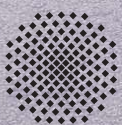


STUTTGARTER BEITRÄGE ZUR PRODUKTIONSFORSCHUNG

MARKUS WESKAMP

Modell zur Bewertung von Investitionen zur Steigerung der Ökoeffektivität innerbetrieblicher Wertschöpfungsketten



Universität Stuttgart



Fraunhofer

IPA

STUTTGARTER BEITRÄGE ZUR PRODUKTIONSFORSCHUNG BAND 75

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl

Univ.-Prof. a. D. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

Markus Weskamp

**Modell zur Bewertung von Investitionen zur
Steigerung der Ökoeffektivität innerbetrieblicher
Wertschöpfungsketten**

FRAUNHOFER VERLAG

Kontaktadresse:

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 07 11 9 70-00, Telefax 07 11 9 70-13 99
info@ipa.fraunhofer.de, www.ipa.fraunhofer.de

STUTTGARTER BEITRÄGE ZUR PRODUKTIONSFORSCHUNG**Herausgeber:**

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl
Univ.-Prof. a. D. Dr.-Ing. Prof. E.h. Dr.-Ing. E.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart
Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart
Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen (ISW)
der Universität Stuttgart

Titelbild: © Fotolia

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

ISSN: 2195-2892

ISBN (Print): 978-3-8396-1324-5

D 93

Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2017

Druck: Mediendienstleistungen des Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB, Stuttgart
Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.

© by **FRAUNHOFER VERLAG**, 2018

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau IRB
Postfach 80 04 69, 70504 Stuttgart
Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart
Telefon 07 11 9 70-25 00
Telefax 07 11 9 70-25 08
E-Mail verlag@fraunhofer.de
URL <http://verlag.fraunhofer.de>

Alle Rechte vorbehalten

Dieses Werk ist einschließlich aller seiner Teile urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die über die engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes hinausgeht, ist ohne schriftliche Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen sowie die Speicherung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen und Handelsnamen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass solche Bezeichnungen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und deshalb von jedermann benutzt werden dürften. Soweit in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z.B. DIN, VDI) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden ist, kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen.

GELEITWORT DER HERAUSGEBER

Produktionswissenschaftliche Forschungsfragen entstehen in der Regel im Anwendungszusammenhang, die Produktionsforschung ist also weitgehend erfahrungsbasiert. Der wissenschaftliche Anspruch der „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ liegt unter anderem darin, Dissertation für Dissertation ein übergreifendes ganzheitliches Theoriegebäude der Produktion zu erstellen.

Die Herausgeber dieser Dissertations-Reihe leiten gemeinsam das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA und jeweils ein Institut der Fakultät für Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik an der Universität Stuttgart.

Die von ihnen betreuten Dissertationen sind der marktorientierten Nachhaltigkeit verpflichtet, ihr Ansatz ist systemisch und interdisziplinär. Die Autoren bearbeiten anspruchsvolle Forschungsfragen im Spannungsfeld zwischen theoretischen Grundlagen und industrieller Anwendung.

Die „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ ersetzt die Reihen „IPA-IAO Forschung und Praxis“ (Hrsg. H.J. Warnecke / H.-J. Bullinger / E. Westkämper / D. Spath) bzw. ISW Forschung und Praxis (Hrsg. G. Stute / G. Pritschow / A. Verl). In den vergangenen Jahrzehnten sind darin über 800 Dissertationen erschienen.

Der Strukturwandel in den Industrien unseres Landes muss auch in der Forschung in einen globalen Zusammenhang gestellt werden. Der reine Fokus auf Erkenntnisgewinn ist zu eindimensional. Die „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ zielen also darauf ab, mittelfristig Lösungen für den Markt anzubieten. Daher konzentrieren sich die Stuttgarter produktionstechnischen Institute auf das Thema ganzheitliche Produktion in den Kernindustrien Deutschlands. Die leitende Forschungsfrage der Arbeiten ist: Wie können wir nachhaltig mit einem hohen Wertschöpfungsanteil in Deutschland für einen globalen Markt produzieren?

Wir wünschen den Autoren, dass ihre „Stuttgarter Beiträge zur Produktionsforschung“ in der breiten Fachwelt als substanziell wahrgenommen werden und so die Produktionsforschung weltweit voranbringen.

Alexander Verl

Thomas Bauernhansl

Engelbert Westkämper

Modell zur Bewertung von Investitionen zur Steigerung der Ökoeffektivität innerbetrieblicher Wertschöpfungsketten

Von der Fakultät Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik
der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

Vorgelegt von
Dipl. Wirt.-Ing. Markus Weskamp
aus Höxter

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl
Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Alexander Sauer
Mitberichterin: Prof. Dr. rer. pol. Meike Tilebein

Tag der mündlichen Prüfung 20. Dezember 2017

Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb
der Universität Stuttgart

2017

Vorwort des Autors

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) in Stuttgart. Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA sowie des Instituts für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart, für seine Unterstützung und Förderung meiner Arbeit sowie für die Übernahme des Hauptberichts. Herrn Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Alexander Sauer, Leiter des Instituts für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) der Universität Stuttgart und Frau Prof. Dr. rer. pol Meike Tilebein, Leiterin des Instituts für Diversity Studies in den Ingenieurwissenschaften an die Universität Stuttgart (IDS), danke ich für ihr Interesse an meinem Thema, für den wertvollen Austausch und die intensive Auseinandersetzung mit meiner Arbeit sowie die Übernahme des Mitberichts.

Für ihre Hilfsbereitschaft und fachliche Unterstützung möchte ich vielen aktuellen und ehemaligen Kollegen am Fraunhofer IPA danken. Vor allem danke ich denjenigen die zu Freunden wurden, insbesondere und stellvertretend für viele andere Timm Wiegmann, Roman Cucek, Dr. Juliane Gottmann, Dr. Marcus Sauer sowie Eduardo Colangelo. Den Kolleginnen und Kollegen der IPA-Bibliothek danke ich Ihre Unterstützung und ihre hervorragende Arbeit.

Meinem Bruder Dirk, seiner Frau Carmen und Tochter Diana danke ich für die vielen abwechslungsreichen Stunden außerhalb der Arbeit. Mein herzlichster Dank gilt meinen Eltern für ihre lebenslange, liebevolle und bedingungslose Unterstützung sowie die Ermöglichung meiner Ausbildung. Ihnen widme ich diese Arbeit.

Stuttgart, im Dezember 2017

Markus Weskamp

Kurzinhalt

Nachhaltiges Wirtschaften wird immer mehr zu einem Produktionsparadigma aus dem sich für produzierende Unternehmen neue Chancen und Risiken ergeben. Diese sind verbunden mit strategischen Investitionen, die eine fundierte wirtschaftliche Bewertung erfordern. Klassische Bewertungsverfahren wie beispielsweise die Kapitalwertmethode weisen Schwächen bei der Berücksichtigung flexibler Handlungsmöglichkeiten während des Investitionsprozesses auf und führen teilweise zu Fehlentscheidungen. Vor diesem Hintergrund stellt die vorliegende Arbeit ein Bewertungsmodell für strategische Investitionen bereit, welches es ermöglicht, Investitionen unter Berücksichtigung von unsicheren und flexiblen Umwelteinflüssen zu analysieren und abgesicherte Entscheidungen zu treffen.

Das in der Arbeit beschriebene Modell kombiniert Bewertungsmethoden der Realoptionstheorie mit Modellierungsansätzen des System Dynamics und schafft einen Rahmen zur ganzheitlichen Bewertung der Investitionssituation unter Einfluss von externen Umwelteinflüssen. Das Modell ermöglicht es dem Anwender, die für die Entscheidung relevanten Bewertungsparameter systematisch zu ermitteln und die komplexen Wirkbeziehungen untereinander abzubilden. Die beschriebene Vorgehensweise zur Anwendung des Modells liefert darüber hinaus konkrete Handlungsanweisungen für die strukturierte und zielgerichtete Modellnutzung. Die informationstechnische Umsetzung des Bewertungsmodells stellt die aufwandsarme Anwendbarkeit in der Praxis sicher. Die Arbeit schließt mit der kritischen Würdigung der wissenschaftlichen Erkenntnisse sowie einer Zusammenfassung und dem Ausblick auf den weiteren Forschungsbedarf.

Short Summary

Sustainable management is increasingly becoming a production paradigm from which new opportunities and risks arise for manufacturing companies. These are based on strategic investments that require economic evaluation. Classical valuation methods, such as the Net Present Value method, have weaknesses in the consideration of flexible options during the investment process and sometimes lead to incorrect decisions. Therefore, the present thesis provides a valuation model for strategic investments, which enables to analyze investments taking into account uncertain and flexible environmental influences and to make reliable decisions.

The model described in the thesis combines assessment methods of the real option theory with modeling approaches of the system dynamics and creates a framework for the holistic assessment of the investment situation under the influence of external environmental influences. The model makes it possible for the user to systematically determine the evaluation parameters relevant for the decision and to represent the complex interactions among one another. The described approach to apply the model also provides concrete guidelines for the structured and targeted use of the model. The IT-related implementation of the evaluation model ensures the low-cost applicability in practice. The work concludes with a critical assessment of the scientific findings as well as a summary and the outlook on further research needs.

Inhaltsverzeichnis

Symbolverzeichnis	viii
Abbildungsverzeichnis	x
Tabellenverzeichnis	xiii
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Problemstellung	2
1.3 Zielsetzung und Lösungsansatz	4
1.4 Methodik und Aufbau der Arbeit	6
1.4.1 Wissenschaftstheoretische Positionierung	6
1.4.2 Gliederung der Arbeit	12
2 Nachhaltigkeit als neues Produktionsparadigma	16
2.1 Nachhaltigkeit als Basis für Wachstum	16
2.2 Auswirkungen der Nachhaltigkeitsforderung auf die Industrie	18
2.2.1 Veränderte Unternehmensumwelt	18
2.2.2 Lebenszyklusorientierung und Nachhaltigkeit	21
2.3 Ökoeffizienz und Ökoeffektivität als Ausprägungsformen der Nachhaltigkeit	23
2.3.1 Ökoeffizienz	23
2.3.2 Ökoeffektivität	26
2.4 Potenziale und Methoden zur Steigerung von Ökoeffizienz und Ökoeffektivität	30
2.4.1 Potenziale zur Optimierung des Material- und Energieeinsatzes	31
2.4.2 Methoden zur Analyse und Verbesserung des Material- und Energieeinsatzes	33
3 Bewertung strategischer Investitionen	37
3.1 Charakteristik von Investitionen	37
3.2 Planung als Teil des Investitionsprozesses	41
3.3 Investitionsmodelle unter Sicherheit	46
3.3.1 Statische Modelle der Investitionsrechnung	47
3.3.2 Dynamische Modelle der Investitionsrechnung	51
3.4 Investitionen unter Berücksichtigung von Unsicherheit	58
3.4.1 Der Einfluss von Unsicherheit auf Investitionen	58
3.4.2 Klassische Investitionsmodelle zur Berücksichtigung von Unsicherheit	59

3.5	Investitionen als Realloptionen	65
3.5.1	Grundlagen der Realoptionstheorie	65
3.5.2	Arten von Realloptionen	67
3.5.3	Optionsbasierte Bewertungsmodelle	73
4	Anforderungsanalyse und Handlungsbedarf	81
4.1	Formale Anforderungen an das Modell	81
4.2	Inhaltliche Anforderungen an das Modell	84
4.3	Realoptionsansätze zur Investitionsbewertung im Rahmen des Anwendungszusammenhangs	89
4.4	Zwischenfazit und Ableitung des Handlungsbedarfs	94
5	Konzeptioneller Aufbau eines generischen Bewertungsmodells	96
5.1	Auswahl einer geeigneten Modellierungsmethode	96
5.2	Grundlagen des generischen Bewertungsmodells	100
5.2.1	Die Grundinvestition	104
5.2.2	Die Realoption	105
5.2.3	Der Umwelteinfluss	107
5.3	Aufbau des generischen Bewertungsmodells	109
5.3.1	Aufbau von Teilmodell 1	109
5.3.2	Aufbau von Teilmodell 2	115
6	Instanziierung des Bewertungsmodells im Anwendungszusammenhang	123
6.1	Instanziierung der Modellparameter	123
6.1.1	Instanziierung der Investitionssumme	124
6.1.2	Instanziierung der Cashflows	125
6.1.3	Instanziierung der Laufzeiten	126
6.1.4	Instanziierung der Zinsen und Unsicherheit	127
6.2	Bewertung des Umwelteinflusses auf die Eingangsparameter	131
6.3	Methodisches Vorgehen zur Anwendung des Modells	136
6.3.1	Situationsbeschreibung	137
6.3.2	Modellbildung	142
6.3.3	Ergebnisinterpretation	148
7	Anwendung und kritische Reflexion	154
7.1	Ausgangssituation des Validierungsbeispiels	154
7.2	Modellbildung des Validierungsbeispiels	155
7.3	Analyse und Ergebnisbewertung des Validierungsbeispiels	163
7.4	Reflexion des Bewertungsmodells und der Methode	165

8 Zusammenfassung und Ausblick	168
8.1 Zusammenfassung	168
8.2 Ausblick und weiterer Forschungsbedarf	169
9 Literaturverzeichnis	171

Symbolverzeichnis

#Res	Anzahl der Produktionsressourcen
Ann	Annuität
a_t	Auszahlung in t
BW	Barwert
CF	Cashflow
El	Energieintensität
d	Down-Faktor
d_1	Hilfsvariable d_1
d_2	Hilfsvariable d_2
e_t	Einzahlung in t
i	Kalkulationszinssatz
I_F	Investitionssumme
KT	Kudentakt
KW	Kapitalwert
LPV	Risiko-Zeit-Faktor
N	Zukünftiger Wert
NPVq	Wert-Kosten-Verhältnis
NS	Noise Seed
N_t	Nettozahlung in t
$N(x)$	Standardnormalverteilung von x
OP	Optionswert
p	risikolose Wahrscheinlichkeit
P_{el}	Leistungsaufnahme der Produktionsanlage
$PV(I)$	Gegenwartswert des Ausübungspreises
q	Wahrscheinlichkeit
r	interner Zinsfuß
r_f	risikoloser Zins
S	Basiswert der Investition
T	Investitionslaufzeit / Nutzungsdauer
t	Zeitpunkt / Periode

u	Up-Faktor
W	Wert eines abgezinsten Betrags
X / I	Ausübungspreis der Option / Investition
β	Hilfsvariabel (McDonald und Siegel)
δ_s	Wertänderung je Simulationsschritt
ε	Standardnormal-Zufallsvariable
μ	Simulationsschrittweite
σ	Volatilität
τ	Optionslaufzeit
φ	Wertverlust

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Wissenschaftstheoretische Einordnung (Ulrich et al. 1976, S. 305)	8
Abbildung 1-2: Die Aufgabenstellung der Arbeit in Anlehnung an (Kirsch 1979, S. 110)	11
Abbildung 1-3: Aufbau der Arbeit in Anlehnung an (Ulrich 2001, S. 195)	13
Abbildung 2-1: Das Technologielebenszyklus-Modell (Krubasik 1982, S. 29).....	22
Abbildung 2-2: Energie- und Rohstoffproduktivität Deutschlands (StBA 2015, S. 5 ff)	25
Abbildung 2-3: Wertstromdarstellung.....	35
Abbildung 3-1: Arten von Investitionen (Kern 1974, S. 12).....	38
Abbildung 3-2: Arten von Investitionsanlässen (Kern 1974, S. 14)	39
Abbildung 3-3: Phasen der Investitionsplanung (Schweitzer 2005, S. 26).....	44
Abbildung 3-4: Charakterisierung von Unsicherheit	59
Abbildung 3-5: Ergebnis einer Risikoanalyse (Götze 2008, S. 378).....	62
Abbildung 3-6: Aufbau eines Entscheidungsbaums (Poggensee 2011, S. 327).....	64
Abbildung 3-7: Klassifikation von Realloptionen (Ernst et al. 2000, S. 669).....	69
Abbildung 3-8: Wirkrichtung der Realloptionsparameter (Damodaran 2001, S. 358)	75
Abbildung 3-9: Modelle zur Bewertung von Realloptionen (Hommel et al. 2001, S. 124)	76
Abbildung 3-10: Entwicklungsmöglichkeiten eines Optionspreises	77
Abbildung 4-1: Die Wertkette des Unternehmens in Anlehnung an (Porter 2008, S. 36).....	86
Abbildung 4-2: Inhaltliche Anforderungen an das Modell.....	88
Abbildung 4-3: Optionsparameter nach Luehrman in Anlehnung an (Luehrman 1998, S. 92)	93
Abbildung 4-4: Bewertung bestehender Ansätze hinsichtlich der Modellanforderungen	95
Abbildung 5-1: Modelle nach Art ihrer nach Bestimmtheit (Page et al. 1991, S. 6).....	97
Abbildung 5-2: Beispielhaftes System-Dynamics-Modell	99
Abbildung 5-3: Zusammenwirken der Modellbestandteile	101
Abbildung 5-4: Investitionsvorhaben bestehend aus Grund- und Folgeinvestition	101
Abbildung 5-5: Erweiterter Kapitalwert.....	102
Abbildung 5-6: Aufbau des generischen Bewertungsmodells aus zwei Teilmodellen	103
Abbildung 5-7: Bestandteile der Grundinvestition	105
Abbildung 5-8: Der Objekttyp Realloption mit seinen Attributen	106

Abbildung 5-9: Orientierungsrichtung von Realloptionen	107
Abbildung 5-10: Der Objekttyp Umwelteinfluss mit seinen Attributen.....	109
Abbildung 5-11: System Dynamics Modell der Grundinvestition	110
Abbildung 5-12: System-Dynamics-Modell der Folgeinvestition.....	113
Abbildung 5-13: Teilmodell 1 des generischen Grundmodells	115
Abbildung 5-14: System-Dynamics-Modell zur analytischen Black-Scholes-Formel	116
Abbildung 5-15: System-Dynamics-Darstellung des Simulationsmodells	119
Abbildung 5-16: Beispielhafter Verlauf des Investitionswerts.....	120
Abbildung 5-17: Grundmodell mit Noise Seed.....	121
Abbildung 5-18: Simulationsergebnisse zur Wertentwicklung der Folgeinvestition	122
Abbildung 6-1: Im Anwendungszusammenhang zu initiiierende Eingangsparameter	123
Abbildung 6-2: St. Galler Management-Modell (Rüegg-Stürm et al. 2015, S. 37)	131
Abbildung 6-3: Der Umwelteinfluss mit seinen Untergruppen.....	134
Abbildung 6-4: Vorgehensweise zur Anwendung des Bewertungsmodells	137
Abbildung 6-5: Bewertungsportfolio der Investitionsobjekte	138
Abbildung 6-6: Beispielhafte Investitionsobjekte im Bewertungsportfolio	139
Abbildung 6-7: Submodell Anschaffungskosten der Folgeinvestition „Biologischer Kunststoff“	142
Abbildung 6-8: Submodell der Cashflows der Folgeinvestition „Biologischer Kunststoff“	144
Abbildung 6-9: SD-Modell „Biologischer Kunststoff“ (Kapitalwerte)	146
Abbildung 6-10: SD-Modell „Biologischer Kunststoff“ (Optionswert).....	147
Abbildung 6-11: SD-Modell „Biologischer Kunststoff“ (Wertentwicklung).....	147
Abbildung 6-12: Bewertungsgrößen für die Ergebnisinterpretation.....	148
Abbildung 6-13: Kapitalwert der Gesamtinvestition (konventionell)	149
Abbildung 6-14: Optionswert-Portfolio „Biologischer Kunststoff“	150
Abbildung 6-15: Erweiterter Kapitalwert „Biologischer Kunststoff“	152
Abbildung 6-16: Wertentwicklung der Folgeinvestition „Biologischer Kunststoff“	152
Abbildung 7-1: SD-Modell der Druckluftkosten	156
Abbildung 7-2: SD-Modell der Druckluftkosten für Alt- und Neuanlage	157
Abbildung 7-3: SD-Modell der Druckluftkosten mit Wärmerückgewinnung	159
Abbildung 7-4: SD-Modelle zur Berechnung des Validierungsbeispiels	162
Abbildung 7-5: Konventioneller und erweiterter Kapitalwert im Validierungsbeispiel.....	163

Abbildung 7-6: Optionswert-Portfolio des Validierungsbeispiels	164
Abbildung 7-7: Wertentwicklung des Folgeprojekts im Validierungsbeispiel.....	165

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Parametervergleich von Finanz- und Realoptionen	73
Tabelle 5-1: Parameter zur Bewertung der Grundinvestition	110
Tabelle 5-2: Parameter zur Bewertung der Folgeinvestition	112
Tabelle 5-3: Parameter zur Bewertung des Optionswerts (analytisch)	116
Tabelle 5-4: Parameter zur Bewertung des Investitions- und Optionswerts (simulativ)	118
Tabelle 6-1: Checkliste zur Identifikation und Bewertung der Umwelteinflüsse.....	135
Tabelle 6-2: Realoptionen des Entwicklungsprojekts „Biologischer Kunststoff“	140
Tabelle 6-3: Umwelteinflüsse des Projekts „Biologischer Kunststoff“	141
Tabelle 6-4: Cashflows der Folgeinvestition „Biologischer Kunststoff“	144
Tabelle 6-5: Szenarien der Folgeinvestition „Biologischer Kunststoff“	145
Tabelle 7-1: Druckluftkosten und Kostenersparnis der Investition	160
Tabelle 7-2: Szenarien zur Kostenersparnis durch Wärmerückgewinnung	160

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Das starke Wachstum der Weltbevölkerung, die Begrenztheit natürlicher Ressourcen sowie der Klimawandel führen zu den wesentlichen Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. (Gruber 2010, S. 9 ff; Zimmerer 2014, S. 15) Die zunehmende Ausbeutung von Rohstoffen und der weltweit steigende Energieverbrauch verursachen dabei enorme Probleme wie beispielsweise den steigenden Ausstoß von CO₂ Emissionen. So konsumiert die Menschheit heute jährlich die Menge an fossilen Energieträgern, die die Erde in einer Million Jahre erzeugt hat. (Nöbauer 2016, S. 15 f.)

Weltweites Wachstum und ein steigender Lebensstandard werden sich in Zukunft nur durch nachhaltiges Wirtschaften realisieren lassen. 2012 verdeutlichte der Club of Rome in seinem Bericht zur Kampagne „2052 – Shaping our Future“ erneut, dass die Menschheit unter Beibehaltung ihrer verschwenderischen Lebensweise langfristig nicht überleben kann. (Randers 2012, S. 1 ff)

Politik und Industrie setzen sich in den letzten Jahren verstärkt für nachhaltiges Wirtschaften ein. Die Politik reagiert auf die Nachhaltigkeitsforderungen der Öffentlichkeit mit verschärften Richtlinien einerseits und setzt gerade in jüngerer Zeit verstärkt auf die Zusammenarbeit mit der Wirtschaft sowie auf die Regulierungskräfte des Marktes. (Heinrichs et al. 2014, S. 270 ff) Hierbei führt die Gesetzgebung in vielen Fällen zu einer stärkeren Internalisierung bisher sozialisierter Kosten und somit zu einer stärkeren direkten Kostenbelastung der Unternehmen durch nicht nachhaltiges Wirtschaften. (Bornemann 2014, S. 261) Die Einführung des CO₂-Zertifikate-Handels ist hierfür ein bekanntes Beispiel. (Ates 2011, S. 12 ff)

Auch gesellschaftlich vollzieht sich ein Wertewandel hin zu mehr Nachhaltigkeit. Verbraucher legen bei ihrer Kaufentscheidung vermehrt Wert auf ökologisch produzierte Güter und sind bereit, für diese höhere Preise zu zahlen. „Je stärker sich der Umweltschutzgedanke in der Gesellschaft verfestigt, desto eher besteht die Aussicht, dass nicht nur Naturprodukte, sondern dass auch umwelt-

verträgliche Produktionsprozesse von wachsenden Käuferschichten (mit der Bereitschaft zum Zahlen höherer Preise) honoriert werden.“ (Wöhe et al. 2010, S. 72) Für Unternehmen bedeutet dies, dass sie die Konsequenzen eines nicht nachhaltigen Wirtschaftens in Zukunft stärker treffen werden und sich andererseits durch nachhaltiges Wirtschaften verstärkt Wettbewerbsvorteile realisieren lassen werden. (Herrmann 2010, S. 57 f.)

Aus der Nachhaltigkeitsdebatte ist für Unternehmen ein neues Produktionsparadigma hervorgetreten. (Bauernhansl 2012b, S. 271 ff) Demnach tragen Bestrebungen zur nachhaltigen Produktion insgesamt zum Unternehmenserfolg bei. In früheren Zeiten herrschte oftmals die Meinung vor, ökologisches Engagement führe zu zusätzlichen Kosten und sei unwirtschaftlich. Mittlerweile überwiegt die gegenteilige Ansicht, dass Unternehmen auf die Berücksichtigung ökologischer Kriterien nicht verzichten können, um langfristig erfolgreich zu sein. (Behringer et al. 2011, S. 15 ff)

Besondere Bedeutung im Rahmen der Nachhaltigkeitsdebatte kommt den Begriffen der Ökoeffizienz und der Ökoeffektivität zu. (Stahlmann 2000, S. 129 ff) Während es Anspruch der Ökoeffizienz ist, einen möglichst hohen wirtschaftlichen Output mit möglichst geringem und umweltschonendem Input zu realisieren, kritisieren Vertreter der Ökoeffektivität, dass dieser Ansatz nicht weitreichend genug sei, da er lediglich umweltschädliches Handeln reduziere statt vermeide. (Drucker 1996, S. 136 f.) Gemäß den Befürwortern der Ökoeffektivität sind vielmehr die Produkte und deren Produktion hinsichtlich ihrer Effektivität in Frage zu stellen und gemäß Nachhaltigkeitskriterien neu zu gestalten. Die Ökoeffektivität folgt dem Vorbild der Natur und strebt den Aufbau biologischer oder technischer Kreisläufe an. Innovation kommt hierbei eine entscheidende Rolle zu. Innovation und technischer Fortschritt bieten die Voraussetzung, um die begrenzten Ressourcen hochgradig wertschöpfend in Produkten nutzen zu können und gleichzeitig schädliche Umweltauswirkungen bestmöglich zu vermeiden. Kriterien der Nachhaltigkeit werden dabei künftig stärker in Innovationsprojekte einfließen. (Möller et al. 2011, S. 261) Eine zielgerichtete Innovation erfordert strategische Investitionsentscheidungen. (Ott 2000, S. 108)

1.2 Problemstellung

Um nachhaltiges Wachstum zu realisieren, ist eine Entkopplung des Ressourcenverbrauchs vom wirtschaftlichen Wachstum notwendig. (Mappus et al. 2005, S. 72 f.) Eine derartige Entkopplung

erfordert Innovationen bei Produkten und Technologien. Die Handlungsspielräume des Unternehmens zur Verbesserung der Nachhaltigkeit „liegen in der Technologieentwicklung, der Auswahl von Inputfaktoren (Beschaffung von Stoffen, Personal, Maschinen und Anlagen), der Kombination von Produktionsfaktoren (Verfahrensauswahl) und der Logistik, der Programm-/ Produktgestaltung, Marketing und Verkauf sowie dem Human Resource Management, der Unternehmenskultur und dem Führungsstil“. (Stahlmann 2000, S. 55) Hierbei ist ebenfalls die Berücksichtigung der End-of-Life-Phase entscheidend, die den Umgang mit Produkten am Ende ihrer Lebensphase berücksichtigt. (Pfriem 2006, S. 428) Die Ausrichtung zu mehr Nachhaltigkeit erfordert von Unternehmen nicht nur einen Wandel der Unternehmenskultur, sondern ist darüber hinaus verbunden mit Anforderungen an eine innovative Produktgestaltung und Produktionstechnik. Gerade der Übergang zu einer nachhaltigen Produktion gemäß einem ökoeffektiven Ansatz, erfordert oftmals die Weiterentwicklung etablierter Technologien und ist verbunden mit der Abkehr von bewährten Materialien. Die bestehenden Wertschöpfungsstrukturen sind hierbei völlig neu zu überdenken. (Bauernhansl 2012b, S. 287 f.)

Im Rahmen eines ökoeffektiven Ansatzes sind neben den etablierten Produkten vor allem die Wertschöpfungsketten sowohl aus innerbetrieblicher als auch aus Sicht der gesamten Supply Chain infrage zu stellen. Vor allem im Bereich der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette haben Unternehmen größten Einfluss auf die Ausgestaltung der Produktion beispielsweise im Bezug zu den verwendeten Produktionsfaktoren (u.a. Prozesstechnologie, verwendete Ressourcen). Die innerbetriebliche Wertschöpfungskette (value chain) umfasst alle Aktivitäten der innerbetrieblichen Leistungserbringung (z.B. Beschaffung, Produktion, Technologieentwicklung). (Porter 2008, S. 36 ff) Die Umsetzung von Innovationen in dieser Wertschöpfungskette (z.B. in Form neuartiger Produktionstechnik) stellt Entscheider im Unternehmen vor Investitionsentscheidungen. Diese Investitionsentscheidungen führen aufgrund ihres strategischen Charakters zumeist zur langfristigen Kapitalbindung und zur Beeinflussung des Unternehmenserfolgs. (Herrmann 2010, S. 1 f.)

Wie beschrieben ermöglicht nachhaltiges Wirtschaften Unternehmen einerseits die Ausschöpfung zusätzlicher Potenziale zur Kostenoptimierung, die Schaffung von Wettbewerbsvorteilen und die Absicherung gegenüber zukünftigen Risiken. Ein Beispiel hierfür kann in der Substitution umweltschädlicher oder seltener Stoffe gesehen werden. (Braungart et al. 2010, S. 26 ff) Durch die frühzeitige Investition in die Entwicklung entsprechender Substitute lassen sich Wettbewerbsvorteile

realisieren und Risiken bezüglich eines potenziellen, zukünftigen Stoffverbots (beispielsweise auf Basis der REACH-Verordnung¹) begegnen. Andererseits ist der hierzu benötigte Wandel ebenfalls verbunden mit einem hohen Maß an Unsicherheit. Es ist notwendig, die mit dem Wandel verbundenen Risiken (z.B. Unsicherheit bzgl. der Marktakzeptanz) aber auch die Chancen und neuen Handlungsmöglichkeiten zu erkennen und zu bewerten. Gerade bei der Ausrichtung auf eine gesteigerte Ökoeffektivität der Produktion sind diese Handlungsmöglichkeiten den Unternehmen jedoch oftmals unbekannt. (Frei 1999, S. 55) Investitionsentscheidungen zur Steigerung der Ökoeffektivität in der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette sind aus heutiger Sicht unzureichend bewertbar. Es fehlt an einem geeigneten Modell, welches die im Bezug zur Ökoeffektivität stehenden Investitionen in die innerbetriebliche Wertschöpfungskette hinsichtlich der mit ihnen verbundenen Handlungsmaßnahmen aber auch der entsprechenden Risiken im Rahmen einer flexiblen und durch Unsicherheit gekennzeichneten Investitionsentscheidung bewertbar macht. (Bickhoff 2000, S. 33; Colman 2016, S. 55 ff)

1.3 Zielsetzung und Lösungsansatz

Zielsetzung dieser Arbeit ist es, eine Bewertbarkeit von Investitionsentscheidungen zur Steigerung der Ökoeffektivität innerbetrieblicher Wertschöpfungsketten zu ermöglichen und somit fundierte Investitionsentscheidungen zu realisieren. Hierzu soll ein Bewertungsmodell entwickelt werden, welches Investoren dabei unterstützt, die Handlungsoptionen und die mit der Investitionsentscheidung verbundenen Risiken, welche bei der Ausrichtung auf eine nachhaltige Produktion im Sinne der Ökoeffektivität entstehen, in die Investitionsentscheidung miteinzubeziehen.

Das Bewertungsmodell soll sich auf strategische Investitionsentscheidungen beziehen, da gerade diese aufgrund der mit ihnen verbundenen langfristigen Kapitalbindung von besonderer Bedeutung für einen nachhaltigen Unternehmenserfolg sind und daher der detaillierten Bewertung bedürfen. Darüber hinaus stellen gerade die strategischen Investitionen „[...] zum Teil auch innovative Investitionen dar.“ (Eilenberger 2003, S. 142) Die Ausrichtung auf Investitionen zur Steigerung der Ökoeffektivität ist dem hiermit verbundenen hohen Maß an Unsicherheit sowie der Flexibilität bezüglich

¹ REACH steht für „Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals“ und stellt eine Verordnung zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe dar.

der Handlungsoptionen geschuldet. Kernbereich der Betrachtung werden Investitionen der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette mit Fokus auf der Fertigung sein, da die Einflussmöglichkeiten zur Steigerung der Ökoeffektivität hier als besonders hoch anzusehen sind. (Bauernhansl 2012b, S. 276 ff)

Das Modell soll eine Beurteilung der mit der unsicheren Investitionsentscheidung verbundenen Handlungsmöglichkeiten sowie der dazugehörigen Risiken unterstützen. Darüber hinaus soll auf Basis bestehender Investitionsrechnungsverfahren eine monetäre Bewertung im Rahmen eines vertretbaren Aufwands für die Datenbeschaffung und Auswertung ermöglicht werden. Durch die Quantifizierung der Ergebnisse soll die Nachvollziehbarkeit des Modells gesteigert und dessen Akzeptanz durch den Anwender verbessert werden.

Eine wesentliche Grundanforderung des Bewertungsmodells stellt die systematische Einbeziehung externer Umwelteinflüsse dar. Die quantitative Bewertung der Investition soll somit unter Berücksichtigung der Unsicherheit und Flexibilität der Investitionsentscheidung erfolgen.

Das zu entwickelnde Bewertungsmodell soll dazu genutzt werden können, mögliche Handlungsspielräume im Zuge der Investitionsentscheidung im Vorfeld bewertbar zu machen und somit die Investitionsentscheidung abzusichern. Es soll darüber hinaus gleichermaßen Ausgangsbasis zur Gestaltung der jeweiligen Handlungsmaßnahmen darstellen und Unternehmen dabei unterstützen, durch aktives Management die Handlungsoptionen zu beeinflussen und somit nachvollziehbare Investitionsentscheidungen im Rahmen der Ökoeffektivität herbeizuführen.

Die Zielsetzung der Arbeit resultiert aus der beschriebenen und durch die Ausgangssituation charakterisierten Problemstellung. Aus der dargestellten Zielsetzung lässt sich die zentrale Forschungsfrage ableiten und wie folgt formulieren:

» Wie lassen sich Investitionen in die innerbetriebliche Wertschöpfungskette und mit Bezug zu Ökoeffektivität im Rahmen einer durch Flexibilität und Unsicherheit gekennzeichneten Investitionsentscheidung bewerten? «

Die Beantwortung dieser Forschungsfrage im Rahmen der vorliegenden Arbeit basiert auf drei grundlegenden Hypothesen, welche als Basis für den konzeptionellen Entwurf und die Ausgestaltung des Bewertungsmodells dienen:

Hypothese 1: Investitionen in die innerbetriebliche Wertschöpfungskette mit dem Ziel der Nachhaltigkeitssteigerung im Sinne der Ökoeffektivität - auch über die Einhaltung gesetzlicher Mindestanforderungen hinaus - können für Unternehmen zu Wettbewerbsvorteilen und zur langfristigen Sicherung des Unternehmenserfolgs beitragen und bedürfen somit einer fundierten strategischen Investitionsentscheidung.

Hypothese 2: Strategische Investitionen mit Bezug zur Ökoeffektivität lassen sich als Realloptionen im Sinne der Realloptionstheorie auffassen und bieten dem Investor Handlungsmöglichkeiten im Rahmen einer flexiblen und durch Unsicherheit gekennzeichneten Investitionsentscheidung.

Hypothese 3: Es ist möglich und aus investitionsplanerischer Sicht sinnvoll, die im Bezug zur Investitionsentscheidung stehenden Realloptionen strukturiert zu identifizieren und zu bewerten.

1.4 Methodik und Aufbau der Arbeit

1.4.1 Wissenschaftstheoretische Positionierung

Die Wissenschaftstheorie beschreibt die Ziele, Aussagen und grundlegenden Verfahrensweisen der Wissenschaft und kennzeichnet die Anforderungen und den Orientierungsrahmen, denen der wissenschaftliche Problemlösungsprozess unterliegt. Sie ermöglicht den Aufbau einer „[...] kritisch-schöpferischen Spannung“ (Raffée et al. 1979, S. 1 f.) zwischen neuen Wissenschaftskonzeptionen und dem bekannten Wissen und treibt somit den wissenschaftlichen Fortschritt zu leistungsfähigeren Lösungsalternativen.

Der Forschungsprozess selbst folgt dem kritischen Rationalismus, der durch die methodische Rationalität gekennzeichnet ist. Diese beschreibt, dass durch Anwendung bestimmter Methoden Fortschritte in der Problemlösung erreicht werden und dass die Basis der Problemlösung nicht absolut ist, sondern vielmehr selbstgeschaffen. Es ist daher Aufgabe des wissenschaftlichen Prozesses, nicht akzeptable Problemlösungen zu identifizieren und durch bessere zu ersetzen. (Raffée et al. 1979, S. 3 f.) Hierbei werden die Annahmen, welche im Rahmen des Forschungsprozesses getroffen werden sowie die Vorgehensweise selbst offengelegt und somit die intersubjektive Nachvollziehbarkeit gewährleistet. (Popper et al. 2005, S. 24)

Die vorliegende Arbeit verfolgt das Ziel, praxisrelevante Erklärungs- und Lösungsansätze anzubieten und ist somit dem Bereich der angewandten Wissenschaften zuzurechnen. In diesem Kontext baut die Arbeit auf vorhandenem praxisrelevantem Vorwissen auf. Wissenschaftsziel der Betriebswirtschaftslehre ist es „[...] für die betriebswirtschaftliche Praxis anwendbares Wissen und anwendbare Methoden bereitzustellen.“ (Kirsch 1979, S. 105) Die angestrebte wissenschaftliche Ausgestaltung des für die praktische Anwendung geeigneten Bewertungsmodells auf Basis des Realoptionsansatzes führt im vorliegenden Forschungsprozess zur Einordnung der Arbeit in die entscheidungsorientierte Betriebswirtschaftslehre, welche sich als Teilgebiet der Sozialwissenschaften mit dem Verhalten bzw. dem Handeln von Menschen befasst. (Schanz 1979, S. 121) Gleichzeitig beruhen Teilgebiete der Ausarbeitung, insbesondere im Bereich der Bewertung der innerbetrieblichen Wertschöpfungsketten, auf dem Gebiet der Naturwissenschaften. Sowohl die Sozialwissenschaften als auch die Naturwissenschaften stellen ihrerseits wiederum Teil der Realwissenschaften dar, deren kognitives Ziel „[...] in der Erklärung von sich in der Realität abspielenden Vorgängen“ zu sehen ist. (Schanz 1979, S. 122) Insgesamt bewegt sich die Abhandlung im Zwischenbereich der Naturwissenschaften sowie der mikroökonomischen Sozialwissenschaften (Betriebswissenschaften), dem klassischen Anwendungsfeld der Ingenieurwissenschaften (vgl. Abbildung 1-1). Die technische und gleichzeitig wirtschaftliche Orientierung der Ausarbeitung kann am besten durch die Forschungsdisziplin des Wirtschaftsingenieurwesens als „[...] transdisziplinäre Wissenschaft im Spannungsfeld zwischen Ingenieur- und Wirtschaftswissenschaften.“ (Schuh et al. 2013, S. 9) beschrieben werden. Als praxisorientierte Wissenschaft erfordert die Einordnung der Arbeit in das Wirtschaftsingenieurwesen gleichermaßen eine theoretische und eine pragmatische Herangehensweise.

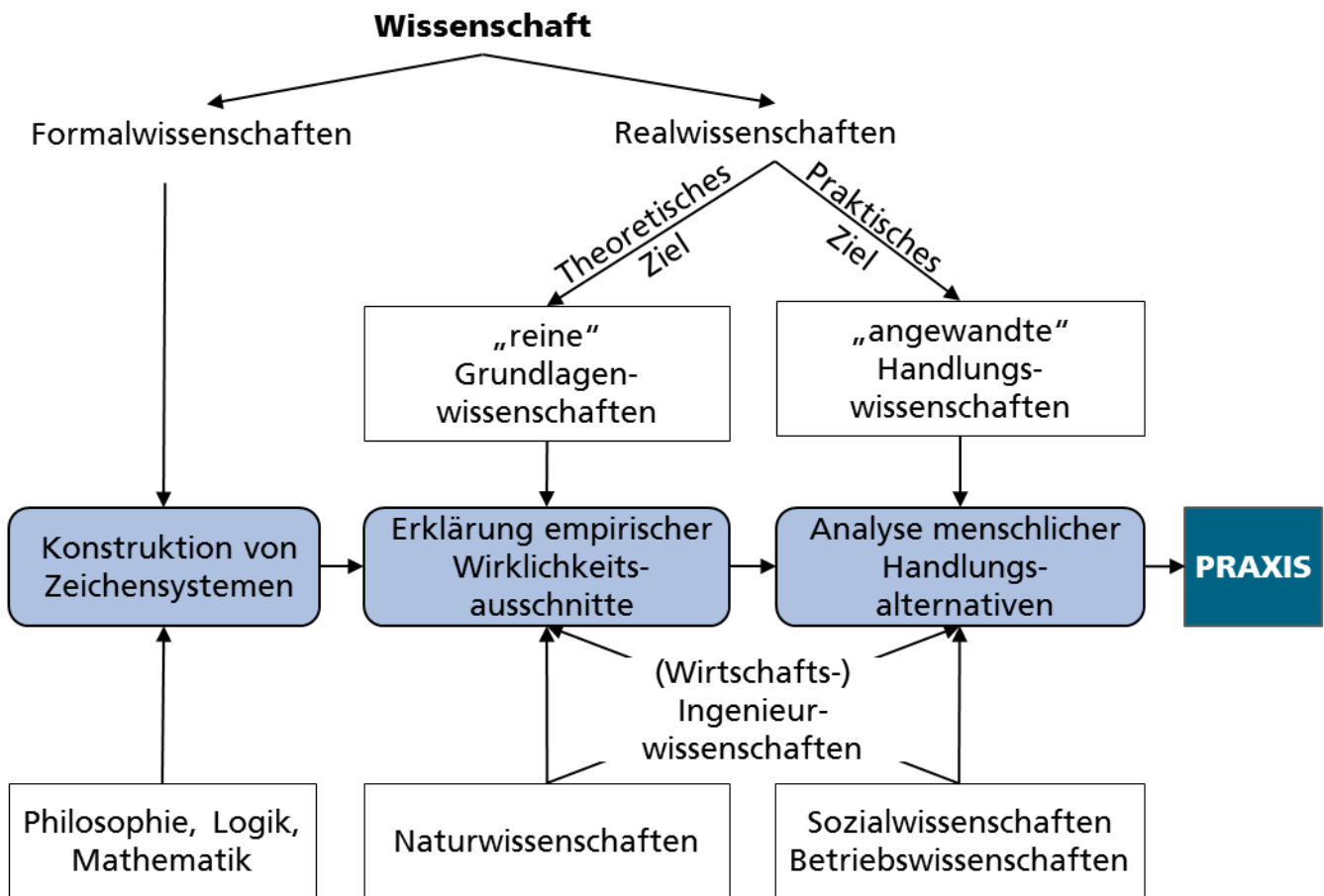


Abbildung 1-1: Wissenschaftstheoretische Einordnung (Ulrich et al. 1976, S. 305)

Die Einordnung der Arbeit in die Realwissenschaften erfordert eine Aussage zur wahrgenommenen Realität des Forschungstreibenden in Form einer konzeptionellen Basis. Diese Basis beschreibt ein Paradigma und ist in Form eines „[...] allgemein anerkannten, zentralen Grundmodells [...], das fruchtbare Begriffe, Fragestellungen und Lösungsverfahren liefert und während längerer Zeit selbst nicht in Frage gestellt wird“ zu sehen. (Ulrich et al. 1979, S. 169) Der Ansatz wählt als derartiges Forschungsparadigma den systemtheoretischen Ansatz nach Ulrich. Er stellt einen interdisziplinären Ansatz dar und versteht die systemorientierte Betriebswirtschaftslehre „[...] nicht mehr als reine Theorie, sondern als angewandte, den realen Problemstellungen nachgehende Unternehmensführungslehre, vergleichbar den Ingenieurwissenschaften.“ (Ulrich et al. 1979, S. 172) Er kommt dabei gleichermaßen einer terminologischen, heuristischen und integrativen Funktion nach und bietet mit seiner problemorientierten Sichtweise das Grundgerüst des Forschungsprozesses. (Ulrich et al.

1979, S. 172 f.) Der systemtheoretische Ansatz geht über die reine Entwicklung von betriebswirtschaftlichen Entscheidungsmodellen hinaus und verfolgt das Ziel der Schaffung von „[...] Gestaltungsmodellen für zukünftige Wirklichkeiten.“ (Wöhe et al. 2010, S. 18) Er erklärt damit nicht das Bestehende, sondern das Zukünftige in Form einer kybernetischen Wissenschaft.

Tangiert wird die Betrachtung darüber hinaus, vor allem im Bereich der Ökoeffektivität, durch den umweltorientierten Ansatz. (Jung 2006, S. 51 f.) Gemäß einen Teils der Vertreter dieses Ansatzes geht es in der vorliegenden Arbeit dabei nicht „[...] um eine völlige Neuorientierung des betriebswirtschaftlichen Denkens [in Form einer ethisch-normativen ökologischen Betriebswirtschaftslehre], sondern in erster Linie um die Einbeziehung ökologischer Fragestellungen in die traditionelle Betriebswirtschaftslehre.“ (Wöhe et al. 2010, S. 20) Die Verfolgung ökologischer Zielsetzungen wird dabei nicht im Widerspruch zu ökonomischen Zielen, sondern vielmehr als Teilziel zur Sicherung langfristigen Gewinnstrebens gesehen. (Strebel 1991, S. 212)

Gleichermaßen ist der Forschungsprozess beeinflusst durch den persönlichen Erfahrungshorizont und den wissenschaftlichen Hintergrund des Forschungstreibenden. Der persönliche Bezugsrahmen des dargestellten Forschungsprozesses ist daher ebenfalls stark geprägt durch das Wirken des Autors im Rahmen seiner beruflichen Tätigkeit. Als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fraunhofer- Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA konnte der Autor wertvolle Erfahrungen im Rahmen industrienaher Forschungsprojekte sowie industrieller Beratungsprojekte sammeln. In der Projektarbeit zeigte sich dabei immer wieder die wachsende Bedeutung von Nachhaltigkeitskriterien im Rahmen unternehmensorganisatorischer Aufgabenstellungen sowie der Notwendigkeit ihrer Berücksichtigung im Investitionsprozess. Besonders prägend waren vor allem die Arbeiten zur produktionsbezogenen Energieeffizienz. Einen wesentlichen Grundstein und die wissenschaftliche Basis lieferte das Forschungsprojekt „Total Energy Efficiency Management (TEEM)“ welches auf Grundlage einer Fraunhofer-weiten Studie zu den Potenzialen der Energieeffizienz in der Produktion initiiert wurde. (vgl. Neugebauer 2008) Das Forschungsprojekt EcolInvest lieferte darüber hinaus wesentliche Erkenntnisse zur Bewertung ökologisch orientierter Investitionen auf Grundlage der Realoptionstheorie. Vertieft wurden die Erfahrungen sowie die Erkenntnis der dem Forschungsprozess zugrundeliegenden Problemstellung vorwiegend in Industrieprojekten mit Bezug zur Energieeffizienz. Die Forderung nach energieeffizienteren Fabriken und Produktionsprozessen führte re-

gelmäßig zu den Fragestellungen nach der Bewertbarkeit der hiermit verbundenen Handlungsmöglichkeiten. Eine ausschließliche Anwendung klassischer Investitionsrechnungsverfahren lieferte nicht selten unbefriedigende Ergebnisse. Es zeigte sich daher wiederholt, dass gerade bei Investitionen mit Bezug zu natürlichen Ressourcen weitere Kriterien in die Bewertung einfließen müssen.

Durch die Kombination der Ansätze der Realoptionstheorie sowie der Ökoeffektivität wird ein relevanter Beitrag zur Lösung der Problemstellung geleistet und neues Wissen geschaffen. Der vorliegenden Arbeit liegt dabei ein heuristischer Bezugsrahmen zugrunde. Dieser versucht die eingenommene Perspektive durch Fragen und Interpretationsmuster zu verdeutlichen. (Kubicek 1976, S. 17) Zwar sind vor allem in den letzten Jahren zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten zur Anwendung des Realoptionsansatzes in verschiedenen Aufgabenfeldern (z.B. Immobilienbewertung, Unternehmensbewertung usw.) entstanden, im Rahmen der hier dargestellten Problemstellung existiert bisher jedoch geringes Erfahrungswissen. Vor diesem Hintergrund ist „[...] Forschung als ein Lernprozess zu begreifen, in dem vor allem näher zu untersuchende Probleme auf dem Hintergrund von Erfahrungswissen theoretisch gefasst und präziser definiert werden.“ (Kubicek 1976, S. 12)

Die Bewertung der Handlungsmöglichkeiten des Investors zur Steigerung der Ökoeffektivität auf Basis von Realoptionen schafft eine Struktur für die Entdeckung neuer Zusammenhänge in Form einer deduktiven Vorgehensweise. Wesentlicher Bestandteil der Arbeit ist somit die deduktive Konstruktion des Bewertungsmodells unter Verwendung von Realoptionen. Das Grundgerüst des Modells bilden der Bezugsrahmen zur Investitionsrechnung sowie das in Kapitel 2 beschriebene Konzept der Ökoeffektivität als konkrete Ausgestaltungsform der Forderung nachhaltigen Wirtschaftens.

Die Entdeckung neuer Zusammenhänge unterliegt dem Problem der Heuristik. Als heuristisch sind diejenigen Ansätze anzusehen, welche - anders als analytische Verfahren - nicht zwingend eine optimale Lösung aufzeigen. Vielmehr ist es die Intention heuristischer Verfahren, die Suche nach bestmöglichen Ergebnissen zu unterstützen. (Ulrich et al. 1979, S. 166) Hierzu werden Hypothesen aufgestellt und überprüft. Hypothesen dürfen nach transparenter und wiederholter Prüfung als (zumindest vorläufig) gesichert gelten. „Hypothesen, die an der Realität scheitern, sollen hingegen einen Anstoß für wissenschaftlichen Fortschritt liefern, indem die Ursachen des Scheiterns analysiert

und unter Heranziehung des dabei gewonnenen Wissens neue Hypothesen formuliert werden.“ (Kubicek 1976, S. 3)

Die Suche nach den bestmöglichen Ergebnissen im Rahmen des heuristischen Prozesses wird ermöglicht durch die Eingrenzung des Objektbereichs auf die innerbetriebliche Wertschöpfungskette sowie die Konkretisierung der Problemstellung auf die Bewertung der durch Flexibilität und Unsicherheit gekennzeichneten Handlungsspielräume des Entscheiders. Die Nutzung des Realoptionsansatzes zur Bewertung technologischer Aspekte begründet, wie erwähnt, die Einordnung der Arbeit in die Disziplin des Wirtschaftsingenieurwesens, deren Aufgabe es ist, Entscheidungsprozesse zu unterstützen und zu verbessern. Abbildung 1-2 beschreibt die Aufgabenstellung der Arbeit angelehnt an die Aufgaben der Betriebswirtschaftslehre. Demnach lassen sich die Ziele der Aufklärung und Steuerung ableiten, die in wechselseitiger Beziehung zueinander sowie zum Entscheidungsprozess und zu den wissenschaftlichen Disziplinen stehen (vgl. Abbildung 1-2). (Kirsch 1979, S. 110 ff) Ziel ist die Entscheidungsunterstützung bei der Investition zu Steigerung der Ökoeffektivität der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette. Hierzu werden einerseits das Verständnis über das reale Systemverhalten und die Wechselwirkungen innerhalb der Investitionsbestandteile sowie andererseits entsprechende Bewertungsmethoden zur vereinfachten Abbildung des Systems benötigt. Basis der Aufklärungs- und Konzeptionsaufgabe stellen die wissenschaftlichen Disziplinen dar.

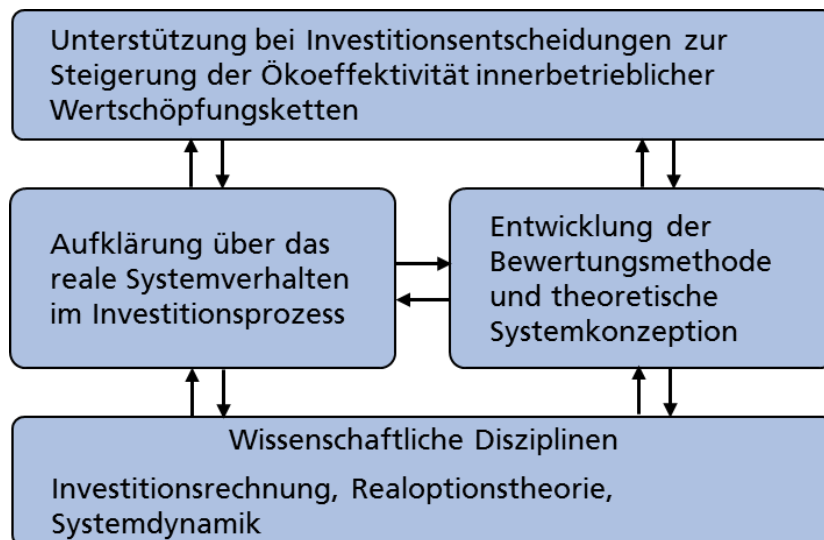


Abbildung 1-2: Die Aufgabenstellung der Arbeit in Anlehnung an (Kirsch 1979, S. 110)

Durch das Aufstellen von Forschungsfragen erfolgt der Übergang von der Analyse zur Erklärungsaufgabe der vorliegenden Problemstellung sowie zur Gestaltungsaufgabe im Sinne der Wissenschaftsziele. (Schanz 1988, S. 28) Bestandteil der Erklärungsaufgabe ist die Beschreibung des Zusammenhangs zwischen den Möglichkeiten zur Generierung zusätzlichen Nutzens durch ein nachhaltiges Wirtschaften in Form der beschriebenen Ökoeffektivität einerseits sowie der Handlungsflexibilität und Entscheidungsfreiheit des Investors andererseits. Wesentlicher Bestandteil dieser Entscheidungsfreiheit ist die Beschreibung des Einflusses von Flexibilität und Unsicherheit auf die Investitionsentscheidung.

Ziel der Gestaltungsaufgabe ist es, das Erkenntnisobjekt der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette rational im Sinne der Problemstellung zu gestalten. (Schanz 1988, S. 37) Dies wird unterstützt durch die Entwicklung des Modells zur Bewertung der Investition im Rahmen des Realloptionsansatzes. Durch den Realloptionsansatz erfolgt der Übertrag der Erkenntnisse aus der Erklärungsaufgabe auf die Investitionsentscheidung. Der Realloptionsansatz selbst stellt ein Modell dar, bei dem der Entscheider in einer durch Unsicherheit gekennzeichneten Situation handelt. (Dixit et al. 1994, S. 7) Ziel des Bewertungsmodells ist es, die Handlungsmöglichkeiten des Entscheiders in Form von Realoptionen im Bezug zur Ökoeffektivität bewertbar zu machen und somit die Investitionsentscheidung optimal ausgestalten zu können. Wesentliche Bestandteile eines Vorgehens zur Modellanwendung müssen daher die Identifikation bestehender Handlungsalternativen sowie die quantitative Bewertung dieser Handlungsmöglichkeiten sein.

1.4.2 Gliederung der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit ist begründet durch die Phasen des Forschungsprozesses zur angewandten Forschung nach Ulrich (vgl. Abbildung 1-1, links). (Ulrich 2001, S. 195) Ulrich definiert ein Modell bestehend aus sieben Phasen. Die an das Modell von Ulrich angelehnte Gliederung der Arbeit ist entsprechend Abbildung 1-3 rechts strukturiert. Wesentlicher Bestandteil des Modells ist die Einbindung der Praxis, die neben der Ein- und Ausleitung vor allem in den Phasen 4 und 6 zum Tragen kommt. Die nachfolgend beschriebenen Kapitel der Arbeit umfassen alle geforderten Phasen des von Ulrich vorgeschlagenen Modells.

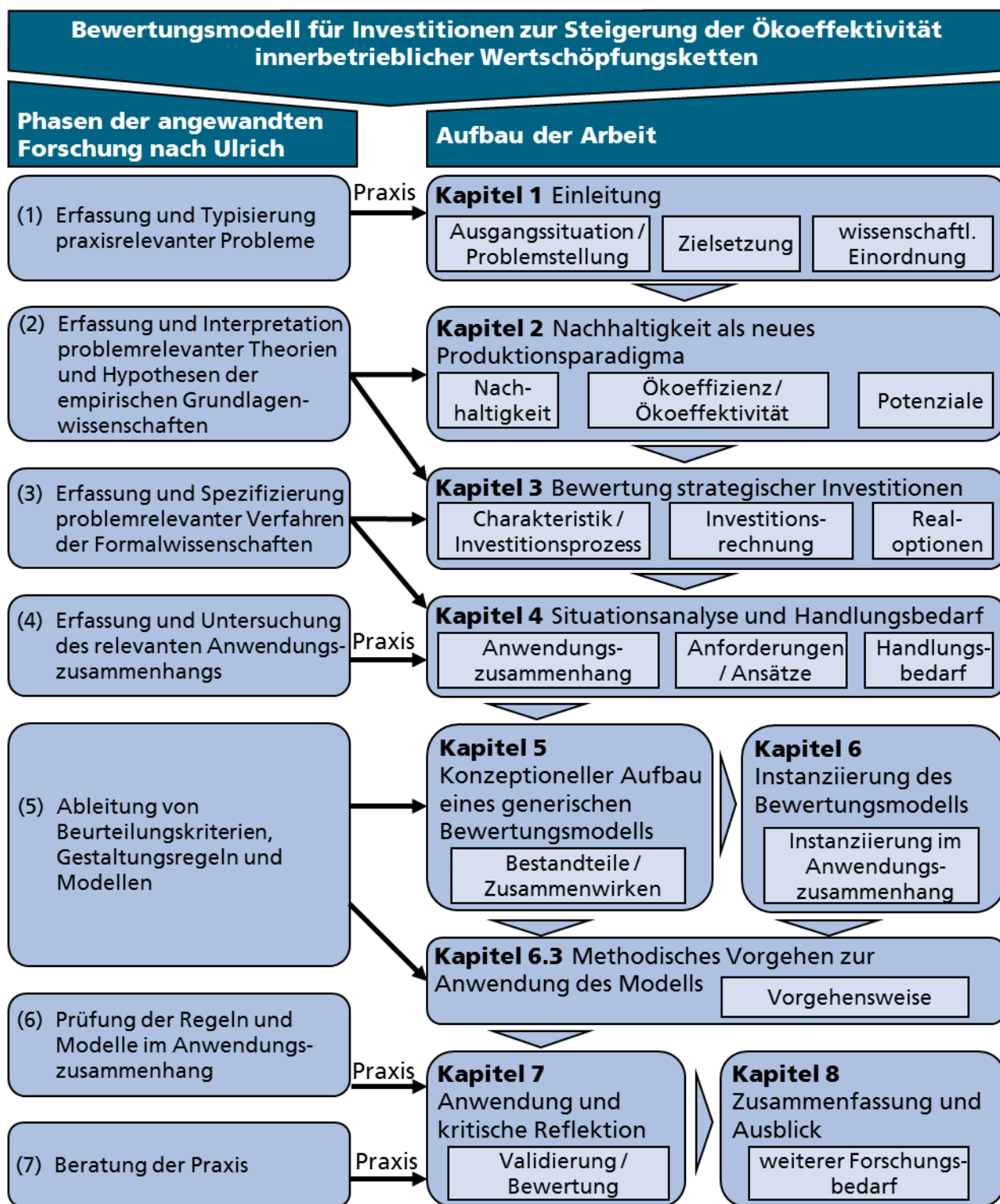


Abbildung 1-3: Aufbau der Arbeit in Anlehnung an (Ulrich 2001, S. 195)

Kapitel 1 lieferte den wissenschaftstheoretischen Rahmen für die Ausgestaltung der Arbeit. Auf Basis der aktuellen Ausgangssituation sowie der hieraus abgeleiteten Problemstellung wurde die Aufgabenstellung beschrieben und dem Prozess des wissenschaftlichen Problemlösens untergeordnet. Hierdurch wurde das wissenschaftstheoretische Fundament für die Ausarbeitung gelegt und die zu wählende Forschungsmethodologie aufgezeigt. Durch Ableitung der zentralen Forschungsfrage wurde die Aufgabenstellung zusammenfassend dargestellt. Das Aufstellen von Hypothesen legte den konzeptionellen Rahmen zur Lösung der Aufgabenstellung.

Kapitel 2 beschreibt die Grundlagen des für die Aufgabenstellung wesentlichen Themenfeldes des nachhaltigen Wirtschaftens mit den Schwerpunkten Ökoeffizienz und Ökoeffektivität. Einführend wird der Begriff der Nachhaltigkeit definiert und seine Bedeutung für ein künftiges weltweites Wachstum aufgezeigt. Es werden die grundlegenden Strategien der Nachhaltigkeit beschrieben und bewertet. Des Weiteren werden die allgemeinen Veränderungen, welche sich aus der Forderung nach mehr Nachhaltigkeit für produzierende Unternehmen ergeben, zusammenfassend dargestellt. Im weiteren Verlauf des zweiten Kapitels werden die beiden Ausprägungsmöglichkeiten zur Erreichung nachhaltigen Wachstums in Form der Ökoeffizienz sowie der Ökoeffektivität näher beschrieben. Schwerpunkt der Betrachtung liegt dabei vor allem auf der Thematik der Ökoeffektivität, welche Grundlage für die weitere Ausarbeitung darstellen wird.

Kapitel 3 beschreibt die für eine Nachhaltigkeitssteigerung notwendige Thematik strategischer Investitionen. Ausgehend von einer allgemeinen Definition des Investitionsbegriffs werden verschiedene Charakterisierungsmöglichkeiten für Investitionen aufgezeigt und der Betrachtungsbereich auf das für die Aufgabenstellung relevante Gebiet strategischer Investitionen eingegrenzt. Des Weiteren wird der Prozess der Entscheidungsfindung im Rahmen der Investitionsplanung und -durchführung beschrieben und die besondere Bedeutung der strategischen Planung für die Aufgabenstellung hervorgehoben. Auf dieser Grundlage wird im weiteren Teil des dritten Kapitels die Investitionsrechnung mit ihren unterschiedlichen Modellen zusammenfassend dargestellt. Hierbei werden zunächst die bekanntesten Verfahren statischer und dynamischer Investitionsrechnung grob erläutert und allgemein bewertet. Auf Basis der dynamischen Investitionsrechnung werden die Möglichkeiten zur Berücksichtigung von Unsicherheit und Flexibilität in der Investitionsentscheidung sowie die hierzu anwendbaren Investitionsverfahren näher dargestellt. Besondere Beachtung

findet hierbei der Realloptionsansatz als ein auf der Finanzrechnung beruhendes und auf Realinvestitionen anwendbares Bewertungsmodell.

