisierungs- und Ergänzungslieferung Juli 2001* Köln 2001.
- WUKETITS, F. M. (1998): *Naturkatastrophe Mensch. Evolution ohne Fortschritt* Düsseldorf 1998.
- WWF (Hg 2004): *Living Planet Report 2004* Gland 2004.
- WWF (Hrsg. 2006): *Der Zustand unseres Planeten. WWF Living Planet Report 2006* Frankfurt/M 2006.
- YADI, S. UND LOREAU, M. (1999): *Biodiversity and ecosystem productivity in a fluctuating environment: The insurance hypothesis* In: *PNAS*, 96. Jg. (1999), H. 4, S. 1463-1468.

- YANG, P.P.-J. UND LAY, O.B. (2004): *Applying ecosystem concepts to the planning of industrial areas: A case study of Singapore's Jurong Island* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 1011-1023.
- YODZIS, P. (2000): *Diffuse Effects in food webs* In: *Ecology*, 81. Jg. (2000), H. 1, S. 261-266.
- YÜCE, N. UND PLÖGER, P. (2003): *Vorwort* Aus: Yüce, N. und Plöger, P. (Hrsg. 2003): *Die Vielfalt der Wechselwirkungen. Eine transdisziplinäre Exkursion im Umfeld der Evolutionären Kulturökologie* Freiburg 2003. S. 9-12.
- YÜCE, N. UND PLÖGER, P. (Hrsg. 2003): *Die Vielfalt der Wechselwirkungen. Eine transdisziplinäre Exkursion im Umfeld der Evolutionären Kulturökologie* Freiburg 2003.
- ZABEL, H.-U. (1998): *Industriesymbiosen im Verhaltenskontext* Aus: Strebel, H. und Schwarz, E. (Hrsg. 1998): *Kreislauforientierte Unternehmenskooperation. Stoffstrommanagement durch innovative Verwertungsnetze* München 1998. (=Lehr- und Handbücher zur Ökologischen Unternehmensführung und Umweltökonomie) S. 123-164.
- ZAHRNT, A. (2002): *Kurzatmig zur Langfriststrategie* Aus: BUND/Misereor (Hrsg. 2002): *Wegweiser für ein zukunftsfähiges Deutschland* München 2002. S. 150-162.
- ZÄNGL, W. (2003): *Die Erinnerung der Natur* Aus: Adam, A.; Kohout, F.; Merk, P.K. u.a. (Hrsg. 2003): *Perspektiven der politischen Ökologie* Würzburg 2003. S. 33-39.
- ZEEUW, F. (2000): *Sustainable Research* Aus: Elohim, J.L.; Stuhler, E.A. und Parra-Luna, F. (Hrsg. 2000): *Sustainable Development I. Some philosophical, ideological and theoretical views* München 2000. (=Research on cases and theories. 8) S. 171-178.
- ZEIBIG, S. (2004): *Modellierung in der Ökologie. Nach einer Veranstaltung von Dr. Karin Frank und Birgit Müller* Universität Osnabrück - Abt. Angewandte Systemwissenschaft, Diskussionspapier und Veranstaltungsmitschrift .
- ZHENG, W. UND RUSONG, W. (2005): *Where does Eco-industrial Park Go?: A Reflection from a Case Study in China* Aus: Royal Institute of Technology (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005. S. 126.
- ZHU, Q. UND CÔTÉ, R.P. (2004): *Integrating green supply chain management into an embryonic eco-industrial development: A case study of the Guitang Group* In: *Journal of Cleaner Production*, 12. Jg. (2004), H. 8-10, S. 1025-1035.
- ZIERHOFER, W. (2003): *Schraubenzieher, Münzen und Kaugummis. "Humanökologisches Paradigma" oder "Poststrukturalistische" Perspektive für die Humangeographie?* Aus: Meusburger, P. und Schwan, T. (Hg 2003): *Humanökologie. Ansätze zur Überwindung der Natur-Kultur-Dichotomie* Wiesbaden 2003. (=Erdkundliches Wissen. 135) S. 81-99.
- ZIMMER, M. (Hrsg. 1996): *Von der Kunst, umweltgerecht zu planen und zu handeln. Zur Bedeutung der Verhaltenswissenschaften für die Ökologie und für einen konstruktiven Umgang mit unserer Umwelt. Tagungsband einer Tagung der*

internationalen Erich-Fromm-Gesellschaft vom 4.-6.10. 1996 in Georgsmarienhütte Osnabrück 1996.

ZVOLINSCHI, A. (2005): *A Technology Maturity Indicator for Industrial Ecology* Aus: Royal Institute of Technology (Hrsg. 2005): *Industrial Ecology for a Sustainable Future - Abstract Book The 3rd International Conference of The International Society for Industrial Ecology, ISIE, Stockholm, Sweden 12-15 June 2005* Stockholm 2005. S. 56.

ZWIERLEIN, E. UND ISENMANN, R. (1995): *Ökologischer Strukturwandel und Kreislaufökonomie. Wege zu einer umweltorientierten Materialwirtschaft* Idstein 1995. (= Philosophisches Forum Universität Kaiserslautern. 6)

Lebenslauf

Name:	Joa Bauer
Geburtsdatum:	20.05.1965
Geburtsort:	Esslingen
Eltern:	Hans und Christa Bauer
Geschwister:	Marion Bauer-Schleicher
1971:	Erste Klasse an der Schillerschule Esslingen
1972-1975:	Zweite bis vierte Klasse an der Eichendorffschule Esslingen
1975-1985:	Mörike-Gymnasium Esslingen mit Abitur
1985-1986:	Wehrdienst in Metzingen und Esslingen
1986-1994:	Studium der BWL/to an der Uni Stuttgart mit Abschluss zum Diplom-Kfm./to
9/1994-12/1995:	Wissenschaftlicher Angestellter beim Ulmer Initiativkreis Nachhaltige Wirtschaftsentwicklung (unw) im Rahmen des Forschungsprojekts „Regionale ökologische Berichterstattung für die Ulmer Region“
6/1996-8/1998:	Wissenschaftlicher Angestellter beim unw im Rahmen des Forschungsprojekts „Umweltbildungssysteme für die Mittelständische Industrie“
9/1998-3/2001:	Wissenschaftlicher Angestellter beim IVR an der Universität Stuttgart: Betreuung der Übung und Tutorien in Makroökonomik
4/2001-8/2002:	Wissenschaftlicher Angestellter beim unw im Rahmen des Forschungsprojekts „INNET“
6/2001-12/2003:	Geprüfte Hilfskraft beim IVR an der Universität Stuttgart: Betreuung der Übung und Tutorien in Makroökonomik
9/2002-11/2006:	Wissenschaftlicher Angestellter beim IVR an der Universität Stuttgart im Rahmen des Forschungsprojekts „Nachhaltigkeitsorientierte Stoffstrommanagementsysteme“

Erklärung

Ich erkläre, die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt zu haben.

Stuttgart, den 5. Juni 2008

Unterschrift