Kapitel 4 grenzt den für die Problemstellung relevanten Anwendungsbereich ein. Im Rahmen des vierten Kapitels werden dabei wesentliche Ansätze zur Nutzung des Realloptionsansatzes für den beschriebenen Objektbereich dargestellt und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für die Aufgabenstellung bewertet. Darauf aufbauend wird das forschersiche Delta identifiziert und in Form eines Handlungsbedarfs beschrieben. Dieser Handlungsbedarf stellt den Ausgangspunkt für den Aufbau und die Ausgestaltung des Bewertungsmodells dar.

Kapitel 5 widmet sich dem grundlegenden Aufbau eines generischen Bewertungsmodells. Das Kapitel zeigt auf, welche Anforderungen das Modell erfüllen muss und gliedert diese in allgemeine und gemäß Aufgabenstellung spezifische Anforderungen an das Modell. Es bietet somit den konzeptionellen Rahmen und schafft ein Grundgerüst für die spätere Instanziierung des Modells zur Bewertung von Investitionen mit Bezug zur Ökoeffektivität auf Basis von Realoptionen.

In Kapitel 6 findet die Instanziierung des Modells statt. Aufbauend auf den identifizierten Anforderungen werden die einzelnen Teilbereiche des Bewertungsmodells im Anwendungszusammenhang ausformuliert. Abschnitt 6.3 ergänzt ein methodisches Vorgehen zur Anwendung des Modells in der industriellen Praxis. Die hier entwickelte Vorgehenssystematik dient als Handlungsleitlinie für die systematische Modellnutzung im Anwendungszusammenhang.

Kapitel 7 dient der Überprüfung des Bewertungsmodells im Anwendungszusammenhang. Hierzu wird das Modell an einer realen Industrieanwendung validiert und die erzielten Ergebnisse werden analysiert. Es erfolgt eine kritische Reflektion der gewonnenen Erkenntnisse.

Das achte Kapitel fasst die Erkenntnisse zusammen und gibt einen Ausblick über den weiteren Forschungsbedarf.

2 Nachhaltigkeit als neues Produktionsparadigma

2.1 Nachhaltigkeit als Basis für Wachstum

Die Grundzüge der Forderung nach nachhaltigem Wirtschaften sind bereits auf das Jahr 1713 zurückzuführen, als Hans Carl von Carlowitz den Begriff der Nachhaltigkeit in Bezug auf die Bewirtschaftung von Wäldern prägte. (Hauff et al. 2009, S. 2 f.) Er forderte, dass nicht mehr Bäume abgeholzt werden dürften, als im gleichen Zeitraum nachwachsen können. Beachtung erhielt der Begriff der Nachhaltigkeit vor allem durch den Bericht zu den „Grenzen des Wachstums“, der 1972 vom Club of Rome veröffentlicht wurde und die Begrenztheit natürlicher Ressourcen hervorhob. (Meadows 1987, S. 17 ff)

Eindeutig definiert wurde der Begriff der Nachhaltigkeit 1987 im Brundtland-Report von der Weltkommission für Entwicklung und Umwelt. Demnach ist als nachhaltig (sustainable) eine „[...] Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können“ zu bezeichnen. (Hauff 1987, S. 46) Der Begriff der Nachhaltigkeit umfasst dabei gleichermaßen ökonomische, ökologische und soziale Gesichtspunkte. (Hauff 2012, S. 12) Zu den sozialen Aspekten der Nachhaltigkeit zählen beispielsweise die Wahrung der Menschenrechte, die Vermeidung von Kinderarbeit und die Armutsbekämpfung. (Homann 1996, S. 33 ff) Im Rahmen der Arbeit sind vor allem die ökonomischen und ökologischen Aspekte im Sinne einer ökoeffizienten bzw. ökoeffektiven Produktion von Bedeutung. Daher wird im Nachfolgenden auf diese Aspekte weiter eingegangen.

Politische und ökonomische Bedeutung erhielt das Thema vor allem beim UN-Weltgipfel für Umwelt und Entwicklung, der 1992 in Rio de Janeiro stattfand, sowie der Vereinbarung des Kyoto-Protokolls 1997, bei dem sich die Industrienationen verpflichteten, ihre Treibhausgas-Emissionen zu reduzieren. (Hauff et al. 2009, S. 8) 2012 zeigte der Club of Rome auf, dass zur langfristigen Sicherstellung der menschlichen Lebensgrundlage ein Wandel zu mehr Nachhaltigkeit erforderlich ist. (vgl. Randers 2012) Im Dezember 2015 einigten sich 195 Länder der internationalen Gemeinschaft

im Rahmen der UN-Klimakonferenz auf eine Begrenzung der globalen Erwärmung auf deutlich unter 2°C.

„Wenn Nachhaltigkeit das Ziel ist und wenn die Welt begrenzt ist, dann ist Wirtschaftswachstum dann und nur dann möglich, wenn es sich vom Wachstum des Material- und Energiedurchsatzes abkoppelt.“ (Herrmann 2010, S. 3) Zur Erreichung einer nachhaltigen Entwicklung lassen sich drei grundlegende Strategien unterscheiden: (Grunwald 2006, S. 75 ff)

- die Effizienzstrategie
- die Suffizienzstrategie
- die Konsistenzstrategie

Die *Effizienzstrategie* verfolgt das Ziel einer möglichst effizienten Produktion. Effizienz ist dabei gekennzeichnet als Verhältnis zwischen Input- und Outputgröße. Demnach ist der angestrebte Output mit einem möglichst geringen Einsatz an Ressourcen (Minimalprinzip) oder unter Vorgabe eines festgelegten Ressourceninputs ein möglichst großer Output zu erzeugen (Maximalprinzip). Das Effizienzprinzip lässt sich über verschiedene Konzepte realisieren. Die Verlängerung von Produktlebenszyklen sowie die Weiterentwicklung bestehender Technologien (z.B. höhere Effizienzklassen bei Motoren) stellen Umsetzungsmöglichkeiten der Effizienzstrategie dar. Kritiker der Effizienzstrategie bemängeln, dass die Effizienzstrategie das Problem der begrenzten Ressourcen lediglich verschiebe, es jedoch nicht löse. Einige Kritiker argumentieren daher, dass die Effizienzstrategie sogar hemmend für eine nachhaltige Entwicklung sei, da sie die Notwendigkeit der eigentlichen Problemlösung kaschiere. (Braungart 2009, S. 18 ff)

Die *Suffizienzstrategie* setzt auf Verzicht und Genügsamkeit als Lösungsmöglichkeit zur Begegnung des Problems begrenzter Ressourcen. (Rogall 2008, S. 180 ff) Ihre Vertreter fordern, dass Konsumenten ihren Lebensstil dahingehend verändern, dass sie weniger und somit umweltverträglicher konsumieren. Als Kritikpunkte der Suffizienzstrategie können festgehalten werden, dass sie ähnlich wie auch die Effizienzstrategie auf eine Reduktion der Stoffströme in der Wirtschaft ausgelegt ist. Andererseits ist die Wirtschaft jedoch auf Konsum als Basis für Wachstum angewiesen. (Herrmann 2010, S. 50) Darüber hinaus ergibt sich aus der Suffizienzstrategie die Problematik des freiwilligen Verzichts der Konsumenten, der sich nur sehr schwer realisieren lässt. (Rink 2002, S. 232)

Die *Konsistenzstrategie* setzt auf die Vereinbarkeit ökologischer und ökonomischer Aspekte. (Huber 2000, S. 107 ff) Sie erfordert die Ausgestaltung der Produktion in der Art, dass das wirtschaftliche Wachstum keine schädlichen Auswirkungen auf die Umwelt ausübt.

2.2 *Auswirkungen der Nachhaltigkeitsforderung auf die Industrie*

2.2.1 *Veränderte Unternehmensumwelt*

Ein Unternehmen stellt ein „[...] offenes, dynamisches, komplexes, autonomes, marktgerichtetes, produktives, soziales System“ dar, welches auf ständige Veränderungsprozesse individuell reagieren muss. (Thommen et al. 2012, S. 43) Unternehmen stehen in Wechselwirkung mit ihrer Umwelt. (Schönsleben et al. 2009, S. 792) Gemäß dem systemtheoretischen Ansatz nach Ulrich werden hierbei breit ausgelegte zum Teil „[...] altruistische oder langfristig unternehmenswertsteigernde Zielsetzungen“ verfolgt. (Stahlmann 2000, S. 60) Nachhaltigkeit wird auf Basis des gesellschaftlichen Wandels immer mehr zu einem Wettbewerbsfaktor für produzierende Unternehmen. Die Stakeholder, welche die internen und externen Anspruchsgruppen des Unternehmens (z.B. Mitarbeiter, Eigentümer, Fremdkapitalgeber, Staat usw.) darstellen, honorieren immer stärker ein nachhaltigkeitsorientiertes Engagement. (vgl. u.a. Freeman 1984)

Das gesteigerte Bewusstsein der Konsumenten beispielsweise lässt Nachhaltigkeitsfaktoren zu Kriterien der Kaufentscheidung werden und Unternehmen können sich auf diese Weise vom Wettbewerb abheben. (Burschel et al. 2004, S. 439 ff) Auch bei Investoren werden Nachhaltigkeitskriterien zunehmend zu Aspekten der Investitionsentscheidung (z.B. Nachhaltigkeitsindizes für börsennotierte Unternehmen). (Lackmann 2010, S. 19 ff) Die Einbeziehung nachhaltigkeitsorientierter Gesichtspunkte sowie deren Wirkung auf die Anspruchsgruppen des Unternehmens wird wesentlicher Bestandteil der unternehmerischer Entscheidungsprozesse wie beispielsweise der Innovationsauswahl. (Möller et al. 2011, S. 262)

Auf Basis der Rahmenbedingungen nachhaltigem Wirtschaften entwickelte sich in den letzten Jahrzehnten des vergangenen Jahrhunderts der Begriff der industriellen Ökologie, welche das Zusammenwirken zwischen industrieller Produktion und Ökosystem berücksichtigt. (vgl. u.a. Socolow 1994; Erkman 2003) Ziel der industriellen Ökologie ist eine umweltschonende Optimierung von Materialkreisläufen, angefangen bei den Rohmaterialien bis hin zur Entsorgung. (Herrmann 2010, S. 56 f.) In den letzten Jahren findet vor allem der Begriff der Green Economy starke Beachtung. „Die Green Economy ist eine Wirtschaftsform, die sich durch innovationsorientiertes, ökologisches und partizipatives Wachstum auszeichnet.“ (Büchele et al. 2012, S. 137) Gestützt und vorangetrieben werden Fragestellungen der Green Economy auf nationaler und internationaler Ebene. So forderte beispielsweise der Generalsekretär der Vereinten Nationen Ban Ki-moon 2011 auf dem Weltwirtschaftsgipfel in Davos den Aufbruch in eine freie Marktrevolution der globalen Nachhaltigkeit. (vgl. United Nations 2011) Auf nationaler Ebene dient die umweltpolitische Gesetzgebung, welche externen Einfluss auf die Unternehmen ausübt, als ein wesentlicher Impulsgeber und schafft entsprechende Rahmenbedingungen für ökologieorientierte Innovation und Investition.

Umweltpolitische Instrumente zur Sicherung der Nachhaltigkeit lassen sich gemäß ihrer Wirkweise im Wesentlichen in *direkt wirkende*, *indirekt wirkende* und *umweltökonomische* Instrumente unterscheiden. (vgl. Rogall 2008) Die *direkt wirkenden Instrumente* nehmen einen direkten Einfluss auf die Umwelteinwirkungen durch das Produktionsgeschehen. Werkzeuge hierbei sind vor allem Gebote und Verbote. Bis Ende der 80er Jahre stellten sie die wichtigsten umweltpolitischen Maßnahmen dar. Die direkt steuernden Instrumente führten dabei vor allem zur Entwicklung von End-of-Pipe-Technologien², wodurch der Eintrag von Schadstoffen in die Umwelt vermieden werden sollte. Kritikpunkt an derartigen Technologien ist jedoch, dass sie nicht auf die Vermeidung der Schadstoffe ausgelegt sind, sondern diese lediglich konzentrieren (z.B. durch Filtration oder Kläranlagen). Darüber hinaus rufen vor allem Verbote eine abwehrende bis sogar innovationshemmende Haltung hervor. (Herrmann 2010, S. 54)

² End-of-Pipe-Technologien zählen zu den Technologien des additiven Umweltschutzes, bei denen der eigentliche Produktionsprozess um zusätzliche Prozessstufen zur Verbesserung des Umweltschutzes ergänzt wird. Sie stellen technische Maßnahmen am Ende eines Prozesses dar und verfolgen das Ziel, durch die Behandlung von Abfall, Abluft oder Abwasser die Umweltwirkung zu verringern. Zu den End-of-Pipe-Technologien zählen z.B. Partikelfilter und Entschwefelungsanlagen.

Neuere Instrumente der Umweltpolitik setzen auf die Kooperationsbereitschaft der involvierten Akteure sowie auf die Wirksamkeit der Marktregulierung. Hierzu zählen die *indirekt* wirkenden und die *umweltökonomischen* Instrumente. Erstere nutzen unter anderem freiwillige Selbstverpflichtungen der Industrie, aber auch Förderprogramme zur Schaffung von Anreizen. Zu den indirekt wirkenden Instrumenten zählen beispielsweise Investitionshilfen und Förderprogramme sowie aufklärende Maßnahmen wie beispielsweise die Publikation von Nachhaltigkeitsberichten. (Rogall 2008, S. 239) Die umweltökonomischen Instrumente zielen darauf ab, einem möglichen Marktversagen der indirekt wirkenden Instrumente zu entgegnen, indem sie geeignete Rahmenbedingungen für nachhaltiges Wirtschaften gestalten. Zu den umweltökonomischen Instrumenten zählen beispielsweise handelbare Nutzungsrechte (z.B. Emissionsrechte) und Quotenmodelle. Derartige Maßnahmen wirken attraktivitätssteigernd und können Unternehmen Marktvorteile durch nachhaltiges Wirtschaften ermöglichen. Ein bekanntes Beispiel für umweltökonomische Instrumente stellt das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) dar. (vgl. BMJ 2012) Die drei beschriebenen Kategorien werden ergänzt durch sonstige Instrumente, zu denen beispielsweise Rücknahmepflichten für Verpackungen und Materialien sowie weitere planerische Instrumente (z.B. zur Flächennutzung) zählen. (Rogall 2008, S. 261) Als besonders effektiv wird eine geeignete Kombination aus den verschiedenen Maßnahmenkategorien gesehen. So führen beispielsweise Gesetze und Richtlinien zur Produkthaftung zu einer stärkeren Berücksichtigung der Auswirkungen der Produkte auf die Umwelt. Beispiel hierfür ist das Verbot des Einsatzes bestimmter umweltschädlicher Substanzen in Produkten gemäß der RHOS-Richtlinie. (vgl. EU-Parlament 2011) Ergänzt werden kann eine derartige Maßnahme durch die beschriebene Produktrücknahmeverpflichtung, bei denen der Hersteller verpflichtet ist, seine Produkte am Ende des Produktlebenszyklus zurückzunehmen. Darüber hinaus kann der Produzent beispielsweise zur Einhaltung von bestimmten Recyclingquoten angehalten werden. (Herrmann 2010, S. 60) Im Gegensatz zu den strikten gesetzlichen Vorgaben durch direkte Instrumente resultieren vor allem aus den indirekten und umweltökonomischen Instrumenten für Unternehmen neue, flexible Handlungsmöglichkeiten welche das Innovationsverhalten der Unternehmen anregen und in Investitionsentscheidungen Berücksichtigung finden müssen.

Insgesamt wirken die gesellschaftlichen und politischen Veränderungen somit als externe Umwelteinflüsse auf die Unternehmen. Die veränderte Unternehmensumwelt ermöglicht neue Marktchancen, erfordert jedoch gleichermaßen eine Anpassung an die geänderten Rahmenbedingungen, um langfristig wettbewerbsfähig zu sein.

2.2.2 Lebenszyklusorientierung und Nachhaltigkeit

Zur Umsetzung der Nachhaltigkeitsforderungen müssen gleichermaßen ökonomische, ökologische und auch soziale Anforderungen realisiert werden, welche darüber hinaus in den bestehenden Betrieb zu integrieren sind. (Pufé 2014, S. 104 ff) „Diese Aufgabe erfordert im hohen Maße den Umgang mit Veränderungsprozessen, Unsicherheit und Komplexität.“ (Herrmann 2010, S. 62) Wesentliche Voraussetzung zur Verbesserung der Nachhaltigkeit vor allem im Bereich der Produktion ist eine ganzheitliche Betrachtung im Rahmen einer lebenszyklusorientierten Sichtweise, bezogen auf Produkte und Prozesse. Lebenszykluskonzepte lassen sich dabei in drei Klassen unterteilen. (Herrmann 2010, S. 63 f.)

Die *flussorientierte* Sichtweise gliedert das Produktleben in zeitliche Abschnitte. Angefangen bei der Rohstoffgewinnung und dem Produktdesign über die Nutzungsdauer bis hin zum Recycling werden einzelne Produktlebensphasen definiert. Die flussorientierte Sichtweise lässt sich unterscheiden in lineare und geschlossene Lebensphasenkonzepte. Während die linearen Konzepte mit der Entsorgung enden, berücksichtigen geschlossene oder zyklische Konzepte die Rückgewinnung und den erneuten Einsatz der Materialien in neuen Produkten. Den geschlossenen Konzepten kommt somit eine besondere Bedeutung im Rahmen einer nachhaltigen Produktion zu. (Faßbender-Wynands 2001, S. 71 ff)

Die *zustandsorientierte* Sichtweise charakterisiert den Lebenszyklus eines Produktes gemäß wesentlicher Zustandsgrößen. Zu diesen Größen zählen vorwiegend die Phasen von Einführung, Wachstum, Reife und Sättigung und Rückgang, die Produkte gemäß praktischer Erfahrungen durchlaufen. (Herrmann 2010, S. 71)

Die *integrierte* Sichtweise schließlich kombiniert Sichtweisen unterschiedlicher Lebensphasen wie beispielsweise der Entwicklungs- und der Marktphase mit dem Verlauf wesentlicher Zustandsgrößen.

Ben wie Umsatz, Kosten, aber auch ökologischen Aspekten wie beispielsweise Emissionen von Abgasen und Schadstoffen. Während klassische Konzepte ausschließlich den Marktzyklus von Produkten betrachten, berücksichtigen andere Ansätze auch den Entstehungszyklus (erweiterter Produktlebenszyklus). Dieser umfasst neben den klassischen Phasen auch den Bereich der Bewertung und Auswahl von Produktideen. (Herrmann 2010, S. 71) In Anbetracht der zunehmend anfallenden Kosten bei Produktentsorgung wurden die Konzepte um den Bereich der Entsorgungsphase ergänzt.

Neben den Produkten besitzen auch Produktionsprozesse, Fabriken und ganze Unternehmen entsprechende Lebenszyklen. (Bullinger et al. 2009, S. 128 ff) Besondere Bedeutung findet im Kontext der für die Produkte und Prozesse genutzten Technologie das von Foster entwickelte Technologielebenszyklus-Modell (S-Kurven-Modell), welches den Zusammenhang zwischen der Technologieleistungsfähigkeit und dem kumulierten Aufwand für Forschung und Entwicklung visualisiert. (Foster 1985, S. 127 ff) Es beschreibt die dynamische Veränderung der strategischen Bedeutung einer Technologie im Laufe ihres Lebenszyklus. Das Technologielebenszyklus-Modell kann unter anderem dazu genutzt werden, den optimalen Zeitpunkt des Übergangs von einer bestehenden Technologie zu einer anderen, innovativen Technologie zu erläutern.

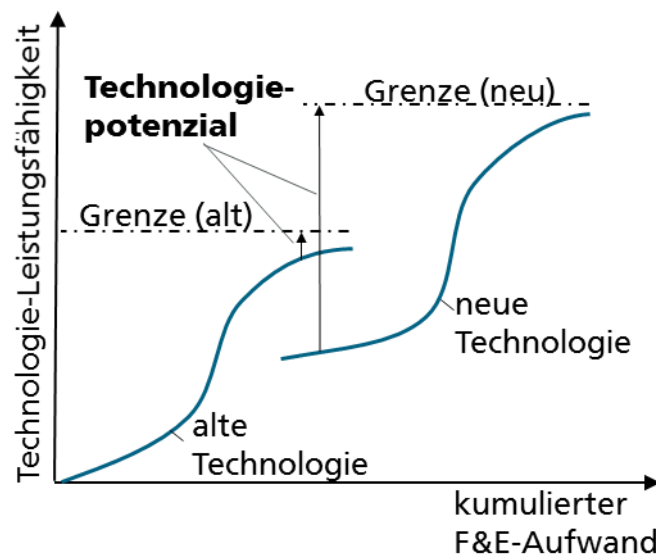


Abbildung 2-1: Das Technologielebenszyklus-Modell (Krubasik 1982, S. 29)

Die Lebenszyklen von Produkten, Prozessen, Technologien und Unternehmen sind eng miteinander verknüpft. Neue Produkte erfordern unter Umständen die Entwicklung oder Nutzung neuartiger Produktionstechnologien. Produkt- und Technologielebenszyklus wiederum sind eingebettet in den Nachfragelebenszyklus. Dieser stellt somit eine übergeordnete Ebene dar und beschreibt die Bedürfnisentwicklung nach einem Produkt über die Zeit. (Herrmann 2010, S. 78)

2.3 Ökoeffizienz und Ökoeffektivität als Ausprägungsformen der Nachhaltigkeit

Vor allem im Zusammenspiel der ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeit kommt den Begriffen der Ökoeffizienz und der Ökoeffektivität besondere Bedeutung zu. (Stahlmann 2000, S. 129 ff) Gerade die Ökoeffizienz fand in den letzten Jahren zunehmende Beachtung. Jüngere Ansätze fordern, dass Bestrebungen der Ökoeffizienz stärker erweitert werden um Betrachtungen der Ökoeffektivität. Ökoeffizienz und Ökoeffektivität unterscheiden sich dabei grundsätzlich in ihrer Wirkweise und Zielfokussierung sowie in der Ergebnisbeurteilung. Während Vertreter der Ökoeffizienz der beschriebenen Effizienzstrategie zur Steigerung der Nachhaltigkeit zuzuordnen sind, fokussieren die Verfechter der Ökoeffektivität stärker eine Konsistenzstrategie. Aufgrund ihrer Bedeutung für die Aufgabenstellung der Arbeit sollen die Begriffe der Ökoeffizienz und Ökoeffektivität nachfolgend näher betrachtet werden.

2.3.1 Ökoeffizienz

Gemäß dem ökonomischen Prinzip stellt Effizienz ein zentrales Anliegen im Bereich der Ressourcenallokation dar. (Kiener 2009, S. 16 f.) Als Effizienz kann im Allgemeinen eine Größe verstanden werden, „[...] mit deren Hilfe zwei in Beziehung zum Zielsystem einer Unternehmung stehende Objektkategorien durch Quotienten- oder Differenzbildung in abstufbare Merkmale qualifiziert werden können und dadurch die Selektion einer bestgeeigneten Kombination herbeigeführt wird.“ (Fessmann 1980, S. 30 f.) Somit kann Effizienz vereinfacht als das Streben danach aufgefasst werden, Dinge richtig zu tun. (Schwab 2008, S. 19)

Für den Begriff der Ökoeffizienz existiert bislang keine einheitliche Definition, sondern lediglich Versuche der Abgrenzung. (Günther 2005, S. 13) Nach Dyllick wird als ökologische Effizienz „[...] eine Form der Leistungserstellung verstanden, die ihre Ziele unter Minimierung von Stoffdurchsatz und Umweltbelastung erreicht.“ (Dyllick 1992, S. 397) Sie kann somit auch als „[...] Messgröße für die verursachte Umweltbelastung pro erstellter Leistung“ (Schaltegger et al. 1995, S. 2) verstanden werden. Allen Beschreibungsansätzen ist jedoch gleich, dass sie das Verhältnis von Wertschöpfung zu Ressourcennutzung beschreiben. Ziel der Ökoeffizienz ist es somit ein möglichst positives Verhältnis zwischen Input- und Outputgröße zu realisieren. Als Bewertungsmaßstab für die Ökoeffizienz können verschiedene Betrachtungsbereiche dienen. Beispiele hierfür stellen die Energieproduktivität sowie die Rohstoffproduktivität dar. Abbildung 2-2 zeigt die Energie- und Rohstoffproduktivität Deutschlands. Ziel der Bundesregierung ist es, die Energieproduktivität bis 2020 ausgehend vom Jahr 1990 zu verdoppeln. Hierzu wurden in den vergangenen Jahren entsprechende rechtliche Rahmenbedingungen und Aktionspläne geschlossen. (Blesl et al. 2013, S. 4 ff) Bis 2014 wurde eine Steigerung der Energieproduktivität von 56,4% gegenüber dem Ausgangsjahr erreicht. Der Primärenergieverbrauch konnte aufgrund des Wirtschaftswachstums im selben Zeitraum jedoch um nur 12,1% gesenkt werden. (StBA 2015, S. 5 f.) Mit Bezug zur Rohstoffproduktivität verfolgt die Bundesregierung das Ziel einer Verdopplung der Produktivität bezogen auf das Jahr 1994 bis zum Jahr 2020. Bis 2014 konnte eine Steigerung um 48,8% erreicht werden und eine kontinuierliche Fortführung der Steigerungsrate der letzten fünf Jahre würde zu einer Gesamtsteigerung der Rohstoffproduktivität von ca. 50% führen. (StBA 2015, S. 7)

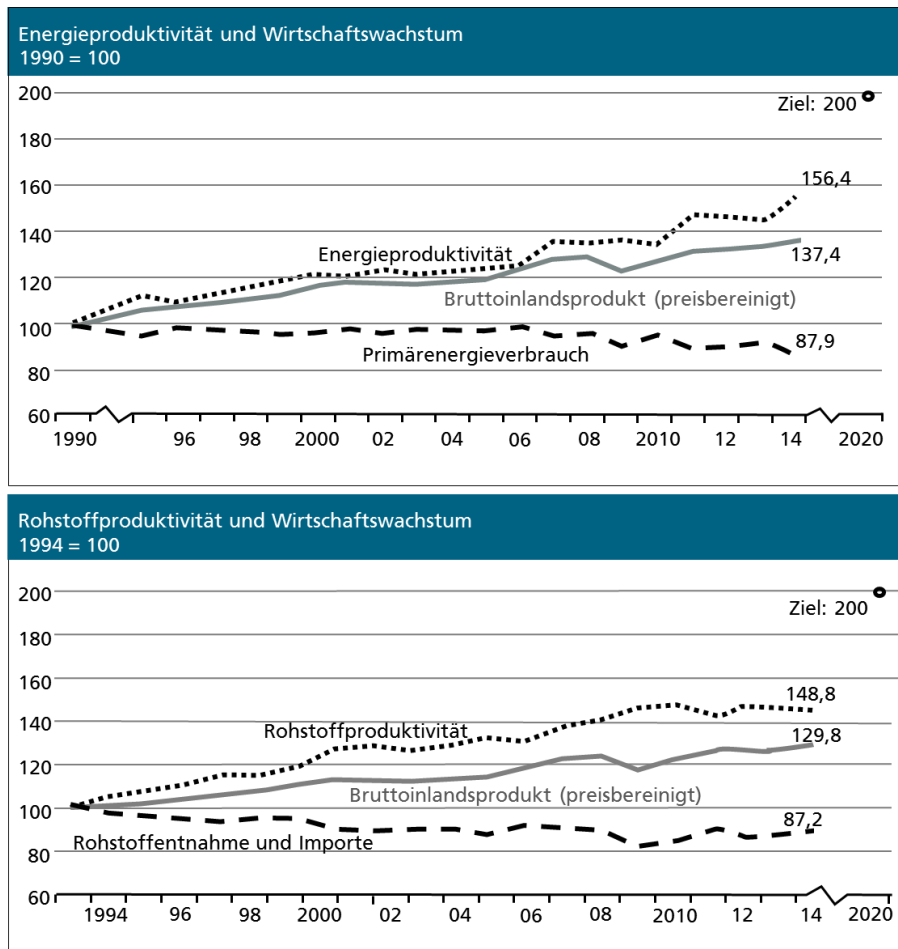


Abbildung 2-2: Energie- und Rohstoffproduktivität Deutschlands (StBA 2015, S. 5 ff)

Die Auswertung verdeutlicht, dass die prognostizierten Effizienzsteigerungen in dem für die Umsetzung geplanten Zeitraum nicht realisiert werden konnten. Dieser Umstand ist nicht zuletzt auf ein zögerliches Investitionsverhalten des produzierenden Sektors im Bereich der Ressourceneffizienz zurückzuführen. (vgl. u.a. EDI Odenwaldkreis 2011) Ursachen für ein Marktversagen werden vor allem in fehlender Motivation, Akzeptanz sowie Information gesehen. (Blesl et al. 2013, S. 324 f.) Ähnliche Betrachtungen wie die auf nationaler Ebene dargestellten, können ebenfalls für einzelne Unternehmen, Standorte, Produktionsprozesse sowie Produkte unter Definition der entsprechenden Systemgrenzen herangezogen werden. (Hauff et al. 2009, S. 81)

Der Rebound-Effekt

Einen Kritikpunkt hinsichtlich der Ökoeffizienz stellt der Rebound-Effekt dar. Der Rebound-Effekt, gelegentlich auch als Takeback-Effekt bezeichnet, beschreibt die nachfragefördernde Wirkung von

Effizienzsteigerungen auf das Konsumverhalten. Der Rebound-Effekt wurde erstmals 1865 von Stanley Jevons beschrieben, der in seiner Arbeit „The coal question“ argumentierte, dass eine Effizienzsteigerung in der Kohlenutzung den nationalen Kohleverbrauch nicht senken, sondern steigern würde. (Polimeni 2008, S. ix f.) Gemäß dem Rebound-Effekt gelingt es zunächst, den Energie- oder Materialverbrauch beispielsweise durch Innovationen bei bestehenden Produkten und Technologien zu verringern und somit die Effizienz zu steigern. Diese Effizienzsteigerung führt im Folgenden zu einer impliziten Preissenkung, welche das allgemeine Nachfrageverhalten anregt. (Herring et al. 2007, S. 3) Der sinkende Verbrauch auf Mikroebene führt dabei zu einem steigenden Verbrauch auf Makroebene. (Zürn 2010, S. 17) Dieser Effekt lässt sich beispielsweise am Käuferverhalten von PKWs erkennen. Mit Verbesserung der Effizienz von Motoren sinkt der Benzinverbrauch und somit die Nutzungskosten. Dies führt dazu, dass tendenziell mehr mit dem Auto gefahren wird. Darüber hinaus wird es mit steigender Effizienz für den Konsumenten attraktiver ein größeres und leistungsstärkeres Auto anzuschaffen. Insgesamt führt die Effizienzsteigerung in Form des reduzierten Benzinverbrauchs je Kilometer somit nur in geringerem Umfang zu einer nachhaltigkeitssteigernden Wirkung. Studien beziffern den Rebound-Effekt auf bis zu 25%, wodurch die tatsächliche Einsparung in etwa ein Viertel geringer ist als erwartet. (Bentzen 2004, S. 123; Sauer et al. 2016, S. 77 ff)

2.3.2 Ökoeffektivität

Effektivität beschreibt „[...] die grundsätzliche Eignung eines Mittels, ein Ziel mit Hilfe dieses Mittels zu erreichen.“ (Fessmann 1980, S. 30 f.) Die Frage nach der Effektivität kann somit als „[...] Konzentration auf die richtigen Dinge, beispielsweise die ständige Anpassung von Produkten und Dienstleistungen an veränderliche Märkte und Kundengewohnheiten“ (Schwab 2008, S. 19) verstanden werden. Ökoeffektivität beschreibt dabei ein „[...] nachhaltiges Wirtschaftsprinzip, das die ökologische Gesamtwirkung eines Unternehmens betrachtet.“ (Jefremow 2013, S. 9) Gemäß dem Effektivitätsparadigma kommt Effektivität gegenüber der Effizienz eine vorrangige Bedeutung zu, da sie eine strategische Ausrichtung ermöglicht und nicht allein auf die Wirtschaftlichkeit der Ausgestaltung von Aufgaben ausgerichtet ist. (Schwab 2008, S. 19) „It is more important to do the right things than to do the things right!“ (Drucker 1996) Ziel von Organisationen sollte es daher insgesamt sein, Effektivität zu fördern und Effizienz zu ermöglichen. (Bullinger 2012, S. 7) Aufgrund

des strategischen Charakters von Investitionen zur Steigerung der Ökoeffektivität findet diese innerhalb der vorliegenden Arbeit besondere Beachtung.

Ökoeffektivität nach dem Cradle-to-Cradle-Prinzip

Als einer der bedeutendsten Vorreiter der Ökoeffektivität gilt Braungart, der in seinem Konzept des „Cradle-to-Cradle“ die Forderung nach geschlossenen Stoffkreisläufen im Sinne einer Ökoeffektivität aufstellt. Er kritisiert die bestehenden Konzepte zur Ökoeffizienz als linear gerichtet und nicht hinreichend zielführend zur Sicherung begrenzter Ressourcen im Rahmen der Produktion. Beginnend mit der Herstellung eines Produkts über die Nutzungsdauer bis hin zum Lebensende beschreiben Produkte gemäß der klassischen Ansätze der Industrieökologie einen Lebensweg, bei dem sie früher oder später als Abfall enden. (Braungart et al. 2009, S. 27) Auch Recycling bringt gemäß dieser Vorstellung unzureichende Effekte, da es sich in den meisten Fällen lediglich um ein Downcycling handelt. Dabei wird die Qualität des eingesetzten Materials von Anwendung zu Anwendung reduziert, bis es schließlich nur noch zur thermischen Verwertung geeignet ist. (Braungart et al. 2009, S. 56) Somit kann zwar die Nutzungsdauer eines Rohstoffs verlängert werden, sie ist jedoch endlich.

Nach Ansicht Braungarts ist Effizienzstreben allgemein negativ ausgerichtet und führt zu der Forderung nach Verzicht. Dieser Verzicht bedeutet jedoch den Verzicht auf Konsum und damit gleichermaßen den Verzicht auf Wachstum. Der Ansatz der Ökoeffizienz ermögliche es darüber hinaus, die Konsequenzen eines umweltschädlichen Handelns hinauszuzögern, ohne das eigentliche Problem lösen zu müssen. Braungart sieht die Ökoeffizienz damit als einen auf den ersten Blick erstrebenswerten Ansatz an, welcher jedoch in letzter Konsequenz nicht zielführend oder gar kontraproduktiv ist und somit lediglich als Möglichkeit genutzt werden soll, ökoeffektive Systeme weiter zu unterstützen. (Braungart et al. 2009, S. 61 f.)

Braungart fordert in seinem Konzept des Cradle-to-Cradle eine grundlegende Änderung des bisherigen Produktionsverständnisses. Als ökoeffektiv gelten dabei Produkte, die in geschlossenen Stoffkreisläufen hergestellt werden. Im Rahmen der Ökoeffektivität sieht er die Natur als Vorbild. Als Beispiel für das Konzept der Ökoeffektivität dient das Bild eines Kirschbaums, welcher unzählige und damit verschwenderisch viele Kirschblüten produziert. Er verallgemeinert dieses Bild und fasst zusammen, dass die Natur insgesamt nicht effizient, wohl aber hochgradig effektiv sei. Für das

Beispiel des Kirschbaums bedeutet dies, dass die zu Boden fallenden Kirschblüten als Nahrung für Tiere und Pflanzen dienen und somit Teil eines geschlossenen Kreislaufs werden. (Braungart et al. 2009, S. 72 f.) In derartig geschlossenen Kreisläufen gibt es demnach keinen Abfall sondern lediglich Nährstoffe. (Braungart et al. 2009, S. 92)

Nach dem Konzept des Cradle-to-Cradle lassen sich ökoeffektive Stoffkreisläufe in zwei Klassen einteilen; den *biologischen* und den *technischen Kreislauf*. Der biologische Stoffkreislauf stellt ein „[...] Netzwerk aus wechselseitig voneinander abhängigen Organismen und natürlichen Prozessen“ dar. (Braungart 2009, S. 40) Hierbei werden regelmäßig Nährstoffe von Prozessen abgegeben und von anderen wieder aufgenommen. Zur Realisierung von Produkten gemäß biologischer Stoffkreisläufe müssen diese biologisch abbaubar sein. Sie stellen daher Verbrauchsgüter dar. Als realisierte Anwendungsbeispiele für biologische Stoffkreisläufe nennt Braungart Stoffe und Textilien aus Naturfasern. (Braungart 2009, S. 41) Auch Biokunststoffe aus biologisch abbaubaren, nachwachsenden Rohstoffen zählen zu dieser Kategorie. (Beier 2009, S. 4)

Der technische Stoffkreislauf ist dem biologischen nachgebildet und setzt auf die Verwendung technischer Nährstoffe. Diese stellen beispielsweise mineralische Ressourcen dar und können in einem geschlossenen Kreislauf der Herstellung verbleiben. Wesentliche Voraussetzung hierfür ist, dass sie ihren Wert im Rahmen ihres Lebenszyklus nicht verlieren und die entsprechenden Produkte eine Rückgewinnung ermöglichen. Zu den Produkten technischer Kreisläufe zählen vor allem Gebrauchsgüter wie z.B. Waschmaschinen und Automobile. (Braungart 2009, S. 42)

Zielsetzung ist somit die Ausgestaltung von Produkten und Prozessen, welche es ermöglichen, ihre Ausgangsmaterialien in geschlossenen Kreisläufen wiederzuverwenden oder sogar ein Upcycling der Materialien zu betreiben. Upcycling beschreibt „[...] die logistische und technische Vernetzung der Aufarbeitungsprozesse und -technologien im Produktrecycling mit anschließender Wiederverwendung auf hohem Wertschöpfungsniveau und trägt damit maßgeblich zum Schließen der Produktkreisläufe und zur Schonung der Ressourcen bei.“ (Bullinger et al. 2009, S. 227) Braungart nennt als Beispiel für ein derartiges Upcycling ein Papier auf Basis einer Kunststoffmischung, welches als Ausgangsbasis für einen hochwertigen Kunststoff dienen kann. (Braungart et al. 2009, S. 72) Er liefert zahlreiche konkrete Praxisbeispiele, bei denen das Cradle-to-Cradle-Prinzip funktioniert. (Braungart 2009, S. 131 ff)

Durch die Neugestaltung von Produkten und Prozessen können diese derart gestaltet werden, dass sie einen positiven Einfluss auf die Umwelt ausüben. Als Beispiel hierfür führt Braungart einen Teppich der Firma Desso an, welcher nicht nur so konzipiert wurde, dass er vollkommen ökologisch abbaubar ist und somit einen geschlossenen Stoffkreislauf ermöglicht. Die Auswahl neuartiger Materialien und das Überdenken des Gesamtprodukts ermöglicht es, den Teppich so zu konzipieren, dass er seine Umgebungsluft reinigt. Somit gelingt es, einen positiven Zusatznutzen in Ergänzung zum eigentlichen Produkt zu realisieren. In einem weiteren Schritt ermöglicht diese auf die Produktgestaltung ausgerichtete Sichtweise eine Ausweitung des Konzepts auf die Lebenszyklen von Produktionstechnologien sowie ganzen Fabrikssystemen. (Bauernhansl 2012a, S. 42 ff)

Eine weitere positive Konsequenz des Ökoeffektivitäts-Gedankens liegt in der Vermeidung des beschriebenen Rebound-Effekts. Da bei ökoeffektiven Produkten und Prozessen die negativen Umweltwirkungen vermieden werden, oder gar umweltförderliche Effekte erzielt werden, führt eine zusätzlich durch Effizienz stimulierte Nachfragesteigerung nicht zu negativen Auswirkungen. (Hauf et al. 2010, S. 65)

Eine erfolgreiche Umsetzung des Ökoeffektivitäts-Prinzips eröffnet Unternehmen neuartige Handlungsmöglichkeiten und vielfältige Potenziale, die wichtigsten sind (Braungart et al. 2009, S. 68 ff):

- die Möglichkeit zur Nutzung hochwertiger Ausgangsmaterialien, die am Ende des Produktlebenszyklus in gleicher Qualität wieder in neue Produkte einfließen
- die langfristige Ersparnis von Materialkosten, da das Ausgangsmaterial zurückgeführt wird
- die Möglichkeit des wachsenden Konsums ohne Verzicht, sowie die Vermeidung von Rebound-Effekten
- der Aufbau neuer Vertriebskonzepte
- die Erzielung positiver Imageeffekte durch Verwendung unschädlicher Materialien
- die deutliche Abgrenzung vom Wettbewerb
- die Innovation von Produktionssystemen mit dem Ziel einer verschwendungsfreien Fertigung
- geringere Kosten für Umweltschutzauflagen (z.B. Nachweispflicht für Gefahrstoffe)
- das Erzeugen positiver Nebeneffekte durch die Produkte und verwendeten Technologien

Bezogen auf den Energieverbrauch lassen sich aus den Forderungen der Ökoeffektivität drei grundsätzliche Säulen für eine effektive Energieversorgung ableiten. (Bauernhansl et al. 2013, S. 316) Wesentliche Basis stellt die regenerative und dezentrale Energieversorgung dar. Ergänzt wird diese um smarte Netze und neuartige Speichertechnologien. Um den Energiekreislauf darüber hinaus bestmöglich zu schließen, sind Technologien der Energierückgewinnung sowie innovative Einspeisetechnologien zu entwickeln und umzusetzen.

Kritiker des Ökoeffektivitäts-Konzeptes bemängeln die Ansätze als utopisch und kaum realisierbar. So lassen sich die dargestellten und in der Textilverarbeitung beispielhaft realisierten Konzepte zum Teil nur schwer oder gar nicht in anderen Branchen realisieren. Darüber hinaus lässt sich Ökoeffizienz nur in kleinen Schritten und in Form eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses erreichen. Die Forderung nach Ökoeffektivität ist hingegen oftmals mit drastischen Veränderungen des Produktdesigns sowie der entsprechenden Herstellungsprozesse verbunden. Derartige Veränderungen bergen einerseits Potenziale, sind andererseits jedoch ebenfalls gekennzeichnet durch ein hohes Maß an Unsicherheit. Braungart sieht daher die Verantwortung für den Ansatz und den notwendigen Wandel der Unternehmenskultur vor allem im Bereich des Top-Managements. (Braungart et al. 2009, S. 9)

2.4 Potenziale und Methoden zur Steigerung von Ökoeffizienz und Ökoeffektivität

Ökoeffizienz und Ökoeffektivität bieten zahlreiche Potenziale zur Verbesserung der Nachhaltigkeit und zur langfristigen Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen. Im Nachfolgenden soll auf diese Potenziale detaillierter eingegangen werden. Als wesentliche Betrachtungsbereiche der Ökoeffizienz und Ökoeffektivität stehen hierbei die Themenfelder Material und Energie³. Den Bewertungs- und Optimierungsansätzen zum effizienten und effektiven Einsatz dieser natürlichen

³ Die Effizienz und Effektivität des Material- und Energieeinsatzes wird hier gemäß der in der Themenstellung gebräuchlichen Terminologie zusammenfassend als Ressourceneffizienz bezeichnet. Weitere zur allgemeinen Definition von Ressourcen zählende Bestandteile wie beispielsweise Betriebsmittel sowie Personal sind hierbei ausgeklammert.

Ressourcen kommt in der vorliegenden Arbeit eine besondere Bedeutung zu. Im Fokus der dargestellten Ansätze stehen Industriebranchen des produzierenden Gewerbes sowie die Anwendungsfelder produktionsbezogenen Material- und Energieeinsatzes.

2.4.1 Potenziale zur Optimierung des Material- und Energieeinsatzes

In den letzten Jahren sind zahlreiche Studien und Veröffentlichungen zu den bestehenden Potenzialen zur Steigerung der Energie- und Materialeffizienz entstanden. Die Untersuchungen belegen, dass die Themen für einen Großteil der Unternehmen von hoher Bedeutung sind. An dieser Stelle wurden aus der Fülle aktuell verfügbarer Studien lediglich einige wenige repräsentative Studien ausgewählt.

Einen breiten Überblick über die „Energieeffizienz in Deutschland“ bietet die gleichnamige Studie des Instituts für Energieeffizienz in der Produktion der Universität Stuttgart. (vgl. Sauer et al. 2016, S. 77 ff) Sie stellt ausgewählte Ergebnisse einer Analyse von mehr als 250 Veröffentlichungen zusammen und bietet neben einer makroökonomischen Betrachtung eine Situationsdarstellung der Energieeffizienz in den Bereichen Industrie, Gebäude und Verkehr. Für den Industriesektor wird von einem Einsparpotenzial in Höhe von ca. 11% der Endenergie bis 2020 ausgegangen. (Dena 2012, S. 55 ff)

Eine detaillierte Untersuchung der Energieeffizienz in der Produktion sowie die Ableitung entsprechender Handlungsbedarfe und Forschungsfelder findet sich in der 2008 von der Fraunhofer-Gesellschaft veröffentlichten „EffPro-Studie“. Sie zeigt unter anderem auf, dass die kurzen erwarteten Amortisationszeiten (in der Regel auf Basis der Kapitalwertmethode) einer Substitution ressourcenintensiver Prozessstufen entgegenstehen. (Neugebauer 2008, S. 13) Darüber hinaus mangelt es den Unternehmen laut Studie an Bewertungs- und Optimierungsansätzen zur Steigerung der Ressourceneffizienz. Mittelfristig beziffert die Studie das Potenzial für Energieeinsparungen auf 25 bis 30%. (Neugebauer 2008, S. 13) Forschungsbedarf wird vor allem in den Bereichen Prozessstabilität, mechanische, thermische und chemische Prozesse, geschlossene Ressourcenkreisläufe, Infrastruktur sowie der Methodenentwicklung für nachhaltige Energie- und Materialwirtschaft gesehen. (Neugebauer 2008, S. 14)

Den Zusammenhang zwischen Material- und Energieeffizienz beschreibt die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderte Studie „Energietechnologien 2050“. Sie zeigt auf, dass sich im produzierenden Gewerbe auf Basis von Materialeffizienz-Maßnahmen zwischen 20 und 30% der Endenergie einsparen lassen. (Wietschel et al. 2010, S. 135)

Einer Studie des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung ISI zufolge, schätzen Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes ihr Materialeinsparpotenzial auf durchschnittlich sieben Prozent, was einer jährlichen Materialkostensparnis in Höhe von ca. 48 Mrd. Euro entspricht. (Schröter et al. 2011, S. 2) Vor allem Unternehmen aus den Branchen Maschinenbau, Kunststoffverarbeitung, Druckgewerbe und Medizintechnik sehen hohe Einsparpotenziale. (Schröter et al. 2011, S. 8)

Eine 2010 vom Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation veröffentlichte Studie analysiert die Bedeutung des Themas Ressourceneffizienz für deutsche produzierende Unternehmen. Wie auch andere Studien kommt sie zu dem Schluss, dass die Themen Energie- und Materialeffizienz für die meisten Unternehmen eine hohe Bedeutung aufweisen. (Erhardt et al. 2010, S. 11) Als wesentliche Erfolgsfaktoren sehen die befragten Unternehmen vor allem die Möglichkeit zur Kostenreduktion und zum Ausbau von Wettbewerbsvorteilen. (Erhardt et al. 2010, S. 15 f.) Als hinderliche Faktoren zur Ressourceneffizienzsteigerung werden die mangelnde Wirtschaftlichkeit, verbunden mit langen Amortisationszeiten, ein hoher personeller Aufwand sowie Informationsdefizite identifiziert. (Erhardt et al. 2010, S. 25 f.)

Der von Roland Berger Strategy Consultants 2012 zum dritten Mal veröffentlichte und im Auftrag des BMU erstellte Umwelttechnologie-Atlas gibt einen Überblick über die ökonomischen, ökologischen und politischen Herausforderungen im Zusammenhang zur Umwelttechnik und Ressourceneffizienz. Er fokussiert die Leitmärkte der Umwelttechnik und Ressourceneffizienz und beschreibt diese als Modernisierungstreiber für die klassische Wirtschaft. Der Umwelttechnologie-Atlas zeichnet ein deutlich positives Bild der Greentech-Branche in Deutschland. (Büchele et al. 2012, S. 180 ff) Insgesamt beziffert er den Wert des globalen Marktes für Umwelttechnik und Ressourceneffizienz im Jahr 2011 auf 2.044 Mrd. Euro. (Büchele et al. 2012, S. 7)

2.4.2 Methoden zur Analyse und Verbesserung des Material- und Energieeinsatzes

Im Bereich des produktionsbezogenen Material- und Energieeinsatzes haben sich in der jüngeren Vergangenheit verschiedene Ansätze zur Analyse und Verbesserung der Ressourceneffizienz durchgesetzt. Für den Bereich der Analyse sind hier in erster Linie methodische Ansätze zu nennen, die eine verursachungsgerechte Aufteilung der Material- und Energieverbräuche anstreben. In der Schaffung von Transparenz bezüglich der Entstehungsorte der Ressourcenverbräuche liegen essentielle Voraussetzungen für die Identifikation von Verlusten und Schwachstellen sowie Ansatzpunkte für Verbesserungen. (Erlach et al. 2010b, S. 60 ff) Daher werden die wesentlichen Verfahren zur Analyse und Verbesserung des Energie- und Materialeinsatzes kurz erläutert.

Zur ganzheitlichen Bewertung und systematischen Analyse sämtlicher Umweltwirkungen von Produkten und Prozessen hat sich das Life Cycle Assessment bzw. die Ökobilanzierung etabliert. Die Ökobilanz ermöglicht eine Zuteilung sämtlicher im Lebenszyklus anfallender ökologischer Wirkungen sowie eine Bewertung der auftretenden Stoff- und Energieumsätze und der daraus resultierenden Umweltbelastungen. (Seuring et al. 1997, S. 15) Zielsetzung der Ökobilanzierung ist es, umweltrelevante Stärken und Schwächen zu identifizieren sowie Verbesserungsmöglichkeiten für umweltschonendere Produkte und Prozesse aufzuzeigen. Wesentliche Voraussetzung hierbei ist die Definition entsprechender Ziele sowie die Eingrenzung des Betrachtungsbereichs. (Seuring et al. 1997, S. 16) Ein zentraler Kritikpunkt der Ökobilanzierung ist, dass die verschiedenen ermittelten Umweltparameter sich in der Regel nicht zu einem aussagekräftigen und vergleichbaren Gesamtwert aggregieren lassen. Aus diesem Grunde werden in der Regel Teilbilanzen aufgestellt. (Seuring et al. 1997, S. 17 ff). Zur Analyse der Energieeffizienz beispielsweise haben sich Stufenkonzepte etabliert, welche den Betrachtungsraum ausgehend vom Wirkungsgrad einzelner Anlagen, über zusammenhängende Fertigungsprozesse und unternehmensweite Betrachtungen bis hin zu unternehmensübergreifenden Analysen schrittweise erweitern. (Blesl et al. 2013, S. 15 ff)

Neben der Ökobilanzierung haben sich zur Bewertung des Energie- und Materialeinsatzes weitere Kennzahlenkonzepte durchgesetzt. Ziel aller Ansätze ist es, eine Bewertbarkeit des Ressourceneinsatzes zu ermöglichen. Bezugskriterien können dabei sowohl Produktionsprozesse, hergestellte Pro-

dukte oder ganze Produktionsstandorte darstellen. Als zwei der bedeutendsten Kriterien zur Bewertung des Energieeinsatzes haben sich hierbei die Kenngrößen der Energieintensität sowie der kumulierte Energieaufwand (KEA) etabliert. Weitere relevante Energiekenngrößen sowie deren Definitionen und Anwendungsmöglichkeiten finden sich beispielsweise in der entsprechenden VDI-Richtlinie. (vgl. VDI 4661 2003). Bei der Identifikation von Energieeffizienzpotenzialen helfen darüber hinaus Checklisten, Leitfäden und Branchenkonzepte. (Blesl et al. 2013, S. 17 f.)

Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung entwickelte 2009 den Energiewertstrom als einen pragmatischen Ansatz zur strukturierten prozesskettenorientierten Analyse und Optimierung des produktionsbedingten Energieeinsatzes. (vgl. Erlach 2009) Ziel des auf Basis von Lean-Konzepten entstandenen methodischen Ansatzes ist es, bereits mit geringen Investitionen und einfachen Mitteln deutliche Potenziale zur Energieeffizienzsteigerung zu identifizieren und zu heben. (Erlach et al. 2010a, S. 28 ff)

Zu Beginn der Energiewertstromanalyse ist der Betrachtungsbereich einzugrenzen. Bei der Beschränkung des Betrachtungsbereichs empfiehlt sich eine Eingrenzung auf Basis von Produktfamilien. „Eine Produktfamilie ist eine Gruppe von Produkten, die ähnliche Verarbeitungsschritte und Maschinenausrüstungen im flussabwärtigen Ende des Wertstroms durchlaufen.“ (Rother et al. 2000, S. 6) Die Bildung von Produktfamilien kann von verschiedenen Kriterien, wie beispielsweise den verwendeten Materialien oder der Produktgröße, beeinflusst werden. (Erlach 2010, S. 38 ff) Die für die Analyse ausgewählte Produktfamilie legt den zu untersuchenden Wertstrom fest und grenzt die zu betrachtenden Fertigungsmittel ein. Bei der Wahl der Produktfamilie sollte Wert darauf gelegt werden, dass sie ein repräsentatives Abbild der Fertigung ermöglicht und signifikante Energieverbräuche aufweist. Auf Basis der Produktfamilie lässt sich der Wertstrom inklusive der ihn kennzeichnenden Daten beschreiben und entsprechend der hierfür festgelegten graphischen Darstellungsform visualisieren. Abbildung 2-3 zeigt beispielhaft einen Wertstrom in üblicher Darstellung inklusive der hierbei erfassten Grunddaten.

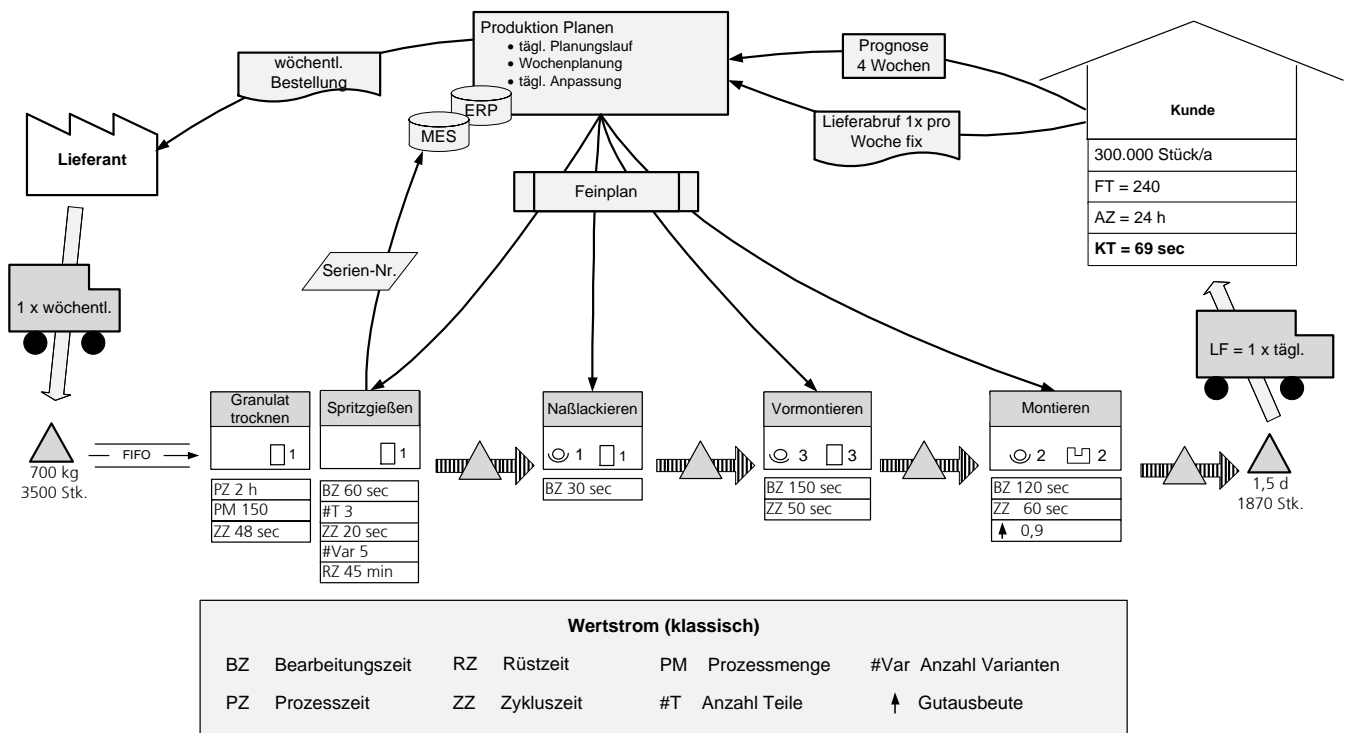


Abbildung 2-3: Wertstromdarstellung

Zusätzlich zu den in der Wertstromanalyse üblichen Daten werden beim Energiewertstrom die prozessbezogenen Energieverbräuche ergänzt. Hierzu zählen vor allem die Verbräuche an elektrischer Energie, Gas sowie Druckluft. Die Energieverbräuche werden auf einer einheitlichen Bewertungsbasis in Kilowattstunden dargestellt und für die jeweiligen Prozessschritte sowie den gesamten Wertstrom summiert. Hieraus lässt sich die Energieintensität der einzelnen Prozessschritte und des Wertstroms ableiten. „Die Energieintensität eines Produktionsprozesses gibt den erforderlichen Energiebedarf zur Herstellung eines einzelnen Produktes aus der betrachteten Produktfamilie an.“ (Erlach 2009, S. 32) Sie berechnet sich als Produkt aus der Leistungsaufnahme der Produktionsanlage (P), dem Kundentakt (KT) sowie der Anzahl der Produktionsressourcen (#Res).

$$EI = P \times KT \times \#Res \quad (2.1)$$

Aufbauend auf der Energiewertstromanalyse können im zweiten Schritt, dem Wertstromdesign, systematisch Potenziale zur Verbrauchsoptimierung abgeleitet werden. Hierzu bietet das Energiewertstromdesign acht Gestaltungsrichtlinien. (vgl. Erlach 2009) Die ersten vier Gestaltungsrichtlinien fokussieren dabei die einzelnen Produktionsanlagen, während die anderen vier Richtlinien die

integrierte Betrachtung der gesamten Wertschöpfungskette (bzw. auch mehrerer Wertströme) erfordern. Die Energiewertstrommethode ermöglicht gleichermaßen die Optimierung der Produktion sowie des Materialflusses als auch die Optimierung der Energieverbräuche.

Neben den methodischen Ansätzen zur verursachungsgerechten Bewertung des Ressourceneinsatzes kommt vor allem den innovativen Technologien zur Energie- und Materialeinsparung enorme Bedeutung zu. Hierzu zählen beispielsweise verschiedene Technologien des Leichtbaus. (vgl. Heisel 2012) Durch die hiermit verbundene Reduktion bewegter Massen beispielsweise in Fertigungsanlagen lassen sich deutliche Einsparpotenziale realisieren. Weitere Potenziale im Bereich der Materialeffizienz lassen sich beispielsweise im Bereich der Querschnittstechnologien durch Prozessverbesserungen (z.B. Verschnittoptimierung) sowie durch Technologieinnovationen (z.B. Net-Shape-Verfahren, Tailored Blanks) oder Materialsubstitutionen realisieren. (Baron et al. 2005, S. 43 ff) Das wohl größte Potenzial in Bezug auf den nachhaltigen Materialeinsatz resultiert jedoch aus den gemäß Ökoeffektivitätsansatz geforderten geschlossenen Stoffkreisläufen sowie einem hiermit verbundenen Upcycling der Rohstoffe.

Im Bereich des Energieeinsatzes sind die größten technologischen Einsparpotenziale auf die Verwendung von regenerativen Energien, Konzepte der Energierückgewinnung sowie der Reduktion von Wandlungsverlusten zurückzuführen. (Rudolph et al. 2008, S. 11 ff) Deutliche Effizienzpotenziale lassen sich ebenfalls aus der schrittweisen Verbesserung bestehender Technologien realisieren. Von besonderer Bedeutung sind hierbei industrielle Querschnittstechnologien wie beispielsweise Motoren und Antriebe sowie Pumpen, Druckluft- und Beleuchtungssysteme. (Blesl et al. 2013, S. 35 ff) Auch der verstärkten Anwendung von IT-Systemen sowie einer verbesserten Steuer- und Regeltechnik sind deutliche Energieeinsparungen zu verdanken. Die Integration von Energiedaten beispielsweise in Systeme der Produktionsfeinplanung schafft die Basis für die Berücksichtigung des Energieverbrauchs als weitere Planungsgröße und ermöglicht die Reduktion von Spitzenlasten und absoluten Energieverbräuchen. (Weskamp 2012, S. 83 ff)

3 Bewertung strategischer Investitionen

3.1 Charakteristik von Investitionen

Investitionen sind für Unternehmen von existenzieller Bedeutung. Sie tragen entscheidend zum Unternehmenserfolg bei und haben wesentlichen Einfluss auf die Kostenstruktur des Unternehmens. Kren definiert eine Investition als „ [...] eine für längere Frist beabsichtigte Bindung finanzieller Mittel in materiellen oder immateriellen Objekten mit der Absicht, diese Objekte in Verfolgung einer individuellen Zielsetzung zu nutzen.“ (Kern 1974, S. 8) Investitionsobjekte können also materieller oder immaterieller Natur sein. Da Investitionen in der Regel mit hohen Ausgaben verbunden sind und Unternehmen über begrenzte finanzielle Mittel verfügen, erfordert die Investition einen Entscheidungsprozess. Wesentliche Erfolgsbasis des Unternehmens und damit Grundlage der Investitionsentscheidung ist heute weniger die Überlegenheit der Produktionstechnik sondern vielmehr die Fähigkeit

- zukünftige Bedürfnisse der Nachfrager,
- Veränderungen der Marktbedingungen,
- Marktstrategien der Konkurrenten sowie
- technische Entwicklungsprozesse

frühzeitig zu erkennen und in langfristigen Unternehmensstrategien umsetzen zu können. (Wöhe et al. 2010, S. 85) Investitionen dienen dabei der Realisierung der Unternehmensstrategie. „Die effektive Planung und Steuerung von Investitionen stellt daher eine bedeutende, aufgrund hoher Komplexität und schnellen Wandels der Unternehmensumwelt oft aber auch eine schwierige Managementaufgabe dar.“ (Götze 2008, S. 1)

Investitionen lassen sich nach verschiedenen Gesichtspunkten charakterisieren. Eine Möglichkeit zur Klassifizierung von Investitionen stellt die Unterscheidung nach Art des Investitionsobjekts dar. Investitionsobjekte lassen sich in Finanzinvestitionen und in Realinvestitionen unterteilen (vgl. Abbildung 3-1). Bei Finanzinvestitionen handelt es sich um eine Kapitalbindung in Finanzanlagen. Sie

können anlageorientiert (z.B. Geldanlagen bei Banken) oder spekulativ (z.B. Anlagen in Aktien und Wertpapieren) sein. Realinvestitionen zeichnen sich durch die Kapitalbindung in reale Investitionsobjekte aus. Diese können materieller Natur sein, wie es beispielsweise bei der Investition in eine neue Fertigungsanlage der Fall ist, oder immateriellen Charakter aufweisen. Immaterielle Investitionen erzeugen durch den Kapitaleinsatz immaterielle Güter. Beispiele für immaterielle Investitionen stellen die Kapitalbindung in Forschung und Entwicklung sowie Ausbildungsprogramme dar. (Jung 2006, S. 818)

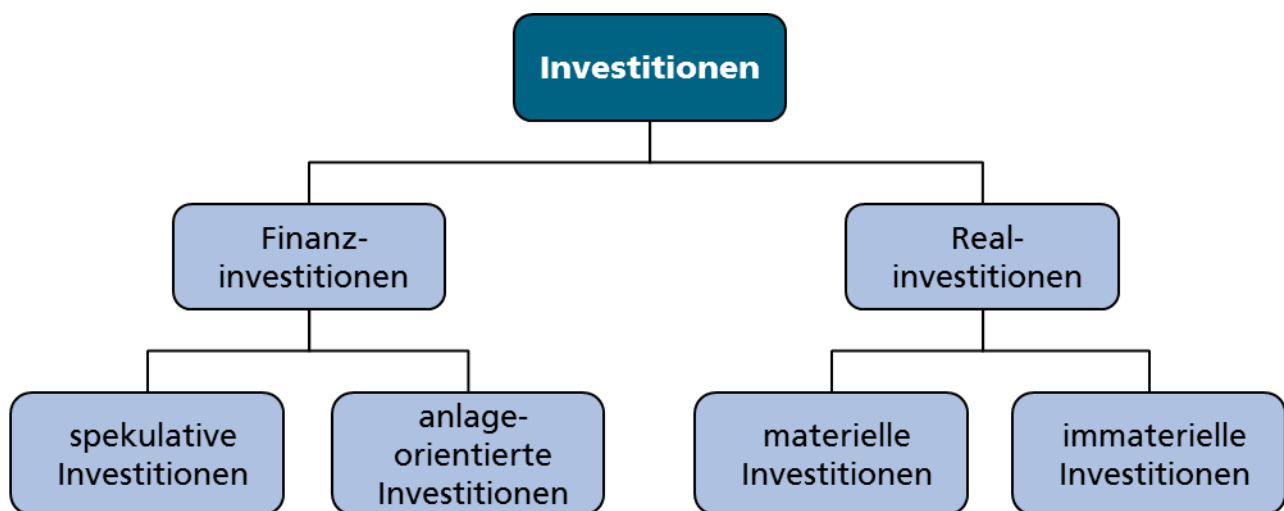


Abbildung 3-1: Arten von Investitionen (Kern 1974, S. 12)

Eine weitere Möglichkeit Investitionen zu klassifizieren bildet die Unterscheidung nach dem Investitionsanlass. Hierbei lassen sich Errichtungsinvestitionen, laufende Investitionen sowie Ergänzungsinvestitionen unterscheiden. (vgl. Götze 2008) Errichtungsinvestitionen dienen dem Start der Unternehmenstätigkeit. Beispiel hierfür kann die Gründung eines neuen Produktionsstandorts (z.B. im Ausland) sein. Zu den laufenden Investitionen zählen Ersatzinvestitionen sowie Großreparaturen und Überholungen. Die Ergänzungsinvestitionen dienen der Erweiterung oder Optimierung der Ausstattung an Betriebsmitteln. Dementsprechend lassen sie sich unterteilen in Erweiterungs-, Veränderungs- und Sicherungsinvestitionen. Eine Erweiterungsinvestition liegt z.B. bei der Neuanschaffung einer Fertigungsanlage zur Erhöhung der Produktionskapazität vor. Bei einer Veränderungsinvestition hingegen handelt es sich um die Anpassung bestimmter Unternehmensfaktoren. Zu ihnen zählen Rationalisierungsinvestitionen (z.B. zur Erhöhung des Automatisierungsgrades, Senkung des Energieverbrauchs), Umstellungsinvestitionen (zur Anpassung an geänderte Absatzmengen) sowie

Diversifizierungsinvestitionen. Letztgenannte dienen beispielsweise der Vorbereitung eines neuen Produktspektrums zur Abgrenzung gegenüber den Wettbewerbern. Sicherungsinvestitionen liegen dann vor, wenn sie der Reduktion von Risiken und Gefahrenquellen für das Unternehmen dienen. Zu ihnen zählen beispielsweise auch Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie in Werbung, da diese auf die langfristige Sicherung des Unternehmenserfolgs ausgerichtet sind. Eine Übersicht über die Klassifizierung von Investitionen nach Investitionsanlass gibt Abbildung 3-2.

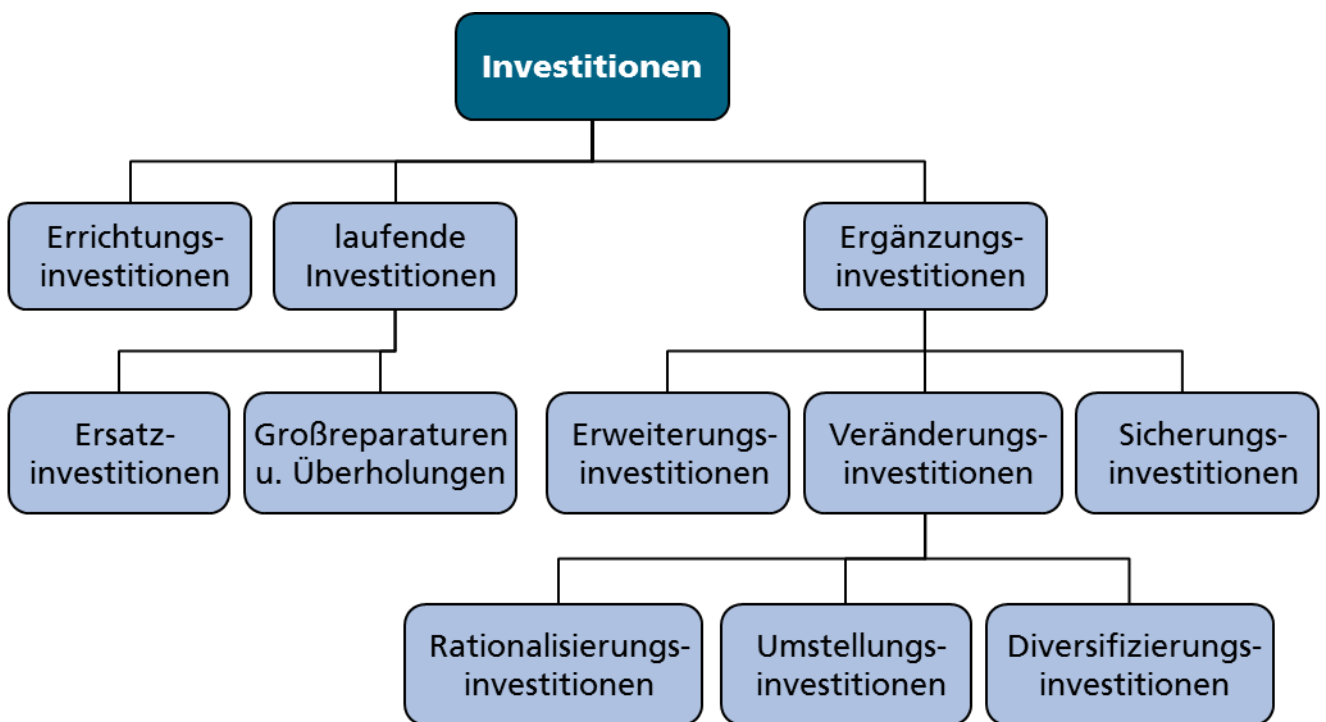


Abbildung 3-2: Arten von Investitionsanlässen (Kern 1974, S. 14)

Ein weiteres wesentliches Unterscheidungsmerkmal von Investitionen ist das Ausmaß an Unsicherheit. (Götze 2008, S. 12) Investitionen sind stets auf die Zukunft ausgerichtet. Diesem Umstand entsprechend, können sie nicht unter absoluter Sicherheit getätigt werden. Ist die Vorhersagbarkeit eines erwarteten Ergebnisses hoch, können Investitionen als relativ sicher eingeschätzt werden. Ist die Vorhersagbarkeit gering, so ist die Investition unsicher. So können Investitionen in Spareinlagen sowie in festverzinsliche Wertpapiere beispielsweise als sicher, Investitionen in Forschungs- und Entwicklungsvorhaben hingegen als eher unsicher eingeschätzt werden.

Investitionen weisen Wechselwirkungen zu den Bestandteilen des Unternehmens auf (Interdependenz). Zu ihnen zählen beispielsweise die Produktion, die Logistik, das Personal und die Materialwirtschaft. Die Berücksichtigung dieser Interpendenz ist wichtiger Bestandteil der Investitionsplanung. So haben beispielsweise die zur Verfügung stehenden Produktionsmittel Einfluss auf das realisierbare Produktspektrum. Die zukünftigen Marktanforderungen wiederum haben Einfluss auf das zukünftige Produktionsprogramm und somit auf die erforderlichen Betriebsmittel. (Götze 2008, S. 10 f.) Gerade die Wechselwirkungen des Unternehmens mit seiner Umwelt erzeugen eine Abhängigkeit der Investitionsentscheidungen von externen Faktoren. Diese externen Faktoren lassen sich vom Unternehmen in der Regel kaum beeinflussen. Externe Faktoren (z.B. Nachfrageverhalten, gesellschaftliche und politische Rahmenbedingung) haben somit Einfluss auf die Investitionsentscheidung. Die Investition selbst weist hingegen jedoch ebenfalls einen Einfluss auf die Unternehmensumwelt auf, wie zum Beispiel durch den Ressourcenverbrauch an Rohstoffen oder die Emission von Schadstoffen. Investitionen sind daher nicht isoliert von der Unternehmensumwelt zu betrachten, sondern unter Berücksichtigung der jeweiligen Umweltfaktoren zu bewerten und durchzuführen. Einen Ansatz zur Beschreibung der wechselseitigen Einflüsse innerhalb des Unternehmens sowie zwischen Unternehmen und Unternehmensumwelt liefert das St. Galler Management-Modell. (Rüegg-Stürm 2004, S. 65 ff)

Als weiteres Unterscheidungsmerkmal von Investitionen lassen sich strategische und nicht-strategische Investitionen differenzieren. Götze nennt als Kennzeichen für strategische Investitionen die folgenden Faktoren: (Götze 2008, S. 13)

- Die Investitionsentscheidung ist Aufgabe der obersten Institutionen der Unternehmensführung.
- Investitionen weisen hohe Bedeutung für den Unternehmenserfolg auf.
- Sie erfordern hohen Ressourceneinsatz und haben langfristige Wirkung (vollkommene oder teilweise Irreversibilität).
- Entscheidungen über Handlungen haben einmaligen und innovativen Charakter
- Mehrere Ziele müssen berücksichtigt werden (multikriteriell).
- Investitionen bieten komplexe Alternativen mit einer Vielzahl von Maßnahmen (die sequenziell realisiert werden) und weisen Interdependenzen zu zahlreichen Unternehmensbereichen auf.

- Der Entscheidungsprozess ist gekennzeichnet durch lange Planungszeiten
- Umweltentwicklungen haben erheblichen Einfluss auf die Entscheidungen
- Investitionen sind gekennzeichnet durch ein hohes Maß an Unsicherheit (schlecht strukturiertes Planungsproblem)

Nicht-strategische Investitionen weisen die genannten Faktoren nicht auf. Zu ihnen zählen z.B. klassische Ersatzinvestitionen. Bei den in der vorliegenden Arbeit betrachteten Investitionen handelt es sich um strategische Realinvestitionen. Sie bedürfen aufgrund ihrer Bedeutung für den langfristigen Unternehmenserfolg einer detaillierten Bewertung. Da den nicht-strategischen Investitionen diese Bedeutung fehlt und sie sich auf Basis klassischer Investitionsrechnungsverfahren hinreichend präzise bewerten lassen, finden sie im weiteren Verlauf der Ausarbeitung keine weitere Berücksichtigung.

3.2 Planung als Teil des Investitionsprozesses

Strategische Investitionen sind, wie zu Ende des letzten Kapitels beschrieben, gekennzeichnet von einer hohen Relevanz für den Unternehmenserfolg und unterliegen daher einem Entscheidungsprozess. Die strategische Investition wiederum orientiert sich an den übergeordneten Unternehmenszielen. „Planung ist das Bindeglied zwischen Zielsetzung und kalkuliertem Handeln. Zielbildung – Planung – Entscheidung sind also eng miteinander verknüpft.“ (Wöhe et al. 2010, S. 76) Die Investitionstätigkeit lässt sich gemäß ihres zeitlichen Verlaufs in verschiedenen Phasen unterteilen. Gemäß diesen Phasenschemas lassen sich die folgenden drei Hauptbestandteile im Investitionsprozess unterscheiden: (Spielberger 1983, S. 16)

- die Planungsphase
- die Realisations- bzw. Erstellungsphase
- die Nutzungs- bzw. Betriebsphase

In der Planungsphase werden die Grundlagen für die Investitionsentscheidung bereitet. Sie umfasst alle Tätigkeiten vor der eigentlichen Investition. Erster Bestandteil der Planungsphase ist die Anregungsphase, in der das Problem erkannt und beschrieben, die Zielsetzung festgelegt und Ideen zur Zielerreichung generiert werden. Auf sie folgt die Entscheidungsphase, in welcher die Entscheidung

zur Durchführung des Investitionsvorhabens getroffen wird. Aufgabe der Entscheidungsphase ist es, Lösungsalternativen zu identifizieren und hinsichtlich der Zielerreichung zu bewerten. Die Entscheidungsphase schließt mit der Wahl einer Investitionsalternative. Wesentliche Aufgabe der Planungsphase ist es, entscheidungsrelevante Informationen zu erheben. Bei strategischen Investitionen sollte die Bewertung der wirtschaftlichen und technischen Machbarkeit durch entsprechende Investitionsstudien unterstützt werden. (VDI 4433 2011, S. 7ff) Auf die Planungsphase folgt die Realisationsphase. Die Realisationsphase beginnt mit der Projektierung des Investitionsvorhabens. Auf sie folgt die eigentliche Erstellung der Investition. Diese beinhaltet die Anschaffung des Investitionsobjektes. Die Nutzungsphase beginnt mit der Inbetriebnahme des Investitionsobjektes. Während der Nutzungsphase erzeugt die Investition einen Beitrag zum Unternehmenserfolg. Mit der Desinvestition endet der Investitionsprozess und ein neuer Prozess in Form einer Folgeinvestition kann beginnen.

In der Praxis sind die beschriebenen Phasen in der Regel nicht strikt voneinander zu trennen. Vielmehr treten Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Phasen auf und die Phasenübergänge sind zum Teil fließend. (Götze 2008, S. 14). Die Investitionsplanung ist Aufgabe der Unternehmensführung. (Clausius 2000, S. 173) Der eigentliche Planungsprozess kann sich zu mehreren Zeitpunkten des Investitionsprozesses wiederholen. So erfolgt neben der Planung der Investitionsentscheidung ebenfalls eine Planung über deren weitere Nutzung während der Betriebsphase sowie am Ende der Nutzungsphase eine Planung der Investitionsdeterminierung.

Gemäß Schweitzer ist Planung „[...] ein von Personen getragener, rationaler informationsverarbeitender Prozess zum Erstellen eines Entwurfs, welcher Maßnahmen für das Erreichen von Zielen vorausschauend festlegt.“ (Schweitzer 2005, S. 18) Dieser Definition entsprechend kann die Planung als Antizipationsentscheidung verstanden werden. (Götze 2008, S. 18) Bei dieser Antizipation werden heutige Entscheidungen auf Basis von Annahmen zukünftiger Entwicklungen getroffen. Die Planung benötigt daher eine systematische Entscheidungsvorbereitung, um die festgelegten Ziele möglichst gut erreichen zu können. Wild beschreibt die folgenden Funktionen der Planung: (Wild 1974, S. 15 ff)

- Aufzeigen von Chancen und Risiken
- Komplexitätsreduktion

- Schaffen von Synergieeffekten
- Zielausrichtung
- Frühwarnung
- Koordination von Teilplänen
- Identifikation von Problemen
- Ermöglichung von Kontrolle
- Mitarbeiterinformation und -motivation

Planungen unterscheiden sich unter anderem durch ihren Planungszeitraum. Es lassen sich kurz-, mittel-, und langfristige Planung unterscheiden. Kurzfristige Planungen weisen in der Regel einen Planungszeitraum von kleiner einem Jahr auf. Mittelfristige Planungen erfassen einen Zeitraum von ein bis fünf Jahren. Langfristige Planungen berücksichtigen einen Zeitraum von mehr als fünf Jahren. Dabei existiert ein bedeutender Zusammenhang zwischen der zeitlichen Reichweite der Zielsetzung, dem Ausmaß an Unsicherheit und Komplexität sowie der hierarchischen Zuordnung. (Wöhe et al. 2010, S. 78) Bei Investitionsplanungen sind in der Regel mittel- oder langfristige Planungszeiträume zu berücksichtigen. (Pfohl et al. 1997, S. 98 f.)

Gemäß der Planungshierarchie lassen sich die operative, taktische und strategische Planung unterscheiden. Die operative Planung ist Bestandteil der unteren Planungsebene. Taktische Planungen erfolgen auf der mittleren und strategische Planungen auf der oberen Entscheidungsebene. Strategische Planung beschreibt dabei einen formalisierten, systematischen Strategieprozess mit hoher analytischer Stringenz. (Müller-Stewens et al. 2011, S. 88) Strategische Investitionen erfordern eine strategische (oder zumindest taktische) Planung. (Götze 2008, S. 26)

Eine erfolgreiche Investitionsplanung ist abhängig von Informationen. Vernetzte Informationen stellen zweckorientiertes Wissen dar, welches im Zuge der Problemidentifikation sowie der Lösungsfindung generiert wird. (Wittmann 1959, S. 14) Zur Schaffung des benötigten Wissens kommen Methoden der Suche, Analyse und Prognose zum Einsatz. (Götze 2008, S. 19) Abbildung 3-3 zeigt die Bestandteile der Planungsphase während des Investitionsprozesses.

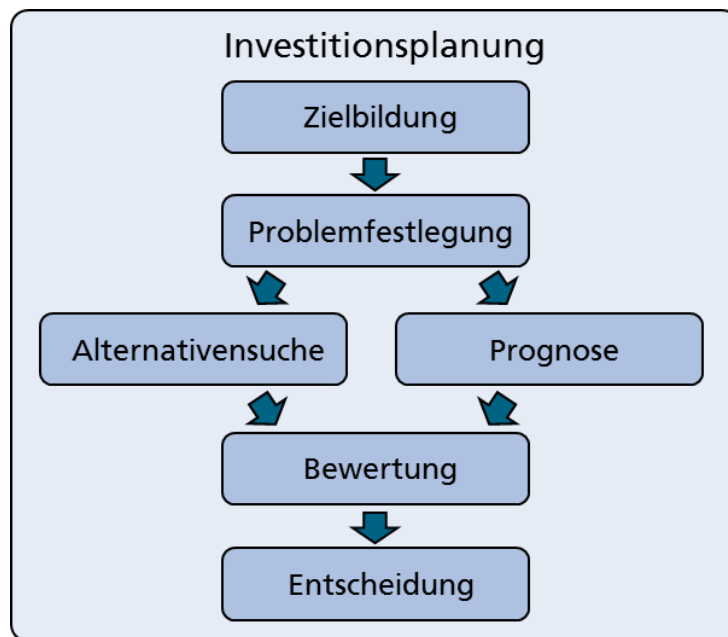


Abbildung 3-3: Phasen der Investitionsplanung (Schweitzer 2005, S. 26)

Wesentlicher Bestandteil der Unternehmensführung ist es, Unternehmensziele zu identifizieren, vorzugeben und zu vereinbaren sowie diese unter Einsatz von begrenzten Kapazitäten zu erreichen. Ziele stellen die Basis des Entscheidungsprozesses dar. Ziele schränken den Bereich der Problemerkennung ein und beeinflussen die Lösungssuche. Darüber hinaus bieten sie einen Maßstab für die Bewertung der Lösungsansätze. (TerHorst 1980, S. 24) Bei der Zielbildung lassen sich Ober-, Zwischen- und Unterziele unterscheiden. Zwischen- und Unterziele werden aus den Oberzielen abgeleitet und helfen bei der Operationalisierung der Planung. (Wöhe et al. 2010, S. 77) Durch den hierarchischen Aufbau der Ziele kann die Konsistenz der Zielsetzung zu den übergeordneten Unternehmenszielen sichergestellt werden. Hierbei ist es sinnvoll, die einzelnen Ziele in einem Zielsystem zu integrieren. „Unter einem Zielsystem ist eine strukturierte Menge vom Unternehmer für eine oder mehrere Wirtschaftsperioden simultan verfolgter Ziele zu verstehen.“ (Schmidt-Sudhoff 1967, S. 22) Bei der Zielbildung sind die Wechselwirkungen zwischen den Zielen zu berücksichtigen. Ziele können sich hinsichtlich der Zielerreichung gegenseitig positiv, negativ oder gar nicht beeinflussen. Sie sind komplementär, konkurrierend oder indifferent zueinander. (Wöhe et al. 2010, S. 73 f.)

Auf die Zieldefinition folgt die Problemfestlegung. Grundlage der Problemfeststellung ist die Problemanalyse. Bestandteil der Problemanalyse sind die Beschreibung der Ausgangssituation (Ist-Analyse), sowie die Gegenüberstellung der Ist-Situation mit der Zielsetzung. (Wöhe et al. 2010, S. 77) Diese ermöglicht die Eingrenzung des Problemfeldes sowie die Strukturierung des Problems.

Auf die Problemfestlegung folgt die Suche nach alternativen Problemlösungen. Bei der Alternativensuche ist zunächst der zulässige Lösungsraum einzugrenzen. Trotz der Eingrenzung des Lösungsraums stellen die Investitionsmöglichkeiten „[...] häufig komplexe Handlungsbündel dar, die sich aus bestimmten Ausprägungen verschiedener Entscheidungsvariablen (Maßnahmen, Ressourcen, Termine, Personen) zusammensetzen.“ (Götze 2008, S. 21) Bei der Identifikation möglicher Lösungsalternativen sind vor allem die nachfolgenden Fragestellungen von Bedeutung:

- Wie ist die absolute bzw. relative Vorteilhaftigkeit des Investitionsprojekts?
- Was ist die angestrebte Nutzungsdauer des Investitionsobjektes?
- Wann ist der optimale Investitionszeitpunkt?
- Wie ist das Investitions- und Finanzierungsprogramm auszugestalten?

Der Prozess der Alternativensuche erfordert ein hohes Maß an Kreativität. Daher empfiehlt es sich bei der Suche nach Lösungsalternativen auf Kreativitätstechniken (z.B. Brainstorming, Morphologischer Kasten) zurückzugreifen. (Bleis 2012, S. 6)

Auf die Alternativensuche folgt die Abschätzung von Prognosen. Dies „sind Voraussagen über einen zukünftigen, realen Sachverhalt, die auf der Grundlage von praktischen Erfahrungen und/oder theoretischen Erkenntnissen getroffen werden.“ (Haustein et al. 1970, S. 359) Prognosen haben daher vorausschauenden Charakter und sind gekennzeichnet durch Unsicherheit. Die Auswirkungen der Unsicherheit auf die Investitionsentscheidung sind Betrachtungsgegenstand des nächsten Kapitels. Prognosen betreffen Aussagen über die vom Entscheider zu beeinflussenden Faktoren (Wirkungsprognose) sowie auch zu nicht durch den Entscheider beeinflussbaren zukünftigen Entwicklungen der Umwelt (Entwicklungsprognose). (Koch 2004, S. 291) Die Prognosegüte hat maßgeblichen Einfluss auf die Qualität der Investitionsentscheidung. Je besser es gelingt, die zukünftigen Entwicklungen in Form von Prognosen vorherzusagen, desto höher ist die Planbarkeit. Grenzen von Prognosen sind in erster Linie auf Unsicherheit und Subjektivität zurückzuführen. (Koch 2004, S. 290 f.)

Zur Durchführung von Prognosen kommen verschiedene Prognoseverfahren zur Anwendung. Sie lassen sich in analytische, ökonometrische und intuitive Verfahren unterscheiden. (Berndt 2010, S. 193) Analytische Verfahren nutzen ein formales Modell und sorgen somit für eine Überprüfbarkeit der Prognoseergebnisse. Ökonometrische Verfahren beruhen auf Schätzgleichungen (z.B. Konsumfunktionen) und intuitiven Verfahren liegen subjektiven Erfahrungen der beteiligten Personen zugrunde.

Der Planungsprozess schließt mit der Bewertung und Entscheidung für eine Lösungsalternative. Bei der Bewertung werden die einzelnen Lösungsalternativen hinsichtlich ihres Zielerreichungsgrades beschrieben. Die Bewertung kann auf Basis qualitativer als auch quantitativer Faktoren erfolgen. Die Abschätzung der Zielerreichungsgrade ist abhängig von den Prognosen und somit als unsicher einzuschätzen. (Götze 2008, S. 25) Am Ende der Planung steht die Entscheidung. Sie obliegt bei strategischen Investitionen der höchsten Unternehmensebene. Die Entscheidung führt zur Auswahl einer Lösungsalternative. Sie sollte unter Berücksichtigung des jeweiligen, mit der Alternative verbundenen Risikos erfolgen.

Im Anschluss an die Planungsphase erfolgen wie beschrieben die Realisation- und die Nutzungsphase. Diese Phasen sind für die beschriebene Aufgabenstellung von untergeordneter Bedeutung und sollen daher nicht weiter ausgeführt werden. Die einzelnen Phasen des Planungsprozesses lassen sich durch entsprechende Modelle unterstützen. Hierzu eignen sich Analyse-, Prognose- und Bewertungsmodelle. Im Rahmen der Investitionsplanung eignen sich vor allem Modelle der Investitionsrechnung, die nachfolgend tiefergehend erläutert werden.

3.3 Investitionsmodelle unter Sicherheit

„Die Investitionsrechnung kann als Analyse von Entscheidungsmodellen zur Vorbereitung investitionsbezogener Entscheidungen verstanden werden.“ (Götze 2008, S. 36) Hierzu sind entsprechende Entscheidungsmodelle zu bilden. Wichtigste Charakterisierungsmerkmale sind die Unterscheidung in *statische* und *dynamische* Modelle sowie die Gliederung in Modelle unter *Sicherheit* und Modelle unter *Unsicherheit*.

3.3.1 Statische Modelle der Investitionsrechnung

Der vermutlich größte Vorteil statischer Investitionsrechnungsverfahren liegt in der Einfachheit ihrer Anwendung. Statische Investitionsverfahren beruhen auf trivialen Rechenmodellen und sind ohne weitere Fachkenntnis und ohne EDV-technische Unterstützung anwendbar. Somit können auch ohne großen Aufwand für die Datenbeschaffung Ergebnisse herbeigeführt werden. (Poggensee 2011, S. 39) Allen statischen Verfahren ist gemein, dass es sich bei ihnen um periodische Verfahren handelt, d.h. sie betrachten lediglich die wirtschaftliche Situation in nur einer Periode. (Bieg et al. 2009, S. 52) Aufgrund dieser kurzfristigen Sichtweise sowie der starken Vereinfachung sind statische Verfahren für strategische Investitionen kaum geeignet. Da die meisten dynamischen Verfahren jedoch auf den Konzepten statischer Verfahren beruhen und aus Gründen der Vollständigkeit soll an dieser Stelle dennoch ein kurzer Überblick über die relevanten Verfahren der statischen Investitionsrechnung gegeben werden.

Die vier bekanntesten Verfahren der statischen Investitionsrechnung sind die

- Kostenvergleichsrechnung,
- Gewinnvergleichsrechnung,
- Rentabilitätsrechnung und die
- statische Amortisationsrechnung.

3.3.1.1 Kostenvergleichsrechnung:

Die Modelle der statischen Investitionsrechnung unterscheiden sich in ihrer jeweils betrachteten Zielgröße. Bei der Kostenvergleichsrechnung bilden die Kosten die Zielgröße des Modells. Die Kosten stellen dabei ein Unterziel der Gewinnmaximierung dar. Diesem Umstand Rechnung tragend wird bei der Kostenvergleichsrechnung von identischen Umsätzen der Investitionsalternativen ausgegangen. (Wöhe et al. 2010, S. 531) Zu den innerhalb der Kostenvergleichsrechnung berücksichtigten Kostenarten zählen die Personalkosten, Materialkosten, Abschreibungen, Zinsen, Steuern und Gebühren sowie Kosten für Fremdleistungen. (Götze 2010, S. 27 ff) Die betrachteten Kosten können dabei fix oder variabel sein. Vor allem bei den variablen Kosten stellt die entsprechende Produktionsmenge eine wesentliche Einflussgröße dar. Die Summe der einzelnen Kostenarten führt

zu den Gesamtkosten der Alternative. Werden unterschiedliche Erlöse je Investitionsalternative erwartet, liefert die Kostenvergleichsrechnung keine aussagekräftigen Ergebnisse. Klassische Anwendungsgebiete der Kostenvergleichsrechnung sind daher die Bewertung von reinen Ersatzinvestitionen sowie von alternativ anzuschaffenden Investitionsobjekten. (Schäfer 2005, S. 39) Die Verwendung der Kostengröße als einzige Entscheidungsgrundlage führt in der Realität zu einer Vernachlässigung der Kapazitäten und ist daher zu vermeiden. Ein weiteres Problem der Kostenvergleichsrechnung ist die unzureichende Berücksichtigung der Kostenstruktur. Für ein Unternehmen kann die Art der Zusammensetzung der Gesamtkosten aus variablen und fixen Kosten von großer Bedeutung sein. Diese werden bei der Kostenvergleichsrechnung jedoch unzureichend berücksichtigt. (Schäfer 2005, S. 49) Die beschriebenen Kritikpunkte verdeutlichen, dass die Kostenvergleichsrechnung für das zu entwickelnde Bewertungsmodell ungeeignet ist.

3.3.1.2 Gewinnvergleichsrechnung:

Die dargestellte Methode der Kostenvergleichsrechnung setzt nahezu identische Erlöse der einzelnen Investitionsalternativen voraus, um Aussagen über die Vorteilhaftigkeit der jeweiligen Alternative treffen zu können. Diese Voraussetzung wird bei der Gewinnvergleichsrechnung umgangen. Bei ihr stellen die Gewinne die Bewertungsgröße für die Zielerreichung dar. Hierzu werden neben den Kosten auch die Erlöse der Investitionsalternativen mitberücksichtigt, da sich die Gewinne aus den Erlösen abzüglich der Kosten ergeben. (Wöhe et al. 2010, S. 532) Daher ist die Gewinnvergleichsrechnung auch anwendbar, wenn die jeweiligen Alternativen unterschiedliche Erlöse aufweisen. Eine Investition wird somit auch allgemein gegenüber der Unterlassungsalternative bewertbar. Im Rahmen der Gewinnvergleichsrechnung ist eine Alternative als absolut vorteilhaft anzusehen, wenn ihr Gewinn größer Null (positiver Gewinnbeitrag) ist. Die Alternative ist relativ am vorteilhaftesten, wenn ihr zu erwartender Gewinnbeitrag größer ist als der Gewinn aller Vergleichsalternativen. (Kern 1974, S. 125) Abgesehen von der Berücksichtigung unterschiedlicher Erlöse weist die Gewinnvergleichsrechnung die gleichen Kritikpunkte wie die die Kostenvergleichsrechnung auf und ist für das Bewertungsmodell ebenfalls ungeeignet.

3.3.1.3 Rentabilitätsrechnung:

Bei der Rentabilitätsrechnung stellt die Rentabilität der Alternative die Zielgröße und damit Entscheidungsgrundlage dar. Die Rentabilität ergibt sich als Vergleichsgröße aus Gewinn und Kapitaleinsatz, wobei die jeweiligen Größen unterschiedlich definiert sein können. Eine mögliche Berechnung der Rentabilität ergibt sich wie folgt: (Götze 2008, S. 60 f.)

$$\text{Rentabilität} = \frac{\text{durchschnittlicher Gewinn} + \text{durchschnittliche Zinsen}}{\text{durchschnittliche Kapitalbindung}} \quad (3.1)$$

Hierbei setzt sich der Gewinn zusammen aus dem durchschnittlichen Gewinn und den durchschnittlichen Zinsen. Somit ergibt sich eine Gesamtverzinsung des durchschnittlichen Kapitaleinsatzes. Für die Berechnung der durchschnittlichen Zinsen wird ein Kalkulationszinssatz angegeben. Gemäß der Rentabilitätsrechnung ist eine Alternative absolut vorteilhaft, wenn ihr Wert höher ist als ein vorgegebener Wert und relativ vorteilhaft, wenn sie höher ist als die Werte aller Vergleichsalternativen. (Kern 1974, S. 128) Bei der Bewertung der absoluten Vorteilhaftigkeit kann sich der frei definierbare Grenzwert am Kalkulationszinssatz orientieren. (Huch et al. 2003, S. 133) Durch eine Anpassung des Kalkulationszinssatzes an die Rentabilität der Investitionsalternative können ähnliche Ergebnisse wie bei der Gewinnvergleichsrechnung erzielt werden. (Götze 2008, S. 63) Die beschriebene Berechnung der Rentabilität unter Verwendung von Durchschnittswerten verdeutlicht die starke Vereinfachung sowie deren geringe Realitätsnähe. Die Rentabilitätsrechnung ist daher ebenfalls nicht geeignet zur Bewertung strategischer Investitionen zur Steigerung der Ökoeffektivität innerbetrieblicher Wertschöpfungsketten.

3.3.1.4 Statische Amortisationsrechnung

Bei der statischen Amortisationsrechnung stellt die Amortisation die Zielgröße der Berechnung dar. „Die statische Amortisationsrechnung ermittelt die Anzahl von Perioden, gemessen in Jahren, nach denen aus den Rückflüssen der einzelnen Jahre ohne Beachtung von Zinsen das ursprünglich eingesetzte Kapital wiedergewonnen ist.“ (Poggensee 2011, S. 89) Sie verfolgt damit anders als die bereits beschriebenen Verfahren nicht das Ziel der Outputmaximierung bzw. der Inputminimierung durch Investition, sondern nutzt als Entscheidungskriterium die Sicherheitserwartung des Investors. Hierzu wird die benötigte Anzahl an Jahren, um durch die Rückflüsse das eingesetzte Kapital wieder

zu erwirtschaften, einer frei definierten Vergleichsgröße gegenübergestellt. Sie orientiert sich somit an den Zahlungsreihen der Investitionsalternativen. (Huch et al. 2003, S. 134) Ein Investor wird demnach investieren, wenn die gemäß der Amortisationsrechnung ermittelte Anzahl an Jahren kleiner der vorgegebenen Anzahl an Jahren ist. In diesem Fall gilt die Alternative als absolut vorteilhaft. Die Investitionsalternative ist relativ vorteilhaft, wenn die Amortisationszeit der Alternative geringer ist als diejenige der Vergleichsalternativen. (Kern 1974, S. 130) Die Amortisationszeit wird berechnet als Vergleichsgröße aus dem eingesetzten Kapital und den durchschnittlichen Rückflüssen und ergibt sich als: (Götze 2008, S. 64)

$$\text{Amortisationszeit} = \frac{\text{eingesetztes Kapital}}{\text{durchschnittliche Rückflüsse}} \quad (3.2)$$

Die statische Investitionsrechnung unterstellt somit, dass eine schnelle Rückgewinnung des eingesetzten Kapitals immer vorteilhaft sei. (Poggensee 2011, S. 91) Dieses sollte jedoch in der Praxis keinesfalls die einzige Bewertungsgrundlage darstellen. Da bei der Bewertung strategischer Investitionen zur Steigerung der Ökoeffektivität innerbetrieblicher Wertschöpfungsketten nicht ausschließlich die Zeitdauer bis zur Amortisation relevant ist, bietet sie kein geeignetes Instrument für das zu entwickelnde Bewertungsmodell.

Insgesamt weisen die Verfahren der statischen Investitionsrechnung eine geringe Übertragbarkeit auf die Realität auf, da sie durch die folgenden Nachteile gekennzeichnet sind: (Poggensee 2011, S. 40)

- unzureichende Berücksichtigung der Nutzungsdauer der Investition
- unvollständige Unterscheidung der Zahlungseingänge und Verzinsung gemäß ihres zeitlichen Anfalls
- keine Berücksichtigung von Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Investitionen oder zum zeitlichen Bezug
- Verallgemeinerung bzw. Durchschnittsbetrachtung der Kapazitätsauslastung über die Nutzungsdauer
- Annahme von konstanten Gewinnen und Kosten über die Nutzungsdauer
- Annahme von Sicherheit der verwendeten Daten

Trotz dieser Kritikpunkte weisen statische Verfahren der Investitionsrechnung jedoch noch immer eine hohe Verbreitung in der Praxis auf. (Poggensee 2011, S. 38 f.) Für das gemäß Aufgabenstellung zu entwickelnde Bewertungsmodell sind die Modelle der statischen Investitionsrechnung aufgrund ihrer starken Vereinfachung und der damit einhergehenden mangelnden Berücksichtigung wesentlicher Aspekte wie beispielsweise Unsicherheit und Flexibilität wie dargestellt nicht anwendbar.

3.3.2 Dynamische Modelle der Investitionsrechnung

Anders als bei der statischen Investitionsrechnung werden bei der dynamischen Investitionsrechnung mehrere Perioden berücksichtigt, wodurch die Investitionen durch den zeitlichen Verlauf der Ein- und Auszahlungen charakterisiert werden können. (Wöhe et al. 2010, S. 536) Hierbei erfolgen die Zahlungen zu bestimmten Zeitpunkten. Um eine vergleichbare Basis trotz unterschiedlicher Zahlungszeitpunkte realisieren zu können, werden die Zahlungen auf einen einheitlichen Zeitpunkt hin transformiert. Dies geschieht durch Auf- bzw. Abzinsen. Das Aufzinsen bestimmt „[...] welchen Wert (W) ein zu einem bestimmten Zeitpunkt (hier Zeitpunkt 0) angelegter Kapitalbetrag (N) zu einem späteren Zeitpunkt (t) unter Berücksichtigung von Zinsen und Zinseszinsen annimmt.“ (Götze 2008, S. 67) Das Abzinsen ermöglicht hingegen das Herabrechnen zukünftiger Werte auf die heutige Basis. Alternativ beschreibt es, welcher Wert heute eingesetzt werden muss, um in Zukunft über einen bestimmten Wert zu verfügen.

Unter der Voraussetzung gleich hoher Zinsen über alle Bewertungsperioden hinweg ergibt sich der Wert (W) des abgezinsten Betrages aus: (Götze 2008, S. 68)

$$W = \frac{N}{(1+i)^t} \quad (3.3)$$

wobei N den zukünftigen Wert, t den zukünftigen Zeitpunkt und i den Kalkulationszinssatz bezeichnet. Durch die Auf- bzw. Abzinsung ist es ebenfalls möglich, Zeitpräferenzen zu bestimmen und Investitionen hinsichtlich ihrer Zahlungsströme bewertbar zu machen. (Bieg et al. 2009, S. 72) Die Einzahlung eines bestimmten Wertes ist somit zum heutigen Zeitpunkt als wertvoller einzuschätzen, als der Erhalt desselben Wertes in der Zukunft. Damit bilden die dynamischen Modelle die Realität deutlich besser als die statischen Modelle ab.

Bei der dynamischen Investitionsrechnung lassen sich zwei Arten von Modellen unterscheiden. Die einen gehen von der Annahme eines vollkommenen Kapitalmarktes aus, wodurch die Anlage und die Einzahlungen mit identischem Zinssatz bewertet werden können. Die zweite Gruppe von Modellen ermöglicht für die Anlage und die Aufnahme finanzieller Mittel unterschiedliche Zinssätze. (Götze 2008, S. 69) Die Annahme eines vollkommenen Kapitalmarktes stellt dabei eine Vereinfachung gegenüber der Realität dar, da in der Regel unterschiedliche Finanzierungsarten eine unterschiedliche Verzinsung aufweisen. So wird beispielsweise Fremdkapital anders verzinst werden als Eigenkapital. Die Annahme identischer Zinssätze ermöglicht jedoch eine deutliche Komplexitätsreduktion und findet verbreitet Anwendung. Im Nachfolgenden werden die relevanten Modelle dynamischer Investitionsrechnung näher dargestellt. Zu ihnen zählen die (Götze 2008, S. 70)

- Kapitalwertmethode,
- Annuitätenmethode,
- Interner Zinssatz-Methode,
- Dynamische Amortisationsrechnung

Die jeweiligen Methoden unterscheiden sich wie auch diejenigen der statischen Investitionsrechnung hinsichtlich ihrer Zielgröße. Eine Gemeinsamkeit aller dargestellten Methoden liegt in der Bewertung hinsichtlich einer singulären Zielgröße. Die Bewertung hinsichtlich mehrerer Zielgrößen (z.B. strategisches Marktwachstum, Umweltschonung usw.) erfordert die Anwendung von Nutzwertanalysen oder linearer Optimierung. (Poggensee 2011, S. 109)

Neben der Voraussetzung eines vollkommenen Kapitalmarktes und somit der Verwendung eines einheitlichen Kalkulationszinssatzes erfordert die Anwendung von dynamischen Modellen die folgenden weiteren Voraussetzungen: (Poggensee 2011, S. 110 ff)

- Sicherheit bezüglich aller Rechenelemente
- Zahlungen fallen zu bestimmten Zeitpunkten an
- Verschiebbarkeit der Zahlungen über die Zeit
- Beschränkung der Rechenelemente auf Zahlungen
- Annahme der Gewinnmaximierung

Diese Annahmen stellen eine starke Vereinfachung gegenüber der Realität dar. Wie bereits beschrieben, herrscht in der Regel Unsicherheit bezüglich der verwendeten Rechengrößen. Darüber

hinaus fallen die Zahlungen in der Realität kontinuierlich und nicht zu festgelegten Zeitpunkten an. Somit berücksichtigen die dynamischen Modelle keine Liquiditätsrechnung. Des Weiteren sind Zahlungen in der Praxis nicht verschiebbar, sondern orientieren sich an festgelegten Terminen (z.B. Zahlungsziel). Auch die Beschränkung auf Zahlungen entspricht nicht der realen Praxis. Diese Einschränkung erlaubt beispielsweise nicht die Berücksichtigung von sozialisierten Kosten (z.B. Verursachung von Umweltschäden, sofern diese nicht zu Zahlungen für das Unternehmen führen). Eine Berücksichtigung derartiger Aspekte kann jedoch vor allem unter der Annahme einer zukünftigen Internalisierung dieser Kosten zu wesentlichen Konsequenzen für das Unternehmen führen und sollte daher nicht vernachlässigt werden. Die Voraussetzung der Gewinnmaximierung als Unternehmensziel kann zu fehlerhaften Ergebnissen führen, da neben dieser in der Regel noch weitere strategische Unternehmensziele relevant sein können. So kann eine Investition auch ohne rechnerische Vorteilhaftigkeit auf Grund von strategischen Zielen (z.B. Ausbau des Marktanteils) für ein Unternehmen sinnvoll sein. Die Berücksichtigung dieser Annahmen stellt zwar einerseits eine deutliche Abstraktion der Realität dar, ist jedoch „[...] der einzige mögliche Weg, mathematisch einwandfrei ein komplexes Investitionsprojekt auf eine einzige Kennzahl zu reduzieren und es durch die Reduktion der Komplexität zu einem entscheidungsreifen unternehmerischen Problem zu machen.“ (Poggensee 2011, S. 115) Basis der Berechnung von dynamischen Investitionsmodellen sind die Höhe der Zahlung, die Länge der Nutzungsdauer sowie die Höhe des Zinssatzes. (Poggensee 2011, S. 115)

3.3.2.1 Kapitalwertmethode

Die Kapitalwertmethode stellt die in der Praxis am stärksten vertretene Methode der dynamischen Investitionsrechnung dar. Dies liegt vor allem an dem geringen Rechenaufwand und dem höheren Realitätsbezug im Vergleich zu den statischen Rechenmodellen. (Götze 2008, S. 80) Zielgröße der Kapitalwertmethode ist der Kapitalwert, welcher den Gegenwartswert einer Investition darstellt. Hierzu bezieht der Kapitalwert alle zukünftigen Zahlungen auf den heutigen Zeitpunkt. (Huch et al. 2003, S. 134) Eine mögliche Definition des Kapitalwerts bietet daher die Darstellung desgleichen als „[...] Differenz der barwertigen Ein- und Auszahlungen eines Investitionsobjektes.“ (Poggensee 2011, S. 124) Eine weitere Definition bezeichnet den Kapitalwert als „[...] Absolutbetrag zum Zeitpunkt null, der dem Wert der Investition über die Laufzeit äquivalent ist.“ (Poggensee 2011, S. 125)

Dieser Definition folgend entspricht der Kapitalwert dem Wert der Investition gemessen über die gesamte Investitionslaufzeit. Es wäre damit gleichermaßen attraktiv die Investition zu tätigen, oder den Kapitalwert der Investition sofort zu erhalten.

Der Kapitalwert (KW) errechnet sich als:

$$KW = \sum_{t=0}^T (e_t - a_t) \cdot (1 + i)^{-t} \quad (3.4)$$

Dabei stellt $t=0$ den Beginn des Planungszeitraums dar, T ist der letzte Zeitpunkt zu dem Zahlungen erfolgen, $(e_t - a_t)$ ist die Differenz aus Ein- und Auszahlungen (Nettozahlungen) und i der Zinssatz zum Abzinsen. Durch die Abzinsung wird die Nettozahlung der jeweiligen Zeitpunkte auf den Zeitpunkt $t = 0$ bezogen. Ein positiver Kapitalwert stellt somit den Wertezuwachs der Investition bezogen auf den Ausgangszeitpunkt dar. Der Vergleich von zwei Investitionsalternativen ermöglicht die Beurteilung der relativen Vorteilhaftigkeit.

Die Festlegung des entsprechenden Kalkulationszinsses ist eines der Hauptprobleme bei der Anwendung der Kapitalwertmethode. Um dem Problem realitätsnaher Kalkulationszinssätze zu begegnen, eignet sich eine Grenzwertbetrachtung. Als unterer Grenzwert könnte hierbei der Zinssatz eines risikolosen Wertpapierses und als obere Grenze der Zinssatz der teuersten Möglichkeit zur Kreditaufnahme dienen. Liefert eine Investition trotz oberer Zinsgrenze einen positiven Kapitalwert ist sie als vorteilhaft einzuschätzen, ist ihr Kapitalwert trotz unterer Zinsgrenze negativ, so ist die Investition nicht vorteilhaft. (Götze 2008, S. 91) Die Kapitalwertmethode bietet insgesamt für zahlreiche Investitionsentscheidungen einen guten Kompromiss zwischen Aufwand für Datenbeschaffung und Rechenaufwand einerseits, sowie der Realitätsnähe andererseits. Darüber hinaus stellt der Kapitalwert eine gut nachvollziehbare Bewertungsbasis dar, was einen weiteren Grund für dessen starke Verbreitung in der Praxis liefert. Bei strategischen Investitionsentscheidungen und langlaufenden Investitionsprojekten führt die Vernachlässigung von Risiko und Handlungsfreiheit des Investors jedoch zu einer zu starken Vereinfachung. Da gerade diese Faktoren in dem zu entwickelnden Bewertungsmodell mit abgebildet werden sollen, kann die Kapitalwertmethode zwar als Bewertungsbasis angewendet werden, sie darf jedoch nicht alleiniges Mittel der Investitionsbewertung darstellen.

3.3.2.2 Annuitätenmethode

Eine Annuität bezeichnet im Bereich der Investitionsrechnung eine „[...] gleich hohe Zahlung, die in jedem Zeitabschnitt des Betrachtungszeitraums anfällt.“ (Gabler 2013, S. 18) Die Annuität ist hierbei äquivalent zu dem Kapitalwert der Investition. Somit entspricht die Methode im Grundsatz der Kapitalwertmethode und unterscheidet sich lediglich in der betrachteten Zielgröße. Die Zahlungen werden bei der Annuitätenmethode in der Regel auf das jeweilige Periodenende bezogen. Der Betrachtungszeitraum stellt die Nutzungsdauer der Investition dar. Die Annuität berechnet sich gemäß der folgenden Formel (Götze 2008, S. 93 f.):

$$Ann = KW \cdot \frac{(1+i)^T \cdot i}{(1+i)^T - 1} \quad (3.5)$$

Hierbei stellt KW den Kapitalwert der Investition dar, T die Nutzungsdauer und i den Kalkulationszinssatz. Der Faktor mit dem der Kapitalwert multipliziert wird, wird als Wiedergewinnungsfaktor bezeichnet. (Poggensee 2011, S. 121 f.) Weist eine Investition eine positive Annuität auf, so ist diese als absolut vorteilhaft zu bezeichnen. Bei der relativen Vorteilhaftigkeit ist zu berücksichtigen, dass die Anzahl der betrachteten Perioden je Investitionsalternative unterschiedlich sein kann. Handelt es sich bei der Investition um eine Anlage mit unendlicher identischer Wiederholung, so lässt sich auf Basis der Annuitätenmethode eine ewige Rente berechnen. Der Kapitalwert dieser ewigen Rente berechnet sich als:

$$\text{Kapitalwert} = \frac{\text{Annuität}}{\text{Kalkulationszinssatz}} \quad (3.6)$$

Die Berechnung der Annuität ist insgesamt aufwändiger als die Berechnung des Kapitalwerts, sie ermöglicht jedoch wie dargestellt die Berechnung des Kapitalwerts einer unendlichen Investitionskette. Aufgrund ihrer Periodenbetrachtung ist die Annuität im Sinne eines Durchschnittsgewinns darüber hinaus in der Regel leichter zu interpretieren als der Kapitalwert. (Bieg et al. 2009, S. 105) Für das zu entwickelnde Bewertungsmodell bietet die Annuitätenmethode im Vergleich zur Kapitalwertmethode jedoch keinen Vorteil. Im Gegensatz verstärkt die Annuitätenmethode den Eindruck jährlich gleicher und sicher kalkulierbarer Zahlungsströme. Auf die Verwendung der Annuitätenmethode wird aus diesen Gründen verzichtet werden.

3.3.2.3 Interner Zinssatz-Methode

Der interne Zinssatz (Zinsfuß) ist derjenige „[...] Zinsfuß, bei dem der auf den Kalkulationszeitpunkt bezogene Kapitalwert einer Investition gleich Null ist.“ (Gabler 2013, S. 222) Damit ist eine Investition vorteilhaft, wenn ihr interner Zinssatz größer ist als der Kalkulationszinssatz. Die Investition sollte daher in dem Fall durchgeführt werden, wenn die erzielte Verzinsung höher als die Finanzierungskosten ist. Der interne Zinssatz stellt dabei eine abhängige Variable dar, die solange verändert wird, bis die Ergebnisse der anderen Modelle (z.B. Kapitalwertmethode) den Wert Null erreichen. (Poggensee 2011, S. 154) Der interne Zinssatz errechnet somit die Rendite als dimensionslose Größe. Anders als die bisher beschriebenen Modelle geht der interne Zinssatz davon aus, dass die ausstehenden Beträge nicht zum Kalkulationszinssatz, sondern zur Rendite angelegt werden. Somit unterscheidet sich nach dieser Methode die Verzinsung für unterschiedliche Investitionen. (Poggensee 2011, S. 155) Da der interne Zinssatz (r) denjenigen Wert darstellt bei dem der Kapitalwert gleich Null ist, gilt:

$$KW = \sum_{t=0}^T (e_t - a_t) \cdot (1 + r)^{-t} = 0 \quad (3.7)$$

Der interne Zinssatz lässt sich lediglich für eine oder zwei Perioden (oder für Zahlungen in gleicher Höhe bei mehreren Perioden) exakt errechnen. Trifft dieser Sonderfall nicht zu, so sind Näherungsverfahren zur Berechnung des internen Zinssatzes anzuwenden. (Wöhe et al. 2010, S. 547) Da der interne Zinssatz die Verzinsung des eingesetzten Kapitals bestimmt, kann die Anwendung der Methode zu anderen relativen Vorteilhaftigkeiten führen als z.B. die Kapitalwertmethode. Hierbei werden absolut vorteilhafte Objekte mit geringer Kapitalbindung tendenziell besser bewertet als bei der Kapitalwertmethode. (Götze 2008, S. 103) Für das zu entwickelnde Bewertungsmodell stellt der interne Zinssatz keine geeignete Bewertungsbasis dar. Zum einen führt die die Nichtverfügbarkeit exakter Rechenlösungen zu einer Mehrdeutigkeit der Methode. Darüber hinaus setzt die Zinssatz-Methode voraus, dass Wiederanlagen zum internen Zinssatz möglich sind. (Rolfes 2003, S. 49 ff) Dies ist vor allem bei hohen internen Zinssätzen in der Regel nicht der Fall.

3.3.2.4 *Dynamische Amortisationsrechnung*

Die dynamische Amortisationsrechnung ermöglicht die Ermittlung der Amortisationszeit einer Investition auf Basis des Kapitalwertmodells. Die dynamische Amortisationsrechnung weist wie alle Modelle der dynamischen Investitionsrechnung im Vergleich zu seinem statischen Vertreter den Vorteil auf, dass sie den zeitlichen Anfall der Zahlungen mitberücksichtigt. (Huch et al. 2003, S. 129) Ebenso wie die statische Variante dient die dynamische Amortisationsrechnung lediglich als Risikomaßstab und sollte daher nicht isoliert betrachtet werden. (Götze 2008, S. 110) Bezüglich der absoluten und relativen Vorteilhaftigkeit der Investition gelten dieselben Bedingungen wie bei der statischen Amortisationsrechnung. Die Berechnung der Amortisationszeit erfolgt, indem die jeweils abgezinsten Zahlungen kumuliert werden. Die Investition amortisiert sich in dem Jahr, in dem die Summe der abgezinsten Rückflüsse die Anfangsinvestition übersteigt, d.h. die kumulierten Werte positiv werden. (Huch et al. 2003, S. 127 f.) Da die alleinige Betrachtung der dynamischen Amortisationszeit für das angestrebte Bewertungsmodell für strategische Investitionen zur Steigerung der Ökoeffektivität innerbetrieblicher Wertschöpfungsketten nicht ausreicht, kann diese bestenfalls als ergänzende Methode verwendet werden. Als alleinige Bewertungsmethode ist die dynamische Amortisationsrechnung für den gewählten Anwendungszusammenhang jedoch nicht ausreichend. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Modelle der dynamischen Investitionsrechnung insgesamt stärker als die Modelle der statischen Investitionsrechnung zu einer realitätsnahen Bewertung der Investitionsentscheidung beitragen. Die für das zu gestaltende Bewertungsmodell benötigte Berücksichtigung von Unsicherheit und Flexibilität findet in den bisher beschriebenen Modellen jedoch nicht statt. Die Methoden der dynamischen Investitionsrechnung schaffen eine Grundlage für die im Nachfolgenden beschriebenen Modelle zur Berücksichtigung von Unsicherheit.

3.4 Investitionen unter Berücksichtigung von Unsicherheit

3.4.1 Der Einfluss von Unsicherheit auf Investitionen

Wie bereits erwähnt werden Investitionsentscheidungen beeinflusst durch externe Faktoren, auf die das Unternehmen nur bedingt Einfluss ausüben kann. Dieser Umstand macht Investitionsentscheidungen unsicher. Unsicherheit im weiteren Sinne lässt sich unterscheiden in Risiko und Ungewissheit. (Bieg et al. 2009, S. 181 f.) Ungewissheit liegt vor, wenn es dem Entscheider nicht gelingt, das Ausmaß der Unsicherheit in Form einer subjektiven oder objektiven Wahrscheinlichkeit zu spezifizieren. Im Zustand von Ungewissheit lassen sich daher keine Aussagen zur Vorteilhaftigkeit der Entscheidung treffen. (Nöll et al. 2011, S. 41) Risiko liegt dann vor, wenn es gelingt, Schätzwerte für die Wahrscheinlichkeit des Abweichens vom erwarteten Wert anzugeben. Eine derartige Abweichung kann sich sowohl zum Positiven als auch zum Negativen entwickeln. Im allgemeinen Sprachgebrauch wird jedoch mit dem Begriff des Risikos lediglich die Entwicklung zum Negativen verbunden (Risiko im engeren Sinne), während die Möglichkeit der Entwicklung zum Positiven als Chance verstanden wird. Der Begriff der Unsicherheit wird im engeren Sinne als Oberbegriff für Risiko und Chance verstanden. Für die Bewertung von Realoptionen stellt die Unsicherheit (im engeren Sinne) einen wesentlichen Betrachtungsgegenstand dar, während die Ungewissheit aufgrund ihrer mangelnden Quantifizierbarkeit nicht Bestandteil der Bewertung sein kann. In der weiteren Betrachtung und in Bezug auf die gebräuchliche Terminologie wird daher im Nachfolgenden von Risiko (im weiteren Sinne) oder von Unsicherheit (im engeren Sinne) gesprochen, welche als gleichbedeutend anzusehen sind. (Fisch 2006, S. 36)

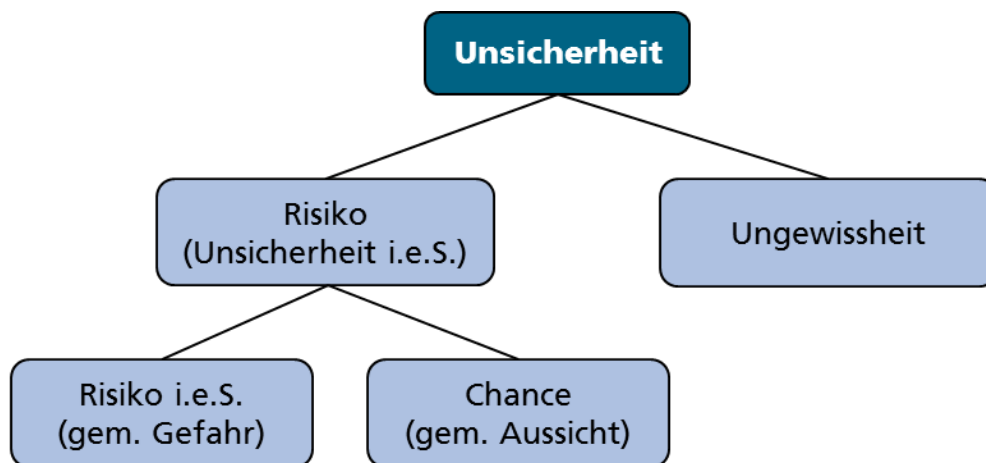


Abbildung 3-4: Charakterisierung von Unsicherheit

Unsicherheit spielt bei Investitionsentscheidungen eine wesentliche Rolle. (Becker 2010, S. 19 ff; Nöll et al. 2011, S. 51 ff) In dem in der Praxis überwiegend angewandten Kapitalwertmodell spiegelt sich die Unsicherheit in einem angepassten Zinssatz wider. Mit steigender Unsicherheit steigt der Zinssatz. Dieser Zuschlag kann als eine Form von Risikoprämie verstanden werden, die als Kompensation der Unsicherheit erwartet wird. (Fisch 2006, S. 35) Mit steigender Unsicherheit kann sich eine Investition unattraktiv entwickeln. Durch die Ausgestaltung spezieller Modelle ist es möglich, die Abhängigkeiten der Zielgrößen durch die Entwicklung der Umweltzustände zu berücksichtigen. Hierdurch gelingt es, die Unsicherheit in der Entscheidungsfindung miteinzubeziehen. Die Anzahl der zu erwartenden Lösungsmöglichkeiten steigt mit der Anzahl der möglichen Entwicklungen der Umweltzustände. (Laux et al. 2012, S. 344)

3.4.2 Klassische Investitionsmodelle zur Berücksichtigung von Unsicherheit

Es lassen sich verschiedene Methoden unterscheiden, die zur Berücksichtigung der Unsicherheit geeignet sind. Im Wesentlichen basieren die Ansätze auf den Zielgrößen der bereits dargestellten statischen oder dynamischen Modelle der Investitionsrechnung. Im Nachfolgenden sollen die bekanntesten Methoden zur Berücksichtigung von Unsicherheit kurz erläutert werden:

- Risikoangepasste Datenbestimmung bzw. -bewertung
- Sensitivitätsanalyse

- Risikoanalyse
- Entscheidungsbaumverfahren
- optionspreistheoretische Modelle

Die Zielgröße der beschriebenen Modelle stellt in den nachfolgenden Erläuterungen, sofern nicht anders angegeben, beispielhaft der Kapitalwert des Investitionsobjektes dar.

3.4.2.1 *Risikoangepasste Datenbestimmung*

Eine Möglichkeit der risikoangepassten Datenbestimmung stellt das Korrekturverfahren dar. Bei ihm werden die ermittelten Werte um Risiko- bzw. -abschläge angepasst. (Wöhe et al. 2010, S. 562) Beispiele für eine derartige Anpassung können die Erhöhung der erwarteten Auszahlungen oder eine Reduktion der laufenden Einzahlungen darstellen. Korrekturverfahren sind jedoch gekennzeichnet durch ein hohes Maß an Subjektivität. Darüber hinaus stellen sie oftmals lediglich negative Korrekturen dar und bieten die Gefahr einer doppelten Berücksichtigung (wenn sie z.B. von verschiedenen Personen vorgenommen werden). Als weiterer Kritikpunkt der Korrekturverfahren ist zu erwähnen, dass die Auswirkungen der Unsicherheit durch die Anpassung der Eingangsgrößen nicht nachvollziehbar und rückverfolgbar sind. (Götze 2008, S. 352 f.) Aus diesen Gründen wird risikoangepasste Datenbestimmung nicht für das Bewertungsmodell genutzt.

3.4.2.2 *Sensitivitätsanalyse*

Die Sensitivitätsanalyse ermöglicht es, Relationen zwischen verschiedenen Eingangsgrößen sowie deren Auswirkungen auf den Zielwert zu analysieren. Sie gibt Auskunft darüber, welchen Einfluss die Änderung eines oder mehrerer Eingangsparameter auf den Zielwert ausüben. Darüber hinaus ermöglicht sie eine Grenzbetrachtung bezüglich der Eingangsgrößen, indem sie beschreibt welchen Wert eine oder mehrere Zielgrößen maximal oder minimal einnehmen dürfen, um einen vorgegebenen Zielwert zu erreichen. (Wöhe et al. 2010, S. 563) Die Durchführung einer Sensitivitätsanalyse setzt die Bildung eines Modells sowie die Festlegung der zu betrachteten Eingangs- und Zielgrößen dar. Mögliche Untersuchungsgrößen können z.B. der Absatzpreis, die Produktionsmenge oder der Kalkulationszinssatz sein. Die jeweilige Fragestellung bezüglich des Betrachtungsbereichs (z.B. In-

putgröße, Betrachtungshorizont) hat dabei wesentlichen Einfluss auf die Ausgestaltung des Modells. (Götze 2008, S. 365) Zur Analyse der Auswirkung einer Parameteränderung kann beispielsweise zunächst der Kapitalwert gemäß der dargestellten Formel berechnet werden. Anschließend lässt sich durch die Variation jeweils eines Parameters die Auswirkung auf den Kapitalwert untersuchen. Die Analyse zeigt hierbei, wie der Name besagt, die Sensitivität der Zielgröße hinsichtlich der Änderung der Eingangsparameter. Das Ergebnis der Sensitivitätsanalyse ermöglicht daher ebenfalls eine Bewertung der Relevanz der einzelnen Einflussgrößen. So kann es beispielsweise sinnvoll sein, einen höheren Aufwand für die Informationsbeschaffung hinsichtlich einer Einflussgröße in Kauf zu nehmen, wenn diese einen besonders stark wirkenden Einfluss auf die Zielgröße aufweist. Darüber hinaus lässt sich, wie bereits beschrieben, eine Analyse durchführen, ab welchen Grenzwerten der Eingangsgrößen eine Investition ihre Vorteilhaftigkeit verliert. Ein bekanntes Anwendungsfeld stellt die Nutzung einer derartigen Grenzbetrachtung im Rahmen der Kostenvergleichsrechnung dar. Durch die Bestimmung einer kritischen Produktionsmenge sowie der Sensitivität des Modells in Bezug auf Parameteränderungen ist es beispielsweise möglich, Aussagen zu Make-or-Buy-Entscheidungen unter der Berücksichtigung von Unsicherheit zu treffen. Als Kritikpunkte an der Sensitivitätsanalyse kann festgehalten werden, dass bei gleichzeitiger Variation mehrerer Inputparameter die Interpretierbarkeit des Modells leidet und dass keine Aussagen über die Wahrscheinlichkeiten des Eintretens von Abweichungen berücksichtigt werden können. (Bieg et al. 2009, S. 201) Darüber hinaus lassen sich die Einflüsse der Unsicherheit sowie die Handlungsfreiheit des Investors nicht hinreichend abbilden. Da lediglich die Sensitivität der Veränderung einiger weniger Einflussgrößen auf die Gesamtinvestition untersucht werden kann, ist die Sensitivitätsanalyse als methodische Grundlage für das angestrebte Bewertungsmodell ungeeignet.

3.4.2.3 Risikoanalyse

Die Risikoanalyse umgeht den Kritikpunkt der fehlenden Aussagen über Eintrittswahrscheinlichkeiten bei der Sensitivitätsanalyse, indem sie die Abbildung einer Wahrscheinlichkeitsverteilung für das Eintreten der Eingangsgrößenänderungen ermöglicht. Es können Zusammenhänge zwischen den Eingangsgrößen sowohl untereinander als auch in Bezug auf die Zielgröße analysiert werden. (Bieg et al. 2009, S. 202) Basis der Risikoanalyse ist das Entscheidungsmodell. Anders als bei der Sensitivitätsanalyse wird bei der Risikoanalyse im zweiten Schritt die Wahrscheinlichkeitsverteilung für die

Eingangsgrößen berechnet. Darüber hinaus lassen sich Abhängigkeiten zwischen den Eingangsgrößen berechnen. In Abhängigkeit der Eingangsgrößen kann daraus eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Zielgröße abgeleitet und interpretiert werden.

Die Berechnung der Modellergebnisse kann in Form einer Simulation erfolgen. Hierbei wird eine Vielzahl von Rechenläufen durchlaufen und die Ergebnisse werden entsprechend ihrer Eintrittshäufigkeit klassifiziert. Abbildung 3-5 zeigt das Ergebnis einer Risikoanalyse für eine Investition mit unsicheren Eingangsgrößen bezogen auf die Verkaufspreise, die fixen und variablen Auszahlungen, den Liquidationserlös sowie die Absatzmenge.

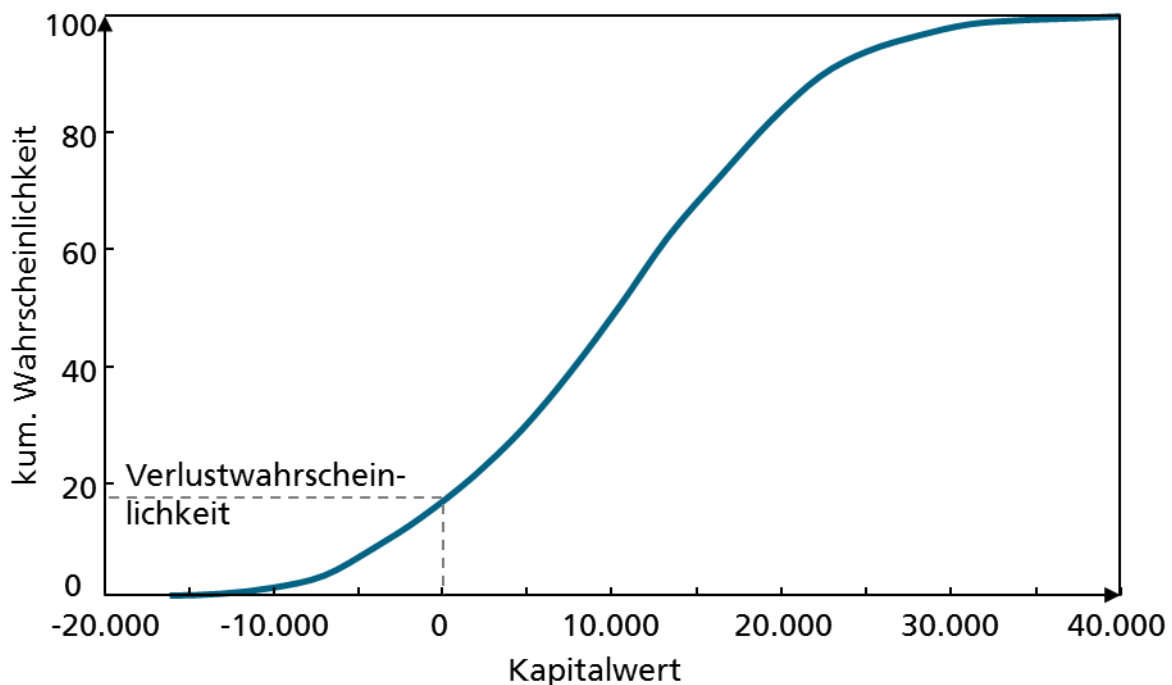


Abbildung 3-5: Ergebnis einer Risikoanalyse (Götze 2008, S. 378)

Aus dem Ergebnis der Risikoanalyse lassen sich verschiedene Kennzahlen ableiten. So lässt sich beispielsweise die Verlustwahrscheinlichkeit vorhersagen. Sie gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Investition zu einem Verlust führen wird. In der vorliegenden Auswertung liegt dieser Wert bei 18%. Die Risikoanalyse ist, wie der Name bereits aussagt, vor allem dazu geeignet, das mit einer Investition verbundene Risiko bewertbar zu machen. Als Kritikpunkt der Methode kann unter anderem die Festlegung der Wahrscheinlichkeitsverteilung gesehen werden. Diese stellt in der Praxis,

nicht zuletzt aufgrund der oftmals vorliegenden Einmaligkeit der Investitionsentscheidung, eine besondere Herausforderung dar. (Bieg et al. 2009, S. 206) Da dieser Kritikpunkt vor allem auch bei den strategischen Investitionsentscheidungen zur Steigerung der Ökoeffektivität Gültigkeit besitzt, wird die Risikoanalyse für das geplante Bewertungsmodell nicht als methodische Grundlage genutzt.

3.4.2.4 Entscheidungsbaumverfahren

Das Entscheidungsbaumverfahren bietet die Möglichkeit, eine Vielzahl unterschiedlicher Umweltzustände samt ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit abzubilden. Anders als die bisher beschriebenen Verfahren lassen sich darüber hinaus Folgeentscheidungen beschreiben. Diese sind als Entscheidungen in Abhängigkeit des Eintretens eines bestimmten Umweltzustandes zu verstehen. (Götze 2008, S. 106) Diese Tatsache ermöglicht die Abbildung der Flexibilität in der Entscheidungsfindung. Basis des Entscheidungsbaums ist die Festlegung und Einteilung des Planungszeitraums. Damit wird beschrieben, zu welchen Zeitpunkten Handlungsalternativen wirksam werden können. Darauf aufbauend werden die relevanten Daten (z.B. Preis, Absatzmenge usw.) für die jeweiligen Entscheidungsalternativen prognostiziert. Auf Basis des Entscheidungsbaums ist es möglich, den Erwartungswert des Kapitalwertes zu berechnen. Dieser beschreibt den Kapitalwert, der bei Eintreffen der jeweiligen Umweltzustände zu erwarten ist. Da die Maximierung des Kapitalwertes Zielsetzung der Entscheidung ist, lässt sich eine optimale Entscheidungsfolge aus dem Entscheidungsbaum ableiten. Der Entscheidungsbaum setzt sich zusammen aus den Entscheidungsknoten (E), den Handlungsalternativen des Entscheiders (HA), den nicht beeinflussbaren Umweltzuständen (U) sowie den sich hieraus ergebenden Zufallereignisknoten (Z). Der Eintritt des Umweltzustandes ist charakterisiert durch seine Eintrittswahrscheinlichkeit (p). Die eintretenden Umweltzustände bewirken eine wirtschaftliche Konsequenz (Y) der Handlungsalternativen. (Poggensee 2011, S. 328) Abbildung 3-6 zeigt einen entsprechenden Entscheidungsbaum mitsamt seinen Bestandteilen für den Zeitraum von zwei Perioden. Über eine Rückwärtsrechnung lässt sich dementsprechend der Wert einer Handlungsalternative über die „[...] Addition der mit den Eintrittswahrscheinlichkeiten der Umweltzustände (U) gewichteten möglichen wirtschaftlichen Konsequenzen (Y)“ ermitteln. (Poggensee 2011, S. 328)

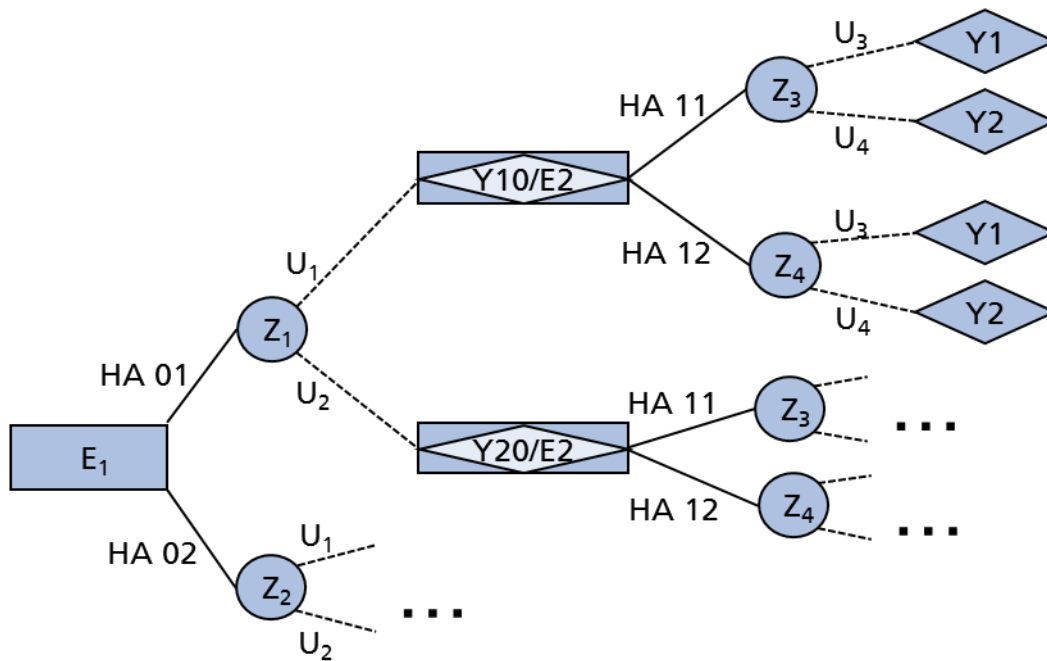


Abbildung 3-6: Aufbau eines Entscheidungsbaums (Poggensee 2011, S. 327)

Das Entscheidungsbaumverfahren ermöglicht es, Investitionsentscheidungen in Form einer sequenziellen Planung abzubilden. Dieses stellt die Basis für die Berücksichtigung von Flexibilität in Handlungsentscheidungen dar. Eine Anwendungsmöglichkeit des Entscheidungsbaumverfahrens liegt in der Abschätzung von optimalen Investitionszeitpunkten. Das Entscheidungsbaumverfahren eignet sich ebenfalls zur Bewertung eines optimalen Investitionsprogramms. (Troßmann 2013, S. 211 ff)

Problematisch wird die Anwendung des Verfahrens, wenn eine große Anzahl möglicher Entscheidungen, Alternativen und Umweltzustände zu berücksichtigen sind. Daher ist für die wirtschaftliche Anwendbarkeit des Verfahrens die Voraussetzung einer begrenzten Anzahl möglicher Umweltzustände zu schaffen. Herausfordernd ist in der Regel auch die Beschaffung der für die Analyse benötigten Daten. (Bieg et al. 2009, S. 209) Durch die reine Nutzung von erwarteten Werten ohne die Berücksichtigung möglicher Abweichungen ist die Abbildung der Unsicherheit beim Entscheidungsbaumverfahren lediglich bedingt möglich. Zur Berücksichtigung der Unsicherheit bei Investitionsentscheidungen sowie der Abbildung der Handlungsspielräume des Investors eignen sich optionspreisorientierte Ansätze, die im nachfolgenden Kapitel näher erläutert werden sollen. Die Möglichkeit zur Abbildung der Flexibilität bei Investitionsentscheidung kommt dem Anspruch des zu gestaltenden Bewertungsmodells entgegen. Die Einschränkung auf wenige Umweltzustände

schränkt die Anwendbarkeit des Entscheidungsbaumverfahrens hingegen ein. Daher werden im Nachfolgenden Verfahren der Realloptionstheorie analysiert und deren Eignung als Berechnungsbasis für das Bewertungsmodell analysiert.

3.5 Investitionen als Realloptionen

3.5.1 Grundlagen der Realloptionstheorie

Investitionen lassen sich als eine Form von Realloptionen auffassen. Dabei stellt die Realloptionstheorie „[...] keine spezialisierte Theorie der internationalen Direktinvestition, sondern eine Theorie der Investition unter Unsicherheit bei besonderer Berücksichtigung der zeitlichen Dimension dar.“ (Fisch 2006, S. 35) Realloptionen sind in ihrer Charakteristik vergleichbar den Finanzoptionen. Im Bereich der Finanzmärkte werden Call-Optionen und Put-Optionen unterschieden. Bei der Call-Option bietet der Optionsverkäufer dem Optionskäufer das Recht, einen Vermögensgegenstand zu einem fest definierten Preis innerhalb einer vereinbarten Frist zu erwerben. Im Gegenzug gewährt der Optionskäufer dem Verkäufer hierfür eine Optionsprämie. Bei der Put-Option gewährt der Optionsverkäufer gegen Prämie das Recht, den Vermögensgegenstand zum festgelegten Preis innerhalb der Optionsfrist zu verkaufen. (Adelmeyer et al. 2005, S. 109 ff) Der vereinbarte Preis wird als Ausübungspreis bezeichnet. Dieser kann je nach Preisentwicklung am Markt über oder unter dem Tagespreis liegen. Bei der Wahrnehmung der Option lassen sich europäische und amerikanische Optionen unterscheiden. Europäische Optionen können lediglich am Ende der festgelegten Laufzeit ausgeübt werden. Bei amerikanischen Optionen ist die Realisierung der Option während der gesamten Laufzeit möglich. (Black et al. 1973, S. 4) Finanzoptionen können wie reale Güter an der Börse gehandelt werden. Der Wert der Option ist somit abhängig vom Tagespreis sowie dem Ausübungspreis. Liegt der vereinbarte Ausübungspreis am Ende der Laufzeit einer europäischen Option über dem Tagespreis, wird der Optionshaltende seine Option nicht ausüben. Die Option hat in diesem Fall den Wert 0. Der Wert der Option wird somit während der Optionslaufzeit maßgeblich von der Erwartung beeinflusst, ob der Tagespreis bei Laufzeitende über oder unter dem Ausübungspreis liegen wird. Ziel der Optionspreistheorie ist die Ermittlung des Optionswertes während der Optionslaufzeit. (Black et al. 1973, S. 637 f.) Myers prägte den Begriff der Realloption. (Myers 1977,

S. 150) Charakteristisches Merkmal von Realloptionen ist, dass diese, anders als die beschriebenen Finanzoptionen, nicht an der Börse gehandelt werden. (Brennan et al. 2000, S. 3 f.) Realloptionen stellen einen Wertgegenstand für den Besitzer der Option dar, der jedoch nicht marktfähig ist. Realloptionen sind damit nicht zwingend Rechte im eigentlichen Sinne. Vielmehr sind sie als Wahlmöglichkeit zu verstehen, die der Optionsbesitzer nutzen kann, jedoch nicht nutzen muss. (Spremann 1999, S. 413)

Es gibt verschiedene Gründe aus denen sich für Unternehmen Realloptionen ergeben. So kann beispielsweise der Besitz von Grundstücken oder Patenten eine Grundlage für firmenspezifische Realloptionen darstellen. Oftmals ergeben sich Realloptionen jedoch auch aus dem Zugang zu bestimmten Ressourcen sowie auf Grundlage technologischen Wissens oder der Marktposition des Unternehmens. (Dixit et al. 1994, S. 9)

Gemäß Dixit und Pindyck weisen reale Investitionsentscheidungen die folgenden drei Eigenschaften auf, die von der klassischen Investitionsrechnung nicht hinreichend berücksichtigt werden. (Dixit et al. 1994, S. 26 ff)

- teilweise oder gänzliche Irreversibilität
- mit Unsicherheit behaftete Rückflüsse
- zeitliche Flexibilität

Einmal getätigte Investitionen lassen sich in der Regel nicht oder nur zum Teil und verbunden mit hohen Kosten rückgängig machen. Sie stellen somit versunkene Kosten (sunk cost) dar. (Schäfer 2005, S. 15 f.) Versunkene Kosten sind oftmals firmenspezifisch (z.B. Marketinginvestitionen) oder industriespezifisch (z.B. Bau eines Stahlwerks). (Dixit et al. 1994, S. 8) Diese Tatsache ist besonders bei strategischen Entscheidungen von enormer Bedeutung, da versunkene Kosten und die damit einhergehende Irreversibilität der Investitionsentscheidung drastische Konsequenzen für den Unternehmenserfolg aufweisen können. Die versunkenen Kosten können somit ebenfalls als Erklärungsansatz für ein zurückhaltendes Investitionsverhalten und für das längere Halten von Optionen bei einem hohen Maß an Unsicherheit dienen. (Fisch 2006, S. 53)

Darüber hinaus sind die Rückflüsse einer Investition, wie bereits beschrieben, gezeichnet von Unsicherheit. In der Regel wird es bei der Investitionsentscheidung nicht gelingen, alle zukünftigen Ent-

wicklungen und Umwelteinflüsse in die Planung miteinzubeziehen, wodurch die Höhe der zu erwartenden Rückflüsse unsicher ist. Die klassischen Verfahren der Investitionsrechnung auf Basis des Kapitalwerts berücksichtigen, wie im vorigen Kapitel dargestellt, diesen Fakt zwar teilweise durch die Anpassung des Zinssatzes, vernachlässigen jedoch den Zusammenhang zwischen den unsicheren Rückflüssen und der Irreversibilität der Investitionsentscheidung. (Dixit et al. 1994, S. 4 ff)

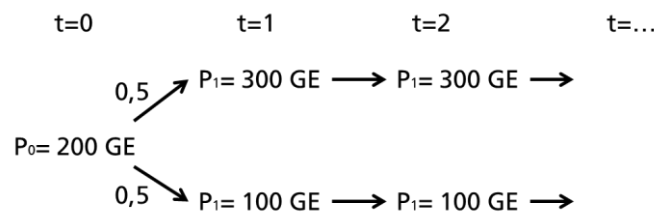
Die mangelnde Berücksichtigung der zeitlichen Flexibilität von Investitionsentscheidungen stellt den dritten wesentlichen Kritikpunkt an der klassischen Investitionsrechnung (mit Ausnahme des Entscheidungsbaumverfahrens) dar. Diese Verfahren sehen eine Investition als „Now-or-Never“-Entscheidung. Dieser Voraussetzung widersprechend ist es jedoch bei realen Investitionen oftmals möglich, die Investitionsentscheidung hinauszuzögern. Wird eine Investition nicht sofort getätigt, bedeutet dies in der Regel nicht, dass sie nicht zu einem späteren Zeitpunkt nachgeholt werden kann. Eine derartige Verzögerungsstrategie bedeutet zwar einerseits, dass zunächst auf Rückflüsse verzichtet wird, sie kann jedoch sinnvoll sein, da sich in der Zwischenzeit neue Informationen generieren lassen könnten, wodurch sich das Maß an Unsicherheit reduzieren ließe. Die Möglichkeit des Wartens bietet somit einen Mehrwert bei der Investitionsentscheidung, welcher bei der klassischen Investitionsrechnung unberücksichtigt bleibt. (Dixit et al. 1994, S. 8 f.) Sie stellt eine Realoption dar.

3.5.2 Arten von Realoptionen

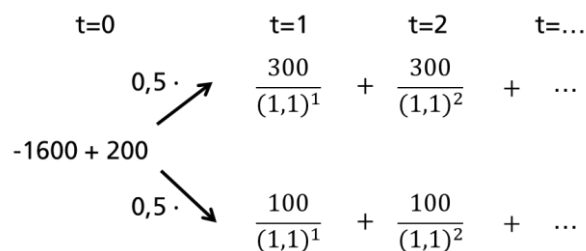
Die Warteoption charakterisiert wie beschrieben die Grundannahme der Optionspreistheorie, dass eine Investition nicht nur einen positiven Kapitalwert benötigt, um durchgeführt zu werden, sondern sie vielmehr auch den Wert des Wartens befriedigen muss. (Fisch 2006, S. 40) Der Wert einer Warteoption soll nachfolgend anhand eines vereinfachten Beispiels kurz erläutert werden.⁴ Ein Unternehmen hat die Möglichkeit in eine Produktionslinie für ein neuartiges umweltfreundliches Produkt zu investieren. Die Kosten für die Investition belaufen sich auf 1.600 Geldeinheiten [GE]. Das Unternehmen geht aus heutiger Sicht davon aus, dass sich auf Basis des neuen Produktes Rückflüsse in Höhe von jährlich 200 GE realisieren lassen. Es ist abzusehen, dass im nächsten Jahr über eine das Produkt betreffende umweltpolitische Gesetzesänderung entschieden wird, welche sich

⁴ Beispiel angelehnt an (Dixit et al. 1994, S. 26 ff)

maßgeblich auf die zu erwartenden Cashflows auswirken wird. Bei Annahme des Gesetzes werden die zu erwartenden Cashflows auf voraussichtlich 300 GE steigen, bei Ablehnung des Gesetzes werden sie auf 100 GE fallen. In allen folgenden Perioden bleiben die zu erwartenden Cashflows gleich. Die Wahrscheinlichkeit, dass das Gesetz angenommen wird, liegt bei 50%. Zur Bewertung der Investition wird ein risikoloser Zinssatz in Höhe von 10% zugrunde gelegt. Auf Basis der Ausgangslage ergeben sich für die zu erwartenden Cashflows somit die folgenden Entwicklungsmöglichkeiten:



Hieraus resultiert für den Kapitalwert die folgende Zahlungsreihe:



Der zu erwartende Kapitalwert beträgt somit:

$$KW = -1600 + \sum_{t=0}^{\infty} \frac{200}{(1,1)^t} = -1600 + 2200 = 600 \text{ [GE]} \quad (3.8)$$

Auf Grundlage des Kapitalwertes sollte somit die Investition getätigt werden. Wird statt einer sofortigen Investition jedoch gewartet, so ergibt sich unter der Voraussetzung, dass nur bei Annahme des Gesetzes investiert wird, der folgende Kapitalwert:

$$KW = 0,5 \cdot \left(\frac{-1600}{1,1} + \sum_{t=1}^{\infty} \frac{300}{(1,1)^t} \right) + 0,5 \cdot 0 = \frac{850}{1,1} = 773 \text{ [GE]} \quad (3.9)$$

Unter der Berücksichtigung der Möglichkeit des Wartens ergibt sich somit ein höherer Kapitalwert als bei einer sofortigen Investition. Die Option zu warten besitzt somit einen Wert in Höhe von 173 GE.

Optionen können gemäß ihrer Wirkweise auf den Investitionsprozess in verschiedene Arten unterteilt werden. Wie auch im Bereich der Finanzoptionen lassen sich dabei grundlegend Call- und Put-Optionen unterscheiden. Während Call-Optionen die Möglichkeiten zur Investition darstellen, bieten Put-Optionen die Möglichkeit zur Desinvestition. Insgesamt lassen sich die folgenden Arten von Realoptionen unterscheiden, die nachfolgend weiter beschrieben werden. (vgl. Abbildung 3-7)

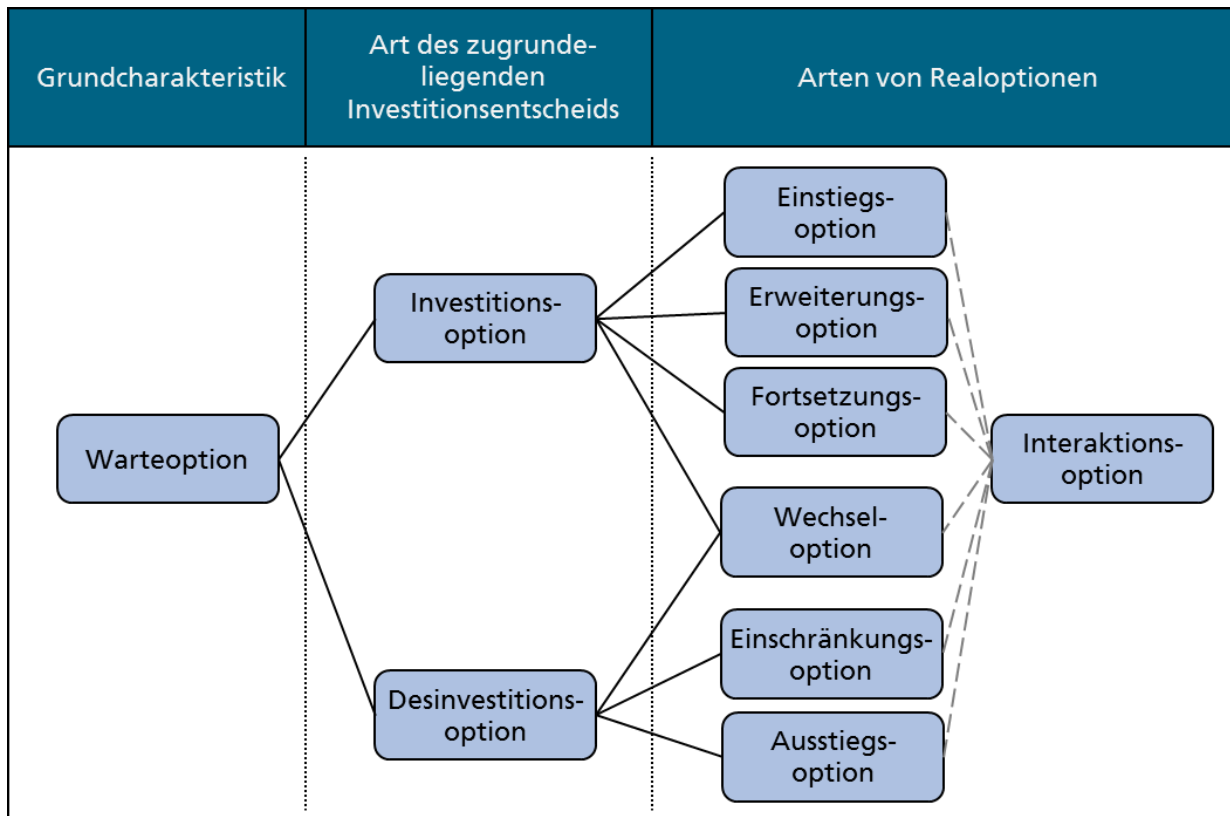


Abbildung 3-7: Klassifikation von Realoptionen (Ernst et al. 2000, S. 669)

3.5.2.1 Einstiegsoption

Eine Einstiegsoption charakterisiert die Möglichkeit des Investors, in ein grundlegend neues Investitionsvorhaben einzusteigen und bietet völlig neue Handlungsalternativen. (Ernst 2011, S. 252) Hieraus können sich bisher nicht realisierbare Rückflüsse ergeben. Hierzu zählt beispielsweise die Bewirtschaftung neuer Märkte. Einstiegsoptionen können sich ebenfalls aus innovativen Produkten und Dienstleistungen ergeben, die neue Käufergruppen ansprechen.

3.5.2.2 Erweiterungsoption

Eine Erweiterungsoption zeichnet sich durch die Möglichkeit aus, eine zu Beginn des Vorhabens in geringem Umfang getätigte Investition nachträglich auszubauen. Der Erweiterungsoption kommt in Fällen, die durch ein hohes Maß an Unsicherheit gekennzeichnet sind, besondere Bedeutung zu. Durch eine geringe Startinvestition ist es dabei oftmals möglich, neue Informationen über investitionsentscheidende Umweltfaktoren zu generieren und das Maß an Unsicherheit zu reduzieren. Entwickeln sich die Marktgegebenheiten positiv, besteht die Möglichkeit, die Investition auszudehnen, um Zugang zu zusätzlichen Rückflüssen zu generieren. Erweiterungsoptionen können beispielsweise bei Direktinvestitionen in ausländischen Standorten zum Tragen kommen. Da zu Beginn der Tätigkeit die Erfahrungen im ausländischen Markt zu gering sein könnten, um das erwartete Potenzial mit hinreichender Sicherheit in vollem Umfang zu erschließen, kann es sinnvoll sein, zunächst eine Einstiegsoption in geringerem Umfang zu tätigen, um weitere Marktinformationen zu generieren und sich schon frühzeitig Erweiterungsoptionen zu sichern (z.B. durch den Erwerb von Vertriebsrechten). Hiermit verbunden ist jedoch ein verlangsamtes Investitionsverhalten, welches ähnlich einer Warteoption mit einem zeitweisen Verzicht auf einen Teil der möglichen Cashflows einhergeht. Der Nutzen der Unsicherheitsreduktion durch die risikoarme Einstiegsinvestition kann diesen Effekt jedoch oftmals überkompensieren. (Fisch 2006, S. 54)

3.5.2.3 Fortsetzungsoption

Die Möglichkeit, ein Investitionsvorhaben in eine Serie von aufeinander folgenden Aufwendungen zu unterteilen, stellt eine Fortsetzungsoption dar. Durch diese Option erhält der Investor die Handlungsfreiheit, ein bereits gestartetes gestaffeltes Investitionsvorhaben während des Investitionsverlaufs nicht weiterzuführen, sobald entsprechende neue Informationen vorliegen und hierdurch weitere Kosten zu vermeiden. Eine derartige mehrstufige Investition kann beispielsweise an Projektmeilensteinen orientiert sein, wobei die einzelnen Meilensteine Abbruchkriterien beinhalten können. Hierbei kann jede Stufe als Optionswert der Folgestufe in Form einer zusammenhängenden Option verstanden werden. (Trigeorgis 1996, S. 2) Die Optionen auf mehrstufige Investitionen sind vor allem für Großprojekte mit langen Vorlaufzeiten relevant. Als Beispiel hierfür können Forschungs- und Entwicklungsprojekte der Pharmaindustrie sowie der Bau von Kraftwerken dienen. Weitere klassische Anwendungsfelder für mehrstufige Investitionen mit Fortsetzungsoption sind die

Anwendungsbereiche Luftfahrt sowie der Bergbau. (Majd et al. 2001, S. 273) Vor allem aus dem letztgenannten Bereich leitet sich ebenfalls die Möglichkeit ab, ein Investitionsvorhaben zeitweise stillzulegen und zu einem späteren Zeitpunkt wieder aufzunehmen. Bei der Bewirtschaftung von Minen besteht beispielsweise die Option, die Mine bei sinkenden Marktpreisen für die dort abgebauten Rohmaterialien stillzulegen, und bei positiver Marktpreisentwicklung den Abbau zu einem späteren Zeitpunkt wieder aufzunehmen. (Schwartz et al. 2001, S. 144)

3.5.2.4 *Wechseloption*

In einer Wechseloption kommt die Handlungsmöglichkeit, die Art der Nutzung des Investitionsobjektes zu verändern, zum Ausdruck. Der Investor hat bei Investitionsentscheidungen im Allgemeinen die Möglichkeit zwischen verschiedenen Investitionsalternativen auszuwählen. Hierbei besteht in einigen Fällen auch nach begonnenem Start des Investitionsvorhabens die Möglichkeit, von dem geplanten Vorgehen abzuweichen und eine andere Investitionsstrategie zu verfolgen. Hierbei kann das bestehende Investitionsprojekt beispielsweise hinsichtlich neuer Rahmenbedingungen angepasst werden. Als Beispiel für eine Wechseloption kann ein Anwendungsbereich im innerbetrieblichen Energiemanagement gesehen werden. Hierbei kann durch die Vergabe eines Energieliefer-Contracting beispielsweise eine Wechseloption als Alternative zur Implementierung einer eigenständigen Energieversorgung ausgeübt werden. Das Contracting beschreibt dabei eine Fremdvergabe der Energieversorgung an einen Dienstleister, der beispielsweise Investitionen in Energiesparmaßnahmen durchführt und im Gegenzug an den Energiekosteneinsparungen partizipiert (Energieeinspar-Contracting). (Pütter et al. 2007, S. 108 ff)

3.5.2.5 *Einschränkungsoption*

Die Einschränkungsoption stellt die Möglichkeit dar, das geplante Investitionsvolumen während des Investitionsprozesses zu reduzieren, um Risiko zu vermeiden. Einflussgrößen auf die Festlegung des Investitionsumfangs können beispielsweise in den externen Marktbedingungen zu finden sein. Entwickeln sich die externen Marktbedingungen negativer als zunächst erwartet, so besteht unter Umständen die Möglichkeit, den Umfang eines Investitionsvorhabens nachträglich zu vermindern. (Trigeorgis 1996, S. 2)

3.5.2.6 *Abbruchoption*

Eine Abbruchoption besteht prinzipiell bei jedem Investitionsvorhaben. Sie beschreibt die Möglichkeit ein Projekt aufzugeben und das Investitionsvorhaben dauerhaft zu beenden. Der Abbruchoption stehen die versunkenen Kosten gegenüber, welche die Ausübung der Abbruchoption beeinflussen. Wird die Abbruchoption nicht genutzt, obwohl diese wirtschaftlich sinnvoll wäre, besteht die Gefahr des escalation of commitment. (Denison 2009, S. 133 ff) Gründe für den Abbruch einer Investition können beispielsweise in einer gravierenden Änderung der Umweltfaktoren oder in sich deutlich ändernden Unternehmensbedingungen zu finden sein. Bei Ausübung einer Abbruchoption kann unter Umständen ein Teil der bereits getätigten Investition zum Restwert veräußert werden. Eine Abbruchoption kann beispielsweise bei laufenden Forschungsprojekten oder bei Einführung eines neuen Produktes relevant sein.

3.5.2.7 *Interaktionsoption*

Die Option zu interagieren beschreibt die Möglichkeit, die oben beschriebenen Optionsarten miteinander zu kombinieren. Durch die gemeinsame Nutzung der vorliegenden Handlungsmöglichkeiten kann sich ein weiterer Mehrwert ergeben. Durch eine strategisch ausgerichtete Kopplung der bei Investitionsentscheidung vorliegenden Optionen können somit die Investitionsrisiken verringert und gleichzeitig weiteres Potenzial zur Steigerung der zu erwartenden Rückflüsse systematisch aufgebaut werden. Eine zielführende Kombination der Optionen erfordert ein strukturiertes Vorgehen bezüglich der entsprechenden Handlungsmöglichkeiten. Dem strategischen Management kommt somit eine wesentliche Bedeutung bei der Identifikation und der proaktiven Gestaltung von Realoptionen zu. (Hommel et al. 2003, S. 157)

Wesentliche Voraussetzung für die Anwendung von Realoptionen im Allgemeinen ist, dass diese zum Zeitpunkt der Investitionsentscheidung bekannt sind. Neben den bekannten Optionen gibt es in der Regel Handlungsmöglichkeiten, denen sich der Investor im Rahmen seiner Entscheidungsfindung (noch) nicht bewusst ist. Derartige Optionen werden als Schattenoptionen bezeichnet. (Hommel et al. 2003, S. 156) Optionen, die während des Investitionsprozesses entstehen oder bekannt werden, können den laufenden Prozess beeinflussen. Die Identifikation von Schattenoptionen sowie deren Transformation in Realoptionen ist somit während des gesamten Investitionsprozesses

von hoher Bedeutung. Schattenoptionen können durch systematische Situationsanalysen oder beispielsweise mittels Aufwendungen für Forschung und Entwicklung in Realloptionen überführt werden. Die hiermit verbundenen Aufwendungen beschreiben in diesem Fall den Ausübungspreis der Option. (Langer 2010, S. 342)

3.5.3 Optionsbasierte Bewertungsmodelle

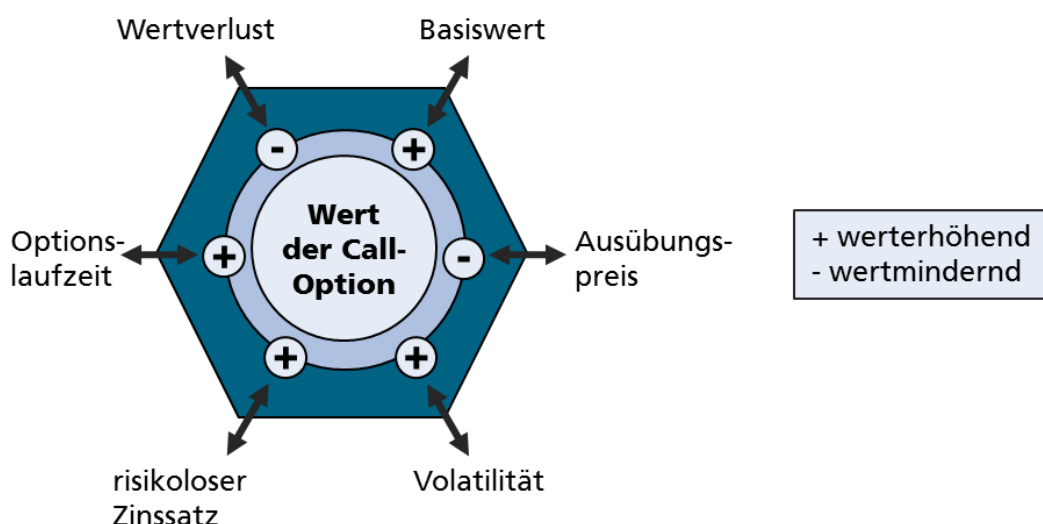
Aufgabe der Realloptionstheorie ist die Bestimmung von Optionswerten. Die werttreibenden Parameter einer Realloption können grundsätzlich in Analogie zu Finanzoptionen abgeleitet werden.

Tabelle 3-1: Parametervergleich von Finanz- und Realloptionen⁵

Finanzoption	Realloption	Optionsparameter	
Aktueller Preis der Aktie	Wert des Investitionsobjekts (z.B. Bruttobarwert der aus dem Investitionsprojekt erwarteten Einzahlungsüberschüsse)	Basiswert	S
Ausübungspreis (Vertraglich fixierter Aktienkurs)	Investitionskosten (z.B. Gegenwartswert des Investitionsvolumens zur Erschließung der zusätzlichen Cash-flows)	Ausübungspreis	X
Laufzeit der Option	Optionslaufzeit (Zeitraum bis zum Erlöschen der Investitionsmöglichkeit)	Laufzeit	τ
Volatilität bzw. Maß der Unsicherheit über den zukünftigen Aktienkurs	Ausmaß der Unsicherheit über den Kapitalwert des Investitionsprojekts	Volatilität	σ
Zinssatz für risikolose Anlagen	risikoloser Zinssatz	risikoloser Zinssatz	r_f
Dividendenaus-schüttungsrate	Wertverlust des Projektes als Anteil des Projektwerts (z.B. entgangene Cash-flows bis zur Ausübung)	Wertverlust	φ

⁵ Eigene Darstellung angelehnt an (Hommel et al. 1999, S. 124), (Trigeorgis 1996, S. 125), (Mondello 2015, S. 583), (Hungenberg et al. 2005, S. 7)

Der Basiswert der Investition entspricht den aus dem Investitionsprojekt zu erwartenden Einzahlungsüberschüssen. (Schäfer 2005, S. 400) Er beschreibt den Gegenwartswert der durch Ausübung der Option erzielbaren Barwerte. Der Ausübungspreis stellt die zur Realisierung der Realloption erforderlichen Investitionskosten dar. (Meyer 2006, S. 164) Die Laufzeit beschreibt den Zeitraum bis zum Erlöschen der Investitionsmöglichkeit und bestimmt somit, wie lange die Option ausgeübt werden kann. Die Optionslaufzeit kann in einigen Fällen rechtlich fixiert sein (z.B. durch die Laufzeit von Lizenzen und Patenten). In den meisten Fällen ist die Zeitspanne für die Ausübung einer Option jedoch schwer kalkulierbar und kann zumindest theoretisch unendlich lang sein. Die Volatilität beschreibt das Ausmaß der Unsicherheit durch die nicht vorhersagbaren Umweltfaktoren wie beispielsweise die durch Ausübung der Option realisierbare Absatzmenge, bzw. der Absatzpreis für Produkte. Der risikolose Zinssatz entspricht der Verzinsung, die durch eine als sicher einzuschätzende Anlage realisierbar wäre und orientiert sich an der langfristigen Rendite öffentlicher Anleihen. (Schacht et al. 2009, S. 188) Der Wertverlust der Option entsteht durch die nicht realisierten Cashflows, die bei sofortiger Ausübung der Option realisierbar gewesen wären. Wie bereits für den Bereich der Finanzoptionen zu Beginn des Kapitels 3.5 beschrieben, lassen sich auch bei den Realloptionen Call- und Put-Optionen unterscheiden. Je nach Ausgestaltung der Optionsart haben die wertbestimmenden Parameter der Realloption unterschiedlichen Einfluss auf die Option wie nachfolgende Abbildung verdeutlicht.⁶



⁶ Für eine Put-Option verhalten sich die Parameter Wertverlust, risikoloser Zins, Ausübungspreis und Basiswert gegenüber zu denen der Call-Option. Zu weiteren Ausführungen siehe (Damodaran 2001, S. 358 ff)

Abbildung 3-8: Wirkrichtung der Realloptionsparameter (Damodaran 2001, S. 358)

Je höher der Basiswert einer Call-Option ist, desto höher ist ihr Gesamtwert. Selbiges gilt für die Optionslaufzeit. Je länger die mögliche Laufzeit der Option ist, desto höher ist der Wert der Option, da der Flexibilitätszeitraum zur Wahrnehmung der Option steigt. Mit zunehmendem Werteverlust reduziert sich hingegen der Wert einer Call-Option, da die Verluste durch eine späte bzw. eine Nichtwahrnehmung der Option steigen. Mit steigender Volatilität und somit steigendem Maß an Unsicherheit, nimmt die Höhe des Optionswertes zu. Dieses lässt sich am Beispiel einer mehrstufigen Investition bzw. einer Wachstumsoption beschreiben. Während der Investor bei geringer Unsicherheit sofort vollständig investieren würde, bietet eine stufenweise Investitionsoption bei hohem Maß an Unsicherheit einen deutlichen Mehrwert, da zunächst in geringem Umfang investiert werden kann und erst bei positiver Marktentwicklung weitere Investitionen folgen. (Fisch 2006, S. 69) Ein steigender risikoloser Zinssatz hat werterhöhenden Einfluss auf den Optionswert einer Call-Option. Mit sinkendem Ausübungspreis der Option steigt der Wert der Call-Option, da die Wahrnehmung der Option günstiger wird. Bezogen auf eine Put-Option wäre das Verhältnis gegenläufig, da ein steigender Optionspreis bei Optionsverkauf höhere Cashflows generieren würde. Verschiedene Studien zur Bewertung von Realloptionen und deren Auswirkungen auf die Investitionsentscheidungen legen einen Zusammenhang zwischen der Art der Realloption und dem hiermit verbundenen Investitionsverhalten nahe. So lässt sich beispielsweise ableiten, dass Warteoptionen das Investitionsverhalten dämpfen, während Wachstumsoptionen es anregen. (Fisch 2006, S. 57 f.)

Zur Bewertung von Realloptionen existieren unterschiedliche methodische Ansätze. Diese lassen sich in analytische und numerische Verfahren unterscheiden. Analytische Verfahren ermöglichen die Optionsbewertung mit konkreten Bewertungsformeln. Hierbei können geschlossene Formeln oder Näherungsverfahren angewendet werden. Numerische Verfahren basieren auf dem Versuch die partiellen in diskrete Differenzialgleichungen zu transformieren und diese approximativ zu lösen. Eine zweite Gruppe numerischer Verfahren verfolgt die Approximation des stochastischen Entwicklungsprozesses. (Hommel et al. 2001, S. 124 ff) Abbildung 3-9 gibt einen Überblick über die bekanntesten Bewertungsmodelle.

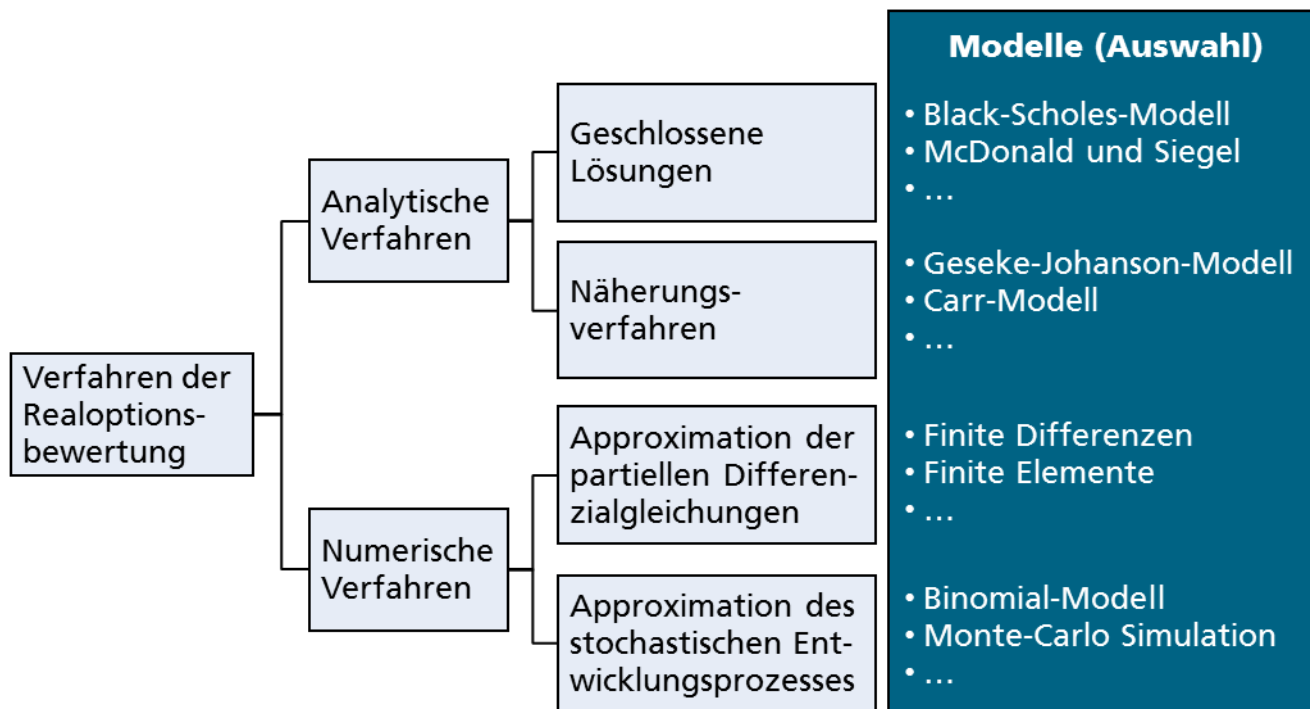


Abbildung 3-9: Modelle zur Bewertung von Realloptionen (Hommel et al. 2001, S. 124)

Für die praktische Anwendung haben sich zur Bestimmung des Optionswertes vor allem die Ansätze von Black und Scholes sowie das Binomial-Modell von Cox, Ross und Rubenstein bewährt. (Hilzenbecher 2002, S. 245)

3.5.3.1 Das Black-Scholes-Modell

Bei dem Modell von Black und Scholes handelt es sich um ein zeitkontinuierliches und auf europäische Call-Optionen bezogenes Bewertungsmodell. (Black et al. 1973, S. 640 ff) Es zählt zu den analytischen Verfahren und ermöglicht die Bewertung auf Basis einer konkreten Bewertungsformel. Der Wert einer Call-Option (OP_c) wird beeinflusst von Wert des Basisobjektes S , der Volatilität der Wertentwicklung σ , dem Ausübungspreis X , der Optionslaufzeit τ , dem risikolosen Zinssatz r_f , dem Wertverlust φ und der Standardnormalverteilung $N(x)$ und ergibt sich zu:

$$OP_c = S \cdot e^{-\varphi \cdot \tau} \cdot N(d_1) - X \cdot e^{-r_f \cdot \tau} \cdot N(d_2) \quad (3.10)$$

mit
$$d_1 = \frac{\ln \frac{S}{X} + \left(r_f - \varphi + \frac{\sigma^2}{2} \right) \cdot \tau}{\sigma \sqrt{\tau}} \quad (3.11)$$

und
$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{\tau} \quad (3.12)$$

Mit steigendem Basiswert, Laufzeit, risikolosem Zinssatz und Volatilität steigt der Optionswert, während er bei steigendem Ausübungspreis und Wertverlust sinkt. Analog zur Berechnung der Call-Option ergibt sich der Wert einer Put-Option (OP_p) als:

$$OP_p = -S \cdot e^{-\varphi\tau} \cdot N(-d_1) + X \cdot e^{-r_f\tau} \cdot N(-d_2) \quad (3.13)$$

3.5.3.2 Das Binomialmodell

Das Optionspreismodell von Cox, Ross und Rubinstein wird auch als Binomialmodell bezeichnet. Es zerlegt die Gesamtlaufzeit der Option in n Perioden. (Cox et al. 1979, S. 229 ff) Für jede Periode wird nun die Möglichkeit zur Steigerung oder Senkung des Investitionswerts abgeleitet. Der Basiswert kann dabei mit der Wahrscheinlichkeit q um den Faktor u steigen oder mit der Gegenwahrscheinlichkeit $(1-q)$ um den Faktor $d = 1/u$ sinken.

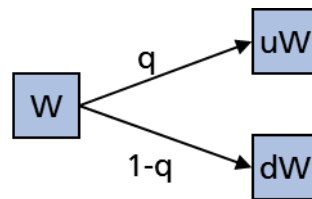


Abbildung 3-10: Entwicklungsmöglichkeiten eines Optionspreises

Steigt der Projektwert um den Faktor u , so besitzt die Call-Option bezogen auf den Ausübungszeitpunkt den Wert OP_{cu} . Sinkt der Projektwert um den Faktor d , so besitzt die Option den Wert OP_{cd} . Ersetzt man die frei gewählte Wahrscheinlichkeit q durch die risikolose Wahrscheinlichkeit p

mit
$$p = \frac{(1 + r_f) - d}{u - d} \quad (3.14)$$

ergibt sich für den Wert der Call-Option

$$OP_{c1} = \frac{p \cdot OP_{cu} + (1 - p) \cdot OP_{cd}}{1 + r_f} \quad (3.15)$$

Diese Bewertung lässt sich für beliebig viele Perioden abbilden.⁷ Durch die Verkleinerung der Zeitintervalle auf infinitesimal kleine Perioden und mit steigender Periodenanzahl gegen unendlich strebt die zeitdiskrete Formel von Cox, Ross und Rubinstein gegen das kontinuierliche Modell von Black und Scholes und erzielt dasselbe Ergebnis. (Fisch 2006, S. 42)

3.5.3.3 McDonald und Siegel

Das Modell von McDonald und Siegel ermöglicht die Berechnung des Anfangswerts einer Option und unterstützt bei der Ermittlung des optimalen Investitionszeitpunkts. (McDonald et al. 1986) Der Anfangswert der Option kann als Wert des Wartens verstanden werden. Im Gegensatz zum Modell von Black und Scholes berücksichtigt das Modell von McDonald und Siegel explizit Barauszahlungen des Investments und geht davon aus, dass die Option jederzeit ausgeführt werden kann (amerikanische Option). Die Optionslaufzeit wird im Modell von McDonald und Siegel als unbegrenzt angenommen. (Titman et al. 2008, S. 478) Nach dem Modell von McDonald und Siegel berechnet sich der Wert einer Realloption als:

$$\text{Realloptionswert} = (S^* - X) \left(\frac{S}{S^*} \right)^\beta \quad (3.16)$$

S beschreibt den aktuellen Wert des Investments. S^* stellt den Wert für das Investment dar, ab dem eine sofortige Investition sinnvoll wäre. Er ist somit als Schwellwert für die Investition zu verstehen. Hierbei sollte investiert werden, sobald der Schwellwert den aktuellen Wert des Investments überschreitet. Die errechneten Schwellwerte des Modells von McDonald und Siegel erreichen mit steigender Unsicherheit schnell ein Vielfaches der eigentlichen Investitionssumme und unterscheiden sich somit deutlich von den Ergebnissen der Kapitalwertmethode. (Fisch 2006, S. 43 f.) X stellt die initialen Kosten der Investition dar. Der Ausdruck $(S^* - X)$ ist dementsprechend derjenige Kapitalwert, der zu einer sofortigen Ausübung der Option führen sollte. (Titman et al. 2008, S. 480) β dient als Hilfsvariable und berechnet sich als:

$$\beta = \frac{1}{2} - \frac{r_f - j_{CF}}{\sigma^2} + \sqrt{\left(\frac{r_f - j_{CF}}{\sigma^2} - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{2r_f}{\sigma^2}} \quad (3.17)$$

⁷ Zur verallgemeinerten Darstellung des Wertes für Call-Optionen nach Cox, Ross und Rubinstein siehe (Fisch 2006, S. 42)

ρ beschreibt die Cashflow-Rendite als Anteil des Investitionswerts und wird während der Laufzeit als konstant angenommen. Die Volatilität σ repräsentiert die Unsicherheit der Rendite und r_f stellt den risikolosen Zinssatz dar.

3.5.3.4 *Monte-Carlo-Simulation*

Ergänzend zu den beschriebenen Ansätzen hat sich die Simulation als Mittel zur Bewertung von Realoptionen in der Praxis bewährt. Die Monte-Carlo-Simulation ermöglicht dabei die Bewertung von Ergebnissen in unterschiedlichen Umweltsituationen. „Bei der Monte-Carlo-Methode handelt es sich um ein numerisches Verfahren, bei dem zuerst ein einem gegebenen Problem angepasstes stochastisches Modell aufgestellt wird, und dann die entsprechenden Zufallsgrößen mit Hilfe von Zufallszahlen simuliert werden.“ (Hengartner et al. 1978, S. 11) Hierdurch lassen sich vor allem auch komplexe Zusammenhänge nachvollziehbar strukturieren und bewerten. Durch eine Vielzahl von Simulationsläufen werden die Ergebnisse der Monte-Carlo-Simulation abgesichert. Bei der Bewertung von Realoptionen werden dabei zunächst die werttreibenden Parameter definiert und für diese dann die Entwicklungsmöglichkeiten simuliert. Auf dieser Grundlage können dann beispielsweise Entwicklungspfade für zukünftige Cashflows berechnet und in einer Häufigkeitsverteilung abgebildet werden. (Krasontovitsch 2013, S. 20 f.)

3.5.3.5 *Bewertung des Realoptionsansatzes*

Die beschriebenen Modelle zur Bewertung von Realoptionen verdeutlichen die Defizite klassischer Investitionsrechnungen bei Unsicherheit und Irreversibilität. Der Optionswert einer Investition kann starken Einfluss auf den Gesamtwert der Investition ausüben und ihren Kapitalwert deutlich überschreiten. Darüber hinaus ermöglicht der Realoptionsansatz die Berücksichtigung einer zeitlichen Entwicklung von Investitionsentscheidungen. Während klassische Verfahren die Investitionsmöglichkeit als „Now-or-Never-Entscheidung“ auffassen, ermöglicht der Realoptionsansatz die Bewertung der zeitlichen Flexibilität sowie des Informationsgewinns im Laufe der Zeit.

Problematisch bei der Übertragung der Ansätze der Finanzoptionen auf Realoptionen ist vor allem die Tatsache, dass Investitionen in reale Güter in der Regel nicht an eine terminierte Laufzeit gebunden sind. Dieses Problem umgeht von den dargestellten Modellen lediglich das Modell von McDonald und Siegel, welches eine Bewertung unter Annahme einer unbegrenzten Optionslaufzeit

ermöglicht. Eine weitere Schwierigkeit bei der Umsetzung der theoretisch fundierten Modelle in die Praxis stellt vor allem die Festlegung der benötigten Parameter dar, welche sich in der Regel nicht eindeutig determinieren lassen und mit einem hohen Informationsbedarf verbunden sind. Die Anwendung des Realoptionsansatzes empfiehlt sich aufgrund der mit der Bewertung verbundenen Komplexität vor allem für strategische Entscheidungen, wie sie beispielsweise bei der Beschaffung von Investitionsgütern anzutreffen sind. (Hofmann et al. 2012, S. 89 ff), (Hommel et al. 2001, S. 127)

Größte Bedeutung für die praktische Anwendung bieten das Bewertungsmodell von Black und Scholes, das Binomialmodell sowie die Simulation. Das Modell von McDonald und Siegel zeichnet sich des Weiteren vor allem durch die unbegrenzte Optionslaufzeit, die Möglichkeit zur Berechnung des Schwellwerts und die Abschätzung des optimalen Investitionszeitpunkts aus. Die explizite Berücksichtigung von Rückflüssen führt zu einer realitätsnahen Abbildung der Investitionssituation.

Die Monte-Carlo-Simulation bietet insgesamt eine höhere Transparenz, da es sich - anders als bei dem Modell von Black und Scholes - nicht um eine geschlossene Bewertungsformel handelt, die das Nachvollziehen der Berechnung sowie der verwendeten Parameter erschwert. (Götze 2008, S. 409), (Hommel et al. 2001, S. 125) Vor allem die Simulation ermöglicht eine flexible Ausgestaltung und schrittweise Erweiterung der Bewertungssituation und sorgt somit für eine hohe Akzeptanz durch den Modellnutzer. (Krasontovitsch 2013, S. 21) Für das zu entwickelnde Modell wird auf die Ansätze von Black und Scholes sowie die Monte-Carlo-Simulation zurückgegriffen. Da das Binomialmodell im Grenzwert gegen das kontinuierliche Modell von Black und Scholes strebt, kann auf die eigenständige Abbildung dieses Modells verzichtet werden.

4 Anforderungsanalyse und Handlungsbedarf

4.1 Formale Anforderungen an das Modell

Gemäß allgemeiner Modelltheorie nach Stachowiak sind Modelle „[...] stets Modelle von etwas, nämlich Abbildungen, Repräsentanten natürlicher oder künstlicher Originale, die selbst wieder Modelle sein können.“ (Stachowiak 1973, S. 131) Ein Modell liefert somit eine vereinfachte Abbildung der Realität. (Peters et al. 2005, S. 12) Hierbei kann „[...] ein ökonomisches Modell als vereinfachtes Abbild der ökonomischen Wirklichkeit oder eines Ausschnitts dieser Wirklichkeit auf verschiedene Arten dargestellt werden [...], z.B. verbal, graphisch, analytisch oder ganz allgemein durch ein System von Annahmen.“ (Eichhorn 1979, S. 61) Ökonomische Modelle unterscheiden sich von Modellen der Naturwissenschaft darin, dass sie nicht „[...] Ausschnitte aus der vom Menschen unabhängigen physischen Welt, sondern aus der von den Entscheidungen der Menschen abhängigen Welt der Wirtschaft“ darstellen. (Eichhorn 1979, S. 65)

Ein gutes Modell zeichnet sich durch eine hohe Akzeptanz durch den Modellnutzer aus. Sie ist die Voraussetzung für die Glaubwürdigkeit und letztlich auch für die Anwendung des Modells selbst. Das Modell muss hierzu einerseits einfach, robust und kontrollierbar sein, darf andererseits jedoch Anforderungen an die Vollständigkeit, Anpassungsfähigkeit und Kommunizierbarkeit nicht vernachlässigen. (Little 1969, S. 8 f.). Die Forderung nach dem Vereinfachen darf sich hierbei nicht in einem Reduzieren der Modellbestandteile auf wenige Aspekte widerspiegeln, sondern erfordert vielmehr die Konzentration komplexer Sachverhalte auf das Wesentliche. Durch Reduktion und Abstraktion werden komplexe Sachverhalte der Realität transparent. (Krallmann et al. 2013, S. 12)

Ziele von Modellen sind neben der Beschreibung, Erklärung und Prognose vor allem die Entscheidungsfindung. Beschreibungsmodelle zeigen Elemente und deren Zusammenwirken im realen System auf. Entscheidungsmodelle liefern des Weiteren „[...] Zielrelationen zur Bewertung und Auswahl von Handlungsalternativen.“ (Herrmann 2010, S. 82) Somit „[...] kann ein Bewertungsproblem als Entscheidungsproblem und ein Bewertungsmodell als Entscheidungsmodell interpretiert werden.“ (Laux et al. 2008, S. 20) Bewertungsmodelle helfen somit, systematisch Entscheidungen

herbeizuführen. Die Gestaltung und Analyse eines Bewertungsmodells umfasst die folgenden Teilaufgaben: (Fischer 1981, S. 132)

- Problemdefinition
- Modellkonstruktion
- Datenbeschaffung
- Modellauswertung

Die *Problemdefinition* charakterisiert die Entscheidungssituation. Sie orientiert sich an der Problemengrenzung im Rahmen des Entscheidungsprozesses. Im Rahmen der *Modellkonstruktion* erfolgt die Abbildung der Entscheidungssituation unter vereinfachten Bedingungen. Gemäß dem Verkürzungsmerkmal von Modellen erfassen diese „[...] im Allgemeinen nicht alle Attribute des durch sie repräsentierten Originals, sondern nur solche, die den jeweiligen Modellerschaffern und/oder Modellbenutzern relevant scheinen.“ (Stachowiak 1973, S. 132) Ein Maß der Vereinfachung stellt der Grad der Homomorphie (Strukturähnlichkeit) dar. Während bei isomorphen Abbildungen alle Elemente des Originals im Modell zu finden sind, weisen bei homomorphen Modellen die Strukturen von Original und Modell lediglich Ähnlichkeiten auf. (Krallmann et al. 2013, S. 54 f.) Die *Datenbeschaffung* füllt das Modell mit Informationen. Je nach angestrebtem Homomorphiegrad kann die Komplexität des Modells stark variieren. Hierbei ist ein Kompromiss zu schließen, zwischen der Realitätsnähe des Modells einerseits und dem vertretbaren Aufwand für die Datenbeschaffung andererseits. (Poggensee 2011, S. 26 ff) Insbesondere im beschriebenen Anwendungszusammenhang sind bei der Datenbeschaffung vorwiegend Prognoseverfahren zu verwenden, um die möglichen zukünftigen Entwicklungen einschätzen zu können. Da es sich bei diesen Prognosen um Aussagen mit Zukunftsbezug handelt, sind die Daten jedoch stets mit Unsicherheit behaftet.

Die *Modellkonstruktion* erfordert ein methodisches Vorgehen, die Modellierung. Methoden dienen der systematischen Gewinnung und Darstellung von Erkenntnissen. Es lassen sich algorithmische und heuristische Ansätze unterscheiden. (Banse et al. 2001, S. 39) Der algorithmische Ansatz strebt nach einer optimalen Lösung, während bei dem heuristischen Ansatz versucht wird, ein möglichst gutes Modell nach heuristischen Regeln zu entwerfen. Der algorithmische Ansatz setzt voraus, dass alle wesentlichen Informationen bezüglich der Modellelemente zur Verfügung stehen. Diese Voraussetzungen lassen sich in der Realität in vielen Fällen nicht erreichen, da beispielsweise die notwendigen Informationen nicht bekannt sind und die Beschaffung der entsprechenden Daten zu

aufwändig oder gar unmöglich ist. Daher wird auch im Rahmen der vorliegenden Arbeit auf einen heuristischen Ansatz zurückgegriffen. Zu den heuristischen Gestaltungsregeln von Modellen zählen laut Fischer (Fischer 1981, S. 226 ff)

- die Verwendung analoger Problemlösungen,
- die gezielte Vereinfachung,
- die Zerlegung des Problems in Teilprobleme,
- die Formulierung eines Anspruchsniveaus für das Modell sowie
- die schrittweise Annäherung.

Die *Modellauswertung* stellt die Basis für die Entscheidungsfindung dar. Die Auswerteverfahren sind abhängig von der jeweiligen Art der Modellkonstruktion. „Bei der Entscheidung auf der Basis einer Modellauswertung ist zu beachten, dass das Modell eine Vereinfachung gegenüber der Realität darstellt. Es ist zu hinterfragen, inwieweit die Modellannahmen von der Realität abweichen und wie sich diese Abweichungen auf die Vorteilhaftigkeit der Alternativen auswirken (können).“ (Götze 2008, S. 45) Es ist zu berücksichtigen, dass Modelle gemäß ihrem pragmatischen Merkmal stets für einen bestimmten Anwenderkreis, innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls und mit einem bestimmten Zweck geschaffen werden. (Stachowiak 1973, S. 132 f.) Der Erfolg der Modellauswertung hängt wesentlich von der Akzeptanz des Modells durch den Entscheider ab. Bei der Entscheidung auf Basis der Modellauswertung sind die jeweiligen Eingangsgrößen sowie der Abstraktionsgrad des Modells mit zu berücksichtigen. Die Güte des Modells lässt sich in Anlehnung an die Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung anhand folgender Faktoren bestimmen: (Becker et al. 1997, S. 18 ff)

- **Richtigkeit:** Die Ergebnisse des Modells müssen sich in der Realität widerspiegeln. Das Modell muss die Realität in den wesentlichen Zügen repräsentieren.
- **Relevanz:** Die Ergebnisse des Modells müssen für die Entscheidungssituation von Bedeutung sein. In der Bedeutsamkeit der Ergebnisse spiegelt sich der Nutzen des Modells wider.
- **Wirtschaftlichkeit:** Es sollte ein angemessenes Verhältnis zwischen Aufwand für die Modellbildung und -auswertung einerseits und dem durch das Modell erzielbaren Nutzen andererseits gegeben sein.
- **Klarheit und Verständlichkeit:** Die Ergebnisse des Modells müssen ebenso wie die Eingangsparameter und die abgebildeten Beziehungen nachvollziehbar sein. Hierzu müssen

vor allem die bereits beschriebenen Voraussetzungen einer hohen Akzeptanz erfüllt werden.

- **Systematischer und hierarchischer Aufbau:** Die unterschiedlichen modellierten Sichten (z.B. Organisationssicht, Funktionssicht) sind konsistent herzustellen. Darüber hinaus sollte die Modellanwendung ein phasenweises Vorgehen ermöglichen. Hierbei sind die Schritte der Analyse, der Bewertung und der Ableitung von Entscheidungen getrennt zu durchlaufen.
- **Stufenweise Einführbarkeit:** Ein gutes Modell sollte schrittweise implementierbar sein. Hierzu sollte der Betrachtungsbereich zunächst begrenzt sein und sich ausbauen lassen. Dies begrenzt gleichzeitig den Aufwand und steigert die Wirtschaftlichkeit des Modells.

4.2 Inhaltliche Anforderungen an das Modell

Neben den allgemeinen Anforderungen an die Modellgestaltung ergeben sich inhaltliche Anforderungen an das Modell ausgehend von der gewünschten Zielsetzung. Diese werden nachfolgend abgeleitet, um sie anschließend an den bestehenden Ansätzen zu spiegeln und den Handlungsbedarf zur Konzipierung eines geeigneten Modells aufzuzeigen. Zunächst wird hierzu das Betrachtungsfeld der Arbeit definiert. Relevant für das Modell sind die

- strategische Investition,
- Ökoeffektivität,
- innerbetriebliche Wertschöpfungskette.

In Kapitel 3 wurden Investitionen definiert und die Charakteristik **strategischer Investitionen** dargestellt. Im Betrachtungsbereich der Arbeit liegen Realoptionen materieller und immaterieller Natur. Wesentliche Merkmale strategischer Investitionen sind die hohe Bedeutung für den Unternehmenserfolg, der hohe benötigte Ressourceneinsatz, ihre langfristige Wirkung verbunden mit der hieraus resultierenden Irreversibilität sowie der mit ihrer Bewertung verbundene einmalige Entscheidungsbedarf. Die Wechselwirkung zwischen den Zielgrößen und ein hohes Maß an flexiblen Handlungsmöglichkeiten machen die Entscheidungsfindung komplex. (Heinen 1991, S. 592) Um dem komplexen Charakter der Investition gerecht zu werden und Aussagen über den Wert der Investition treffen zu können, werden die folgenden Anforderungen an das Modell definiert:

Beherrschung komplexer Wirkbeziehungen:

Das Modell zur Bewertung von Investitionen zur Steigerung der Ökoeffektivität innerbetrieblicher Wertschöpfungsketten muss in der Lage sein, komplexe Zusammenhänge und Wirkbeziehungen zwischen den für die Bewertung relevanten Parametern abzubilden. Hierbei ist es relevant, nicht nur direkte Beziehungen zwischen den Bewertungsparametern abzubilden, sondern indirekte Beziehungen in Form von Wirknetzen darzustellen. Darüber muss das Modell dazu geeignet sein, Rückkopplungseffekte zwischen den Parametern abzubilden. So steht die Wertentwicklung des Optionswerts beispielsweise in direktem Zusammenhang mit dem Investitions- und Optionswert der vorgelagerten Betrachtungsperiode.

Simulationsfähigkeit:

Neben der statischen Abbildung von Wirkbeziehungen muss das Modell zur Simulation des dynamischen Systemverhaltens geeignet sein. Die Anforderung der Simulationsfähigkeit ergibt sich aus dem hohen Komplexitätsgrad des Modells sowie der Berücksichtigung der zeitlichen Perspektive. Ziel der Simulation ist es, Analysen am Modell durchzuführen, um beispielsweise auf Grundlage von verschiedenen Szenarien Erkenntnisse für das reale System zu erhalten. Neben der Abbildung stochastischer Prozesse wie beispielsweise der Abbildung von Entwicklungspfaden der Wertentwicklung der Investition unter unsicheren Einflussgrößen, muss das Modell ergänzend statistische Auswertungen in Form einer Monte-Carlo-Simulation unterstützen.

Quantifizierbarkeit:

Zielsetzung des Modells ist es, den Wert einer Investition zur Steigerung der Ökoeffektivität in der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette zu quantifizieren. Zielgrößen dieser Bewertung stellen der Kapitalwert sowie der aus den Realoptionen resultierende Optionswert dar. Um der Zielsetzung gerecht zu werden, müssen alle Eingangsgrößen des Modells quantifizierbar sein. Darüber hinaus müssen sich sämtliche Wirkbeziehungen innerhalb des Modells über Berechnungsformeln abbilden lassen. Daher muss das Modell im Stande sein, mathematische Berechnungen zu unterstützen.

Erweiterbarkeit:

Wie bereits bei den allgemeinen Anforderungen an das Modell dargestellt, sollte ein gutes Modell erweiterbar und schrittweise einführbar sein. Diese Anforderung spiegelt sich konkret in den inhaltlichen Anforderungen an das Modell wieder. Da das Bewertungsmodell einerseits eine allgemeine

Grundlage für die Investitionsbewertung bieten soll, andererseits jedoch auch für anwendungsspezifische Investitionsfälle ausgestaltbar sein soll, kommt der Forderung nach Erweiterbarkeit eine besondere Bedeutung zu.

Der Begriff der **Ökoeffektivität** als Ausprägungsform der Nachhaltigkeit war Betrachtungsgegenstand von Kapitel 2. Als wesentliches Merkmal der Ökoeffektivität konnte die **Energie- und Materialorientierung** festgehalten werden. Entsprechende Investitionen stellen Realinvestitionen dar. Des Weiteren ist ökoeffektives Wirtschaften gekennzeichnet durch den innovativen Charakter in Bezug auf den benötigten Wandlungsprozess von der konventionellen Produktion hin zu ökoeffektiven Wertschöpfungsketten auf Basis eines grundlegend geänderten Produktionsverständnisses. Drittes wesentliches Merkmal der Ökoeffektivität ist die Nutzung geschlossener biologischer oder technischer Kreisläufe gemäß eines **Effektivitätsgedankens**.

Schließlich fokussiert das Modell auf **innerbetriebliche Wertschöpfungsketten**. Die Abgrenzung der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette kann in Anlehnung an Porters Definition zur Wertkette des Unternehmens erfolgen.

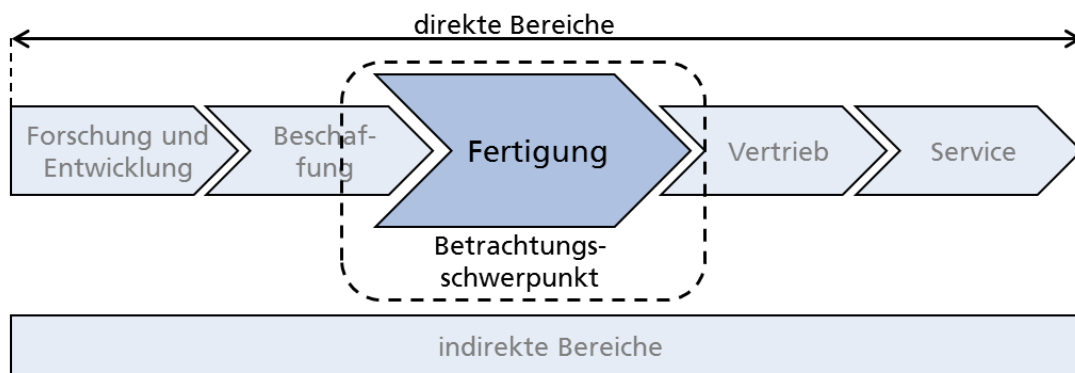


Abbildung 4-1: Die Wertkette des Unternehmens in Anlehnung an (Porter 2008, S. 36)

Im Zentrum der Wertschöpfung steht die Fertigung. Im Rahmen der Arbeit wird sie im Fokus der Betrachtung stehen und somit ein Bereich der **direkten Wertschöpfung**. Dem Fertigungsbereich ist bei Bestrebungen zur Steigerung der Ökoeffektivität eine besondere Beachtung beizumessen, da hier einerseits ein Großteil des Energie- und Materialverbrauchs verursacht wird und andererseits eine hohe Kapitalbindung in Form der Betriebsmittel vorliegt. Investitionen in diesem Bereich sind daher oftmals von strategischer Bedeutung und **technologisch orientiert**. Die Forschung und Ent-

wicklung hat im Rahmen einer ökoeffektiven Produktion hauptsächlich Einfluss auf die Produktgestaltung und verantwortet somit die späteren Material- und Energieverbräuche mit. Im Rahmen der Forschung und Entwicklung sind vor allem immaterielle Investitionen von Bedeutung. Der Beschaffung obliegt die mengen- und zeitgerechte Versorgung der Fertigung mit den benötigten Ressourcen. Im Rahmen ökoeffektiven Handelns sind dabei beispielsweise die Auswahl von Lieferanten und die Gestaltung von Lieferverträgen (z.B. zur Stromversorgung) von Bedeutung. Dem Vertrieb kommt die Aufgabe zu, die Produkte oder Dienstleistungen zu verkaufen, aber auch neue Käufergruppen zu gewinnen. Teilaufgabe kann es ebenfalls sein, nachhaltige Produkte und Produktionsweisen des Unternehmens zu bewerben. Der Service bietet ergänzende Dienstleistungen wie beispielsweise die Wartung von Anlagen. Im Rahmen ökoeffektiven Wirtschaftens kann zusätzlich eine wesentliche Aufgabe in der Gestaltung von Produktrücknahmeprozessen zur Bildung geschlossener Ressourcenkreisläufe beim Service gesehen werden. Den indirekt wertschöpfenden Bereichen wie beispielsweise der Buchhaltung und der Administration kommt im Rahmen einer ökoeffektiven Produktion eine eher untergeordnete Rolle zu. Der Fokus der Betrachtung wird daher nachfolgend auf den direkten Bereichen mit Produktionsorientierung liegen. Ebenfalls Berücksichtigung finden können hierbei integrierte Lösungen, die Wechselwirkungen zwischen Prozessen und Produktionsperipherie wie beispielsweise der technischen Gebäudeausstattung ermöglichen.

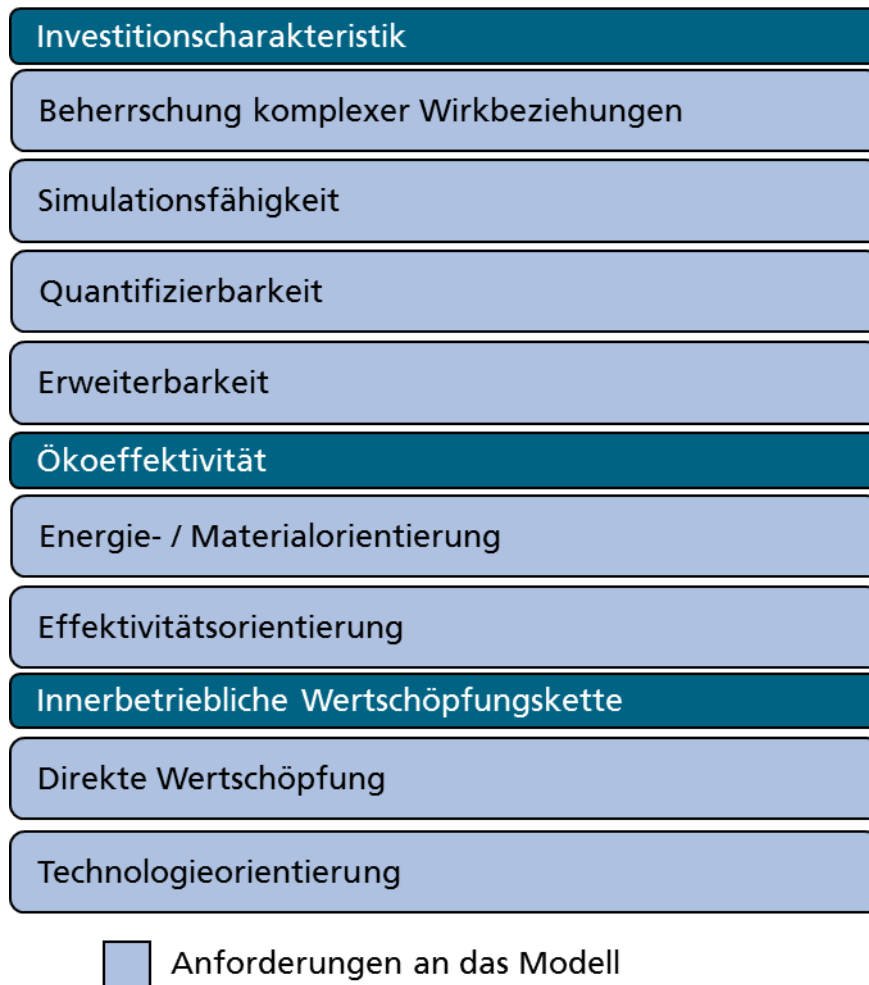


Abbildung 4-2: Inhaltliche Anforderungen an das Modell

Wie in Kapitel 3 beschrieben, sind statische Verfahren der Investitionsrechnung nicht geeignet die Anforderungen strategischer Investitionsentscheidungen hinreichend zu erfüllen. Auch dynamische Investitionsrechnungsverfahren sind weitestgehend ungeeignet, die beschriebenen Anforderungen zu erfüllen. Sie weisen vor allem bei der Berücksichtigung der Flexibilität der Handlungsmöglichkeiten sowie der Beachtung der wesentliche Umweltfaktoren und der hiermit verbundenen Unsicherheit Schwächen auf. Die in Kapitel 3.5 beschriebenen Ansätze der Realoptionstheorie scheinen geeignet, den Anforderungen des Modells im Bereich der Investitionsbewertung gerecht zu werden. Im Nachfolgenden werden daher Ansätze zur Investitionsbewertung auf Basis von Realoptionen in dem beschriebenen Anwendungszusammenhang dargestellt und hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit für das angestrebte Modell bewertet.

4.3 Realoptionsansätze zur Investitionsbewertung im Rahmen des Anwendungszusammenhangs

Dangl und Wirl beschreiben in ihrem Ansatz zur Erklärung hoher impliziter Diskont-Raten den Einfluss von Unsicherheit auf Energiesparinvestitionen. Sie untersuchen dabei am Beispiel einer konventionellen Glühbirne und einer Sparlampe den Einfluss der unsicheren Entwicklung von Energiepreisen, Nutzungszeitraum und Investitionskosten auf das Investitionsverhalten. (Dangl et al. 1998, S. 259) Auf Basis der Erkenntnisse ziehen sie Rückschlüsse bezüglich der Wirkung von Energiesparprogrammen. Sie weisen in ihrer Ausarbeitung nach, dass die Option des Wartens eine defensive Haltung bezüglich der Investition in Energieeffizienztechnologien hervorruft und Diskussionen über künftige Energiesparprogramme das aktuelle Investitionsverhalten negativ beeinträchtigen können. (Dangl et al. 1998, S. 260) Insgesamt beschreiben Dangl und Wirl einen investitionshemmenden Einfluss von Unsicherheit auf das Investitionsverhalten in Energieeffizienzmaßnahmen. Die Autoren beziehen sich in ihren Erläuterungen lediglich auf Warteoptionen und lassen die weiteren Optionsarten unberücksichtigt. Sie reduzieren die Handlungsfreiheit des Investors somit lediglich auf eine Investitionsverzögerung. Die Ausführungen von Dangl und Wirl greifen demnach zur Erfüllung des in der vorliegenden Aufgabenstellung beschriebenen Anspruchs zu kurz und sind zur ganzheitlichen Bewertung von Investitionen zur Steigerung der Ökoeffektivität innerbetrieblicher Wertschöpfungsketten nicht geeignet.

Klingelhöfer untersucht in einem finanzwirtschaftlichen Ansatz den Einfluss von Umweltzertifikaten auf Umweltschutzinvestitionen und leitet daraus ab „[...] inwieweit die umweltpolitische Steuerung (etwa von Emissionen) über Zertifikate aus betriebswirtschaftlicher Sicht tatsächlich einen Anreiz zu Investitionen in Umweltschutztechnologien liefert.“ (vgl. Klingelhöfer 2006) Er ermöglicht die Einbeziehung der Zertifikate in die Berechnung des Kapitalwerts. Darüber hinaus zeigt er die Wirkung von Zertifikatpreisänderungen auf die Vorteilhaftigkeit der Investitionsentscheidung auf. Klingelhöfer fokussiert in seinem Ansatz den Einfluss von Umweltzertifikaten als umweltpolitisch steuerndes Instrument. Er beschreibt aus Unternehmenssicht, welche Konsequenzen sich durch die Änderung externer Umweltfaktoren für die unternehmerischen Investitionsentscheidungen ergeben. Der Einfluss der Zertifikate führt zu einer Änderung des Kapitalwerts, wodurch Umweltschutzinvestitionen begünstigt werden. Klingelhöfer ermöglicht Aussagen über den maximal zahlbaren Preis für Investitionen in den betrieblichen Umweltschutz. (Klingelhöfer 2006, S. 538) Für den in der vorliegenden

Arbeit betrachteten Forschungsansatz bestätigt sich aus den Arbeiten Klingelhöfers die Bedeutung der Änderung externer Umwelteinflüsse auf die Gestaltung und Wahrnehmung von Realoptionen. Eine Beschreibung zur Ausgestaltung der Handlungsmöglichkeiten in Form des geforderten Ansatzes findet sich hingegen nicht.

Yang und Blyth beschreiben in ihrem Beitrag zur Modellierung von Investitionsrisiken mit dem Realloptionsansatz den Einfluss von Unsicherheiten auf Investitionen im Energiesektor. (vgl. Yang et al. 2007) Sie präsentieren eine von der International Energy Agency (IEA) entwickelte Methodik und ein Computermodell zur Quantifizierung der Auswirkungen klimapolitischer Unsicherheiten auf Energieinvestitionen. Die entwickelte Methodik gliedert sich in ein vierstufiges Vorgehen. Ausgehend von der Datenerfassung erfolgen die Bildung von Szenarien sowie die Investitionsbewertung zunächst auf Basis der Kapitalwertmethode sowie abschließend durch Anwendung des Realloptionsansatzes. Der entwickelte Ansatz zielt auf die Anwendung durch Gesetzgeber und Privatinvestoren der Energiewirtschaft ab. Er zeigt einerseits die Auswirkungen umweltpolitischer Maßnahmen (z.B. Kostenerhöhung für CO₂-Ausstoß) und ermöglicht andererseits die Bewertung von Investitionen in neue Kraftwerke (z.B. Gas oder Kohle) sowie einer alternativen Erweiterung bestehender Kapazitäten. Die Nutzung des Realloptionsansatzes ermöglicht die Berücksichtigung von Handlungsoptionen des Investors (z.B. in Form einer Wechseloption von einer Technologie zu einer anderen). Die Absicherung der Methodik und des Modells über die Durchführung mehrerer Fallstudien bestätigen deren Anwendbarkeit. Der beschriebene Ansatz stellt die besondere Bedeutung der Unsicherheit von Investitionsentscheidungen dar. Er fokussiert jedoch lediglich Investitionen im Sektor der Energieerzeugung und ist auf den Anwendungszusammenhang der innerbetrieblichen Wertschöpfungskette nicht hinreichend übertragbar. Die Anwendung eines um Realoptionen erweiterten Kapitalwerts bieten Ansatzpunkte für das vorliegende Modell .

Hungenberg präsentiert in seiner Arbeit zur Operationalisierung der Realoptionstheorie einen dreistufigen Ansatz zu Anwendung von Realoptionen in der wertorientierten Unternehmensführung. Ziel der Ausarbeitung ist es, einen Leitfaden für die zweckmäßige Umsetzung von Realoptionen für die Praxis bereitzustellen. (Hungenberg et al. 2005, S. 4) Die drei Stufen des Ansatzes umfassen „[...] die Identifikation, die Bewertung sowie das Management realer Optionalitäten.“ (Hungenberg et al. 2005, S. 4) Er stellt dabei den Nutzen der Realoptionstheorie im Bereich strategischer Managemententscheidungen heraus, zeigt jedoch gleichzeitig die Grenzen deren Anwendbarkeit auf. Zur Bewertung der Realoptionen befürwortet Hungenberg das Binomialmodell aufgrund seiner

hohen Abbildungsgenauigkeit und Transparenz. (Hungenberg et al. 2005, S. 32) Zur Bewertung der Gesamtinvestition empfiehlt er die Addition der jeweiligen Realloptionsbeiträge unter Berücksichtigung von Interaktionseffekten zum Kapitalwert. (Hungenberg et al. 2005, S. 34) Der Bewertung der Realoptionen sollte sich aus Sicht des Autors das aktive Management der Realoptionen anschließen. Insgesamt stellt dies einen geeigneten Ansatz dar, um Entscheider bei strategischen Investitionen für den Wert von Realoptionen sowie die hiermit verbundene Flexibilität und Unsicherheit zu sensibilisieren und diese in Form eines differenzierten Vorgehens in die Investitionsentscheidung einfließen zu lassen. Die im Ansatz beschriebenen Schritte der Identifikation, der Bewertung sowie des Managements von Realoptionen sind im Grundsatz für eine Übertragung auf die vorliegende Aufgabenstellung geeignet. Eine ganzheitliche Modellierung der Bestandteile des Investitionsvorhabens, der hiermit verbundenen Realoptionen sowie der externen Umwelteinflüsse findet sich jedoch nicht. Ebenfalls erscheint eine Übertragung der Ansätze auf den gewählten Anwendungszusammenhang als nicht hinreichend möglich.

Gromer entwickelt in seiner Arbeit zur Bewertung von nachhaltigen Immobilien einen Lösungsansatz auf Basis der Realoptionstheorie. (Gromer 2012, S. 238 ff) Der Autor identifiziert die investitions-wertbestimmenden Nachhaltigkeitsparameter von Immobilien und entwickelt ein Konzept zur kapitalmarkttheoretischen Bewertung. Im Rahmen des Bewertungsmodells schafft er die Möglichkeit zur Berücksichtigung zukünftiger Modernisierungen in Form flexibler Handlungsmöglichkeiten. (Gromer 2012, S. 185 ff) Zur Optionsbewertung verwendet Gromer das Binomialmodell. (Gromer 2012, S. 244) Ihm gelingt es hierdurch, die wertbestimmenden Parameter der Nachhaltigkeit in die Immobilienbewertung miteinzubeziehen. Der Ansatz verdeutlicht zum Teil, ähnlich wie die schon zuvor beschriebenen Ansätze, die Anwendbarkeit des Binomialmodells zur Bewertung der Realoptionen im Anwendungsgebiet nachhaltiger Investitionsvorhaben. Die Berücksichtigung von allgemeingültigen wertbestimmenden Parametern der Nachhaltigkeit, wie sie in Gromers Ansatz der Immobilienbewertung zu finden ist, erscheint aufgrund der Vielfalt der im Rahmen der vorliegenden Arbeit betrachteten möglichen Investitionsvorhaben in die innerbetrieblichen Wertschöpfungskette hingegen als nicht abbildbar.

Spilgies beschreibt in seinem Ansatz zu Realoptionen im Produktinnovationsmanagement ein Modell zum Einbezug realoptionsorientierten Denkens in die Planung von Innovationsprojekten. Der Ansatz verfolgt das Ziel, die Realoptionstheorie nicht nur für eine Projektbewertung, sondern als allgemeinen Managementansatz nutzbar zu machen. (Spilgies 2006, S. 334) Ausgehend von der

Bedeutung von Flexibilität und Unsicherheit in Innovationsprojekten präsentiert Spilgies eine Möglichkeit zum aktiven Management von Realoptionen. Er beschreibt dabei die drei wesentlichen Funktionen der Realoptionsplanung, der Entscheidung über die Realoptionen sowie der Überwachung der Realoptionen. (Spilgies 2006, S. 171 ff) Der Ansatz ermöglicht die Fokussierung auf eine Wertsteigerung der Realoptionen. Für die qualitative Wertbestimmung der Realoptionen empfiehlt Spilgies die Chancen-Risiko-Analyse. (Spilgies 2006, S. 196 f.) Der dargestellte Ansatz verdeutlicht vor allem die Bedeutung des Optionsmanagements und bietet eine geeignete Grundlage für das zu entwickelnde Modell.

Cooke beschreibt in seinem Konzept der Visualisierung stochastischer Preisprozesse die Möglichkeit zur Abbildung des Black- und Scholes-Modells mit Hilfe von System Dynamics. Ziel des Modells ist es, durch die Darstellung in System Dynamics ein besseres Verständnis für stochastische Preisprozesse zu ermöglichen. Mithilfe einer Sensitivitätsanalyse weist er die Nähe zur analytischen Lösung der Black und Scholes Gleichung nach. (Cooke , S. 8 ff) Er schlägt die Verwendung des Ansatzes zur Erklärung der Dynamik in Finanz- und Gütermärkten vor. Durch die Kombination von System Dynamics als Modellierungsmethode und dem Optionsbewertungsmodell von Black und Scholes gelingt es Cooke, die Nachvollziehbarkeit der geschlossenen Lösungsformel zu verbessern. Das Konzept bietet geeignete Ausgangspunkte zur Gestaltung des Bewertungsmodells für Realoptionen.

Titman und Martin nutzen in ihrem Ansatz zur Bewertung von Switching-Optionen die Simulation zur Bewertung der Flexibilität in Form der Wahl verschiedener Input-Faktoren zur Erreichung eines definierten Outputs. (Titman et al. 2008, S. 483 ff) Sie beschreiben hierzu die Möglichkeit, ein Kraftwerk zur Stromerzeugung mit alternativen Inputs zu betreiben. Als mögliche Investitionsvorhaben stehen dabei der Bau eines Kohlekraftwerks oder alternativ eines Gaskraftwerks zur Verfügung. Dritte Investitionsalternative stellt ein flexibles Kraftwerk dar, welches bedarfsweise mit Kohle oder mit Gas befeuert werden kann. Titman und Martin gelingt es in ihrem Bewertungsmodell, die Flexibilität durch Variation der Inputfaktoren zu bewerten sowie den Einfluss veränderter Umweltparameter auf das Bewertungsergebnis aufzuzeigen. Der Ansatz ist daher für das angestrebte Modell verwendbar.

Luehrmann schafft in seinen Ansatz zur Realloptionsbewertung eine pragmatische Möglichkeit, den Optionswert einer Erweiterungsoption ausgehend von einer Startinvestition zu berechnen. Er kombiniert dabei die Vorgehensweise der klassischen Kapitalwertmethode mit der Optionswertberechnung nach Black und Scholes. Entsprechend seiner Methodik wird zunächst der Kapitalwert der Startinvestition sowie der Kapitalwert der Folgeinvestition berechnet. Ausgehend von der Startinvestition lässt sich der Optionswert zur Durchführung des Folgeprojektes ableiten. Dabei gelingt es Luehrman, die fünf Eingangsparameter der Black- und Scholes-Gleichung auf zwei Dimensionen zu reduzieren.

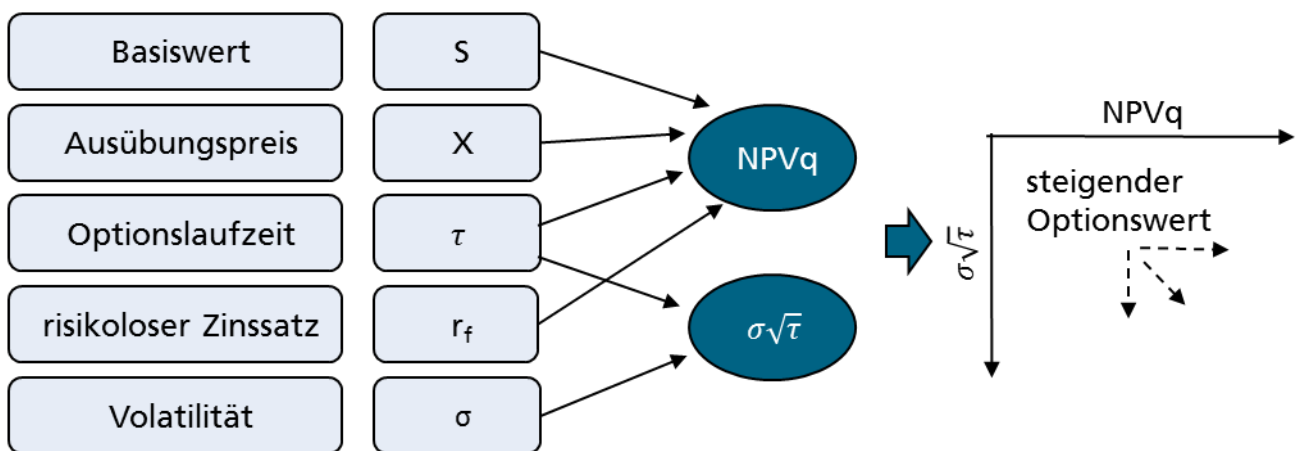


Abbildung 4-3: Optionsparameter nach Luehrman in Anlehnung an (Luehrman 1998, S. 92)

Der Ansatz von Luehrman eignet sich zur Bewertung europäischer Call-Optionen und führt im Vergleich zur analytischen Lösung nach Black und Scholes zu geringen Abweichungen der berechneten Optionswerte. Ein wesentlicher Vorteil dieses Ansatzes liegt darin, dass der Optionswert ausgehend von den Kapitalwerten der zugrunde liegenden Investitionen berechnet werden kann und somit weitgehend die in der Praxis verfügbaren Daten genutzt werden können. Ein weiterer Vorteil des Ansatzes ist, dass die Überführung der fünf Optionsparameter in nur zwei Parameter die grafische Ermittlung des Optionswerts in einem Optionsportfolio ermöglicht. (Luehrman 1998, S. 92 f.) Ein Wert-Kosten-Verhältnis größer 1 ($NPVq > 1$) resultiert dabei aus einem positiven Kapitalwert und führt dazu, dass die Investition tendenziell wahrscheinlich wird. Ein Wert-Kosten-Verhältnis kleiner 1 resultiert aus einem negativen Kapitalwert und macht die Investition tendenziell unwahrscheinlicher. Gleichzeitig führt ein zunehmendes Risiko-Zeit-Verhältnis ($\sigma\sqrt{\tau}$) tendenziell zu einer Verzögerung der Investitionsentscheidung.

4.4 Zwischenfazit und Ableitung des Handlungsbedarfs

Die Bewertung der verfügbaren Ansätze in Bezug auf die zu Beginn des Kapitels beschriebenen Anforderungen verdeutlicht, wie in Abbildung 4-4 dargestellt, dass bisher kein geeignetes Hilfsmittel zur Bewertung von Investitionen zur Steigerung der Ökoeffektivität innerbetrieblicher Wertschöpfungsketten existiert. Zwar adressieren einige der dargestellten Ansätze Investitionen zur Nachhaltigkeitssteigerung, keiner von ihnen fokussiert hierbei jedoch in diesem Zusammenhang hinreichend die innerbetriebliche Wertschöpfungskette. Allen Ansätzen ist gemeinsam, dass sie den Betrachtungsbereich auf strategische Investitionen legen, die eine hohe Kapitalbindung verursachen und durch ein hohes Maß an Unsicherheit und externe Umwelteinflüsse beeinflusst sind. Die Betrachtung des in der vorliegenden Arbeit gewählten Anwendungszusammenhangs erfolgt jedoch in den untersuchten Ansätzen nicht. Somit sind in der aktuellen Literatur keine Arbeiten zur Anwendung des Realloptionsansatzes zur Steigerung der Ökoeffektivität innerbetrieblicher Wertschöpfungsketten zu finden.

	strategische Investition				Anwendungszusammenhang			
					Ökoeffektivität		innerbetriebliche Wertschöpfungskette	
	Komplexe Wirkbeziehungen	Simulationsfähigkeit	Quantifizierbarkeit	Erweiterbarkeit	Energie- / Materialorientierung	Effektivitätsgedanke	direkte Wertschöpfung	Produktionsorientierung
Dangl u. Wirl (1998)	●	○	●	●	●	○	○	○
Klingelhöfer (2006)	●	●	●	●	●	●	○	●
Yang u. Blyth (2007)	●	●	●	●	●	○	○	○
Hungenberg (2005)	●	●	●	●	○	●	●	●
Gromer (2012)	●	●	●	●	●	○	○	○
Spilgies (2006)	●	●	●	●	○	○	●	○
Cooke (2004)	●	●	●	●	○	○	○	○
Titman u. Martin (2013)	●	●	●	●	●	○	○	●
Luehrman (1998)	●	●	●	●	○	○	○	○
eigene Arbeit	●	●	●	●	●	●	●	●

○ nicht erfüllt ● teilweise erfüllt ● voll erfüllt

Abbildung 4-4: Bewertung bestehender Ansätze hinsichtlich der Modellanforderungen

Als geeignete methodische Grundlagen werden, wie im vorherigen Kapitel dargestellt, vor allem das Grundmodell von Black und Scholes, sowie die Monte-Carlo Simulation gesehen. Zur Überführung der analytischen Lösungsformel in die System-Dynamics-Methodik kann auf Vorarbeiten von Cooke zurückgegriffen werden. Zur Auswertung der Simulationsergebnisse und zur Verbesserung der Anwendbarkeit in der Praxis bietet vor der Ansatz von Luehrman konkrete Anknüpfungspunkte für das zu entwickelnde Modell.

5 Konzeptioneller Aufbau eines generischen Bewertungsmodells

5.1 Auswahl einer geeigneten Modellierungsmethode

Grundlegend lassen sich Modelle nach Art ihrer Zustandsänderung unterscheiden in statische und dynamische Modelle. Die **statischen Modelle** betrachten nur einen Zeitpunkt in Form einer Momentaufnahme. Bei ihnen treten somit keine Zustandsänderungen auf. Die zeitliche Perspektive spielt keine Rolle. Die **dynamischen Modelle** zeichnen sich durch zeitabhängige Modellzustände aus und. Sie ermöglichen somit die Berücksichtigung einer zeitlichen Perspektive. (Page et al. 1991, S. 6) Sie eignen sich zur Abbildung von Prozessen und Abläufen. Aus den Anforderungen der Simulationsfähigkeit sowie der Berücksichtigung des zeitlichen Effekts ergibt sich eine Einschränkung der möglichen Modellarten auf dynamische Simulationsmodelle. Die dynamischen Modelle lassen sich nach Art der Berücksichtigung des Zeitverlaufs weiter unterscheiden in kontinuierliche und diskrete Modelle. Bei kontinuierlichen Modellen können die Zustandsänderungen zu allen Zeitpunkten auftreten, während sie bei diskreten Modellen nur zu bestimmten Zeitpunkten erfolgen. Vor allem, wenn strukturelle Zusammenhänge untersucht werden sollen, kann es sinnvoll sein, ein dynamisches System in einem kontinuierlichen Modell abzubilden, um beispielsweise Systemreaktionen bei stochastischen Eingangsgrößen zu analysieren. Sowohl kontinuierliche als auch diskrete Modelle lassen sich entsprechend ihres Informationsgrads weiter untergliedern in deterministische und stochastische Modelle. Deterministische Modelle gehen von einer eindeutigen Ursache-Wirkungs-Beziehung aus und setzen voraus, dass alle relevanten Informationen bekannt sind. Bei deterministischen Modellen ist die Reaktion des Modells auf eine bestimmte Eingabe eindeutig festgelegt. Stochastische Modelle gehen davon aus, dass lediglich die Eintrittswahrscheinlichkeiten der möglichen Ereignisse bekannt sind. (Mochel 1993, S. 5) Abbildung 5-1 zeigt die Gliederung von Modellen nach Art ihrer Bestimmtheit sowie ihrem zeitlichen Verhalten.

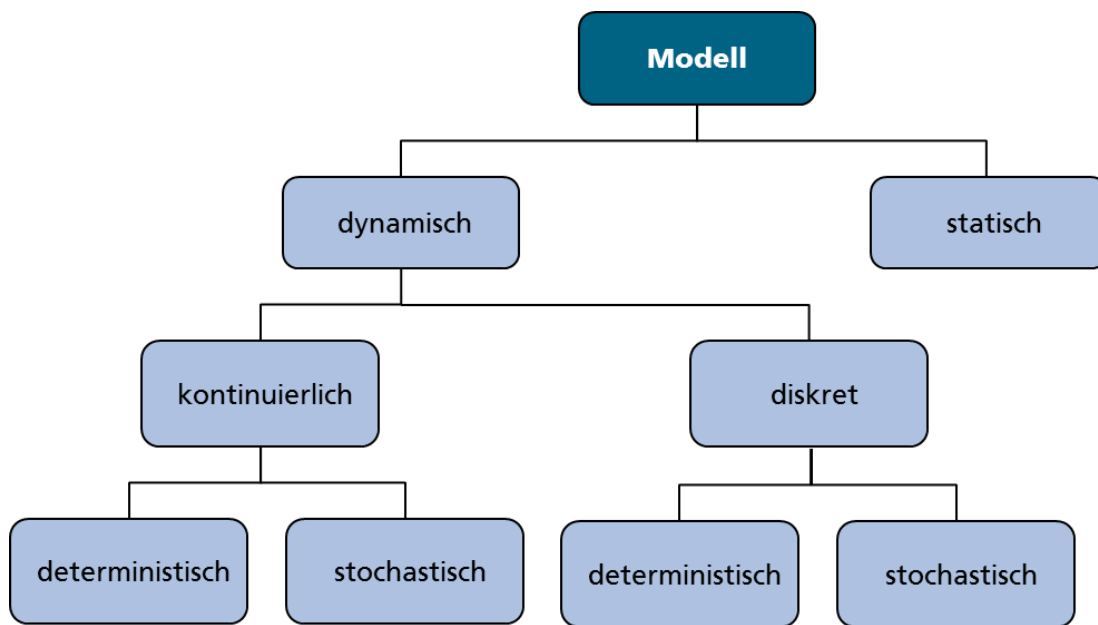


Abbildung 5-1: Modelle nach Art ihrer nach Bestimmtheit (Page et al. 1991, S. 6)

Der Überführung nicht stetiger Systeme in kontinuierliche Modelle liegt der Ansatz des System Dynamics zugrunde. Er ermöglicht die Abbildung der Zustandsänderungen diskreter Systeme in Form eines kontinuierlichen Flusses. (Albers 1981, S. 546 f.) Der System Dynamics Ansatz wertet Rückkopplungsbeziehungen als wesentliches Strukturmerkmal sozio-ökonomischer und technischer Systeme. System Dynamics ermöglicht somit die Abbildung komplexer, zeitdiskreter, nicht linearer dynamischer und rückgekoppelter Systeme. Auf Grundlage seiner Eignung zur Erfüllung der inhaltlichen Anforderungen aus dem vorherigen Kapitel, soll der Ansatz des System Dynamics nachfolgend näher erläutert werden.

System Dynamics

Der Ende der 1950er Jahre von Forrester entwickelte Ansatz verfolgt das Ziel, durch Nutzung einer mathematischen Modellierungstechnik die Kybernetik und Systemtheorie für praktische Anwendungen nutzbar zu machen. (Forrester 1958, S. 243) Ausgehend von seinen Vorerfahrungen aus dem Bereich der Regelungstechnik, gelang Forrester die Übertragung des Modellverständnisses auf beliebige zirkuläre Prozesse. Die Nutzung des Verfahrens für die Studie des Club of Rome zu den Grenzen des Wachstums ebneten den Weg hin zu einer Integration sozioökonomischer Fragestellungen. (vgl. Meadows 1972)

System Dynamics bietet eine Methode komplexe Sachverhalte abzubilden und nichtlineare Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu beschreiben. (Forrester 1994, S. 245) Die Methode eignet sich daher im Besonderen zur Entscheidungsunterstützung bei Fragestellungen, in denen die Änderung des Systems über der Zeit von Bedeutung ist. (Becker 2010, S. 1) Coyle betont in seiner Definition von System Dynamics vor allem diese zeitliche Komponente. Demnach ist System Dynamics „[...] a method of analysing problems in which time is an important factor, and which involve the study of how a system can be defended against, or made to benefit from, the shocks which fall upon it from the outside world.“ (Coyle 1977, S. 2)

System Dynamics bietet einen Ansatz zur strukturierten Beschreibung komplexer Zusammenhänge und kann dabei unterstützen, ein tiefergehendes Verständnis für gegebene Problemstellungen zu entwickeln. Die Diskussion und Interpretation der System-Dynamics-Modelle in interdisziplinären Teams ermöglicht hierbei einen Lernprozess, der für die Entscheidungsfindung von wesentlicher Bedeutung sein kann. (Claussen 2012, S. 59) Es fokussiert die Beschreibung von Systemelementen sowie deren Interaktion im System. Die Bestandteile eines System-Dynamics-Modells stellen Bestands- und Flussgrößen (stocks and flows) dar. Durch die Wechselwirkungen zwischen den Elementen des Modells entstehen Rückkopplungsschleifen. (Forrester 1972, S. 15; Milling 1984, S. 4) Flussdiagramme ermöglichen die graphische Darstellung der kausalen Zusammenhänge. Die Bestandsgröße ändert sich, ausgehend von einem Anfangswert im Zeitverlauf, entsprechend der Zu- und Abflüsse. Diese werden durch die Flussgrößen sowie deren Konstanten charakterisiert. Die Quellen und Senken stellen externe Bereiche dar und enthalten Startwert (Input) und Ergebnis (Output) des Modells. Abbildung 5-2 zeigt beispielhaft ein Flussdiagramm mit seinen entsprechenden Fluss- und Bestandsgrößen gemäß der Notation nach Forrester.

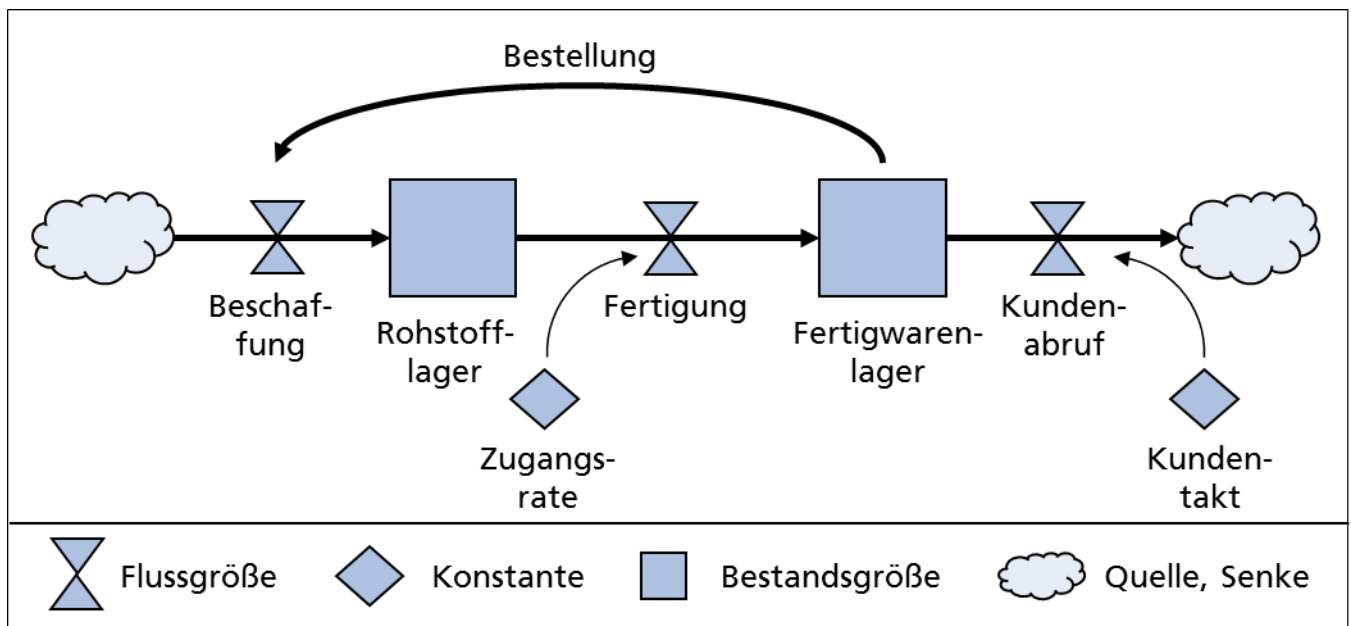


Abbildung 5-2: Beispielhaftes System-Dynamics-Modell

Das Vorgehen zur Modellbildung von System Dynamics gliedert sich gemäß Forrester in ein sechstufiges, iteratives Verfahren. (Forrester 1994, S. 245 ff) Im ersten Schritt erfolgt die verbale Beschreibung des Systems. Ausgerichtet auf die Zielsetzung wird hierbei auf Basis einer Hypothese das Systemverhalten beschrieben. Im zweiten Schritt erfolgt die Beschreibung der Zusammenhänge in Form von Flussdiagrammen. Sie stellen die Elemente des Modells sowie deren Wirkweisen grafisch dar. Die Informationen werden in die Zeichensprache des System Dynamics übersetzt und somit ein qualitatives Modell entwickelt. Die Überführung des qualitativen in ein quantitatives Modell ermöglicht darüber hinaus die Simulation. Hierzu sind die gesammelten Informationen in mathematische Gleichungen zu überführen. Die Interpretation des System-Dynamics-Modells ermöglicht das Ableiten von Entscheidungshilfen. Die Modellierung entsprechend des System-Dynamics-Ansatzes erscheint vor allem vor dem Hintergrund der zeitlichen Bedeutung sowie der Möglichkeit zur Abbildung komplexer Wechselwirkungen mitsamt deren Rückkopplungsschleifen geeignet für die Modellkonzeption und wird daher für die Gestaltung des generischen Grundmodells verwendet. Nachfolgend werden entsprechend des dargelegten Vorgehens zunächst die Bestandteile des Modells definiert und anschließend deren dynamisches Zusammenwirken beschrieben. Hierzu werden zunächst die für das Bewertungsmodell relevanten Bestandteile definiert.

Wie im Rahmen der methodischen Vorgehensweise zur Modellbildung beschrieben, erfordern die heuristischen Gestaltungsregeln der Modellierung die Vereinfachung und Zerlegung des Gesamtproblems in Teilprobleme, sowie die schrittweise Annäherung an das konkrete Problem im Anwendungszusammenhang. Hierzu wird zunächst ein generisches Modell zur Bewertung der Investitionsentscheidung unter Berücksichtigung der Realoptionen sowie der externen Umwelteinflüsse gestaltet, welches anschließend im Anwendungszusammenhang ausgestaltet wird. Ziel des generischen Modells ist es, eine allgemeingültige Basis für die Anwendbarkeit des Modells zu schaffen. Es ist in der Art auszugestalten, dass es an die verschiedenen Anwendungsfälle anpassbar ist. Somit kann eine fallspezifische Ausweitung des Betrachtungsbereichs sichergestellt werden. Das Referenzmodell gliedert das Gesamtproblem darüber hinaus wie gefordert in mehrere Teilprobleme und macht die Problemlösung nachvollziehbar und überschaubar. Die Gestaltung von Modellen erfolgt unter Einhaltung der Modellierungsprinzipien und unter Verwendung einer Modellierungsmethode. „Methoden sind planmäßig angewandte, begründete Vorgehensweisen zur Erreichung von festgelegten Zielen (i. a. im Rahmen festgelegter Prinzipien).“ (Hesse et al. 1992, S. 32) Zur Auswahl eines geeigneten Verfahrens wird nachfolgend ein kurzer Überblick über zwei potenzielle Modellierungsmethoden gegeben.

5.2 Grundlagen des generischen Bewertungsmodells

Für das Modell zur Bewertung von Investitionen zur Steigerung der Ökoeffektivität innerbetrieblicher Wertschöpfungsketten sind über die klassische Bewertung der Investition hinausgehend weitere Aspekte in Form von durch Flexibilität und Unsicherheit gekennzeichneten Realoptionen zu berücksichtigen. Im generischen Bewertungsmodell soll dementsprechend ein Investitionsverlauf abgebildet werden, der eine Folge von Investitionsentscheidungen ermöglicht. Ausgehend von einer Grundinvestition stellen die Folgeinvestitionen dabei Realoptionen für die Gesamtinvestition dar, über deren Ausübung zu einem späteren Zeitpunkt entschieden werden kann. Die Flexibilität spiegelt sich in der Wahrnehmung oder Unterlassung der Realoption durch den Entscheider wider. Die Unsicherheit resultiert aus der Unvorhersagbarkeit zukünftiger Entwicklungen externer Umwelteinflüsse einerseits sowie der Unschärfe der für die Bewertung getroffenen Annahmen andererseits.

Für das generische Bewertungsmodell sind daher die Bestandteile Grundinvestition, Realloption sowie der Umwelteinfluss relevant. Die Grundinvestition besitzt von ihr abhängige Realoptionen. Sowohl der Wert der Grundinvestition als auch derjenige der Realloption hängt von dem Umwelteinfluss ab. Die nachfolgende Abbildung visualisiert das Zusammenwirken der Einzelemente im Modell.

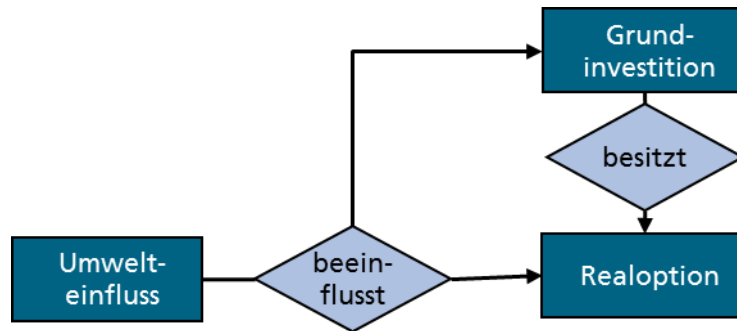


Abbildung 5-3: Zusammenwirken der Modellbestandteile

Die Grundinvestition stellt die für das Investitionsvorhaben notwendige Erstinvestition dar. Aufbauend auf der Grundinvestition lassen sich im Laufe des Investitionsablaufs weitere Investitionen in Form von Folgeinvestitionen tätigen. Im Modell wird die Entscheidung über die Wahrnehmung der Option zur Folgeinvestition am Ende der Optionslaufzeit getroffen. Die Folgeinvestition stellt somit eine europäische Call-Option im Sinne der Optionstheorie dar. Die nachfolgende Grafik veranschaulicht die Investitionsfolge, bestehend aus der Grundinvestition sowie einer Folgeinvestition in Form einer Erweiterungsoption.

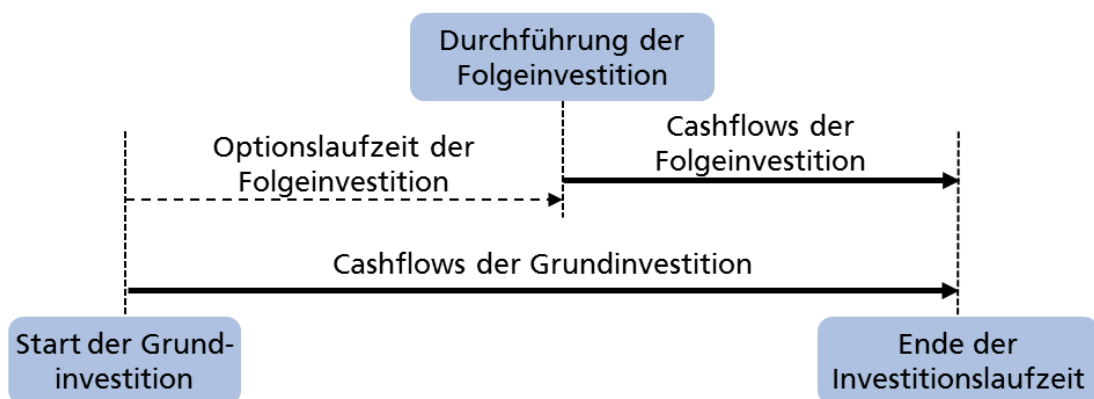


Abbildung 5-4: Investitionsvorhaben bestehend aus Grund- und Folgeinvestition

Wie aufgezeigt, stellt die Grundinvestition den Kern des Modells dar, wobei sich das Modell stets auf exakt eine Grundinvestition bezieht. Die Gesamtinvestition wird im Wertbeitrag bestimmt durch den Kapitalwert der Grundinvestition sowie den zusätzlichen Wertbeitrag durch die Realloption. Es ergibt sich für das gesamte Investitionsvorhaben ein erweiterter Kapitalwert (KW_{erw}) bestehend aus dem Kapitalwert der Grundinvestition (KW_G) zuzüglich des Kapitalwerts der Realloption (KW_{RO}). (Trigeorgis 1996, S. 122 ff)

$$KW_{erw} = KW_G + KW_{RO} \quad (5.1)$$

Sowohl der Kapitalwert der Grundinvestition als auch derjenige der Realloption unterliegt Umweltinflüssen. Die Zusammensetzung des erweiterten Kapitalwerts zeigt Abbildung 5-5.

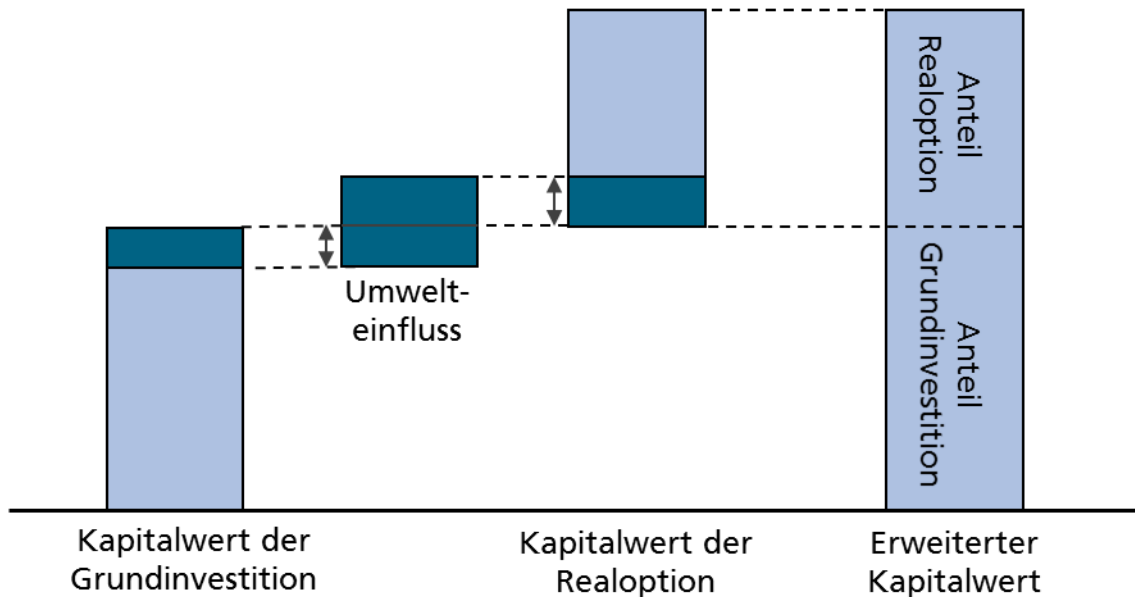


Abbildung 5-5: Erweiterter Kapitalwert

Zum Aufbau des generischen Bewertungsmodells werden drei Entwicklungsschritte durchlaufen. Zunächst wird ein einfaches System-Dynamics-Modell gebildet, welches die Bewertung der Grundinvestition auf Basis der Kapitalwertmethode ermöglicht. Im zweiten Schritt erfolgt die Bewertung der mit der Grundinvestition verbundenen Realloption. Diese wird als europäische Call-Option modelliert. Hierzu wird zunächst der Kapitalwert der Folgeinvestition berechnet. In Ergänzung zum Kapitalwert der Grundinvestition lässt sich hieraus der konventionelle Kapitalwert der Gesamtinvestition berechnen. Dieser kann als Vergleichswert für die Bewertung des erweiterten

Kapitalwerts herangezogen werden, um die Unterschiede zum Realloptionsansatz bewertbar zu machen und die Ergebnisinterpretation zu unterstützen. Darauf aufbauend wird auf Basis des in Absatz 4.3 beschriebenen methodischen Ansatzes nach Luehrman ein Wert-Kosten-Verhältnis sowie ein Risiko-Zeit-Faktor der Realoption berechnet. Diese beiden Entwicklungsschritte führen zum ersten Teilmodell des generischen Bewertungsmodells. In einem dritten Entwicklungsschritt wird der Optionswert der Realoption abgeleitet. Ergänzt wird die analytische Berechnung des Optionswerts um ein Simulationsmodell, welches die Wertentwicklung der Folgeinvestition sowie des Optionswerts auf Grundlage des Black-Scholes-Ansatzes als stochastischen Entwicklungsprozess ermöglicht und durch eine Monte-Carlo-Simulation bewertbar macht. Die Ermittlung des Optionswerts sowie Simulation der Wertentwicklung und die Ermittlung des erweiterten Kapitalwerts sind Bestandteil des zweiten Teilmodells. Sowohl die Ermittlung des Wert-Kosten-Verhältnisses und des Risiko-Zeit-Faktors als auch die Wert- und Optionspreissimulation, aufbauend auf der Black-Scholes-Formel, fließen in die Ergebnisinterpretation ein und ermöglichen die optionspreisorientierte Bewertung der Gesamtinvestition. Die nachfolgende Abbildung zeigt zusammenfassend die beiden Teilmodelle des generischen Bewertungsmodells.

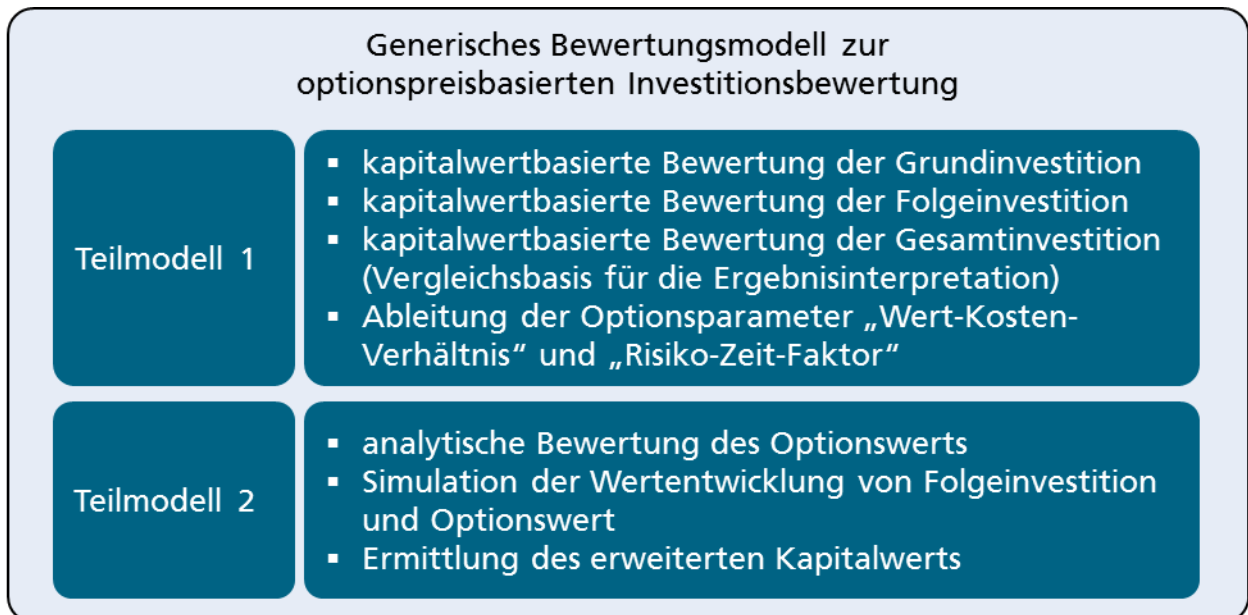


Abbildung 5-6: Aufbau des generischen Bewertungsmodells aus zwei Teilmodellen

Nachdem das Zusammenwirken der Modellbestandteile sowie die Entwicklungsschritte zum Aufbau des generischen Modells beschrieben wurden, werden die Einzelbestandteile des Modells ausgestaltet.

5.2.1 Die Grundinvestition

Die Grundinvestition stellt die Basis des Investitionsvorhabens dar. Sie charakterisiert die notwendige Erstinvestition ohne Berücksichtigung der mit ihr verbundenen Realoptionen. In Bezug zur Ökoeffektivität kann dies beispielsweise eine Investition in eine neuartige Technologie oder in ein Forschungsvorhaben zur Effektivitätssteigerung darstellen. Die Bewertung der Grundinvestition kann auf dem Wege der klassischen Investitionsrechnung unter Anwendung der Kapitalwertmethode erfolgen. Die Grundinvestition ist gekennzeichnet durch:

- Die **Investitionssumme**
- Die erwarteten **Cashflows**
- Die **Investitionslaufzeit**
- Den **Kalkulationszinssatz** der Investition

Die Investitionssumme beschreibt den Initialaufwand zur Durchführung der Grundinvestition. Sie stellt einen reellen positiven Wert dar. Die erwarteten Cashflows bilden die geschätzten Rückflüsse der Investition ab. Wie in Kapitel 3 gezeigt, stellen sie die Differenz der für das jeweilige Betrachtungsjahr angenommenen Werte der Ein- und Auszahlungen dar. Für die Cashflows kommen somit theoretisch alle reellen Werte zwischen minus und plus Unendlich infrage. Die Investitionslaufzeit beschreibt die Dauer in der auf Basis der Investition Rückflüsse zu erwarten sind. Sie kann theoretisch jede beliebige positive reelle Zahl einnehmen. Besitzt die Investition am Ende der Laufzeit einen Restwert, so kann dieser als Cashflow in der letzten Bewertungsperiode berücksichtigt werden. Ein negativer Restwert kann beispielsweise durch Entsorgungskosten am Ende der Investitionslaufzeit anfallen. Der Kalkulationszinssatz bietet einen Bewertungsmaßstab zur Abzinsung der zu erwartenden Cashflows auf den Zeitpunkt zu Investitionsbeginn. Er stellt einen positiven reellen Wert zwischen Null und Eins dar. Abbildung 5-7 zeigt die charakterisierenden Elemente der Grundinvestition.

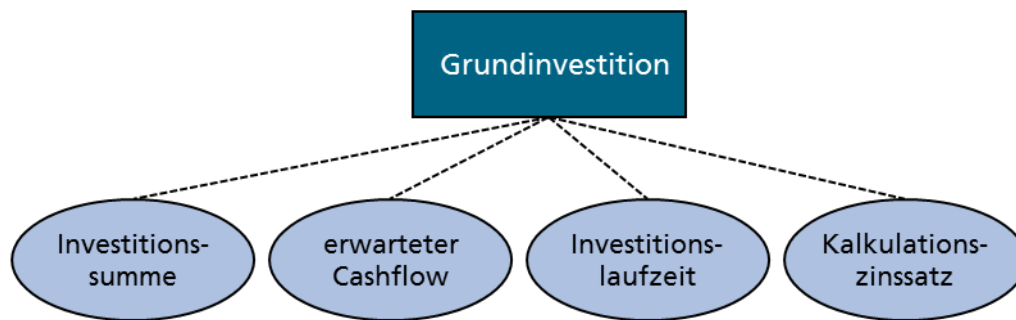


Abbildung 5-7: Bestandteile der Grundinvestition

5.2.2 Die Realloption

Die Realloption determiniert die Flexibilität des Investors bei Investitionsdurchführung. Er entscheidet am Ende der Optionslaufzeit, ob er die Option in Form einer Folgeinvestition wahrnimmt oder verfallen lässt. Die Realloption selbst basiert auf der Grundinvestition und hat Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des gesamten Investitionsvorhabens. Nur nach Durchführung der Grundinvestition steht die Option auf Wahrnehmung der Folgeinvestition zur Verfügung. Der Wert der Realloption wird beeinflusst durch die Umwelt. Entsprechend der Optionstheorie kann der Wert der Option Null sein, oder einen realen positiven Wert annehmen. In Anlehnung an die in Kapitel 3.5 beschriebenen Optionsarten sowie die Wertbestimmung von Realoptionen ist die Realloption durch folgende Eigenschaften charakterisiert:

- die **Optionsart**
- der **Basiswert** der Option
- der **Ausübungspreis**
- die **Optionslaufzeit**
- die **Volatilität** der Option
- ihr zukünftiger **Wertverlust**
- den **risikolosen Zinssatz**

Die Realloption ist beeinflusst durch ihre wertbestimmenden Eigenschaften. Abbildung 5-8 zeigt den Optionstyp Realloption mit seinen Bestandteilen.

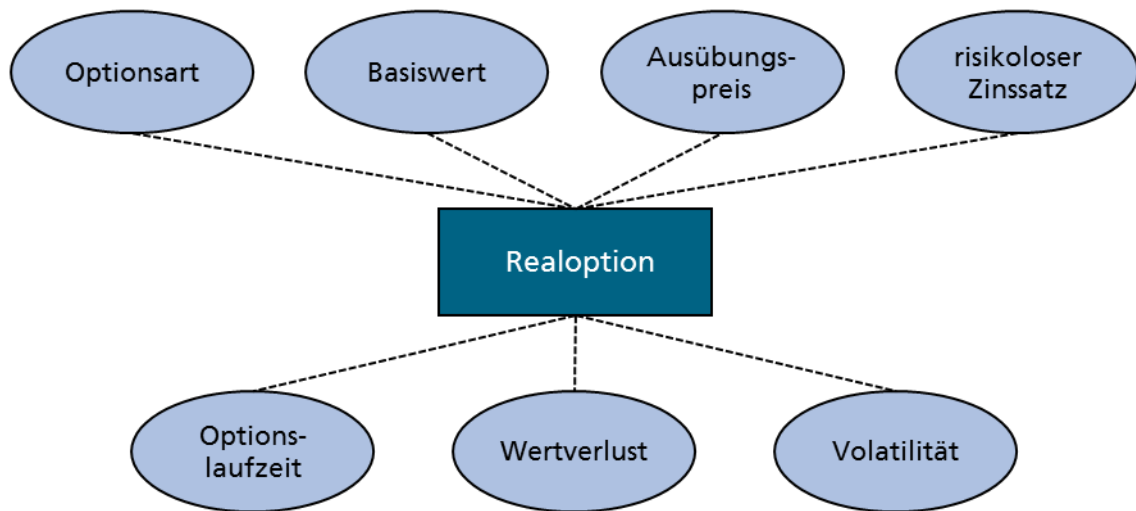


Abbildung 5-8: Der Objekttyp Realoption mit seinen Attributen

Die Optionsart beschreibt die grundsätzliche Gestalt der Realoption. Es lassen sich die beschriebenen Optionsarten unterscheiden. Wie bereits grundlegend aufgezeigt, weisen Optionsarten entweder einen erweiterungsorientierten oder einen minderungsorientierten Charakter auf. Einstiegsoptionen wirken erweiterungsorientiert, da sie die Möglichkeit zum Start eines neuen Investitionsvorhabens bewerten. Erweiterungsoptionen wirken ebenfalls erweiterungsorientiert, da sie ausgehend von einem bereits gestarteten Investitionsprojekt die Möglichkeiten einer späteren Erweiterung des Investitionsumfangs betrachten. Als Unterschied zur Einstiegsoption fallen bei der Erweiterungsoption bereits auf Grundlage der Grundinvestition Rückflüsse in Form positiver Cashflows an. Fortsetzungsoptionen sind erweiterungsorientiert, da sie das Investitionsvorhaben in Meilensteine untergliedern, wobei zunächst von einer positiven Entwicklung und einem schrittweisen Erreichen der Meilensteine ausgegangen wird. In Teilphasen kann dabei das Investitionsvorhaben stillgelegt werden, wodurch negative Cashflows in Form von Erhaltungskosten anfallen.

Wechseloptionen sind teilweise erweiterungsorientiert aber auch teilweise minderungsorientiert. Während die Auswahl des neuen Investitionsvorhabens den erweiterungsorientierten Charakter darstellt, wirkt eine Abkehr von dem ursprünglich begonnenen Investitionsvorhaben minderungsorientiert. Einschränkungsoptionen sind ebenfalls minderungsorientiert, da sie nachträglich den Umfang eines begonnenen Investitionsprojekts reduzieren. Die Abbruchoption stellt letztlich die vollständige Aufgabe des Investitionsvorhabens dar und ist somit ebenfalls minderungsorientiert.

Erweiterungsorientierte Realoptionen stellen Call-Optionen, minderungsorientierte Realoptionen stellen Put-Optionen gemäß der in Abschnitt 3.5.1 dargestellten Optionsbewertung dar. Die Interaktionsoption beschreibt die Wirkung zwischen den Realoptionen und ist somit nicht eindeutig als erweiterungs- oder minderungsorientiert zu klassifizieren. (Trigeorgis 1996, S. 227 ff) Bei dem zu konzipierenden Bewertungsmodell wird von einem erweiterungsorientierten Investitionsverhalten ausgegangen.

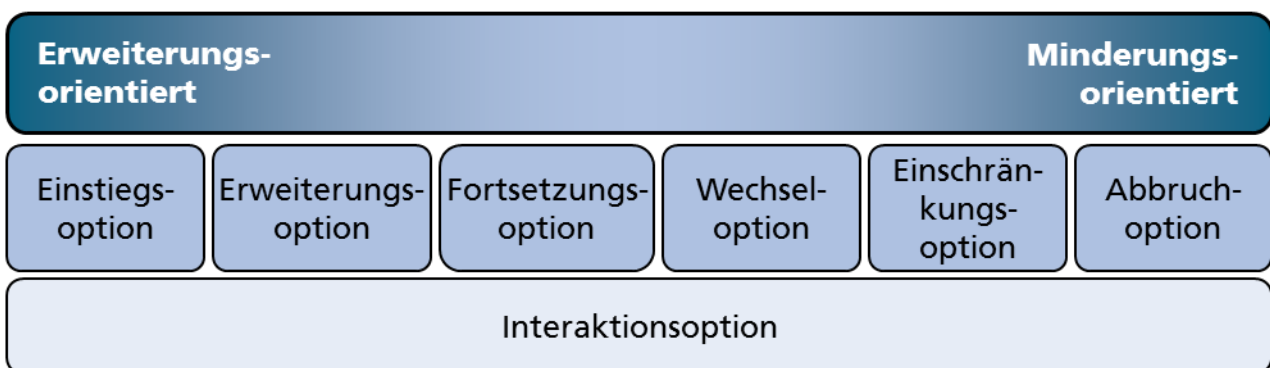


Abbildung 5-9: Orientierungsrichtung von Realoptionen

Der Basiswert der Option stellt den Gegenwartswert der durch die Realisierung der Option zu erwartenden Cashflows dar. Er kann entsprechend der Optionstheorie Null sein oder alle reellen positiven Werte annehmen. Der Ausübungspreis charakterisiert die zur Optionswahrnehmung erforderlichen Investitionskosten. Er kann somit ebenfalls alle positiven reellen Werte annehmen. Die Optionslaufzeit bestimmt die Zeitspanne, nach deren Ablauf über Wahrnehmung oder Verfall der Option entschieden wird. Sie bildet somit ebenfalls einen positiven reellen Wert. Die Volatilität beschreibt die Unsicherheit der Rückflüsse und stellt einen positiven Wert zwischen Null und Eins dar. Der Wertverlust der Option entsteht durch Verstreichen der Optionslaufzeit und wird im Modell rechnerisch berücksichtigt. Es wird somit kein Wert als Inputparameter für das Modell verwendet. Der risikolose Zinssatz entspricht der Verzinsung einer risikolosen Kapitalanlage und kann im Modell Werte zwischen Null und Eins annehmen.

5.2.3 Der Umwelteinfluss

Unternehmen handeln nicht isoliert, sondern in einem offenen System. Aufgabe des Unternehmens ist es, sich mit steigender Komplexität und Dynamik bewusst auseinanderzusetzen. (Bleicher 2011,

S. 85) Umwelteinflüsse stellen durch das Unternehmen nicht beeinflussbare Größen dar, die jedoch Wirkung auf die Realoption sowie die Grundinvestition ausüben. Sie sind somit als wertbestimmender Rahmen des generischen Bewertungsmodells mit zu berücksichtigen. Die qualitative Wertbestimmung der Umwelteinflüsse erfolgt durch Beobachtung der Unternehmensumwelt sowie durch Prognosen. Veränderungen der Umwelteinflüsse können initiierende Ausgangspunkte für neue Investitionsvorhaben sein. Umwelteinflüsse können sowohl Risiken als auch Chancen aufweisen. Die Umwelteinflüsse sind gekennzeichnet durch die folgenden Eigenschaften:

- der **Treiber** des Umwelteinflusses
- die **Beschreibung** des Umwelteinflusses
- der **Wirkbeitrag** des Umwelteinflusses

Der Treiber des Umwelteinflusses beschreibt dessen Herkunftsquelle. Die Festlegung der Umwelteinflusstreiber erfolgt in Anlehnung an das St. Galler Management-Modell. (Rüegg-Stürm et al. 2015, S. 37) Dieses beschreibt unter anderem die Anspruchsgruppen eines Unternehmens.

Die Beschreibung des Umwelteinflusses erläutert dessen grundlegende Gestalt. Durch die Kurzbeschreibung des Einflusses wird dessen Wirkweise transparent und nachvollziehbar. Der Wirkbeitrag des Umwelteinflusses beschreibt die Auswirkung, den der externe Umwelteinfluss auf die Bewertungsparameter der Grundinvestition oder der Realoption ausübt. Der Wirkbeitrag hat somit Einfluss auf den Wert der Gesamtinvestition. Grundsätzlich können Umwelteinflüsse eine fördernde sowie eine hemmende Wirkung auf die Grundinvestition sowie die hiermit verbundenen Realoptionen ausüben. Eine investitionsfördernde Wirkung kann sich beispielsweise durch ein verändertes Kaufverhalten der Kunden ergeben, wodurch für das Unternehmen neue Marktchancen entstehen. Investitionshemmend kann beispielsweise eine Phase politischer Unsicherheit, wie sie zurzeit teilweise bei Fragestellungen der Energiewende und dem Ausbau erneuerbarer Energien zu beobachten ist, wirken. Die relevanten Umwelteinflüsse sind stark abhängig von dem jeweiligen Investitionsvorhaben und somit anwendungsspezifisch zu erfassen. Abbildung 5-10 zeigt den Objekttyp Umwelteinfluss mit seinen Bestandteilen.

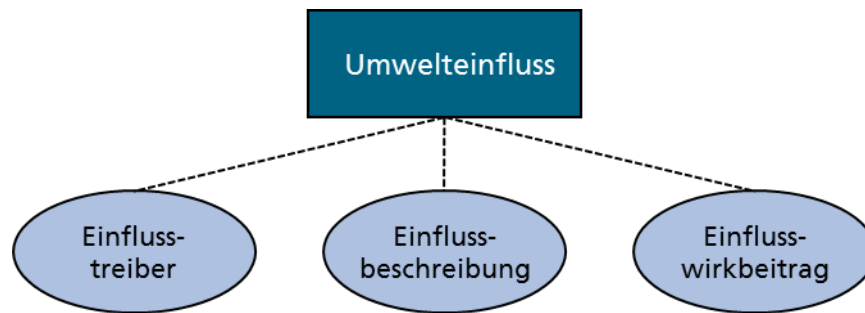


Abbildung 5-10: Der Objekttyp Umwelteinfluss mit seinen Attributen

Nachdem die einzelnen Bestandteile des Bewertungsmodells beschrieben wurden, wird das generische Grundmodell entsprechend der zwei dargestellten Teilmodelle aufgebaut.

5.3 Aufbau des generischen Bewertungsmodells

5.3.1 Aufbau von Teilmodell 1

Zunächst wird ein System-Dynamics-Modell aufgebaut, welches die Bewertung der Grundinvestition auf Basis der Kapitalwertmethode ermöglicht. Hierzu werden entsprechend der Vorgehensweise zur Gestaltung von System-Dynamics-Modellen zunächst die Parameter des Modells definiert. Danach werden diese in Form der System-Dynamics-Darstellungsform visualisiert und abschließend die formalen Zusammenhänge beschrieben. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Ziel-, Eingangs- und Hilfsparameter zur Bewertung der Grundinvestition.

Tabelle 5-1: Parameter zur Bewertung der Grundinvestition

Zielparameter		Eingangsparameter		Hilfsparameter	
Kapitalwert der Grundinvestition	KW_G	Investitionssumme	I_G	Barwerte der Cashflows	BW_G
		Cashflows der Grundinvestition	CF_G	Zeit	t
		Laufzeit der Grundinvestition (Gesamtinvestition)	$T_G = T_{Ges}$		
		Kalkulationszins	i		

Der Kapitalwert der Grundinvestition stellt die Zielgröße des Modells dar. Er wird entsprechend der Kapitalwertrechnung beeinflusst durch die Investitionssumme sowie die Barwerte der Cashflows. Die Barwerte wiederum stellen die zulasten des Kalkulationszinssatzes über die Zeit abgezinsten Cashflows dar. Die Cashflows sind abhängig von der Zeit und fallen über die Gesamtlaufzeit der Grundinvestition an. Die Laufzeit der Grundinvestition wird im Modell ebenfalls als Laufzeit des gesamten Investitionsvorhabens angenommen. Die nachfolgende Abbildung zeigt das einfache System-Dynamics-Modell zur Berechnung des Kapitalwerts der Grundinvestition.

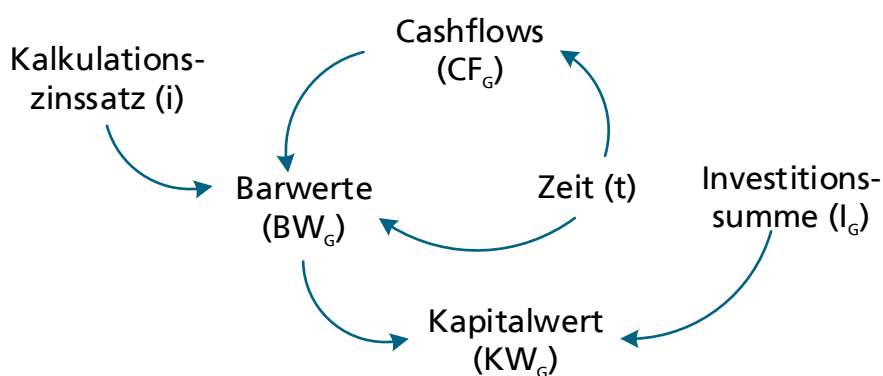


Abbildung 5-11: System Dynamics Modell der Grundinvestition

Der formale Zusammenhang im System-Dynamics-Modell zur Bewertung der Grundinvestition ergibt sich ebenfalls aus der Kapitalwertrechnung. Die Eingangsgrößen des Modells werden zunächst als Konstanten angenommen. Sie können in der späteren Ausgestaltung des Modells im

Anwendungszusammenhang jedoch variieren. Die Barwerte der Grundinvestition errechnen sich als abgezinste Cashflows:

$$BW_{G,t} = CF_{G,t} \cdot (1 + i)^{-t} \quad (5.2)$$

Der Kapitalwert der Grundinvestition ergibt sich aus der Investitionssumme sowie der Summe der Barwerte über die Gesamtlaufzeit der Investition:

$$KW_G = -I_G + \sum_{t=0}^{T_G} BW_{G,t} \quad (5.3)$$

Das Modell zur kapitalwertorientierten Bewertung der Grundinvestition ließe sich ebenfalls für eine erste Bewertung der Gesamtinvestition verwenden. Wie in der Praxis üblich, wird dabei die Folgeinvestition zum späteren Zeitpunkt als negativer Cashflow aufgefasst. Die aus der Folgeinvestition resultierenden Cashflows werden dann ab dem Zeitpunkt der Folgeinvestition den Cashflows der Grundinvestition zugerechnet. Ein Nachteil dieser Vorgehensweise ist jedoch, dass die Folgeinvestition hierdurch zu gleichem Kalkulationszinssatz abgezinst würde wie die erwarteten Cashflows. (Luehrman 1998, S. 11 f.) Dieser Nachteil wird im zweiten Schritt umgangen. Hierbei wird zunächst der Kapitalwert der Folgeinvestition auf gleiche Weise, jedoch separat zur Grundinvestition, berechnet. Dabei kann für die Abzinsung ein separater Zinssatz verwendet werden. Zur Gestaltung der Modellerweiterung werden wieder zunächst die Ziel-, Eingangs- und Hilfsparameter definiert.

Tabelle 5-2: Parameter zur Bewertung der Folgeinvestition

Zielparameter		Eingangsparameter		Hilfsparameter	
Kapitalwert der Folgeinvestition	KW_F	Investitionssumme der Folgeinvestition (Ausübungspreis)	I_F	Barwerte der Cashflows	BW_F
Kapitalwert der Gesamtinvestition	KW_{Ges}	Cashflows der Folgeinvestition	CF_F	Laufzeit der Folgeinvestition	T_F
Basiswert der Realoption	S	Laufzeit der Gesamtinvestition	T_{Ges}	Zeit	t
		Optionszeit	τ	Gegenwartswert des Ausübungspreises	$PV(I_F)$
		Kalkulationszins	i		
		Risikofreier Zins	r_f		

Zielgröße des zweiten Teilmodells ist der Kapitalwert der Folgeinvestition, der konventionelle Kapitalwert der Gesamtinvestition sowie der Basiswert der Realoption in Form der Folgeinvestition. Entsprechend des Bewertungsmodells für die Grundinvestition stellen die Investitionssumme der Folgeinvestition, deren Cashflows, der Kalkulationszinssatz und die Investitionslaufzeit der Gesamtinvestition relevante Einflussgrößen dar. Hierbei entspricht die Investitionssumme der Folgeinvestition dem Ausübungspreis der Realoption. Ergänzt werden darüber hinaus als Eingangsgrößen der risikolose Zinssatz zur Abzinsung der Folgeinvestition sowie die Optionslaufzeit, die den Zeitpunkt der Folgeinvestition ausgehend vom Zeitpunkt der Grundinvestition charakterisiert.

Als Hilfsgrößen werden im System-Dynamics-Modell die Barwerte der Cashflows, die Laufzeit der Folgeinvestition, der momentane Simulationszeitpunkt sowie der Gegenwartswert des Ausübungspreises berechnet. Die nachfolgende Abbildung visualisiert die Zusammenhänge in der entsprechenden System-Dynamics-Darstellungsform.

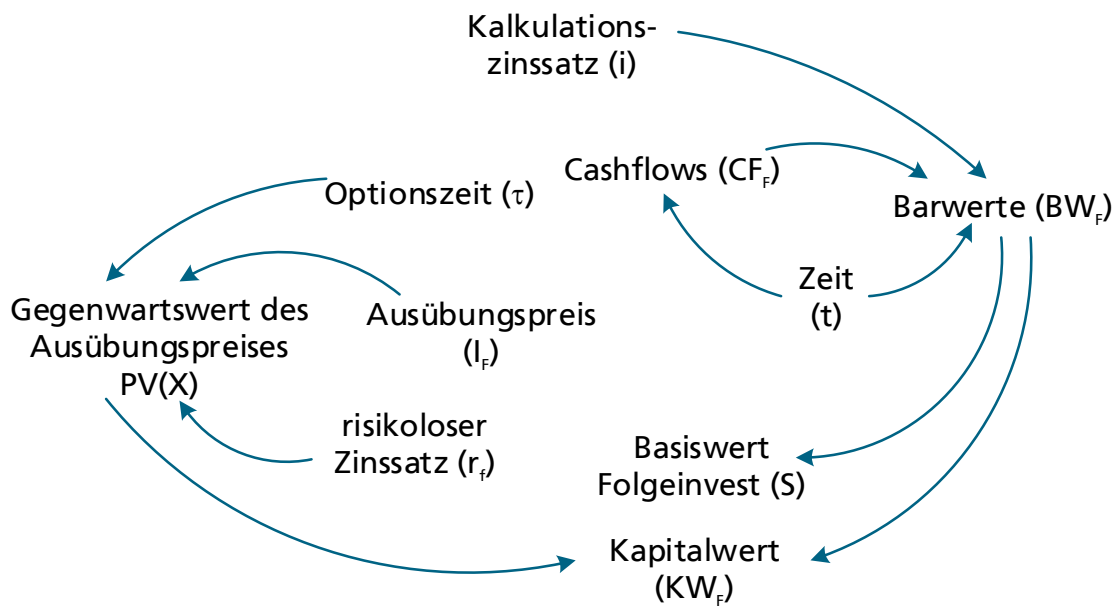


Abbildung 5-12: System-Dynamics-Modell der Folgeinvestition

Die Laufzeit der Folgeinvestition ergibt sich aus der Differenz zwischen der Gesamtlaufzeit des Investitionsvorhabens (diese entspricht der Gesamtlaufzeit der Grundinvestition) und der Optionslaufzeit. Sie berechnet sich somit als:

$$T_F = T_{Ges} - \tau \quad (5.4)$$

Bis zum Erreichen des Zeitpunkts der Folgeinvestition (Optionslaufzeit) sind die Cashflows der Folgeinvestition gleich Null. Die danach durch die Folgeinvestition realisierbaren Cashflows werden ebenso wie zuvor diejenigen der Grundinvestition mit dem Kalkulationszinssatz auf den Zeitpunkt Null abgezinst. Die hieraus resultierenden Barwerte bilden über die Investitionslaufzeit hinweg den Gegenwartswert der Folgeinvestition.

$$BW_{F,t} = CF_{F,t} \cdot (1 + i)^{-t} \quad (5.5)$$

Die Summe der abgezinsten Barwerte der Folgeinvestition entspricht dem Basiswert der Folgeinvestition in Form einer Realoption.

$$S = \sum_{t=0}^{T_{Ges}} BW_{F,t} \quad (5.6)$$

Da die Folgeinvestition erst nach Ablauf einer gewissen Zeitspanne erfolgt, ist der Investitionswert auf den heutigen Zeitpunkt abzuzinsen. Die Zeitspanne bis zur Folgeinvestition stellt die Optionslaufzeit dar. Die Investitionssumme für die Folgeinvestition soll im Modell im Gegensatz zu den zu erwartenden Cashflows als sicher eingestuft werden. Um eine realitätsnahe Bewertung zu unterstützen, wird zum Abzinsen der Investitionssumme der risikolose Zinssatz verwendet. Die abgezinste Folgeinvestition ist abhängig von der Optionslaufzeit, dem Ausübungspreis der Folgeinvestition sowie dem risikolosen Zinssatz und berechnet sich als:

$$PV(I_F) = I_F \cdot (1 + r_f)^{-\tau} \quad (5.7)$$

Der Kapitalwert der Folgeinvestition ergibt sich aus der Summe der Barwerte über die Investitionslaufzeit (also des Basiswerts der Folgeinvestition) abzüglich der abgezinnten Investitionssumme der Folgeinvestition.

$$KW_F = S - PV(I_F) \quad (5.8)$$

Wie in Abschnitt 4.3 beschrieben, ermöglicht der Ansatz von Luehrman die Reduktion der fünf werttreibenden Optionsparameter auf zwei Parameter. Diese beiden Wertparameter lassen sich in dem vorliegenden System-Dynamics-Modell ergänzen. Das Wert-Kosten-Verhältnis (NPVq) errechnet sich demnach als Quotient aus dem Basiswert der Option und dem abgezinnten Ausübungspreis.

$$NPVq = \frac{S}{PV(I_F)} \quad (5.9)$$

Zur Bewertung der der Realoption zugrundeliegenden Unsicherheit wird der Inputparameter der Volatilität (σ) ergänzt. Hiermit kann der für die Bewertung relevante Risiko-Zeit-Faktor (LPV) entsprechend des Ansatzes nach Luehrman wie folgt berechnet werden:

$$LPV = \sigma \sqrt{\tau} \quad (5.10)$$

Die beiden zuvor beschriebenen Modellbestandteile lassen sich im ersten Teilmodell des generischen Grundmodells vereinigen. Die nachfolgende Abbildung zeigt das kombinierte und durch die

Volatilität sowie die beiden Bewertungsparameter ergänzte System-Dynamics-Modell. Die Summe der Kapitalwerte der Grund- und Folgeinvestition bilden dabei den konventionellen Kapitalwert der Gesamtinvestition.

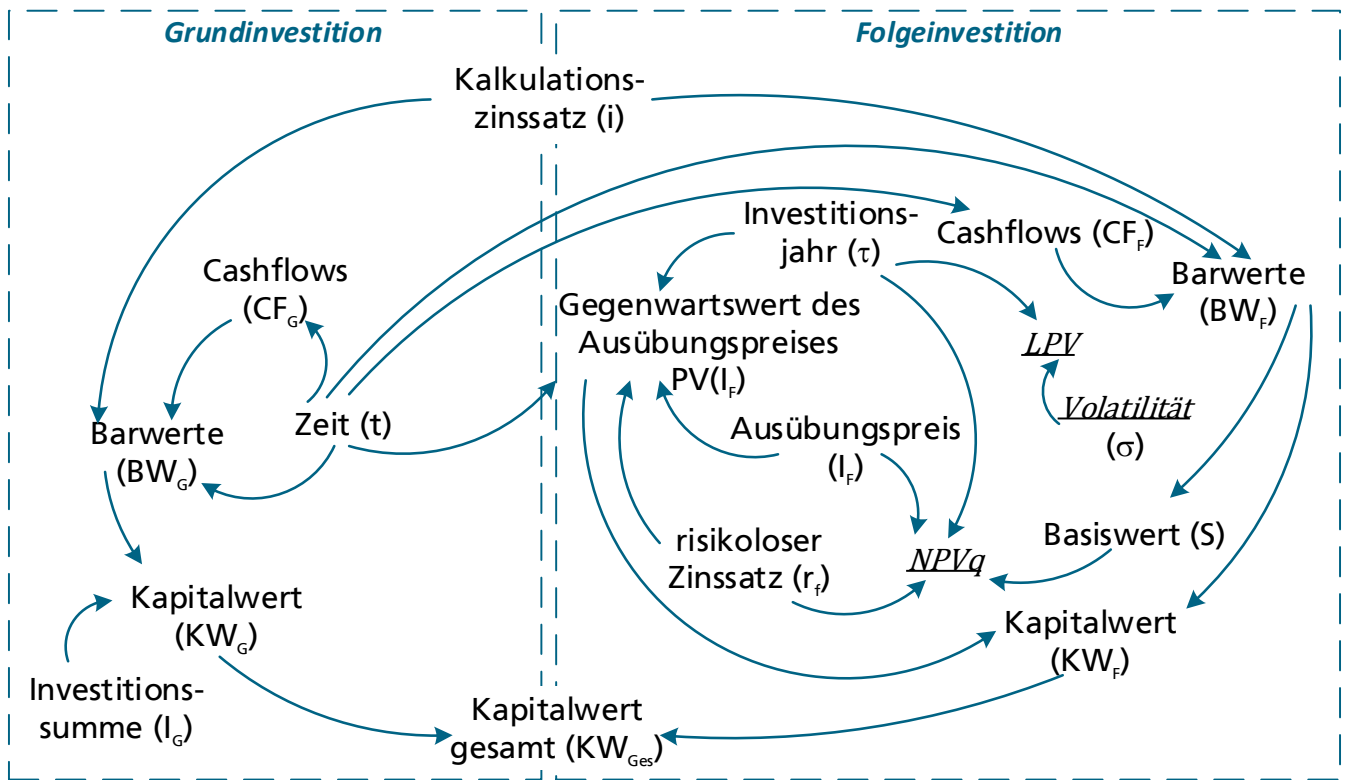


Abbildung 5-13: Teilmodell 1 des generischen Grundmodells

5.3.2 Aufbau von Teilmodell 2

Methodische Grundlage für die Ausgestaltung des zweiten Teilmodells stellt die geschlossene Lösungsformel von Black und Scholes dar. Sie hat wie bereits aufgezeigt im Bereich der Realloptionstheorie die höchste praktische Relevanz und liefert im Grenzwert identische Ergebnisse wie das Binomialbaum-Verfahren. Ziel des Black-Scholes-basierten Teilmodells ist die Überführung der analytischen Lösungsformel in die System-Dynamics-Methodik. Darüber hinaus soll in einem Simulationsmodell die Abbildung des stochastischen Entwicklungsprozesses des Investitions- und Optionswerts ermöglicht werden. Zunächst werden die Parameter des analytischen Teilmodells der Black-Scholes-Formel definiert, die Zusammenhänge als System-Dynamics-Darstellung visualisiert und die formalen Zusammenhänge beschrieben.

Tabelle 5-3: Parameter zur Bewertung des Optionswerts (analytisch)

Zielparameter		Eingangsparameter		Hilfsparameter	
Optionswert (analytisch)	OP	Basiswert der Option	S	Hilfsparameter d_1	d_1
		Ausübungspreis	I_F	Hilfsparameter d_2	d_2
		Optionslaufzeit	τ	Standardnormalverteilung von d_1	$N(d_1)$
		risikoloser Zinssatz	r_f	Standardnormalverteilung von d_1	$N(d_2)$
		Volatilität	σ		

Entsprechend der Black-Scholes-Formel ist der Zielparameter des analytischen Lösungsmodells der Optionswert einer europäischen Call-Option. Dieser wird beeinflusst durch den Basiswert der Option, deren Ausübungspreis, die Optionslaufzeit, den risikolosen Zinssatz sowie die beiden Hilfsparameter zur Berechnung der Standardnormalverteilung. Der Hilfsparameter d_1 wird entsprechend der Black-Scholes-Formel beeinflusst durch die Volatilität und den risikolosen Zins. Er wiederum hat Einfluss auf die Hilfsparameter d_2 und $N(d_1)$. Der Hilfsparameter d_2 wird außerdem beeinflusst durch die Volatilität und die Optionslaufzeit und beeinflusst selbst den Hilfsparameter $N(d_2)$. Die nachfolgende Abbildung visualisiert die Zusammenhänge entsprechend der System-Dynamics-Darstellung.

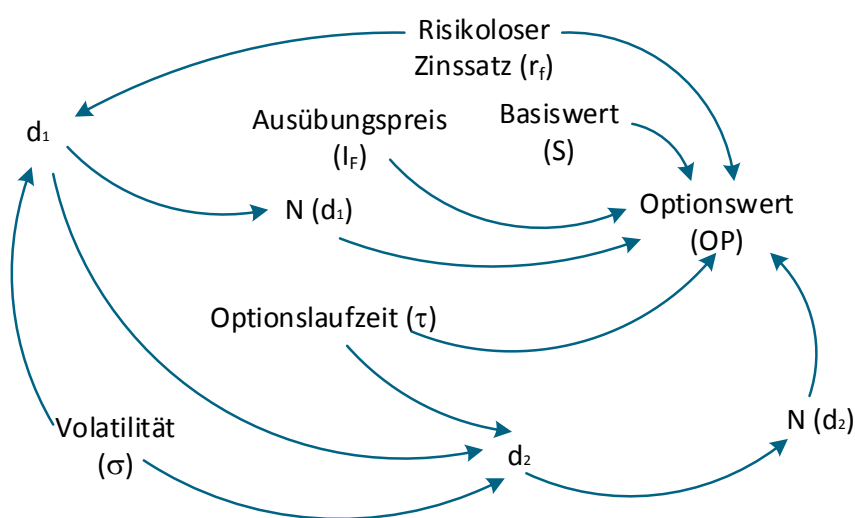


Abbildung 5-14: System-Dynamics-Modell zur analytischen Black-Scholes-Formel

Der Optionswert errechnet sich entsprechend der Black-Scholes-Formel als:

$$OP = S \cdot N(d_1) - I_F \cdot e^{-r_f \tau} \cdot N(d_2) \quad (5.11)$$

Der Hilfsparameter d_1 errechnet sich als:

$$d_1 = \frac{\ln \frac{S}{I_F} + \left(r_f + \frac{\sigma^2}{2} \right) \cdot \tau}{\sigma \sqrt{\tau}} \quad (5.12)$$

Der Hilfsparameter d_2 errechnet sich als:

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{\tau} \quad (5.13)$$

Der Hilfsparameter $N(d_1)$ stellt die Standardnormalverteilung des Hilfsparameters d_1 und $N(d_2)$ diejenige des Hilfsparameters d_2 dar.

Ergänzend zur analytischen Bewertung des Optionswerts soll durch Simulation die Entwicklung des Investitionswerts während der Optionslaufzeit analysierbar werden. Die Eingangsparameter des Simulationsmodells entsprechen, wie auch diejenigen des analytischen Modells, denen der Black-Scholes-Formel. Die Hilfsparameter ermöglichen die Simulation in der System Dynamics Software. Über die Simulation des Optionswerts und den Vergleich mit dem analytisch ermittelten Optionswert lässt sich die Güte des Simulationsmodells abschätzen. Die nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die im Simulationsmodell zu verwendenden Eingangsparameter, die Zielparameter, sowie die Hilfsparameter der Berechnung.

Tabelle 5-4: Parameter zur Bewertung des Investitions- und Optionswerts (simulativ)

Zielparameter		Eingangsparameter		Hilfsparameter	
Investitionswert (simuliert)	S_t	Basiswert der Investition	S	Schrittweite des Zeitschritts	μ
Optionswert (simuliert)	OP_t	Ausübungspreis	I_f	Standardnormal-Zufallsvariable	ε
		Optionslaufzeit	τ	Wertänderung je Simulationsschritt	δ_S
		risikoloser Zinssatz	r_f	Zeit	t
		Volatilität	σ		

Für die Simulation des stochastischen Entwicklungsprozesses des Investitionswerts in Form eines System-Dynamics-Modells wird auf die in Kapitel 4.3 beschriebenen Grundlagen von Cooke zurückgegriffen.⁸ Die Entwicklung des Investitionswerts bewegt sich in Form eines stochastischen Prozesses und folgt einer geometrisch Brownschen Bewegung. Ausgangspunkt bildet der Basiswert der Investition. Dieser initiale Investitionswert unterliegt einer Wertänderung über der Laufzeit. Die Wertänderung findet im Modell zu diskreten Zeitpunkten statt, die durch die Simulationsschrittweite definiert werden. Die Stärke der Wertänderung ist abhängig vom Investitionswert im aktuellen Simulationsschritt. Zwischen dem Wert der Investition und der Wertänderung des Investitionswerts liegt somit eine Rückkopplung vor. Die Wertänderung im jeweiligen Simulationsschritt ist darüber hinaus abhängig vom Volatilitätsparameter und der Standardnormal-Zufallsvariable. Abgeleitet hieraus lässt sich auch der Optionswert simulieren. Er wird außer vom aktuellen Investitionswert beeinflusst vom Ausübungspreis, der Optionslaufzeit und dem risikolosen Zins. Abbildung 5-15 visualisiert die Wechselwirkungen des System-Dynamics-Modells in der entsprechenden Darstellungsform.

⁸ Für die Herleitung der formalen Zusammenhänge sei an dieser Stelle verwiesen auf (Cooke , S. 5 ff)

Die nachfolgende Abbildung zeigt einen beispielhaften Entwicklungspfad für die Wertentwicklung des Investitionswerts ausgehend von einem Basiswert in Höhe von 120.000 Geldeinheiten (GE), einem entsprechend hohen Ausübungspreis, einer Optionslaufzeit von einem Jahr, einem risikolosen Zinssatz in Höhe von 4% sowie einer frei gewählten Volatilität in Höhe von 30%. Als Simulationsschrittweite wurde eine Tagesbasis (0,0274 Jahre) verwendet.⁹

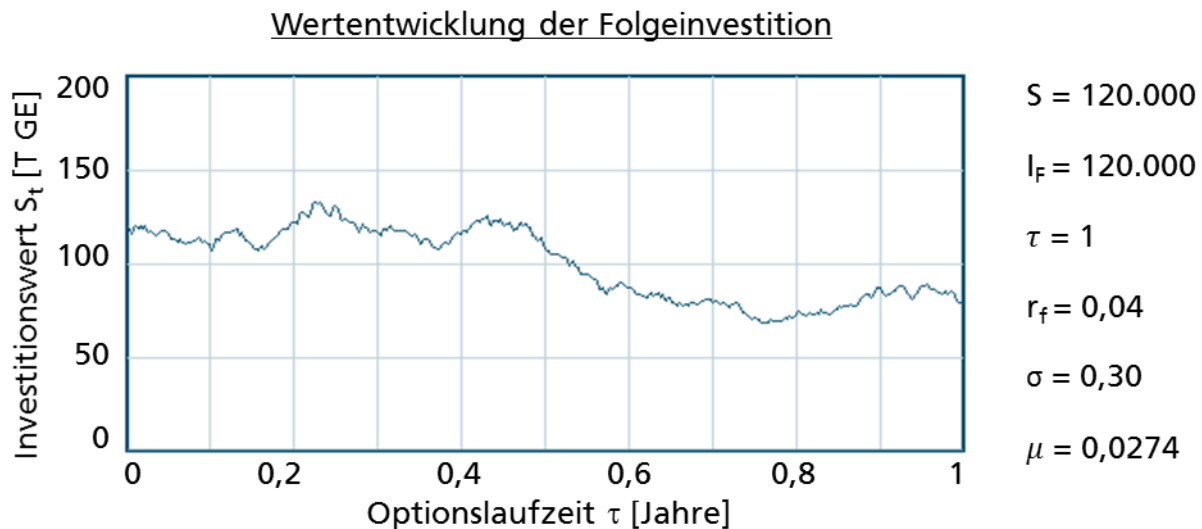


Abbildung 5-16: Beispielhafter Verlauf des Investitionswerts

Da es sich bei dem dargestellten Werteverlauf lediglich um einen möglichen Entwicklungspfad handelt, ist es zur Berechnung des Optionswerts sowie des Investitionswerts erforderlich, mehrere Simulationsläufe in Form einer Monte-Carlo-Simulation durchzuführen. Hierbei werden in jedem Simulationslauf über den Hilfsparameter Noise Seed (NS) Zufallszahlen gebildet, die in die Standard-normal-Zufallsvariable einfließen.

⁹ Die Ergebnisse wurden berechnet in Vensim PLE

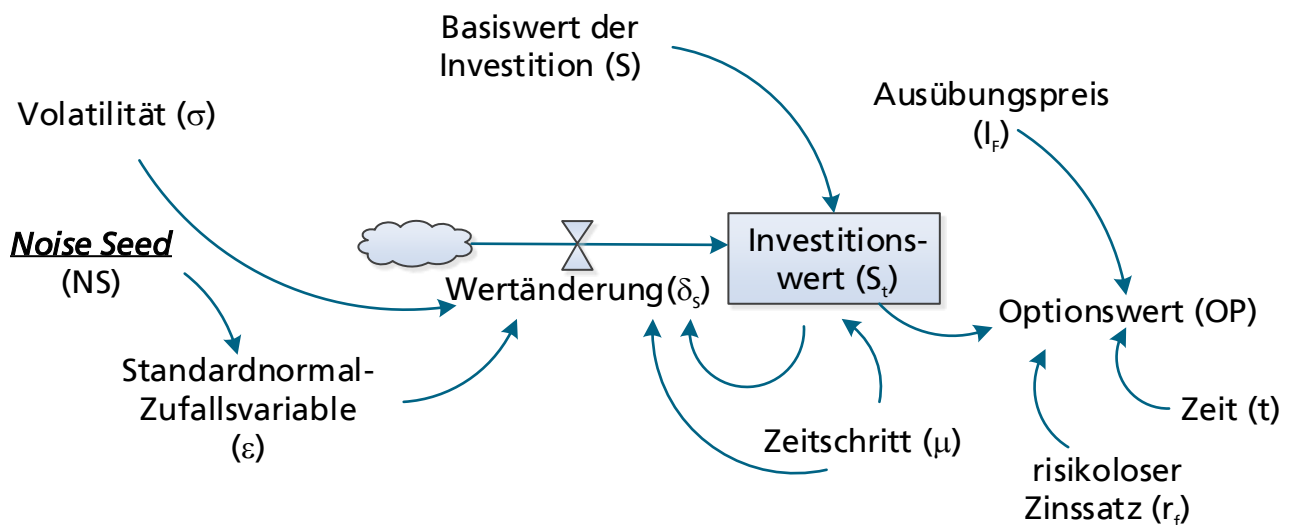


Abbildung 5-17: Grundmodell mit Noise Seed

Mit Hilfe des in jedem Simulationslauf variierenden Hilfsparameters Noise Seed lässt sich eine Monte-Carlo-Simulation berechnen. Auf gleiche Weise lässt sich auch der Optionswert simulieren. Es ergibt sich aus der Simulation für das dargestellte Beispiel ein Endwert für die Option in Höhe von 16.346 GE. Das analytische Ergebnis der Black- und Scholes-Formel führt zu einem Wert in Höhe von 16.503 GE und somit zu einer Abweichung von knapp einem Prozent. Der Vergleich der analytischen Lösung gemäß Black-Scholes-Formel mit den Simulationsergebnissen aus Teilmodell 2 zeigt, dass die Simulation brauchbare Ergebnisse liefert. Die Verteilung der Simulationsergebnisse kann grafisch aufbereitet in die Ergebnisinterpretation einfließen. Nachfolgende Abbildung zeigt die aufbereiteten Simulationsergebnisse für das dargestellte Beispiel.

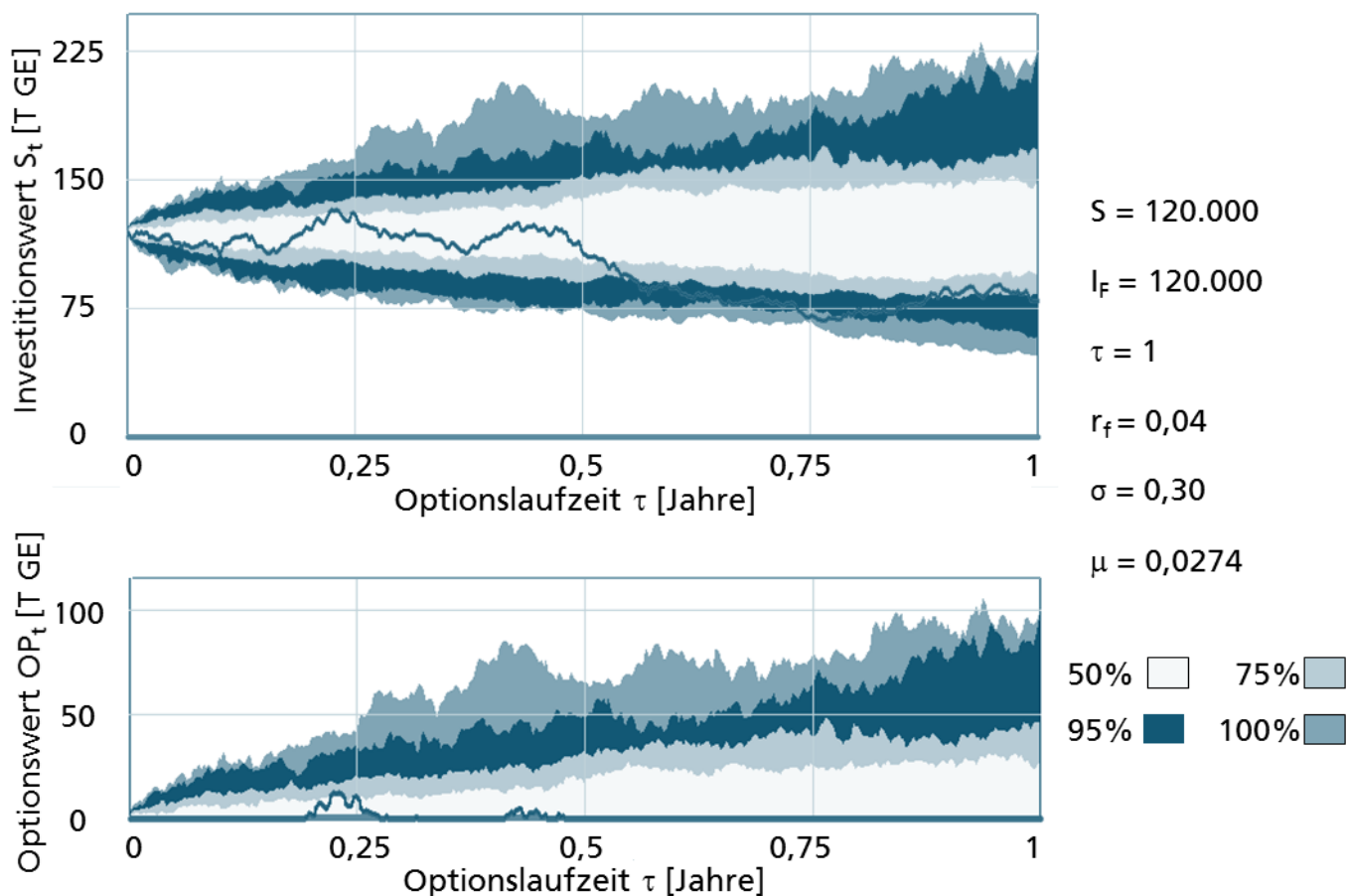


Abbildung 5-18: Simulationsergebnisse zur Wertentwicklung der Folgeinvestition

Die Farbabstufungen zeigen diejenigen Bereiche, in denen 50, 75, 95 und 100 Prozent der simulierten Ergebnisse liegen.

6 Instanziierung des Bewertungsmodells im Anwendungszusammenhang

6.1 Instanziierung der Modellparameter

Im Nachfolgenden werden die Modellparameter im Anwendungszusammenhang instanziiert. Für die Instanziierung sind vor allem die Eingangsparameter bedeutsam. Die Hilfsparameter stellen mathematische Zwischengrößen der Berechnung dar und sind somit nicht weiter auszugestalten. Die simulationsbedingten Hilfsparameter dienen der Justierung des Simulationsmodells und haben Einfluss auf die Modellgüte. Sie stehen jedoch nicht in Abhängigkeit zum Anwendungszusammenhang. Relevant für die Wahl der Simulationsparameter sind vor allem der Simulationszeitraum sowie der angestrebte Detaillierungsgrad. Die Zielparameter fließen direkt in die Ergebnisinterpretation ein. Daher sind im Nachfolgenden lediglich die Eingangsparameter im Anwendungszusammenhang zu instanziierten. Hierzu sind die Eingangsparameter der zwei Teilmodelle noch einmal zusammenfassend dargestellt.

Eingangsparameter...	... der Grundinvestition	... der Folgeinvestition
Investitionen	Investitionssumme der Grundinvestition	Investitionssumme der Folgeinvestition
Cashflows	Cashflows der Grundinvestition	Cashflows der Folgeinvestition
Laufzeiten	Laufzeit der Gesamtinvestition	Optionslaufzeit
Zinsen und Unsicherheit	Kalkulationszinssatz	risikoloser Zinssatz Volatilität

Abbildung 6-1: Im Anwendungszusammenhang zu initiierende Eingangsparameter

6.1.1 Instanziierung der Investitionssumme

6.1.1.1 Investitionssumme der Grundinvestition

Die Investitionssumme der Grundinvestition entspricht den zahlungswirksamen Anschaffungskosten für das Investitionsobjekt. Das Investitionsobjekt selbst kann dabei wie bereits erläutert materieller oder immaterieller Natur sein. Die Investitionssumme umfasst diejenigen Aufwände, die geleistet werden müssen, um einen Vermögensgegenstand zu erwerben oder in betriebsfähigen Zustand zu versetzen.

Die Berechnung der Investitionssumme im Modell erfolgt in Anlehnung an die im Handelsgesetzbuch (§ 255 Abs. 1 HGB) geregelte Ermittlung von Anschaffungskosten. Sie umfasst die zahlungswirksamen Elemente vom Anschaffungspreis abzüglich Anschaffungspreisminderungen zuzüglich anrechenbarer Anschaffungspreisnebenkosten sowie nachträglichen Anschaffungskosten. Der Anschaffungspreis stellt den für den Erwerb des Vermögensgegenstands zu zahlenden Preis (z.B. gemäß Rechnung) dar. Im Anwendungszusammenhang können dies zum Beispiel Aufwendungen für neue Produktionsanlagen oder sonstige Hardware sein. Anschaffungspreisminderungen reduzieren die Aufwendungen zur Beschaffung des Vermögensgegenstands. Im Anwendungszusammenhang wirken beispielsweise Investitionszuschüsse für umweltschonende Maßnahmen anschaffungspreismindernd. Anschaffungsnebenkosten umfassen Aufwendungen die zusätzlich anfallen, um den Vermögensgegenstand zu beschaffen oder betriebsfähig zu machen. Hierzu zählen beispielsweise Transportkosten sowie Installationskosten. Im Anwendungszusammenhang können beispielsweise Kosten für das Verlegen von Strom- oder Gasleitungen Bestandteil der Anschaffungsnebenkosten sein. Nachträgliche Anschaffungskosten stellen diejenigen Aufwendungen dar, die nach Inbetriebnahme des Vermögensgegenstandes aufgewendet werden. Die Anschaffungskosten der Grundinvestition fallen zu Beginn der Investitionslaufzeit an. Nachträgliche Anschaffungskosten können im Modell durch Einbindung in die späteren Cashflows Berücksichtigung finden.

Handelt es sich bei der Investitionssumme um Kosten, die im Nachfolgenden nicht zur Generierung von Cashflows führen, so handelt es sich bei der Folgeinvestition um eine Einstiegsoption, da erst durch die Folgeinvestition Rückflüsse zu erwarten sind. Resultieren hingegen bereits aus der Grundinvestition Rückflüsse in Form von Cashflows, so handelt es sich bei der Folgeinvestition um

eine Erweiterungs- oder Fortsetzungsoption. Grundinvestitionen, aus denen keine direkten Cashflows resultieren, sind beispielsweise Investitionen in Forschung und Entwicklung sowie Auszahlungen für Patente, die nicht unmittelbar verwertet werden.

6.1.1.2 Investitionssumme der Folgeinvestition

Die Investitionssumme der Folgeinvestition ist grundsätzlich identisch zu erheben wie diejenige der Grundinvestition. Sie umfasst auch die zahlungswirksamen Bestandteile des Anschaffungspreises, der Anschaffungspreisminderung, der Anschaffungsnebenkosten sowie der nachträglichen Anschaffungskosten. Die Investitionssumme der Folgeinvestition entspricht dem Ausübungspreis der Realoption. Für eine vergleichbare und realitätsnahe Bewertung wird die Folgeinvestition zum risikolosen Zinssatz auf den Gegenwartswert abgezinst.

6.1.2 Instanziierung der Cashflows

6.1.2.1 Cashflows der Grundinvestition

Die Cashflows sind der Nettozufluss liquider Mittel während einer Periode. Sie bilden die Differenz der Ein- und Auszahlungen der Betrachtungsperiode. Prinzipiell lassen sich Cashflows unterteilen in operative Cashflows, Cashflows aus Investitionstätigkeit sowie Cashflows aus Finanzierungstätigkeit. (Schacht et al. 2009, S. 81 ff) Operative Cashflows stellen die zahlungswirksamen Erträge und Aufwendungen der Geschäftstätigkeit dar. Cashflows aus Investitionstätigkeit resultieren aus dem Kauf oder Verkauf von Anlagevermögen. Im vorliegenden Fall werden derartige Cashflows durch die Folgeinvestition abgebildet. Cashflows aus Finanzierungstätigkeit resultieren beispielsweise durch Ein- und Auszahlungen des Eigentümers sowie die Aufnahme von Finanzverbindlichkeiten. Zur Bewertung der Cashflows sind im vorliegenden Modell vor allem die operativen Cashflows relevant. Einflüsse der Finanzierungstätigkeit können im Modell über den Kalkulationszinssatz mitberücksichtigt werden. Restwerte des Investitionsobjektes am Ende der Investitionslaufzeit können den Cashflows in der letzten Betrachtungsperiode zugeschlagen werden. Entsorgungskosten am Laufzeitende werden dementsprechend abgezogen. Bei der Ermittlung der Cashflows werden von den zahlungswirksamen Erträgen die zahlungswirksamen Aufwendungen der Betrachtungspe-

riode abgezogen. Im Anwendungszusammenhang der vorliegenden Arbeit können zahlungswirksame Erträge beispielsweise in Form von Umsatzerlösen durch Produktverkauf sowie Subventionen und Zuschüsse vorliegen. Zahlungswirksame Aufwendungen können beispielsweise für Material, Löhne, Zinsen und Steuern entstehen.

Cashflows aus der operativen Geschäftstätigkeit werden vor allem aus den Input- und Output-Preisen des Investitionsvorhabens bedingt. Die Input- und Output-Preise und Mengen sind wiederum stark abhängig von den jeweiligen Umwelteinflüssen wie beispielsweise Marktpreisen und Nachfrageveränderungen. Bei bereits im Einsatz befindlichen Inputs können die Marktpreise zu meist gut ermittelt werden. Marktpreise beispielsweise für Rohstoffe und Energie können auf Basis der Handelswerte sowie deren Entwicklung bedingt gut abgeschätzt werden.

6.1.2.2 Cashflows der Folgeinvestition

Die Cashflows der Folgeinvestition lassen sich in gleicher Weise abschätzen wie auch die Cashflows der Grundinvestition. Ergänzend hierzu stellen die abgezinste Cashflows der Folgeinvestition den Gegenwartswert der Folgeinvestition und somit den Basiswert der Realoption dar.

6.1.3 Instanziierung der Laufzeiten

6.1.3.1 Laufzeit der Gesamtinvestition

Die Laufzeit der Gesamtinvestition beschreibt, über welchen Zeitraum Rückflüsse zu erwarten sind. Am Ende der Laufzeit kann für die Investition ein Restwert angesetzt werden. So kann beispielsweise der Verkauf einer Altanlage am Ende der Investitionslaufzeit einen Restwert erbringen. Ein negativer Restwert entsteht beispielsweise durch Entsorgungskosten nach Laufzeitende. Laufzeiten können unter anderem durch die Abschätzung des Produktlebenszyklus ermittelt werden. Bei Anlageninvestitionen kann die Lebenszeit der Anlage zur Abschätzung der Laufzeit der Investition genutzt werden. Unendlich laufende Investitionen lassen sich in Form einer ewigen Rente abbilden. Bei begrenzten Laufzeiten ist der Restwert am Ende der Investitionslaufzeit zu berücksichtigen und den Cashflows in der letzten Bewertungsperiode zuzurechnen.

6.1.3.2 *Optionslaufzeit*

Die Optionslaufzeit beschreibt, wie lange die Option Gültigkeit besitzt und in welchem Zeitraum der Investor somit über die Wahrnehmung der Option entscheiden kann. Optionslaufzeiten sind bei Realoptionen, anders als bei Finanzoptionen, oftmals nicht rechtlich fixiert. Faktoren, die die Optionslaufzeit im Rahmen des Anwendungszusammenhangs begrenzen, sind beispielsweise in der Aktivität des Wettbewerbs zu sehen. Diese sind besonders dann relevant, wenn von einer Pionierstrategie ausgegangen wird. Die Aktivität des Wettbewerbs kann somit den Zeitraum zu investieren limitieren. Weiterhin können Initiierungszeiten für das Grundprojekt, beispielsweise in Form einer Technologieentwicklung, als Größe für Optionslaufzeiten gesehen werden. Ebenso können etwa Laufzeiten von Patenten beispielsweise den Handlungszeitraum für die Realoption determinieren. Da im vorliegenden Modell von der Entscheidung über Wahrnehmung oder Unterlassung der Realoption am Ende der Optionslaufzeit ausgegangen wird, handelt es sich um europäische Realoptionen.

6.1.4 *Instanziierung der Zinsen und Unsicherheit*

6.1.4.1 *Kalkulationszinssatz*

Der Kalkulationszinssatz dient zum Abzinsen der Cashflows auf einen Gegenwartswert und somit der Ermittlung der Barwerte von Zahlungsströmen. Die Höhe des Kalkulationszinses wird beeinflusst von den jeweiligen wirtschaftlichen Anforderungen des Unternehmens an entsprechende Investitionsprojekte. Er kann gemäß dem Opportunitätskostenprinzip aus der besten alternativen Anlagemöglichkeit des Investors abgeleitet werden, da durch Investition in das Vorhaben auf die potenziellen Rückflüsse der Investitionsalternative verzichtet wird. Die hierdurch dem Investor entgangene Rendite in Form des alternativen Investitionsobjektes stellt die Opportunitätskosten der Investition dar. Hierdurch wird das in der Investition gebundene Kapital kalkulatorisch belastet. Für die Ermittlung des Kalkulationszinses haben sich verschiedene Methoden etabliert. Die Form der Finanzierung hat dabei ebenfalls Einfluss auf die Höhe des Kalkulationszinses. Bei ausschließlicher Fremdfinanzierung kann beispielsweise der Effektivzinssatz des Fremdkapitals angewendet werden. Bei einer

gemischten Finanzierung bestehend auf Eigen- und Fremdkapital eignet sich die Bildung des arithmetischen Mittels aus Effektivzinssatz und Einzelrendite. (Häberle 2008, S. 651 f.) Zusätzlich zu dem so ermittelten Basiszinssatz können investitionsspezifische Risikozuschläge berücksichtigt werden. Alternativ zur Anpassung des Kalkulationszinssatzes kann die Risikoanpassung jedoch auch durch die Anpassung der Cashflows oder des Projektwertes erfolgen. Im vorliegenden Modell findet die Berücksichtigung des Risikos durch die Volatilität der Rückflüsse statt.

Da bei Umweltschutzinvestitionen oftmals Förderprogramme oder Finanzierungsprojekte angeboten werden, sind diese zu berücksichtigen. Hierdurch ist der Kalkulationszinssatz bei ökologisch orientierten Investitionen gegebenenfalls niedriger anzusetzen als bei Investitionen, bei denen eine derartige Förderung nicht möglich ist. (Spiecker-Lampe 2013, S. 63) Der Einfluss derartiger Fördereffekte lässt sich durch das entsprechende System-Dynamics-Submodell berücksichtigen.

6.1.4.2 *Risikoloser Zinssatz*

Der risikolose Zinssatz spiegelt den landesüblichen Zinssatz einer quasi risikolosen Kapitalmarktanlage wider. Er wird durch die langfristige Rendite öffentlicher Anleihen höchster Bonität ermittelt. (Schacht et al. 2009, S. 188 f.) Als Vergleichsmöglichkeit dienen dabei beispielsweise Renditen von deutschen Bundesanleihen entsprechender Laufzeit. Die Basiszinssätze lassen sich entsprechend der Vorgaben des IDW (Institut der Wirtschaftsprüfer in Deutschland e. V.) monatlich berechnen. (vgl. IDW 2008) und können für die Bewertung im Modell übernommen werden. Für Anlagen bis einem Jahr Laufzeit werden üblicherweise die Renditen kürzer laufender Bundeswertpapiere oder börsentäglich öffentlich festgestellte Interbanken-Zinssätze, z.B. den EURIBOR verwendet. Im englischsprachigen Raum ist die Verwendung von Drei-Monats-Schatzanleihen der US-Regierung üblich, da diese direkt von der US-Regierung garantiert werden. Die kurze Laufzeit stellt darüber hinaus sicher, dass der Einfluss von Inflation oder Zinsänderungen gering ist.

6.1.4.3 *Volatilität*

Die Volatilität beschreibt das Maß an Unsicherheit über die künftige Wertentwicklung des Investitionsprojekts. Sie beschreibt die Schwankungsintensität eines Werts um seinen Mittelwert. Gelingt eine Duplikation der Risikostruktur der Realinvestition anhand eines gehandelten Vermögensge-

genstands wie beispielsweise eines Rohstoffs, so kann die historische Volatilität zur Bewertung herangezogen werden. Die „historische Volatilität bezeichnet die tatsächliche Schwankungsintensität eines Basiswertes über einen bestimmten Zeitraum.“ (Friedrich 2014, S. 4) Hierzu wird ausgehend vom Preis des Handelsguts K zum Zeitpunkt t zunächst der Logarithmus der relativen Preisänderung des Handelsguts u_t bestimmt als (vgl. u.a. Franke et al. 2004, S. 93 ff):

$$u_t = \log\left(\frac{K_t}{K_{t-1}}\right), \quad t = 1, \dots, n \quad (6.1)$$

Daraufhin wird die Stichprobenvarianz gebildet als:

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^n u_t^2 - \frac{1}{n(n-1)} \left(\sum_{t=1}^n u_t \right)^2 \quad (6.2)$$

Die Abschätzung der jährlichen Volatilität erfolgt im letzten Schritt unter Berücksichtigung der Länge der Beobachtungsintervalle ρ als:

$$\sigma = \frac{s}{\sqrt{\rho}} \quad (6.3)$$

Bei einer Abschätzung der Volatilität aus täglichen Beobachtungen ergibt sich beispielsweise bei 252 Handelstagen $\rho = 1 / 252$. (Merk 2011, S. 126) Durch die Abbildung der Risikostruktur anhand eines Handelsguts lässt sich beispielsweise die Eigenerzeugung von Strom mit Hilfe eines Blockheizkraftwerks gegenüber eines Fremdbezugs abbilden. (Bathe et al. 2002, S. 95)

Im Rahmen der Energiewende werden zurzeit die aus einer regenerativen Energieerzeugung resultierende schwankende Energieverfügbarkeit und deren Einfluss auf die Marktpreise diskutiert. Es wird davon ausgegangen, dass künftige Preisschwankungen durch ein unausgewogenes Angebot-Nachfrage-Verhältnis stärker an den energieverbrauchenden Endkunden weitergegeben werden, als dies bisher üblich ist. Möglichkeiten, sich der volatilen Angebotssituation durch eine flexible Nachfrage anzupassen, gewinnen damit künftig an Bedeutung. Jedoch hat nicht nur die regenerative Energieerzeugung Einfluss auf die Volatilität der Energiepreise. Preissprünge im Energiemarkt erhöhen ebenfalls die Volatilität und Unsicherheit des Preisverlaufs. Sie entstehen beispielsweise durch das Erreichen von Kapazitätsgrenzen oder Übertragungskapazitäten, Kraftwerksausfällen oder unerwarteten und grundlegenden Nachfrageänderungen. (Pschick et al. 2014, S. 130)

Die begrenzte Verfügbarkeit eines Rohstoffs beispielsweise hat Einfluss auf die Volatilität der Marktpreise. Vor allem bei seltenen und somit als kritisch einzustufenden Rohstoffen stellt die hohe Volatilität der Preise ein Maß an Unsicherheit dar. Als Anhaltspunkt zur Bewertung der Volatilität im Bereich der Rohstoffpreise kann beispielsweise auf die Liste kritischer Rohstoffe der europäischen Kommission zurückgegriffen werden. Die Ergänzung von Chrom und Silizium beispielsweise in der 2014 veröffentlichten Version gegenüber der Vorversion weist auf eine zunehmende Kritikalität der genannten Rohstoffe hin und äußert sich dementsprechend in einer höheren Preisvolatilität.

Da sich der Projektwert der im Anwendungszusammenhang betrachteten Projekte maßgeblich durch die erwarteten Cashflows ergibt, stellen die unsicheren Einflüsse auf die künftigen Ein- und Auszahlungen ein wesentliches Kriterium für die Bewertung der Volatilität dar. In diesem Fall lässt sich die Volatilität mit Hilfe einer Szenario-Analyse abschätzen. Hierbei ist ein optimistisches, ein pessimistisches sowie ein wahrscheinliches Szenario zu bilden. Das wahrscheinliche Szenario gilt als Maß für den Mittel- bzw. Erwartungswert der Rückflüsse. Im zweiten Schritt lässt sich unter Berücksichtigung der Eintrittswahrscheinlichkeit der Szenarien die Varianz bestimmen. (Schäfer 2005, S. 280 ff). Hierbei gilt q als Eintrittswahrscheinlichkeit des optimistischen und $(1-q)$ als Eintrittswahrscheinlichkeit des pessimistischen Szenarios. Das optimistische Szenario V_o , das pessimistische Szenario V_p , sowie das wahrscheinliche Szenario V_w , führen unter Berücksichtigung des Ausübungspreises I_f zur Volatilität des Projektes: (Schäfer 2005, S. 282)

$$\sigma = \sqrt{q \left(\frac{V_o}{I_f} - \frac{V_m}{I_f} \right)^2 + (1 - q) \left(\frac{V_p}{I_f} - \frac{V_w}{I_f} \right)^2} \quad (6.4)$$

Die Nutzung der Szenario-Analyse soll an einem Beispiel verdeutlicht werden. Aus einem Erweiterungsprojekt seien gemäß eines wahrscheinlichen Szenarios Rückflüsse in Höhe von 550 GE zu erwarten. Gemäß eines optimistischen Szenarios seien Rückflüsse in Höhe von 900 GE zu erwarten und nach einem pessimistischen Szenario betragen die Rückflüsse 350 GE. Der Ausübungspreis des Projektes betrage 640 GE. Die Eintrittswahrscheinlichkeit für das optimistische und pessimistische Szenario liege bei jeweils 50%. Es ergibt sich die folgende erwartete Volatilität:

$$\sigma = \sqrt{0,5 \left(\frac{900}{640} - \frac{550}{640} \right)^2 + (1 - 0,5) \left(\frac{350}{640} - \frac{550}{640} \right)^2} = 0,45 \quad (6.5)$$

Einfluss auf die zu Szenarien haben die im nachfolgenden erläuterten Umwelteinflüsse.

6.2 Bewertung des Umwelteinflusses auf die Eingangsparameter

Da der Umwelteinfluss wie bereits aufgezeigt starke Auswirkungen auf den Wert der Eingangsparameter ausübt, ist dieser im Nachfolgenden ebenfalls im Anwendungszusammenhang auszugestalten. Als Orientierungsrahmen lässt sich wie beschrieben das St. Galler Management-Modell verwenden. Im Bereich der Umweltsphären beschreibt das Modell Veränderungsimpulse und Anspruchsgruppen des Unternehmens. Als Veränderungsimpulse kommen die Bereiche Gesellschaft, Natur, Technologie und Wirtschaft zum Tragen. Anspruchsgruppen stellen Kapitalgeber, Kunden, Mitarbeitende, Konkurrenz, Lieferanten sowie Staat und Öffentlichkeit dar.

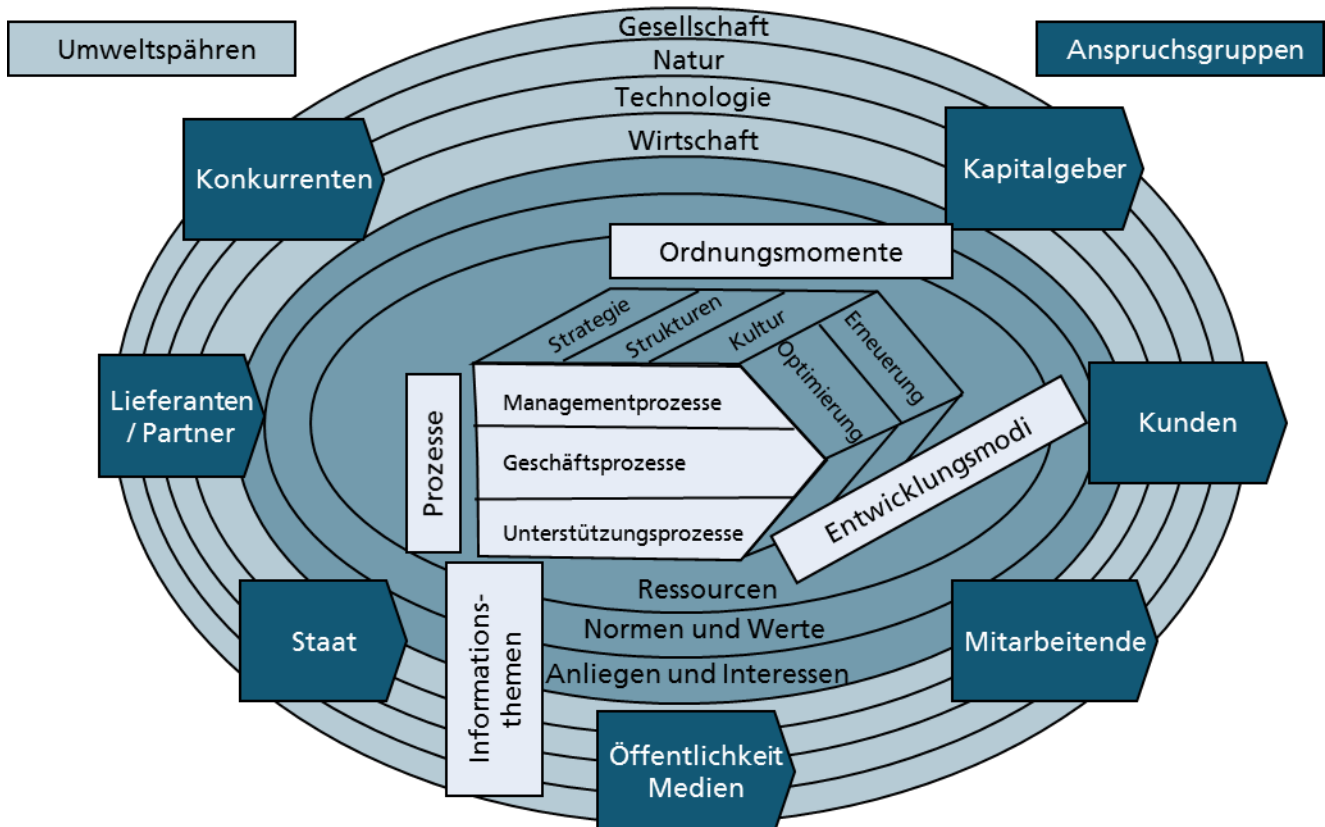


Abbildung 6-2: St. Galler Management-Modell (Rüegg-Stürm et al. 2015, S. 37)

Der Einfluss der **Konkurrenten** wirkt sich sowohl angebots- als auch nachfrageseitig aus. Angebotsseitig kann die Verfügbarkeit von Substituten beispielsweise Einfluss auf die für die eigenen Produkte zu realisierenden Preise und somit auf die zu erwartenden Cashflows ausüben. Das Nachfrageverhalten des Wettbewerbs wird bei begrenzten Rohstoffen Auswirkungen auf die Rohstoffpreise ausüben.

Der Einfluss durch **Lieferanten** bezieht sich auf die der eigenen Produktion vorgelagerten Wertschöpfungskette. Der Lieferanteneinfluss erfolgt vor allem durch die Angebotsverfügbarkeit eines Rohstoffs, eines Materials oder einer Dienstleistung sowie durch deren Preisentwicklung. So kann beispielsweise die Ausweitung der weltweiten Nachfrage nach einem Rohstoff bei begrenzter Verfügbarkeit desselbigen zu steigenden Preisen oder gar zu einer ungesicherten Versorgungssituation führen. Diese wiederum kann Anstoßpunkt für ein ökoeffektivitätsorientiertes Investitionsvorhaben darstellen

Die Handlungsalternativen des **Staats** zur Nachhaltigkeitssteigerung wurden bereits in Kapitel 2.2.1 grundlegend beschrieben. Zu ihnen zählen die direkt wirkenden, die indirekt wirkenden sowie die umweltökonomischen Instrumente. Die direkt wirkenden Instrumente stellen vor allem Gebote und Verbote dar. Als Beispiel für Gebote kann die Verpflichtung zur Aufbereitung von Abluft und Abwässern gesehen werden. Die Einführung von Geboten lässt den betroffenen Unternehmen in der Regel wenig Handlungsspielraum auf diese zu reagieren. So wird der beschriebenen Anforderung der Abluftreinigung in den meisten Fällen mit Ergänzungsinvestitionen in neue Filtertechnik nachgekommen. Verbote, wie beispielsweise das Verbot bestimmte Materialien einzusetzen, erfordern oftmals eine kreativere Lösungsfindung, da in der Regel nicht sofort Substitutionsmöglichkeiten verfügbar sind. Sofern Fertigungsverfahren betroffen sind, kann dies die Durchführung von Ersatzinvestitionen bedingen. Derartige Gesetzgebungen enthalten in der Regel Aussagen zu entsprechenden Umsetzungslaufzeiten. Diese können als Einflussgröße von Optionslaufzeiten dienen. Zu den indirekt wirkenden Instrumenten staatlichen Einflusses zählen vor allem Fördermaßnahmen wie beispielsweise vergünstigte Darlehen sowie Investitionszuschüsse. Ihr Ziel kann darin gesehen werden, nachhaltigkeitssteigernde Maßnahmen stärker in die praktische Anwendung zu bringen. Derartige Förderungen haben positiven Einfluss auf den für die Investition benötigten Kapitalbedarf und wirken sich somit direkt auf die Investitionssumme aus. Die umweltökonomischen Instrumente wie beispielsweise die Gesetzgebung zum Emissionshandel stellen Anreizsysteme dar und haben innovationsfördernde Wirkung. Gleichzeitig schaffen sie Spielraum für die Handlungsfreiheit der betroffenen Unternehmen. Sie haben daher Einfluss auf die ökoeffektivitätssteigernden Investitionen sowie die Wahrnehmung von Realoptionen.

Die **Öffentlichkeit** stellt mit Erwartungen eine externe Anspruchsgruppe dar und hat somit Einfluss auf das Unternehmen.

Der Einfluss der **Mitarbeitenden** kommt vor allem durch deren Erwartungen zum Tragen.

Der Einfluss der **Kunden** als externer Faktor spiegelt sich vor allem in der Definition von Anforderungen sowie dem Kaufverhalten wider. Eine Anforderung kann zum Beispiel in der Forderung nach einer Zertifizierung gesehen werden. So stellt die Forderung des Kunden nach einem zertifizierten Umweltmanagement seiner Lieferanten beispielsweise die Basis für eine entsprechende Investition dar. Ein weiteres Beispiel für eine Anforderung kann in dem Anspruch energieeffizienter Produktionsanlagen sowie dessen Verankerung in den entsprechenden Lastenheften bei der Anlagenbeschaffung gesehen werden. Diese wiederum können einen Anreiz zur Investition in effizienzsteigernde Technologien beim Anlagenhersteller hervorrufen. Das Kaufverhalten des Kunden kann sich beispielsweise in den erzielbaren Absatzpreisen für Produkte und Dienstleistungen ausdrücken und hat direkten Einfluss auf die zu erwartenden Cashflows.

Der Einfluss durch **Kapitalgeber** äußert sich durch Vorgaben an das strategische Management des Unternehmens.

Abbildung 6-3 gibt zusammenfassend einen Überblick über die Arten des Umwelteinflusses sowie deren Ausprägungsmöglichkeiten. Die Auflistung der Einflussgrößen kann dabei nur exemplarisch sein und ist nicht als abschließend zu verstehen.

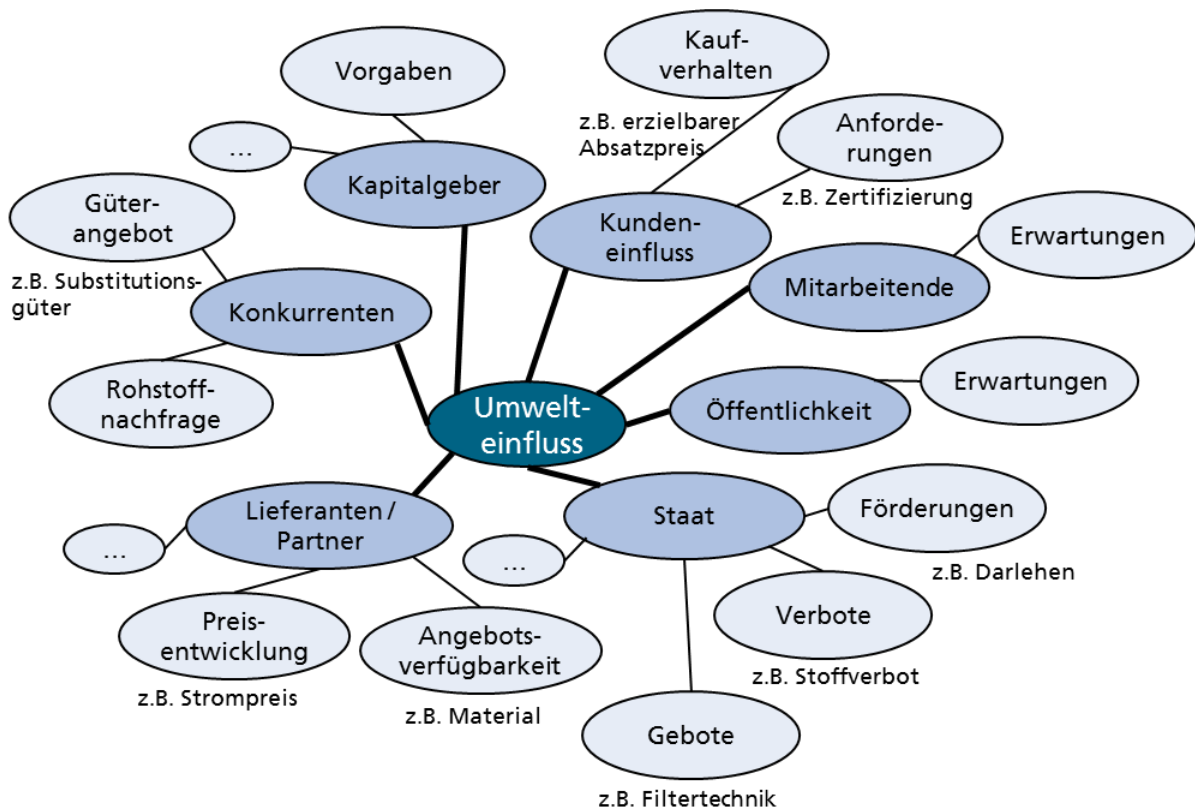


Abbildung 6-3: Der Umwelteinfluss mit seinen Untergruppen

Die Grobbewertung der Umwelteinflüsse findet auf Basis der beschriebenen Einflussarten statt. In globalisierten Märkten müssen dabei sowohl inländische als auch internationale Akteure Berücksichtigung finden. So kann das politische Verhalten ausländischer Nationen beispielsweise bedeutenden Einfluss auf die Entwicklung der Rohstoffpreise oder gar deren Verfügbarkeit ausüben. Die Identifikation der relevanten Einflüsse erfolgt durch Beobachtungen des politischen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Umfelds. Um ein möglichst vollständiges Gesamtbild über die Umwelteinflüsse zu erlangen, sollte die Identifikation und Bewertung der Einflüsse in einem Workshop und unter Einbeziehung eines breiten Teilnehmerkreises erfolgen. Zur Identifikation und Bewertung des Umwelteinflusses werden der Name des Einflusses, eine Kurzbeschreibung sowie die Auswirkungen auf den Betrachtungsbereich festgehalten und definiert, auf welche der für das Modell relevanten Eingangsgrößen sie Einfluss ausüben. Zur Dokumentation der Umwelteinflüsse und deren Auswirkungen auf die Eingangsparameter kann die nachfolgende Tabelle genutzt werden.

Tabelle 6-1: Checkliste zur Identifikation und Bewertung der Umwelteinflüsse

Treiber		Beschreibung		Wirkbeitrag					
Herkunft und Bezeichnung des Umwelteinflusses		verbale Beschreibung des Einflusses		verbale Beschreibung der Auswirkung		Investitions- summe	Cashflows	Zinsen	...
Konkurrenten									
Güterangebot									
1	...								
Rohstoffnachfrage									
1	...								
Lieferanten u. Partner									
Preisentwicklung									
1	...								
2	...								
Staat									
Gebote und Verbote									
1	...								
2	Chrom-VI-Verbot	Einsatzverbot für sechswertiges Chrom im Automobilbau	Bedarf an chrom(VI)-freien Alternativen			x			
Förderungen und Anreizsysteme									
1	Emissionshandel	Unternehmen müssen Zertifikate für CO ₂ Emission kaufen	Möglichkeit zum Verkauf nicht genutzter Zertifikate			x	x		
Öffentlichkeit u. Medien									
Erwartungen									
1	...								
2	...								
Mitarbeitende									
Erwartungen									
1	...								
2	...								
Kundeneinfluss									
Kaufverhalten									
1	energieeffiziente Anlagen	Kunden fordern stärker Energieeffizienz der von uns produzierten Anlagen	energieeffiziente Anlagentechnik wird Kaufkriterium			x			
2	...								
Anforderungen									
1	...								
Kapitalgeber									
Vorgaben									
1	...								

Die Eingangsparameter lassen sich entsprechend der System-Dynamics-Methodik über Submodelle vorstrukturieren. Hierbei kann ein eigenständiges Wirknetz der für den jeweiligen Eingangsparameter relevanten Einflussfaktoren aufgebaut werden. Die Einflussfaktoren werden dabei aus der im vorherigen Abschnitt erläuterten Vorgehensweise abgeleitet. Eine Beschreibung zum Aufbau der Submodelle wird im nachfolgenden Abschnitt dargestellt.

6.3 Methodisches Vorgehen zur Anwendung des Modells

Nicht nur die Modellbildung, sondern auch deren Anwendung erfordert ein methodisches Vorgehen. Dieses soll im Nachfolgenden entwickelt und beschrieben werden. Für die zu gestaltende Vorgehensweise zur Modellanwendung können die folgenden notwendigen Teilaufgaben festgehalten werden:

- Charakterisierung des Investitionsvorhabens und Abschätzung der Modelleignung
- Identifikation der Realoptionen sowie der relevanten Umwelteinflüsse
- Bildung investitionsspezifischer Submodelle für die Eingangsparameter und Bestimmung der qualitativen und quantitativen Wirkzusammenhänge
- Bewertung der Ergebnisse aus den Teilmodellen und Bildung von Investitionsszenarien
- Interpretation der Investitionsszenarien und Ableitung von Handlungsempfehlungen

Eine wesentliche Voraussetzung für die praxisgerechte Anwendbarkeit des Bewertungsmodells liegt vor allem darin, einen Kompromiss zwischen der wissenschaftlichen Korrektheit des Modells einerseits sowie einem vertretbaren Aufwand für die Datenbeschaffung und Nutzung des Modells andererseits zu finden. Die Vorgehensweise soll hierzu gemäß Abbildung 6-4 in drei Schritte untergliedert werden.

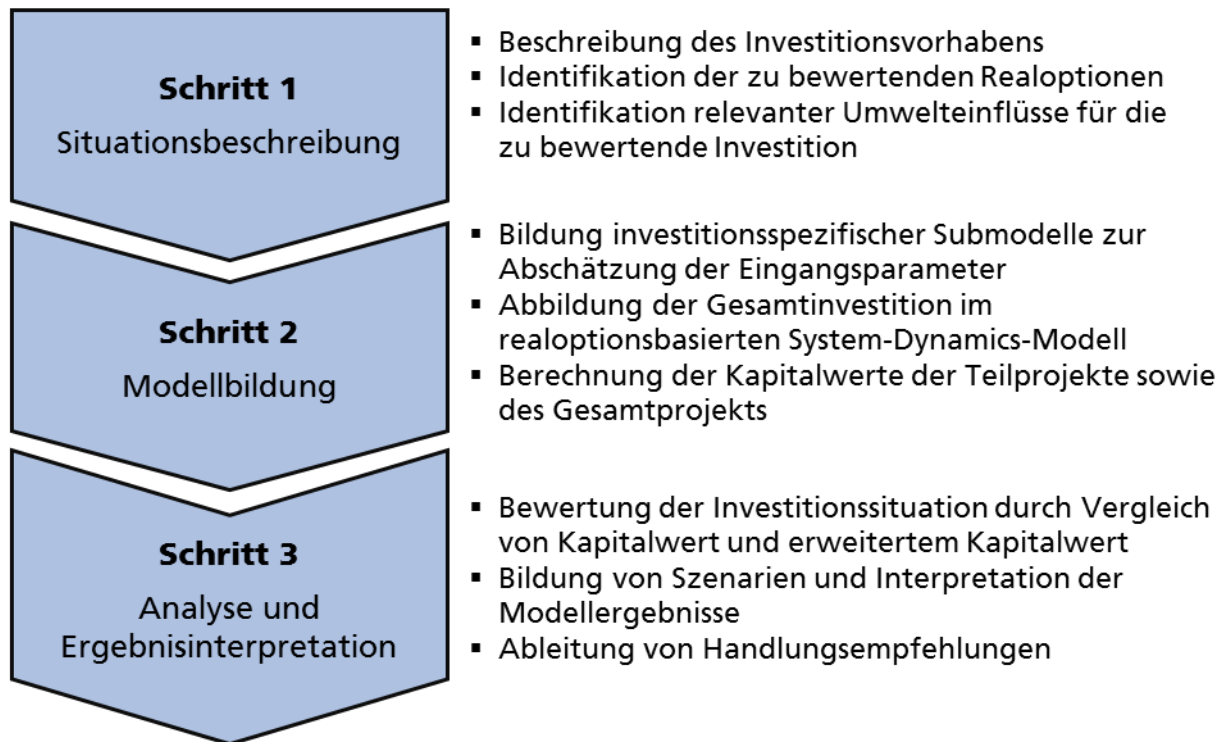


Abbildung 6-4: Vorgehensweise zur Anwendung des Bewertungsmodells

Die drei Schritte der Vorgehensweise zur Anwendung des Bewertungsmodells werden im nachfolgenden Kapitel detailliert ausgestaltet und beschrieben.

6.3.1 Situationsbeschreibung

Im ersten Schritt findet die Grobbewertung des Investitionsvorhabens statt. Auf eine Vorgehensbeschreibung zur Identifikation entsprechender Investitionsprojekte soll an dieser Stelle verzichtet werden. Im Anhang der Arbeit findet sich jedoch eine unterstützende Beschreibung zur Identifikation entsprechender Investitionen, aufbauend auf der Energiewertstrom-Methode sowie Checklisten zur Ermittlung von Lösungsansätzen. Die Grobbewertung erfolgt subjektiv oder bereits mit Mitteln der klassischen Investitionsrechnung. Hierzu werden für das ausgewählte Investitionsvorhaben, dessen strategische Bedeutung sowie die mit seiner Umsetzung verbundene Handlungsflexibilität und Unsicherheit künftiger Entwicklungen abgeschätzt. Dabei ist zu bewerten, ob die strategische Bedeutung des Vorhabens sowie die Handlungsflexibilität und Unsicherheit hinreichend hoch sind, um

das Projekt mittels Bewertungsmodell zu analysieren. Zur Einordnung lässt sich das in Abbildung 6-5 dargestellte Bewertungsportfolio verwenden.

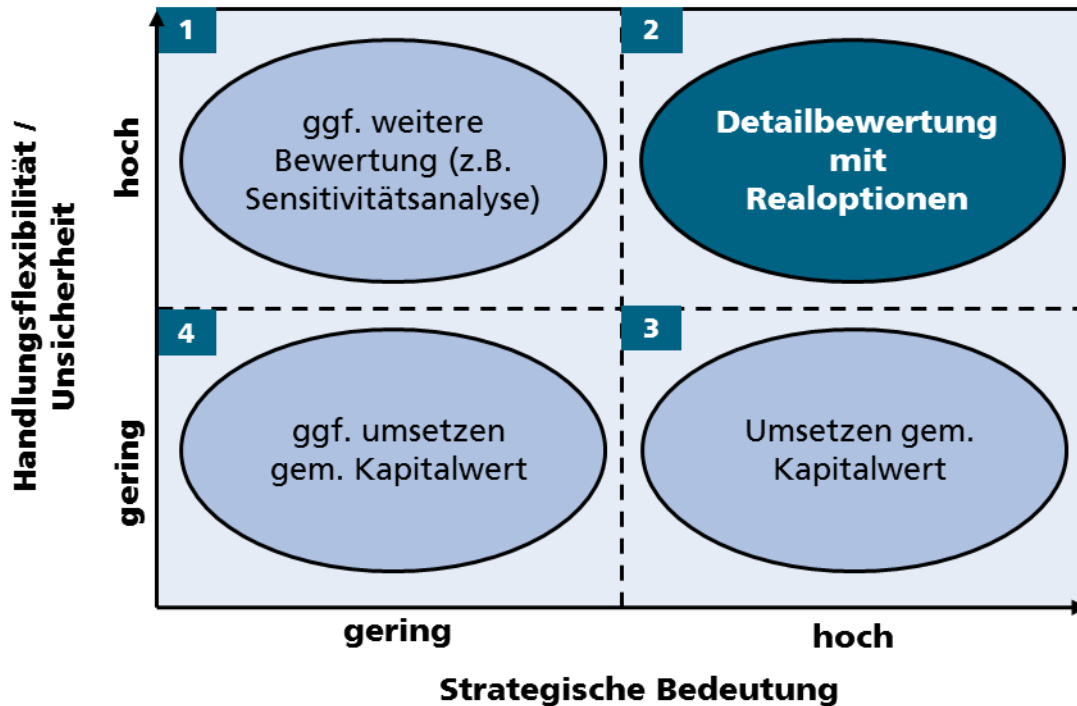


Abbildung 6-5: Bewertungsportfolio der Investitionsobjekte

Maßnahmen, die gemäß klassischer Investitionsrechnung einen geringen Investitionsaufwand aufweisen oder bei denen die zu erwartenden Einsparpotenziale gering sind, stellen üblicherweise keine strategischen Investitionen zur Steigerung der Ökoeffektivität dar. Sofern die Maßnahme einen Effizienzcharakter aufweist und sie auf Basis der erzielbaren Rückflüsse und erwarteten Investitionssumme eine wirtschaftliche Investition darstellt, sollten derartige Maßnahmen im Sinne eines kontinuierlichen Verbesserungsprozesses umgesetzt werden. Maßnahmen mit geringer strategischer Bedeutung und einem hohen Maß an Unsicherheit und Flexibilität sind je nach errechnetem Kapitalwert umzusetzen, oder mittels weiterer Methoden der Investitionsrechnung, wie beispielsweise der Sensitivitätsanalyse, detaillierter zu bewerten. Investitionsobjekte mit hoher strategischer Bedeutung und einem geringen Maß an Handlungsflexibilität und Unsicherheit sollten in Abhängigkeit der ermittelten Kapitalwerte fallweise realisiert werden. Maßnahmen mit hoher strategi-

scher Bedeutung und einem hohen Maß an Handlungsfreiheit und Unsicherheit sind mit dem entwickelten Modellansatz unter Einbeziehung von Realloptionen detaillierter zu bewerten. Abbildung 6-6 zeigt die Eingliederung beispielhafter Investitionsobjekte in das Bewertungsportfolio.

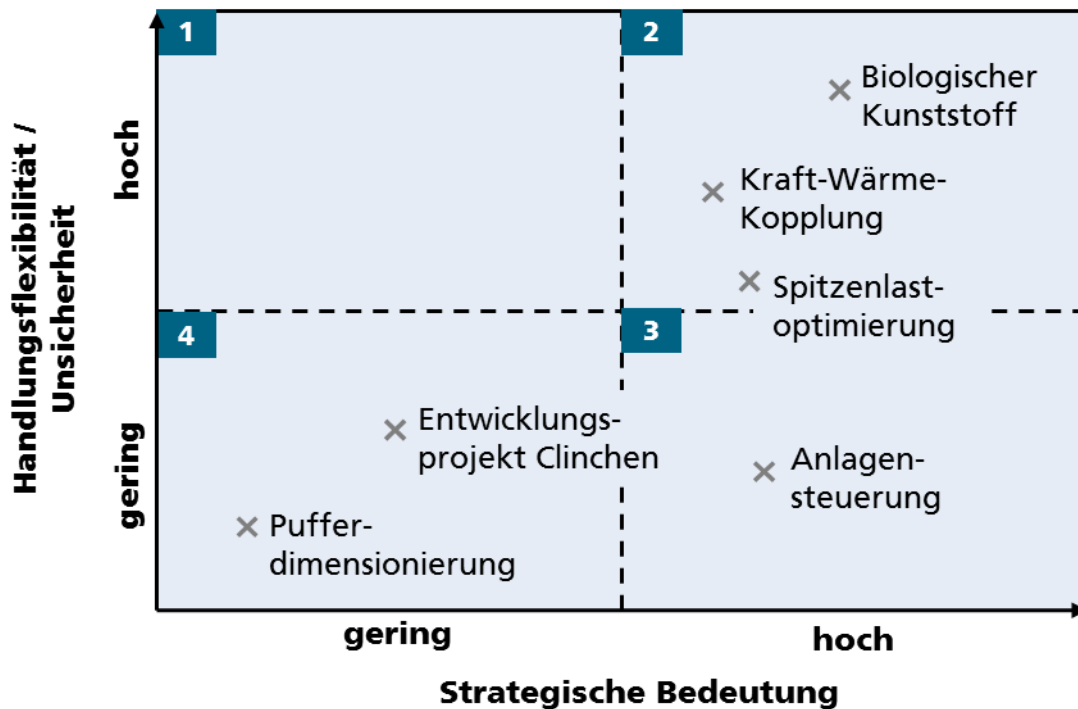


Abbildung 6-6: Beispielhafte Investitionsobjekte im Bewertungsportfolio

Eine Bewertung mit dem entwickelten Modell sollte lediglich erfolgen, wenn sich das Investitionsvorhaben im zweiten Quadranten des Bewertungsportfolios einordnen lässt. Die Beschreibung des Investitionsprojekts sowie die Untergliederung des Gesamtprojekts in das Grund- und Folgeprojekt schafft die Voraussetzung für die Bewertung mithilfe des Modells. Nur Projekte mit entsprechendem Optionscharakter sollten mit dem Bewertungsmodell analysiert werden. Hierzu ist festzulegen, welche Optionen im Projektverlauf vorliegen. Für das als strategisch relevant und unsicher klassifizierte Investitionsvorhaben „Biologischer Kunststoff“ beispielsweise wird davon ausgegangen, dass das bestehende Produktspektrum auf Grundlage konventioneller Kunststoffe durch Produkte aus biologischen Kunststoffen ergänzt werden kann. Anhand dieses Investitionsvorhabens werden die weiteren Schritte der Modellanwendung erläutert.

Für das gewählte Investitionsvorhaben wird anhand der nachfolgenden Tabelle dessen Optionscharakteristik bestimmt. In dem Beispiel ist es notwendig, zunächst in eine technische Entwicklung zu

investieren, um später in den Markt biologischer Kunststoffprodukte einsteigen zu können. Das Entwicklungsprojekt stellt somit die notwendige Grundinvestition für die spätere Einstiegsoption dar.

Tabelle 6-2: Realloptionen des Entwicklungsprojekts „Biologischer Kunststoff“

Grundinvestition	Folgeinvestition	Optionsart					
Beschreibung der Grundinvestition	Beschreibung der Folgeinvestition (Realloption)	Einstieg	Erweiterung	Fortsetzung	Wechsel	Einschränkung	Abbruch
Entwicklungsprojekt Biologischer Kunststoff	Neue Produktionslinie für Produkte aus biologischem Kunststoff	x					

Nachdem das Investitionsobjekt mitsamt den verbundenen Realloptionen beschrieben ist, erfolgt die Grobbewertung der Umwelteinflüsse. Hierzu kann die in Kapitel 6.1 dargestellte Checkliste verwendet werden. Die Situationsbeschreibung stellt somit insgesamt die qualitative Beschreibung der Investitionssituation dar und liefert wichtige Informationen für die Gestaltung des System-Dynamics-Modells. Die nachfolgende Abbildung zeigt beispielhafte Umwelteinflüsse für das Projekt „Biologischer Kunststoff“.

Tabelle 6-3: Umwelteinflüsse des Projekts „Biologischer Kunststoff“

Treiber		Beschreibung		Wirkbeitrag					
Herkunft und Bezeichnung des Umwelteinflusses		verbale Beschreibung des Einflusses		verbale Beschreibung der Auswirkung		Investitions- summe	Cashflows	Zinsen	...
Konkurrenten									
Güterangebot									
1	Wettbewerbs- aktivität	baldiges Eintreten von neuen Wettbewerbern im Bereich Biokunststoffe erwartet	Marktaktivität des Wettbewerbs hat negativen Einfluss auf Verkaufszahlen				x		
Rohstoffnachfrage									
Lieferanten u. Partner									
Preisentwicklung									
Staat									
Gebote und Verbote									
1	...								
Förderungen und Anreizsysteme									
1	Nachhaltigkeits- förderung	hohe Verfügbarkeit von Förderprogrammen zur Nachhaltigkeitssteigerung	Möglichkeit zur Reduktion von Investitionskosten	x					
Öffentlichkeit u. Medien									
Erwartungen									
1	Nachhaltigkeits- marketing	poitives Image umwelt- freundlicher Produkte	gesellschaftlicher Einfluss wirkt sich positiv auf Verkaufszahlen aus				x		
Mitarbeitende									
Erwartungen									
1	...								
2	...								
Kundeneinfluss									
Kaufverhalten									
1	verändertes Kaufverhalten	Kunden kaufen verstärkt umweltfreundliche Produkte	nachhaltige Produkte werden stärker nachgefragt				x		
2	...								
Anforderungen									
1	...								
Kapitalgeber									
Vorgaben									
1	...								

6.3.2 Modellbildung

6.3.2.1 Bildung anwendungsspezifischer Submodelle

Die Submodelle werden in System Dynamics nach der gleichen Logik aufgebaut wie bereits das generische Grundmodell zuvor. Hierbei stellt der jeweilige Eingangparameter des Grundmodells den Zielparameter des Submodells dar. Nachfolgend wird beispielhaft ein derartiges Submodell für die Investitionssumme sowie die Cashflows der Folgeinvestition aufgebaut. Wie aus der Initiierung der Eingangparameter erkennbar, setzt sich die Investitionssumme aus dem Anschaffungspreis, der Anschaffungspreisminderung sowie den anrechenbarer Anschaffungspreisnebenkosten zusammen. Gegebenenfalls anfallende nachträgliche Anschaffungskosten werden im Rahmen der Cashflows berücksichtigt. Im Zuge der Ermittlung relevanter Umwelteinflüsse wurden die Möglichkeiten zur Förderung umweltgerechter Produktentwicklungen als Einflussfaktor auf die Investitionssumme gesehen. Im Anwendungsbeispiel stellt dies ein Investitionszuschuss in Höhe von 20% der anfallenden Projektkosten dar. Die nachfolgende Abbildung zeigt ein entsprechendes System Dynamics Modell zur Identifikation der Investitionssumme für die Folgeinvestition mit beispielhaften Eingangswerten.

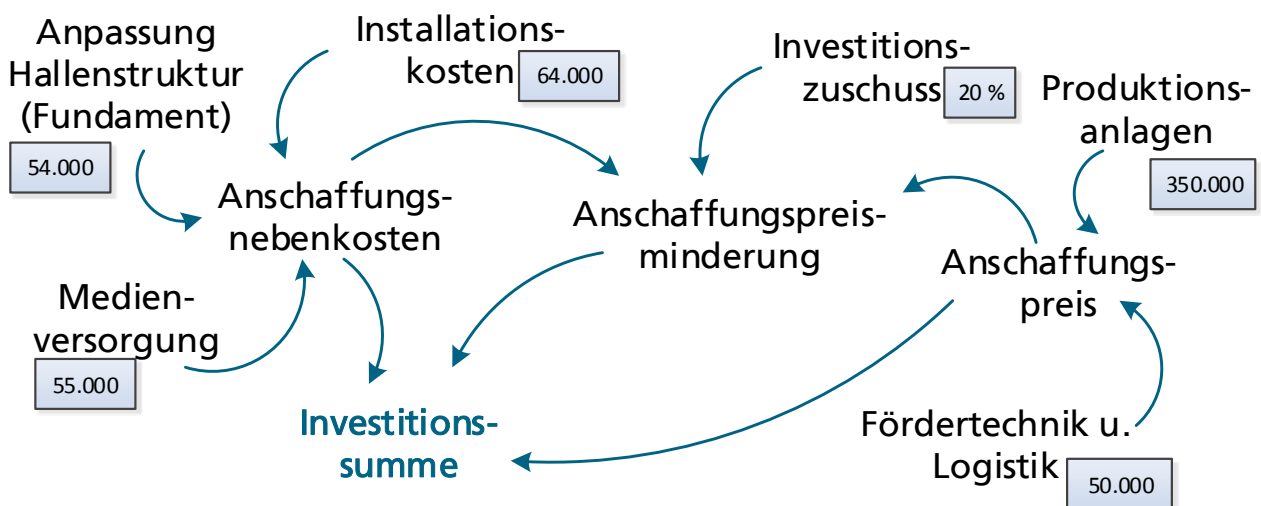


Abbildung 6-7: Submodell Anschaffungskosten der Folgeinvestition „Biologischer Kunststoff“

Im vorliegenden Submodell setzt sich der Anschaffungspreis zusammen aus Hardwarekosten für Produktionsanlagen sowie Fördertechnik und Logistik. Die Anschaffungsnebenkosten umfassen Kosten für die Anlageninstallation, den Ausbau der notwendigen Medienversorgung sowie Anpassungen an der Gebäudestruktur. Anschaffungspreismindernd wirkt sich der Investitionszuschuss in Höhe von 20% bezogen auf die Anschaffungs- und Anschaffungsnebenkosten aus. Insgesamt ergibt sich für die Investitionssumme im Beispiel ein Wert in Höhe von ca. 450.000 GE.

Bei den Cashflows wird davon ausgegangen, dass während der technologischen Entwicklung in Form der Grundinvestition noch keine Cashflows generiert werden können. Nach Markteintritt können dann Cashflows realisiert werden. Die Abbildung der Cashflows kann auf verschiedene Weisen erfolgen. Im vorliegenden Beispiel wird eine Zahlungsreihe von Cashflows unter Einfluss der zuvor definierten Umwelteinflüsse gebildet. Dabei wird von einer anfänglichen Verkaufsstückzahl von 20.000 Stück pro Periode ausgegangen. Als wachstumstreibende Faktoren werden der politische und gesellschaftliche Einfluss sowie eine positiver Nachfragefaktor gesehen. Als hemmend wirkt hingegen die Wettbewerbsaktivität. Als weitere relevante Einflussgrößen wurden der Rohstoffpreis je Produkt, die sonstigen zahlungswirksamen Aufwände je Produkt sowie die zahlungswirksamen Erträge je Produkt identifiziert. Nachfolgende Abbildung zeigt das System-Dynamics-Modell zur Abschätzung der erwarteten Cashflows über eine Projektlaufzeit von zehn Jahren.

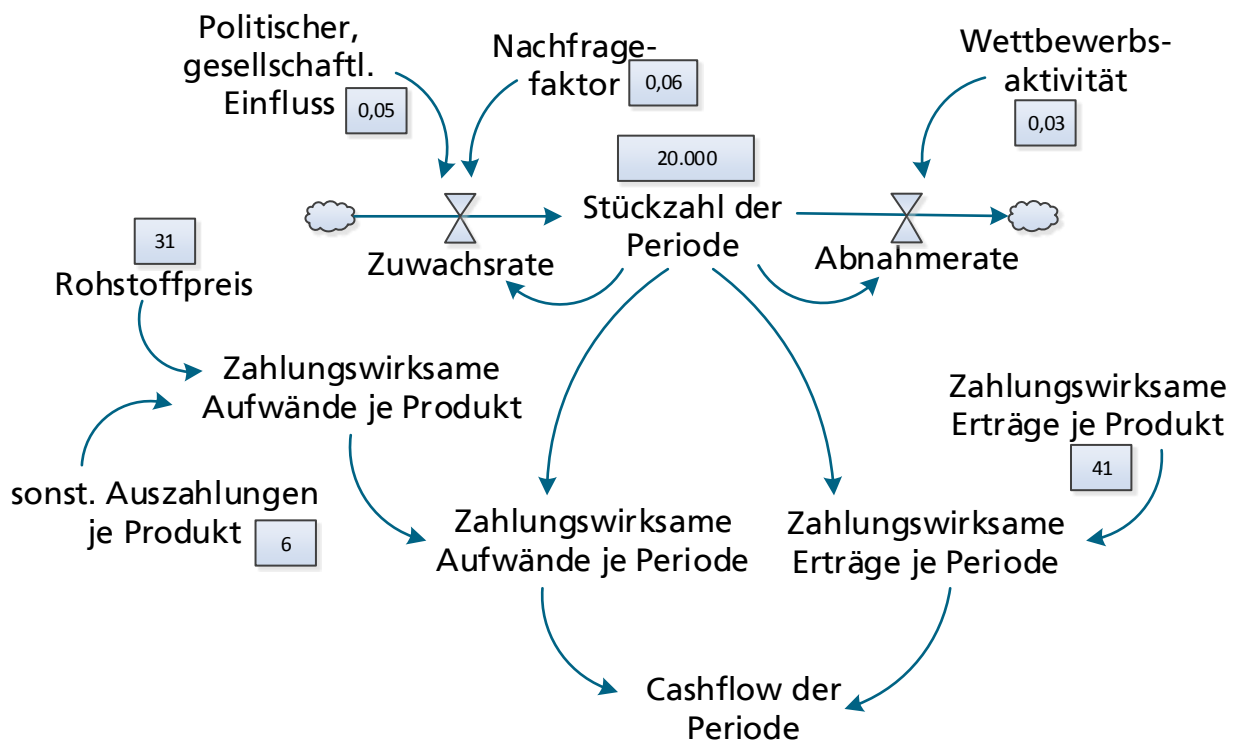


Abbildung 6-8: Submodell der Cashflows der Folgeinvestition „Biologischer Kunststoff“

Aus dem Submodell ergeben sich die folgenden Verkaufszahlen und Cashflows über die gesamte Projektlaufzeit ausgehend vom Investitionszeitpunkt der Grundinvestition für das wahrscheinliche Szenario.

Tabelle 6-4: Cashflows der Folgeinvestition „Biologischer Kunststoff“

Folgeinvest											
Jahr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Summe
Verkaufszahlen [T Stk.]	0	20	22	24	26	28	31	34	37	40	260
Cashflow [T GE]	0	80	87	95	104	113	123	134	146	159	1.041

In nächsten Schritt lassen sich Parameter des Modells variieren, um ein optimistisches und pessimistisches Szenario abzubilden. Im vorliegenden Beispiel wurden für das optimistische Szenario der politische Einfluss auf 10%, der Nachfragefaktor auf 10% und der Wettbewerbseinfluss auf 1% angepasst. Für das pessimistische Szenario wurde der Wettbewerbseinfluss gegenüber des wahrscheinlichen Szenarios auf 6,5% erhöht. Ferner wurde ein Kalkulationszins in Höhe von 11% angesetzt. Es ergeben sich insgesamt für die drei Szenarien die folgenden Cashflows und Barwerte:

Tabelle 6-5: Szenarien der Folgeinvestition „Biologischer Kunststoff“

Folgeinvest												
Szenario	Jahr	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Summe
optimistisch	Verkaufszahlen [T Stk.]	0	20	24	28	34	40	48	57	67	80	396
	Cashflow [T GE]	0	80	95	112	134	159	190	226	268	318	1.582
	Barwerte [T GE]	0	65	69	74	80	85	92	98	105	112	779
wahrscheinlich	Verkaufszahlen [T Stk.]	0	20	21	23	26	27	30	33	36	39	253
	Cashflow [T GE]	0	80	85	92	102	109	118	130	143	154	1.013
	Barwerte [T GE]	0	65	62	61	61	58	57	56	56	54	530
pessimistisch	Verkaufszahlen [T Stk.]	0	20	21	22	23	24	25	26	28	29	217
	Cashflow [T GE]	0	80	84	87	91	95	100	104	110	115	866
	Barwerte [T GE]	0	65	61	57	54	51	48	45	43	41	465

Aus den Szenarien lässt sich im nächsten Schritt die Volatilität des Projektes abschätzen. Es wird angenommen, dass für das optische und das pessimistische Szenario jeweils eine Eintrittswahrscheinlichkeit in Höhe von 50% zu erwarten ist. Bei einem Ausübungspreis in Höhe von 450 T GE ergibt sich entsprechend der Formel 6.5 eine Volatilität in Höhe von 40%:

$$\sigma = \sqrt{0,5 \left(\frac{779}{450} - \frac{530}{450} \right)^2 + (1 - 0,5) \left(\frac{465}{450} - \frac{530}{450} \right)^2} = 0,40 \quad (6.6)$$

Die Ergebnisse der Submodelle können anschließend in das Bewertungsmodell übertragen werden. Die Submodelle der weiteren Eingangsparameter des Bewertungsmodells werden an dieser Stelle nicht separat aufgebaut. Für die Bildung des Bewertungsmodells werden stattdessen die folgenden weiteren Eingangsgrößen vorgegeben:

- Cashflows der Grundinvestition 0 GE
- Investitionssumme der Grundinvestition 90.000 GE
- Risikoloser Zinssatz 1,5%
- Optionslaufzeit 1 Jahr

6.3.2.2 Bildung des Bewertungsmodells

Nach Berechnung der Eingangsparameter in den Submodellen erfolgt die Übertragung in das Bewertungsmodell. Abbildung 6-9 zeigt das erste Teilmodell mit den Eingangswerten des Berechnungsbeispiels. Die Laufzeit der Berechnung wurde gemäß der Projektlaufzeit auf zehn Jahre festgelegt.

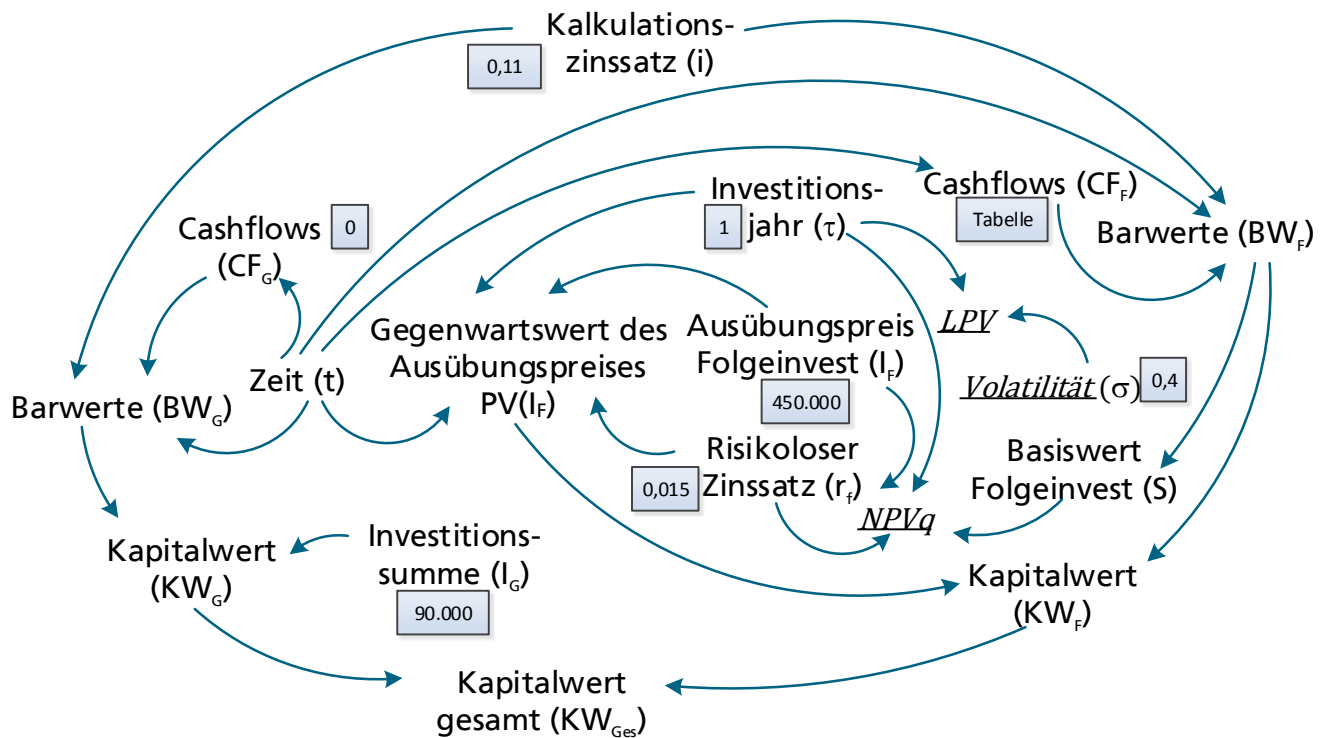


Abbildung 6-9: SD-Modell „Biologischer Kunststoff“ (Kapitalwerte)

Das Modell liefert die folgenden Ergebnisse:

- Kapitalwert der Grundinvestition: -90.000 GE
- Kapitalwert der Folgeinvestition: 86.230 GE
- Kapitalwert der Gesamtinvestition (konventionell): -3.770 GE
- Basiswert der Folgeinvestition: 529.600 GE
- Wert-Kosten-Verhältnis (NPVq): 1,194
- Risiko-Zeit-Faktor (LPV): 0,4

Die Eingangswerte aus dem ersten Teilmodell werden ebenfalls in das Modell zur analytischen Berechnung des Optionswerts übertragen. Abbildung 6-10 zeigt das System-Dynamics-Modell zur analytischen Berechnung des Optionswerts mit den beispielhaften Eingangsparametern.

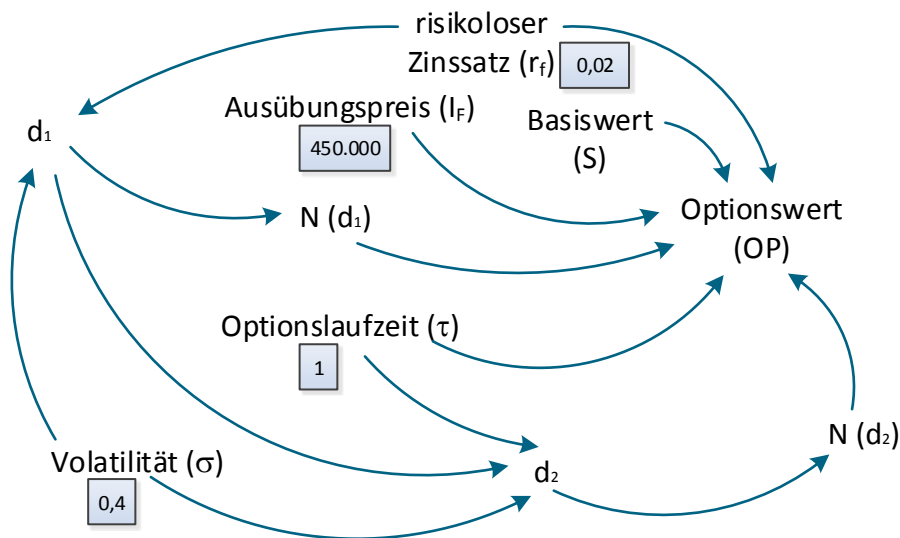


Abbildung 6-10: SD-Modell „Biologischer Kunststoff“ (Optionswert)

Im letzten Schritt werden die Werte in das Simulationsmodell übernommen, wodurch die Entwicklung des Investitionswerts während der Optionslaufzeit abgeschätzt werden kann. Der Basiswert entspricht dabei dem Wert der abgezinsten Cashflows. Darüber hinaus werden die Schrittweite der Simulation sowie die Zufallsvariable (Noise Seed) ergänzt. Als Simulationsschrittweite wurde eine Tagesbasis (0,00274) verwendet. Die Monte-Carlo-Simulation wurde mit 1.000 Simulationsläufen durchgeführt. Abbildung 6-11 zeigt das Simulationsmodell mit den Eingangsparametern.

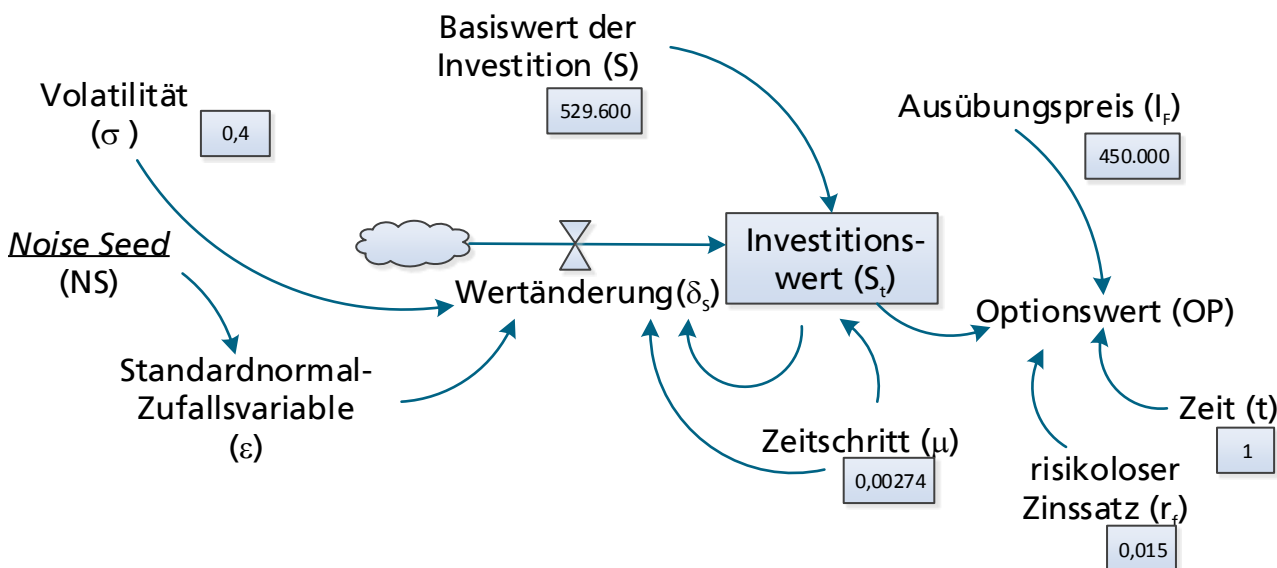


Abbildung 6-11: SD-Modell „Biologischer Kunststoff“ (Wertenwicklung)

6.3.3 Ergebnisinterpretation

Im dritten Schritt der Vorgehensweise zur Bewertung der Investitionsvorhaben erfolgt die Auswertung und Interpretation der Modellergebnisse. Die Ergebnisbewertung des gesamten Investitionsvorhabens erfolgt auf Grundlage der Einzelergebnisse aus den zwei Teilmodellen. Zur Analyse der Ergebnisse werden diese teilweise grafisch aufbereitet. Dies unterstützt die Interpretierbarkeit der Ergebnisse sowie die Bewertung von Vergleichsszenarien. Die nachfolgende Abbildung fasst die Bewertungsparameter aus den beiden Teilmodellen sowie die daraus abgeleiteten Bewertungsgrößen noch einmal zusammen.

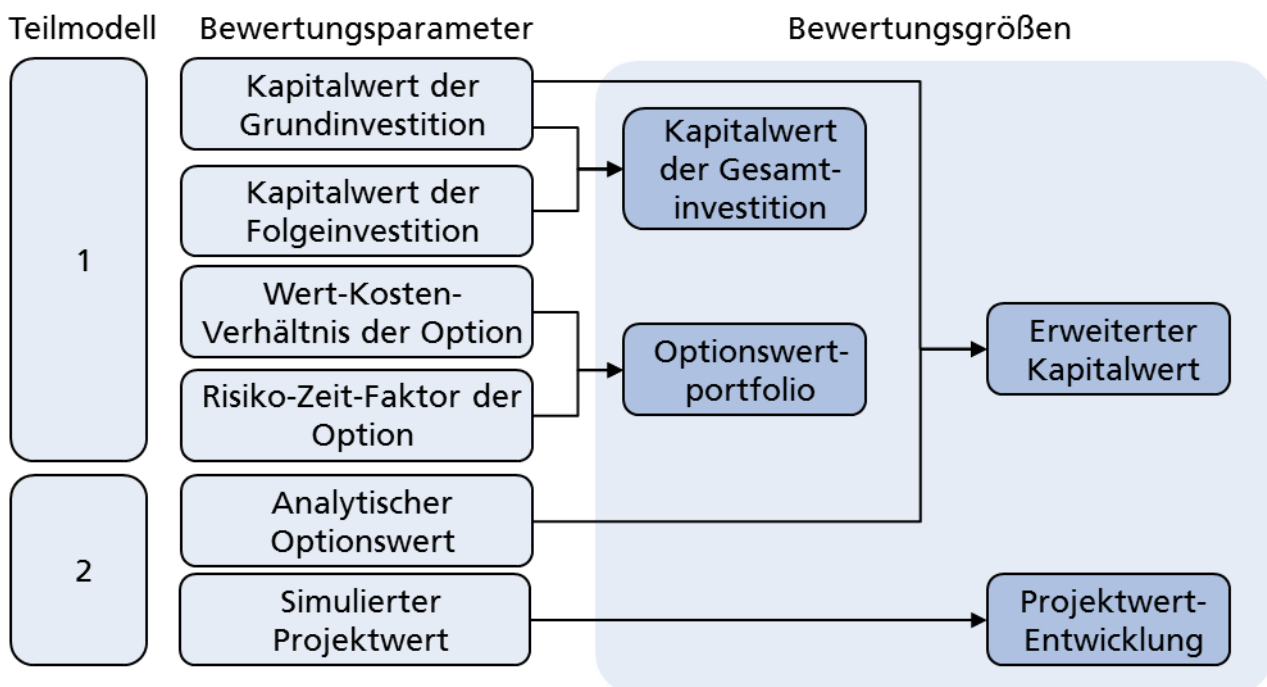


Abbildung 6-12: Bewertungsgrößen für die Ergebnisinterpretation

6.3.3.1 Kapitalwertberechnung der Gesamtinvestition

Die einfache Kapitalwertberechnung der Gesamtinvestition resultiert aus den Ergebnissen des ersten Teilmodells. Zunächst wird der Kapitalwert der Gesamtinvestition dargestellt. Abbildung 6-13 zeigt hierzu den Verlauf der Barwerte über die Investitionsdauer. Erkennbar aus der Grafik wird die Grundinvestition in Jahr 0 sowie die Folgeinvestition in Jahr 1. Aus der Summe der abgezinsten

Cashflows sowie unter Abzug der abgezinsten Investitionssummen ergibt sich insgesamt ein konventioneller Kapitalwert in Höhe von ca. -3.770 GE für die Gesamtinvestition. Der Kapitalwert der Grundinvestition beträgt dabei -90.000 GE und derjenige der Folgeinvestition beträgt 86.230 GE.

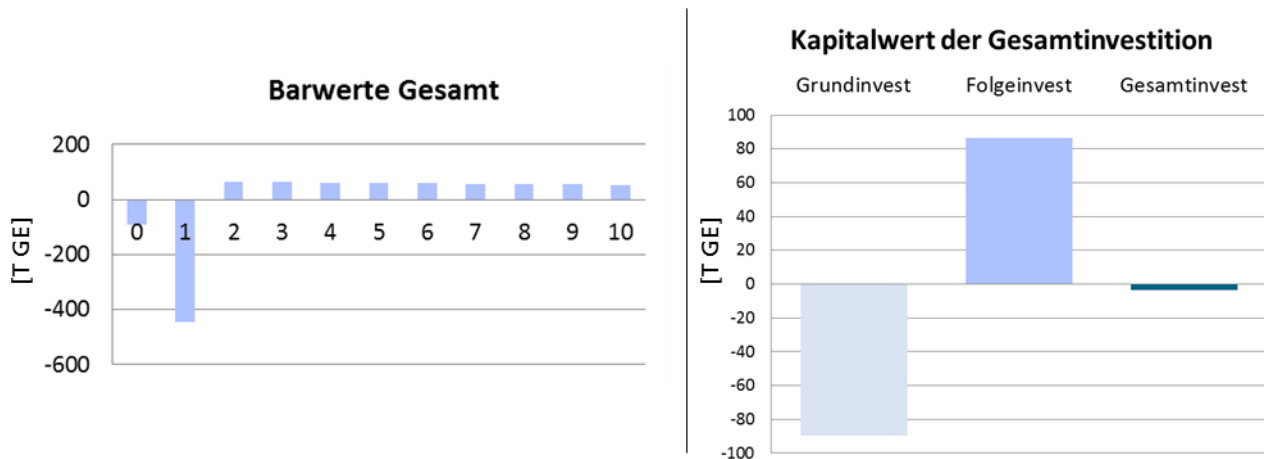


Abbildung 6-13: Kapitalwert der Gesamtinvestition (konventionell)

Eine ausschließliche Wirtschaftlichkeitsbewertung des Projektes auf Basis des konventionellen Kapitalwerts würde somit zur Nichtdurchführung des Projektes führen, da der Kapitalwert des Gesamtprojektes (wenn auch nur geringfügig) negativ ist. Bei dieser Entscheidung wird jedoch der Optionscharakter sowie die hiermit verbundenen Asymmetrie zwischen der möglichen Verlust- und Gewinnentwicklung des Folgeprojektes vernachlässigt.

6.3.3.2 Optionswert-Portfolio

Die Ergebnisse des ersten Teilmodells lassen sich teilweise in ein Optionswert-Portfolio überführen.¹⁰ Das Optionswert-Portfolio wird aufgespannt durch die zwei Achsen des Risiko-Zeit-Faktors (LPV) sowie des Wert-Kosten-Verhältnisses. Das Portfolio selbst kann in sechs Felder unterteilt werden, die grundsätzliche Handlungstendenzen zum weiteren Umgang mit der betrachteten Realoption in Form der Folgeinvestition ermöglichen. Projekte, die sich im oberen rechten Bereich des Portfolios befinden, sollten möglichst bald realisiert werden. Der Bereich wird in vertikaler Ebene trennscharf begrenzt durch das Wert-Kosten-Verhältnis von 1. Die horizontale Begrenzung durch den Risiko-Zeit-Faktor liegt bei einem Verhältnis von ca. 0,2. Der untere Bereich des Portfolios wird auf der

¹⁰ Die Gestaltung des Optionswert-Portfolios erfolgt in Anlehnung an (Luehrman 1998, S. 87 ff)

rechten Seite aufgeteilt in die Felder „vermutlich bald investieren“ und „vermutlich später investieren“. Auf der linken Seite werden die Felder „vielleicht später investieren“ und „vermutlich nie investieren“ im unteren Bereich des Portfolios unterschieden. Projekte die ein Wert-Kosten-Verhältnis von unter 1 und einen geringen Risiko-Zeit-Faktor von unter ca. 0,2 aufweisen, führen zur Einordnung in den oberen linken Bereich des Portfolios und somit zur tendenziellen Handlungsempfehlung „nie investieren“. Die Felder des Portfolios lassen sich mit Ausnahme der vertikalen Trennlinie nicht eindeutig voneinander abgrenzen, sodass durch das Portfolio lediglich tendenzielle Aussagen getroffen werden können. Nachfolgende Abbildung visualisiert das Optionswert-Portfolio sowie die Eingliederung der Folgeinvestition in das Portfolio.

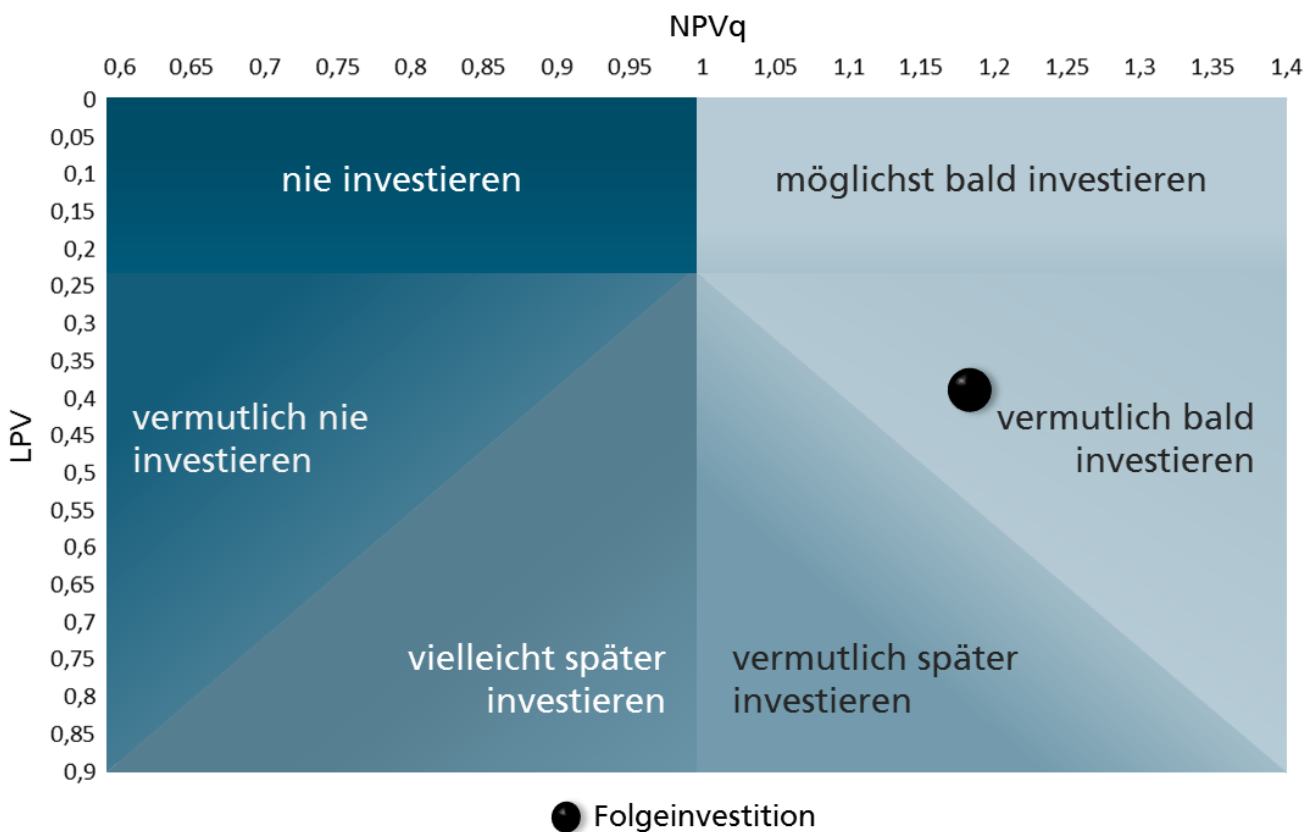


Abbildung 6-14: Optionswert-Portfolio „Biologischer Kunststoff“

Die Charakteristik des betrachteten Investitionsprojekts führt auf Basis der berechneten Werte für den Risiko-Zeit-Faktor und das Wert-Kosten-Verhältnis zur Einordnung der Folgeinvestition in den Bereich mit der Handlungsempfehlung „vermutlich bald investieren“. Diese Handlungsempfehlung resultiert aus den folgenden Zusammenhängen. Die Investitionssumme der Folgeinvestition wird

mit 450.000 GE kalkuliert. Dies entspricht unter der getroffenen Annahme eines risikolosen Zinssatzes in Höhe von 1,5 % nach Ablauf der Optionslaufzeit von einem Jahr einem Barwert in Höhe von 443.000 GE. Das Verhältnis aus diesem Barwert des Ausübungspreises bezogen auf den Basiswert des Folgeprojektes in Höhe von 530.000 GE führt zu einem positiven Wert-Kosten-Verhältnis in Höhe von 1,194. Die abgeschätzte Volatilität des Projektwerts in Höhe von 40% führt darüber hinaus in Kombination mit der verbleibenden Optionslaufzeit zu dem Risiko-Zeit-Faktor in Höhe von 0,4. Die Restlaufzeit der Option lässt somit Spielraum für eine weitere Entwicklung des Projektwertes. Ziel eines aktiven Optionsmanagements sollte der Versuch sein, im Rahmen der verbleibenden Laufzeit Maßnahmen zur zusätzlichen Verbesserung des Wert-Kosten-Verhältnisses zu ergreifen. Hierdurch würde sich das Projekt im dargestellten Portfolio im Laufe der Zeit nach oben rechts bewegen.

6.3.3.3 *Erweiterter Kapitalwert*

Der erweiterte Kapitalwert berechnet sich wie bereits einführend dargestellt aus der Summe des Kapitalwerts der Grundinvestition sowie des Optionswerts der Folgeinvestition. Der Vergleich des konventionellen Kapitalwerts der Folgeinvestition mit der als Option bewerteten Folgeinvestition zeigt den Unterschied in den Bewertungsmethoden. Während der konventionelle Kapitalwert der Folgeinvestition einen Wert in Höhe von 86.230 GE aufweist, erreicht der Optionswert derselben Folgeinvestition durch die Berücksichtigung der Flexibilität und Unsicherheit einen Wert in Höhe von 127.620 GE. Hierdurch verschiebt sich der Kapitalwert des Gesamtprojektes von ursprünglich -3.770 GE auf einen positiven Wert in Höhe von 37.620 GE. Die nachfolgende Grafik visualisiert den erweiterten Kapitalwert, bestehend aus dem Kapitalwert der Grundinvestition zuzüglich des analytisch berechneten Kapitalwerts der Realloption aus dem zweiten Teilmodell sowie den Vergleich zwischen dem konventionell berechneten Kapitalwert der Folgeinvestition und dem Optionswert der Investition.

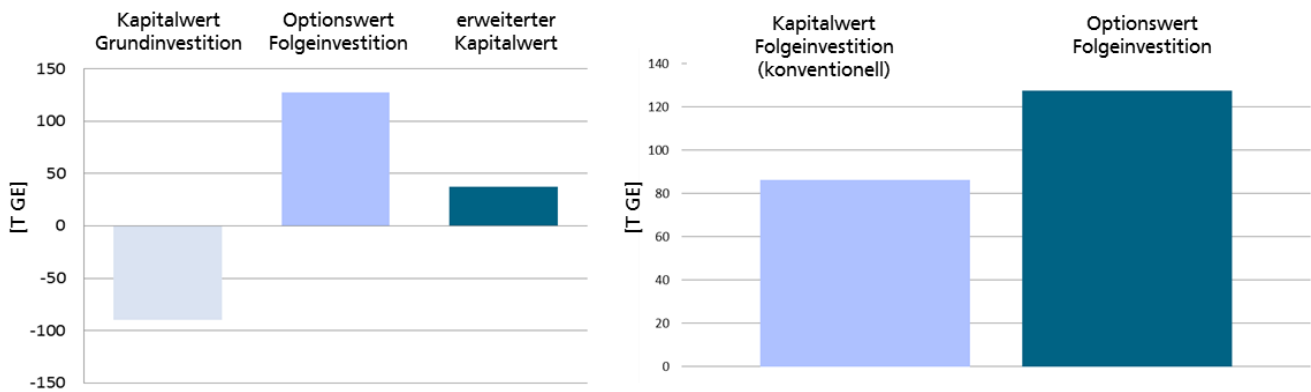


Abbildung 6-15: Erweiterter Kapitalwert „Biologischer Kunststoff“

6.3.3.4 Wertentwicklung des Folgeprojektes

Im letzten Schritt der Ergebnisinterpretation erfolgt die Analyse der prognostizierten Wertentwicklung des Folgeprojektes während der Optionslaufzeit. Die nachfolgende Abbildung zeigt das Ergebnis der Monte-Carlo-Simulation für 1.000 Simulationsläufe. Die farblichen Abstufungen weisen die Bereiche aus, in denen sich 50, 75, 95 bzw. 100 Prozent der simulierten Werte befinden. Die dunkle Linie visualisiert die Verlaufskurven eines zufälligen Simulationslaufs. Die Verteilung der Simulationsergebnisse gibt des Weiteren Aufschluss über mögliche Entwicklungspfade und kann in eine Detailbewertung einfließen.

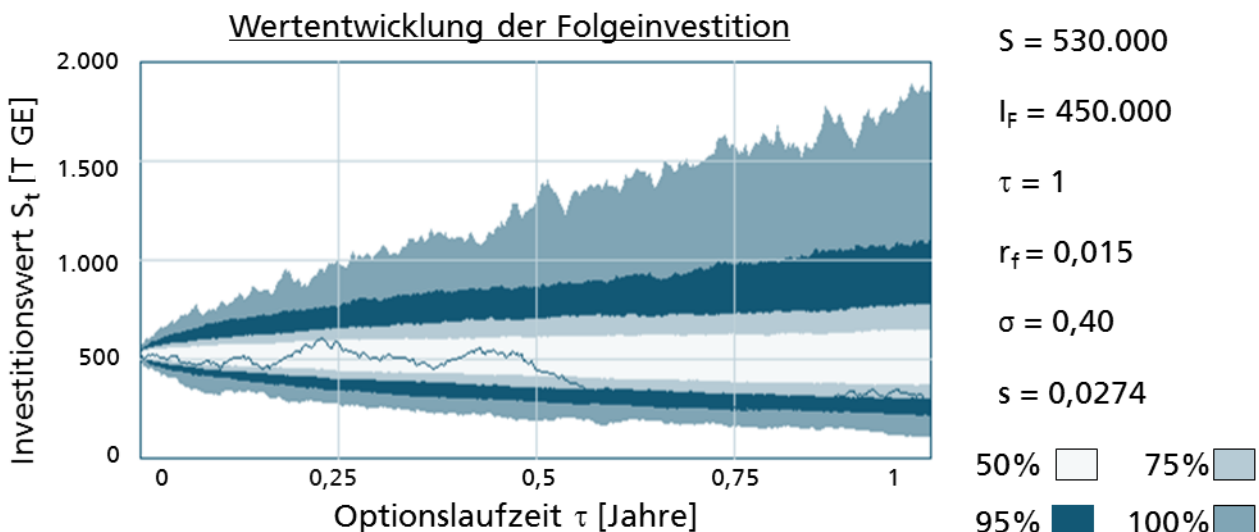


Abbildung 6-16: Wertentwicklung der Folgeinvestition „Biologischer Kunststoff“

Insgesamt führt die Analyse des dargestellten Beispiels somit zu einer Befürwortung des Investitionsvorhabens, während die alleinige Bewertung auf Basis des konventionellen Kapitalwerts zu deren Ablehnung geführt hätte. Auf Grundlage der dargestellten Bewertungsergebnisse können weiter Detailanalysen durchgeführt werden. Die Variation ausgewählter Eingangsparameter beispielsweise ermöglicht die Durchführung von Entwicklungsszenarien sowie die Bewertung des Einflusses veränderter Rahmenbedingungen auf das Projektergebnis. Derartige Detailbewertungen bilden die Grundlage für ein Management der bestehenden Optionen.

7 Anwendung und kritische Reflexion

7.1 Ausgangssituation des Validierungsbeispiels

Zur Validierung des Modells sowie der methodischen Vorgehensweise wurde der Ansatz in einem Industrieunternehmen angewendet. Ziel der Validierung war es, die Erreichung der an das Modell gesetzten Anforderungen zu überprüfen sowie die praktische Anwendbarkeit des Modells und der Vorgehensweise zu bewerten. Darüber hinaus sollten die bei der Anwendung gemachten Erfahrungen dazu dienen, mögliche Ansatzpunkte für weitere Forschungsbedarfe bezüglich des entwickelten Modells abzuleiten.

Das für die Validierung betrachtete Unternehmen zählt zu den führenden internationalen Herstellern im Bereich der Betonsteinindustrie. Das Unternehmen produziert qualitativ hochwertige Produkte aus Beton- und Naturstein. Ein hoher Wettbewerbsdruck zwingt das Unternehmen seine Produktionsprozesse effektiv zu gestalten und flexibel auf externe Umwelteinflüsse zu reagieren. Beton und Steinprodukte weisen in der Produktion einen hohen Energiebedarf auf. Bereits im Vorfeld der Validierung hat das Unternehmen auf Grundlage einer Energieverbrauchsanalyse das Potenzial erkannt, Energiekosten durch die Modernisierung der Drucklufterzeugung zu reduzieren. Die maximale Amortisationszeit für das Projekt wurde von der Geschäftsleitung auf sechs Jahre festgelegt. Daher bildet dieser Zeitraum die Grundlage für den Betrachtungszeitraum der Investition. Bewertet werden sollen die zahlungswirksamen Einsparungen durch die Neuanlage im Vergleich zu der im Einsatz befindlichen Altanlage.

Im Zuge der möglichen Modernisierung der Druckluftanlage stellt sich das bearbeitende Projektteam darüber hinaus die Frage, ob ergänzend eine Wärmerückgewinnung eingebaut werden sollte. Diese könnte einen Teil der durch die Kompressoren entstehenden Abwärme rückgewinnen und als Prozesswärme nutzbar machen. Die Auswertung der Energiekosten deutet darauf hin, dass aus heutiger Sicht der Wärmebedarf nicht hinreichend hoch ist, um eine Wärmerückgewinnung wirtschaftlich zu rechtfertigen. Dies könnte sich jedoch in Zukunft ändern, da davon ausgegangen wird,

dass in absehbarer Zeit gegebenenfalls ein zusätzlicher Wärmebedarf durch einen neuen Produktionsprozess entstehen wird. Der künftige Wärmebedarf ist aus heutiger Sicht als unsicher einzustufen.

7.2 Modellbildung des Validierungsbeispiels

Zur Bewertung der mit dem neuen Druckluftnetz erzielbaren Einsparungen wurde zunächst ein System-Dynamics-Modell erstellt, welches die Abschätzung der heutigen und künftigen Druckluftkosten ermöglicht. Die Differenzbeträge der Druckluftkosten der Neuanlage im Vergleich zu den Kosten der Altanlage je Periode konnten dabei als Cashflow gewertet werden, da diese zahlungswirksamen Charakter aufweisen. Zunächst erfolgte die Bewertung der heutigen Druckluftkosten auf Basis der bestehenden Anlage.

Zur Ermittlung der bewertungsrelevanten Faktoren ließen sich die Gesamtkosten der Druckluftherzeugung in die Bestandteile Betriebskosten sowie Wartungskosten aufteilen. Aus den tatsächlichen Wartungskosten der Altanlage wurde der Wartungskostensatz der Anlage ermittelt und mit einem Wert von 15% der Betriebskosten festgelegt. Die Betriebskosten wiederum waren beeinflusst durch die Gesamtbedarfsmenge an Druckluft sowie die aus der Erzeugung resultierenden Stromkosten. Auf Grundlage der an der Druckluftanlage ermittelten Energieverbräuche sowie der dokumentierten Abgabemenge des Kompressors konnte der Strombedarf je Normkubikmeter Luft abgeschätzt werden. Im vorliegenden Fall wurde so ein Bedarf in Höhe von 0,2 Kilowattstunden je Normkubikmeter [kWh/Nm³] ermittelt. Aus dem Strombedarf je Normkubikmeter sowie dem Strompreis der jeweiligen Betrachtungsperiode konnten die Stromkosten je Normkubikmeter erzeugter Druckluft abgeleitet werden.

Der Gesamtbedarf an erzeugter Druckluft wurde auf einen Produktivbedarf sowie einen Stillstandbedarf heruntergebrochen. Während der Produktivbedarf zu Zeiten der Produktion anfällt, resultiert der Stillstandbedarf vor allem aus dem Verlust durch Leckagen während Produktionsstillstand. Zur Ermittlung der für den Stillstandbedarf maßgeblich verantwortlichen Leckagen, wurde die Leckagerate abgeschätzt. Als Hilfestellung zur Abschätzung der Leckagerate wurden während eines produktionsfreien Zeitraums die erzeugte Luftmenge sowie der hierzu benötigte Strombedarf dokumentiert. Hierbei wurde eine Leckagerate in Höhe von ca. 25% des Produktivbedarfs ermittelt.

Die Abschätzung des Produktivbedarfs erfolgte durch die Berechnung des Mittelwerts der dokumentierten Luftliefermengen des Druckluftsystems. Zu beachten war hierbei, dass der Produktivbedarf ebenfalls einen Leckagebedarf beinhaltet. Auf Basis der erfassten Parameter wurde das System-Dynamics-Modell zur Bewertung der jährlichen Druckluftkosten aufgebaut. Bei der Erfassung der jährlichen Druckluftkosten wurde ergänzend von einem Anstieg des Strompreises ausgegangen. Die nachfolgende Abbildung zeigt das System-Dynamics-Modell zur Berechnung der Druckluftkosten.

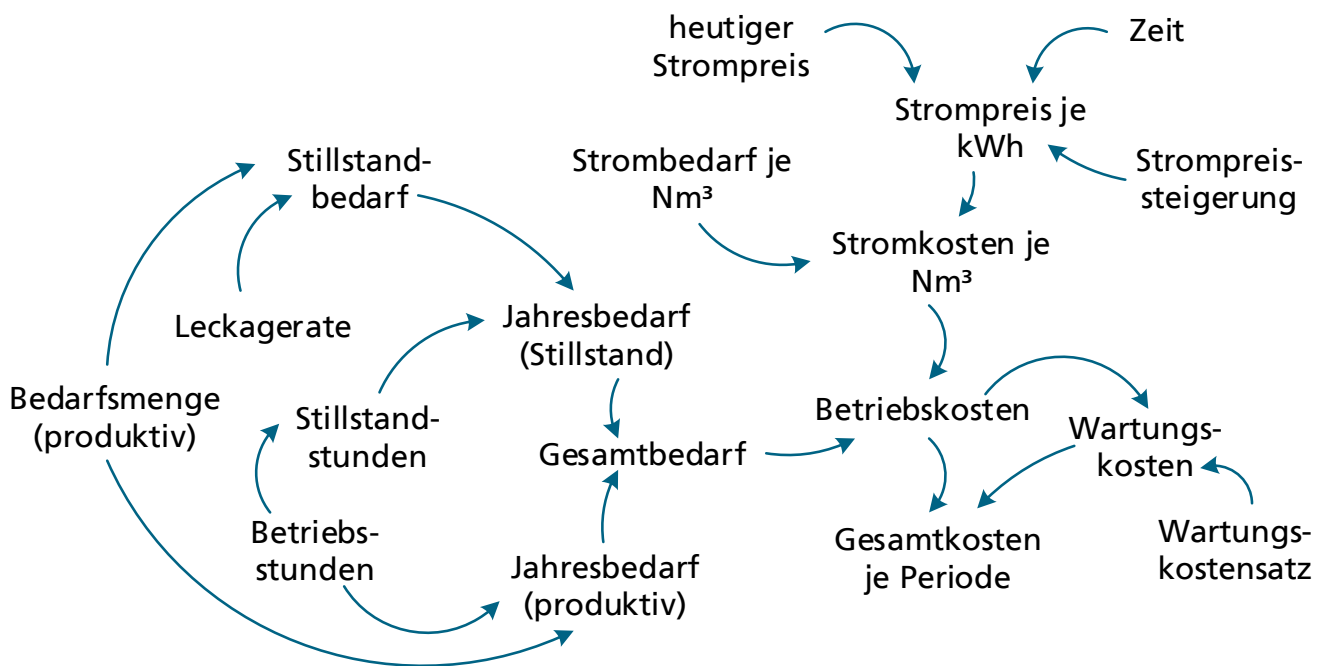


Abbildung 7-1: SD-Modell der Druckluftkosten

Das aufgestellte Modell konnte im nächsten Schritt dazu verwendet werden, die Druckluftkosten des neuen Druckluftsystems abzuschätzen. Hierzu mussten Annahmen bezüglich des künftigen Druckluftsystems getroffen werden. Zunächst wurde davon ausgegangen, dass das Druckniveau des neuen Systems unverändert gegenüber dem alten System bleibt und somit vernachlässigbar ist, da das Druckluftniveau bereits im Vorfeld hinsichtlich der prozesstechnischen Anforderungen der Produktionsanlagen sowie eines möglichst niedrigen Energieverbrauchs optimiert wurde. Auf Basis von Herstellerangaben wurde der Strombedarf des künftigen Druckluftsystems von heute 0,2 kWh/Nm³ auf einen Wert von 0,15 kWh/Nm³ reduziert. Ebenfalls wurde der Wartungskostensatz des Druckluftsystems von 15% auf 7% der Betriebskosten reduziert, da davon ausgegangen

wurde, dass die Neuanlage weniger wartungsintensiv sein wird als die Altanlage. Durch die Erneuerung des Druckluftsystems könnte nach Einschätzung des Projektteams die Leckagerate von 25% auf 4% reduziert werden. Weiterhin wurde bei der Bewertung der künftigen Kosten von einer jährlichen Strompreissteigerung in Höhe von 2% ausgegangen. Die sonstigen Parameter wurden für den Vergleich zwischen Alt- und Neuanlage nicht verändert und wie folgt festgelegt:

- Bedarfsmenge produktiv: 400 Nm³/Std.
- Betriebsstunden pro Jahr: 4.000 Std.
- Strompreis heute: 0,18 GE/kWh

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Modell zur Bewertung der Druckluftkosten mit den Eingangsparametern für das alte und neue Druckluftsystem.

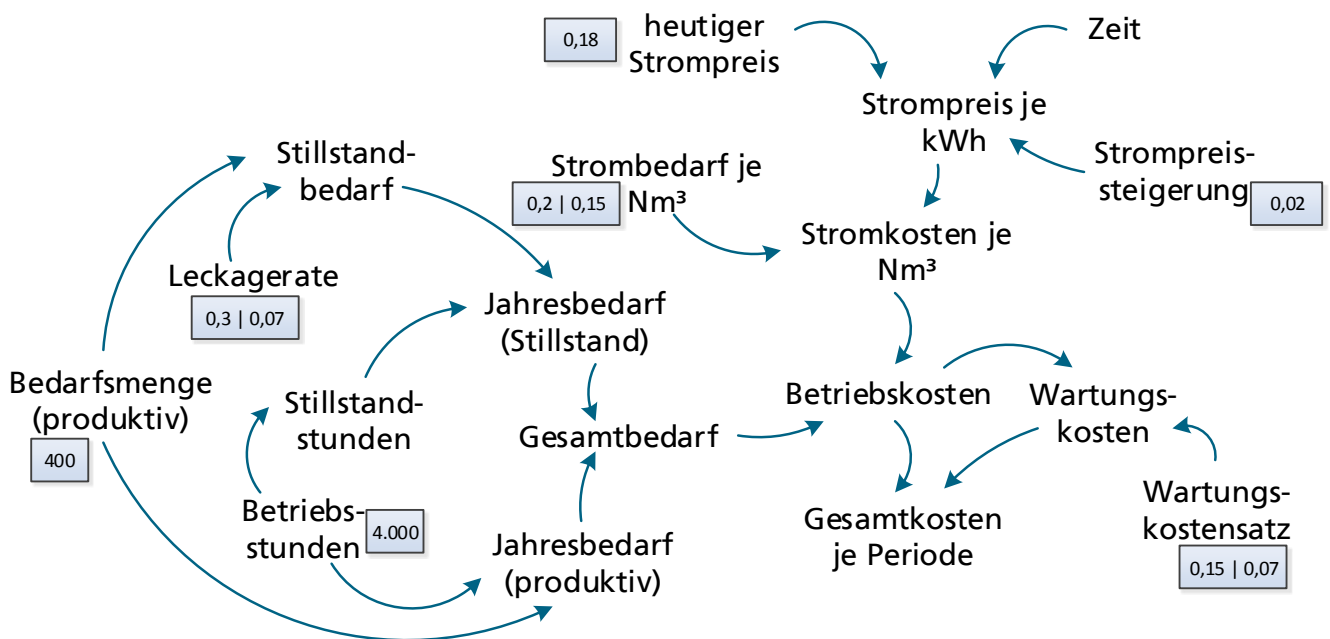


Abbildung 7-2: SD-Modell der Druckluftkosten für Alt- und Neuanlage

Im Modell berechnen sich die Gesamtkosten je Periode als Summe der Betriebskosten und der Wartungskosten. Die Betriebskosten der Periode errechnen sich als Produkt aus dem Gesamtbedarf an Druckluft multipliziert mit den Stromkosten je Nm³. Diese wiederum bilden das Produkt aus dem Strombedarf je Nm³ und dem Strompreis je kWh. Der Strompreis je kWh [$P_{E,t}$] berechnet sich für die jeweilige Periode aus dem heutigen Strompreis [$P_{E,0}$] sowie der Strompreissteigerung [$p_{E,t}$] als:

$$P_{El} = P_{El,0} * (1 + p_{El})^t \quad (7.1)$$

Die Wartungskosten bilden das Produkt aus dem Wartungskostensatz multipliziert mit den Betriebsstunden. Der Gesamtbedarf an Druckluft berechnet sich als Summe aus dem Jahresbedarf produktiv und dem Jahresbedarf für Stillstand. Der Jahresbedarf produktiv wiederum bildet das Produkt aus der Bedarfsmenge produktiv je Stunde und den Betriebsstunden. Die Stillstandstunden bilden die Differenz aus den Jahresstunden (365 * 24) abzüglich der Betriebsstunden. Der Jahresbedarf für Stillstand ergibt sich aus dem Produkt von Stillstandstunden und Stillstandbedarf. Der Stillstandbedarf berechnet sich letztlich aus dem Faktor der Leckagerate multipliziert mit der Bedarfsmenge.

Um die Einsparungen einer zusätzlichen Wärmerückgewinnung abschätzen zu können, wurde das Modell im nächsten Schritt erweitert. Hierbei wurde davon ausgegangen, dass durch die Rückgewinnung ein Teil der Heiz- bzw. Prozesswärme die bisher durch Öl erzeugt wurde, künftig eingespart werden kann. Hierzu wurde zunächst die jährliche Ölersparnis berechnet. Die nutzbare Wärmemenge wird vor allem beeinflusst durch die Nennleistung des Kompressors sowie den Rückgewinnungsanteil der Wärmerückgewinnung. Diese Wärmemenge steht während der Betriebszeit zur Verfügung. Die jährliche Ölersparnis stellt das Äquivalent des Ölbedarfs je Kilowattstunde elektrischer Energie dar. Die Kostenersparnis wiederum ist neben der eingesparten Ölmenge abhängig vom Ölpreis. Die nachfolgende Abbildung zeigt das um die Wärmerückgewinnung erweiterte System-Dynamics-Modell zur Bewertung der Druckluftkosten.

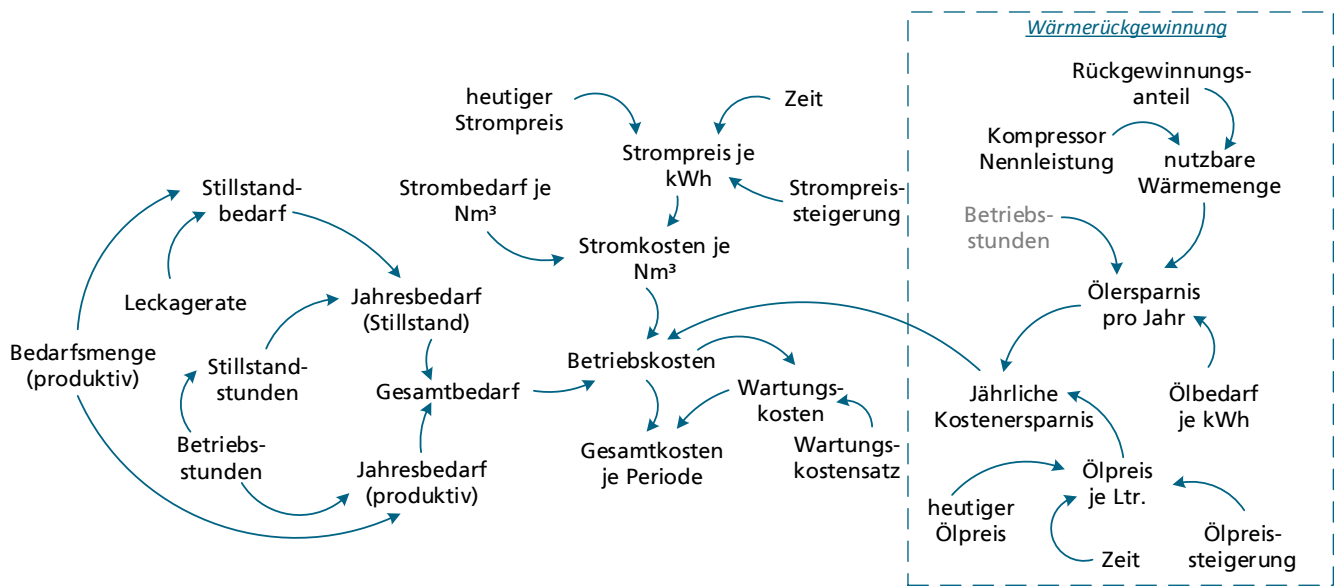


Abbildung 7-3: SD-Modell der Druckluftkosten mit Wärmerückgewinnung

Der Ölpreis $[P_{\text{Öl}}]$ der aktuellen Periode berechnet sich ähnlich wie bereits der Strompreis zuvor aus dem heutigen Ölpreis $[P_{\text{Öl},0}]$ und der Ölpreissteigerung $[p_{\text{Öl}}]$ als:

$$P_{\text{Öl}} = P_{\text{Öl},0} * (1 + p_{\text{Öl}})^t \quad (7.2)$$

Die jährliche Kostenersparnis ergibt sich aus der Ölersparnis pro Jahr multipliziert mit dem Ölpreis. Die jährliche Ölersparnis wiederum stellt das Produkt aus dem Ölbedarf in Litern je kWh, den Betriebsstunden pro Jahr und der nutzbaren Wärmemenge dar. Die nutzbare Wärmemenge bildet das Produkt aus dem Rückgewinnungsanteil sowie der Nennleistung des Kompressors. Im Gesamtmodell reduziert die jährliche Kostenersparnis die Betriebskosten der Betrachtungsperiode. Ferner wurde davon ausgegangen, dass sich nach zwei Jahren entscheidet, ob der neue Produktionsprozess mit erhöhtem Wärmebedarf eingesetzt werden wird und somit der Einbau der Wärmerückgewinnung relevant wird.

Insgesamt ließen sich durch die Modelle die Druckluftkosten für den Betrachtungszeitraum ermitteln und hieraus die Einsparungen durch die Neuanlage sowie die zusätzlichen Einsparungen durch die Wärmerückgewinnung ermitteln. Die nachfolgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Berechnung für den Betrachtungszeitraum von sechs Jahren zusammen.

Tabelle 7-1: Druckluftkosten und Kostenersparnis der Investition

Druckluftkosten							
Jahr	0	1	2	3	4	5	6
Druckluftkosten alt	85.950	87.670	89.420	91.210	93.030	94.890	96.790
Druckluftkosten neu	48.420	49.390	30.190	30.800	31.410	32.040	32.680
Ersparnis durch Neuanlage (Cashflows der Grundinvestition)	37.530	38.280	59.230	60.410	61.620	62.850	64.110
Ersparnis durch Wärmerückgewinnung (Cashflows der Folgeinvestition)			26.920	27.450	28.000	28.570	29.140

Nachdem die durch das neue Druckluftsystem sowie die zusätzliche Wärmerückgewinnung erzielbaren Einsparungen berechnet wurden, konnte im nächsten Schritt die Investition auf Basis des Modells bewertet werden. Hierzu wurden die weiteren Inputparameter abgeschätzt und in das System eingelesen. Der Anschaffungspreis des neuen Druckluftsystems wurde mit 380.000 GE abgeschätzt. Die Kosten für die Erweiterung der Wärmerückgewinnung wurden auf 120.000 GE kalkuliert. Die Einsparung durch die Wärmerückgewinnung ist stark abhängig von der künftig benötigten Prozesswärme sowie der erwarteten Entwicklung des Ölpreises. Unsicherheitsfaktoren hierbei sind der für die Nutzung rückgewinnbare Anteil an Abwärme sowie die künftige Preissteigerung des Ersatzmediums Heizöl. Zur Bewertung der Volatilität wurden neben dem als wahrscheinlich einzustufenden Szenario mit einem Rückgewinnungsanteil von 70% und einer jährlichen Preissteigerung für Heizöl in Höhe von 2% zwei weitere Szenarien gebildet. In einem optimistischen Szenario wurde von einem Rückgewinnungsanteil von 85% und einer Preissteigerung von 4% ausgegangen, in dem pessimistischen Szenario von einem Rückgewinnungsanteil von 38% und einer negativen Preissteigerung von -1%. Die Eintrittswahrscheinlichkeit wurde für beide Szenarien auf 50% festgelegt. Nachfolgende Abbildung zeigt die Rückflüsse entsprechend der drei Szenarien.

Tabelle 7-2: Szenarien zur Kostenersparnis durch Wärmerückgewinnung

Druckluftkosten								
Jahr	0	1	2	3	4	5	6	Summe
Ersparnis durch Wärmerückgewinnung optimistisch			33.980	35.340	36.750	38.220	39.750	184.040
Ersparnis durch Wärmerückgewinnung wahrscheinlich			26.920	27.450	28.000	28.570	29.140	140.080
Ersparnis durch Wärmerückgewinnung pessimistisch			13.770	13.630	13.490	13.360	13.220	67.470

Aus den drei Szenarien sowie den Investitionskosten für die Wärmerückgewinnung lässt sich eine Volatilität der Rückflüsse in Höhe von 50% festlegen. Die Optionslaufzeit entspricht der abgeschätzten Zeitspanne von zwei Jahren bis zu der Entscheidung, ob der neue Produktionsprozess mit zusätzlichem Wärmebedarf eingeführt werden soll. Die nachfolgende Abbildung zeigt die System-Dynamics-Modelle zur Berechnung der Kapitalwerte der Grund- und Folgeinvestition, des Optionswerts sowie der Wertentwicklung von Options- und Investitionswert mit den entsprechenden Eingabeparametern.

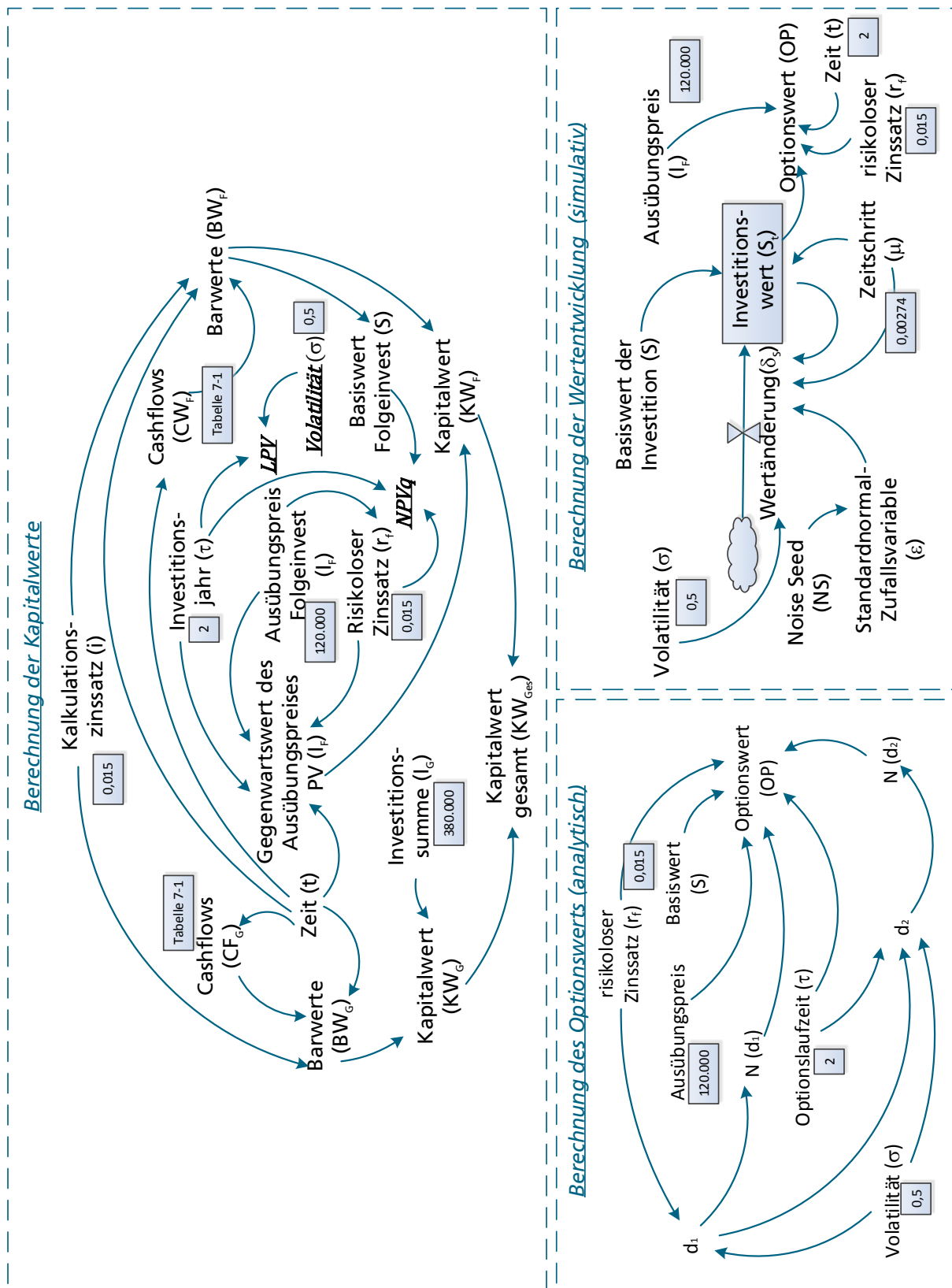


Abbildung 7-4: SD-Modelle zur Berechnung des Validierungsbeispiels

7.3 Analyse und Ergebnisbewertung des Validierungsbeispiels

Mithilfe des Bewertungsmodells ließen sich die Kapitalwerte der Grund- und Folgeinvestition, der Optionswert der Folgeinvestition und der hieraus resultierende erweiterte Kapitalwert der Gesamtinvestition ableiten sowie mögliche Wertentwicklungen der Folgeinvestition während der Optionslaufzeit abschätzen.

Die Auswertung zeigt, dass die Berechnung der konventionellen Kapitalwerte zu einem geringfügig positiven Kapitalwert in Höhe von ca. 990 GE führen würde. Hierbei würde die Grundinvestition im betrachteten Zeitraum von sechs Jahren zu einem negativen Kapitalwert in Höhe von ca. -14.460 GE führen. Der konventionelle Kapitalwert der Folgeinvestition läge bei 15.450 GE. Insgesamt würde die konventionelle Berechnung der Kapitalwerte somit kaum zu einer Befürwortung des Projektes führen. Wird statt des konventionellen Kapitalwerts der erweiterte Kapitalwert auf Basis der Optionstheorie für die Bewertung verwendet, verändert sich die Gesamtbewertung. Der erweiterte Kapitalwert ergibt sich, wie bereits dargestellt, aus der Summe des Kapitalwerts der Grundinvestition sowie des Optionswerts der Folgeinvestition. Die Berechnung des Optionswerts der Folgeinvestition ergibt einen Wert in Höhe von 42.570 GE. Hieraus resultiert ein positiver, erweiterter Kapitalwert in Höhe von ca. 28.105 GE. Abbildung 7-5 visualisiert den Unterschied zwischen dem Ergebnis des konventionellen und des erweiterten Kapitalwerts.

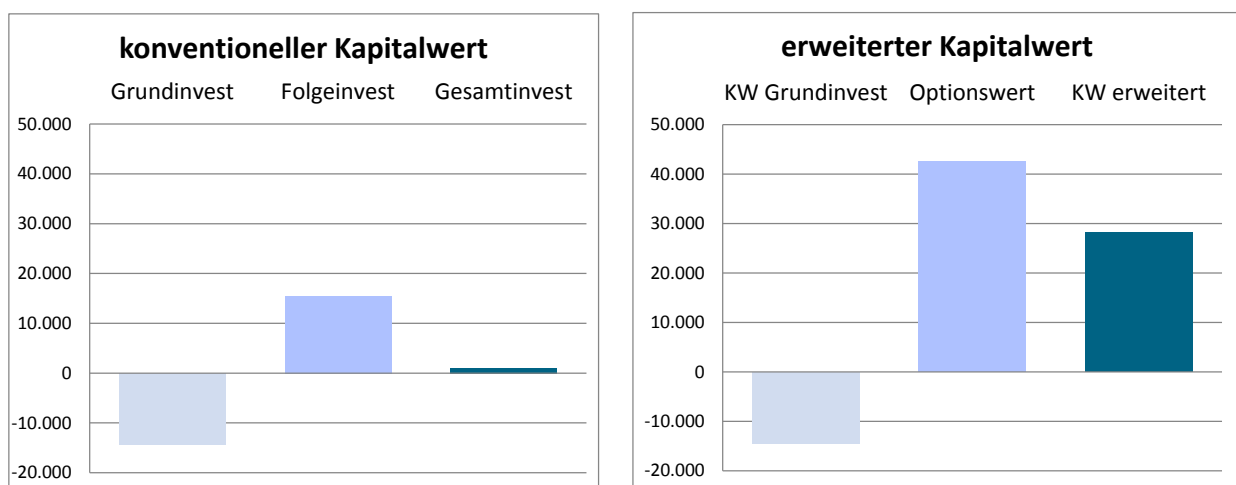


Abbildung 7-5: Konventioneller und erweiterter Kapitalwert im Validierungsbeispiel

Die Modellergebnisse lassen sich wie erläutert auch für den Aufbau eines Bewertungsportfolios verwenden. Hierzu wird die Folgeinvestition anhand ihres Wert-Kosten-Verhältnisses sowie ihres

Risiko-Zeit-Faktors in das Bewertungsportfolio eingegliedert. Im Rahmen der Validierung ergab sich ein Wert-Kosten-Verhältnis in Höhe von 1,133 und ein Risiko-Zeit-Faktor in Höhe von 0,707. Die Kombination dieser beiden Werte führte zur Einordnung der Folgeinvestition in Bewertungsfeld „vermutlich später investieren“.

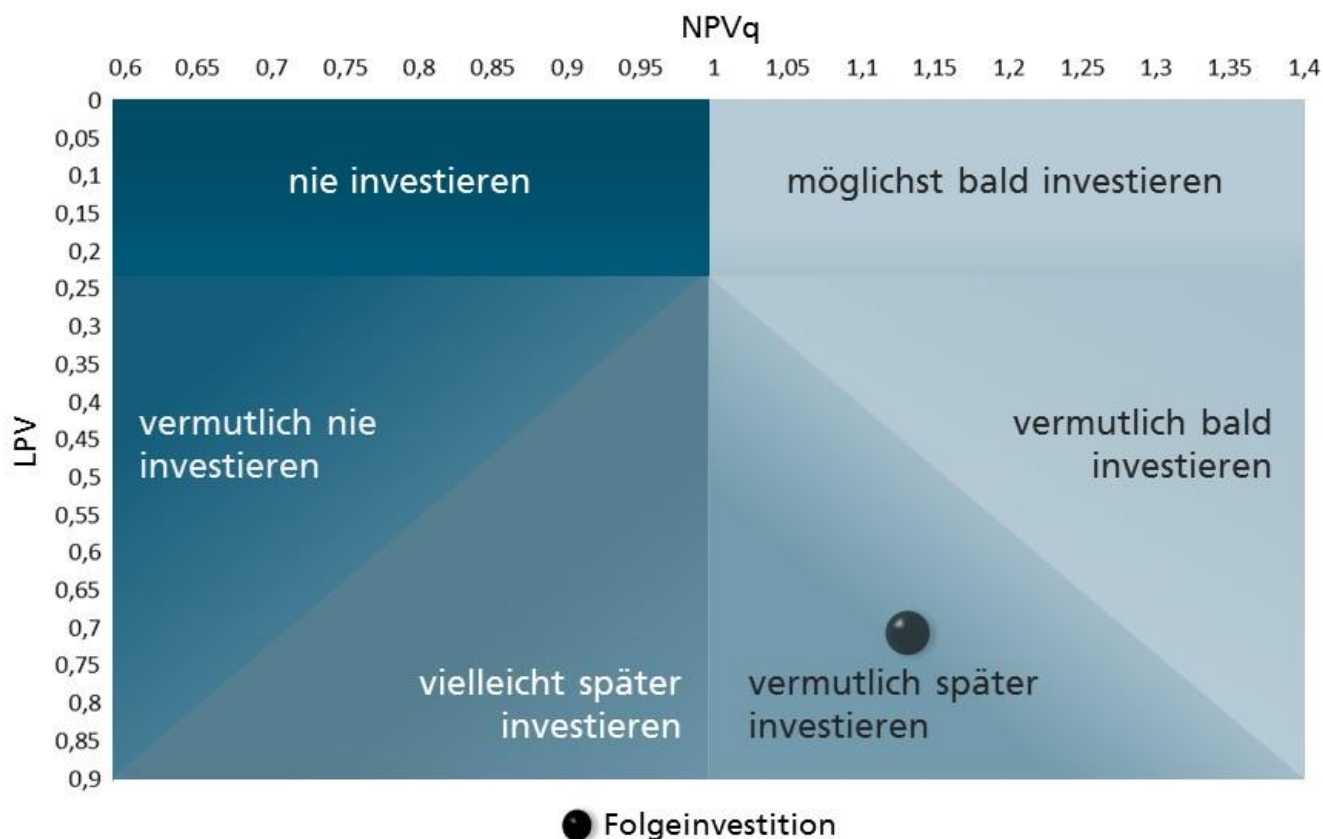


Abbildung 7-6: Optionswert-Portfolio des Validierungsbeispiels

Letztlich lässt sich die potenzielle Wertentwicklung des Folgeprojektes abschätzen. Ausgehend vom heutigen Wert der Folgeinvestition folgt die mögliche Entwicklung über die Optionslaufzeit einem stochastischen Entwicklungsprozess. Ausgangspunkt der Entwicklung stellt die Summe der Barwerte des Folgeprojekts dar. Diese entsprechen einem Wert in Höhe von ca. 132.000 GE. Die nachfolgende Abbildung zeigt das Simulationsergebnis für das bewertete Projekt mit den Bereichen in denen 50, 75 bzw. 95 Prozent der simulierten Werte lagen.

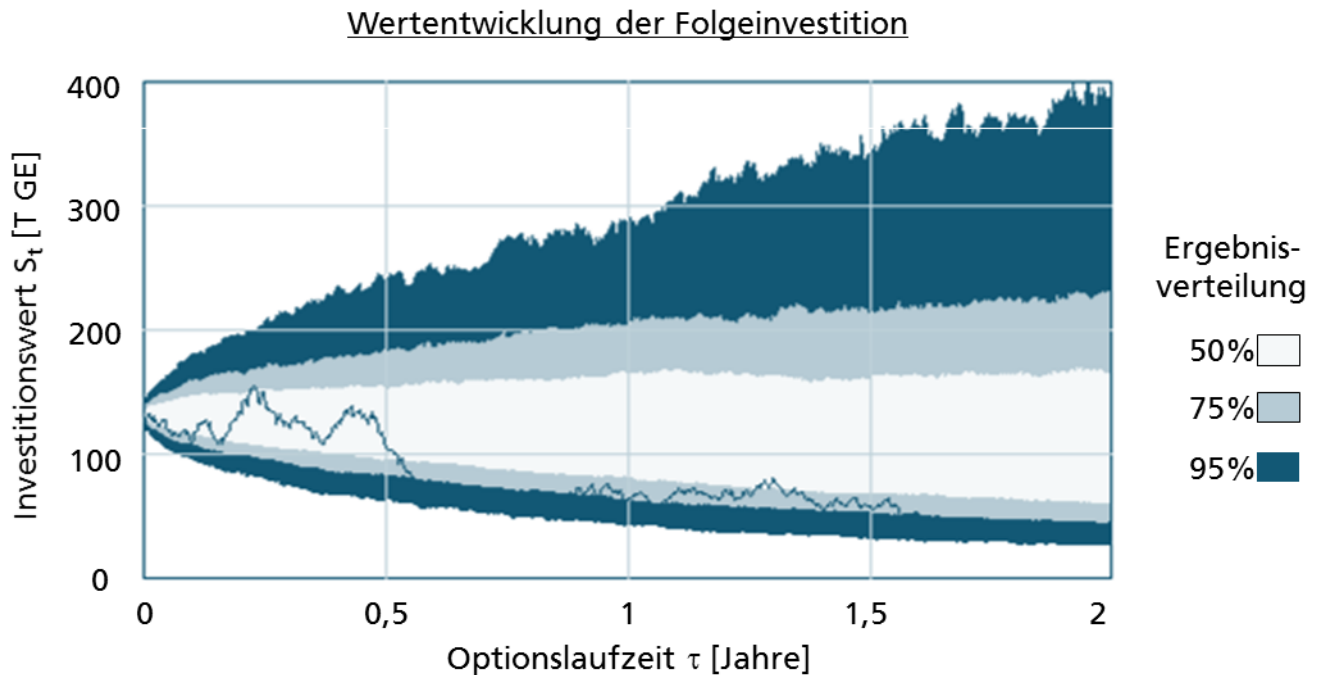


Abbildung 7-7: Wertentwicklung des Folgeprojekts im Validierungsbeispiel

Insgesamt führt die Bewertung des Investitionsvorhabens mit der entwickelten Methode zur Einschätzung, dass das Projekt durchgeführt werden sollte, obwohl der konventionelle Kapitalwert im betrachteten Bewertungszeitraum nur geringfügig positiv war und somit vermutlich zur Ablehnung des Vorhabens geführt hätte.

7.4 Reflexion des Bewertungsmodells und der Methode

Das Modell zur Bewertung von Investitionen zur Steigerung der Ökoeffektivität innerbetrieblicher Wertschöpfungsketten wurde nach den Gestaltungsregeln heuristischer Modellierung aufgebaut. Die Untergliederung der komplexen Bewertungssituation in kleinere Teilbereiche macht die Bewertung nachvollziehbar und hilft, die Akzeptanz des Modells zu steigern. Die Aufspaltung der Investition in eine Grund- und eine Folgeinvestition sowie die Bildung von System-Dynamics-Modellen in Form des generischen Grundmodells einerseits sowie den anwendungsspezifischen Submodellen andererseits macht das Bewertungsproblem transparent und schrittweise bewertbar. Die System-Dynamics-Methode hilft, die komplexen Wirkbeziehungen zwischen den Umwelteinflüssen und den Bewertungsparametern des Modells realitätsnah abzubilden.

Der methodische Ansatz unterstützt das Denken in Optionen. Während die Handlungsflexibilität bei Investitionsentscheidungen auf Grundlage konventioneller Bewertungsmethoden wie beispielsweise der Kapitalwertmethode bestenfalls implizit durch den Entscheider bei den Entscheidungsfindung mitberücksichtigt wird, stellen die Optionen im vorliegenden Modell einen expliziten Bestandteil der Bewertung dar. Hierdurch wird die systematische Berücksichtigung von Handlungsalternativen während des Investitionsverlaufs unterstützt. So bietet bereits die rein qualitative Berücksichtigung von Optionen im Bewertungsmodell einen deutlichen Mehrwert.

Die durch das Modell ermöglichte quantitative Bewertung der Investition unterstützt die Entscheidungsfindung. Wie auch bei der Kapitalwertmethode wird dem Gesamtprojekt ein monetärer Wert zugewiesen. Ergänzend zur Kapitalwertmethode sind darüber hinaus auf Grundlage des vorliegenden Modells auch weitere für die Entscheidung relevante Bewertungsgrößen abgebildet. Zum einen wird der Wert des Gesamtprojektes explizit aufgeteilt in den Wert der Grundinvestition und denjenigen der Folgeinvestition. Hierdurch wird der Mehrwert der Flexibilität in Form einer Realloption greifbar. Die Eingliederung des Projekts in das entwickelte Bewertungsportfolio führt den Gesamtwert der Investition auf die Teilaspekte des Aufwand-Nutzen-Verhältnisses einerseits sowie des Risiko-Zeit-Faktors andererseits zurück. Hierbei werden die Einflüsse künftiger unsicherer Entwicklungsmöglichkeiten in Abhängigkeit der für eine Entscheidung zur Verfügung stehenden Zeit bewertbar. Andererseits zeigt sich vor allem bei der quantitativen Bewertung der Teilkomponenten des Modells, dass sich die Erhebung der für die Bewertung benötigten Daten in der Praxis aufwändig gestalten kann und vor allem Faktoren der Unsicherheit lediglich grob abgeschätzt werden können. Vor allem die Abschätzung der Volatilität gestaltet sich in der praktischen Anwendung des Modells schwierig, da eine Vielzahl von Annahmen zugrunde gelegt werden müssen. Aus dem genannten Grund ist es empfehlenswert, wie dargestellt verschiedene Entwicklungsszenarien abzubilden und in die Investitionsentscheidung einfließen zu lassen. Das erarbeitete Modell schafft die notwendigen Voraussetzungen zur systematischen Abbildung dieser Szenarien und ermöglicht somit den Vergleich von Alternativen.

Die Vorgehensweise zur Anwendung des Modells hilft beim Einsatz in der industriellen Praxis. Sie beschreibt einen strukturierten Weg zur Bewertung der Gesamtinvestition und sichert die Nachvollziehbarkeit der einzelnen Bewertungsschritte. Die durch das zweite Teilmodell abgebildete Berechnung des konventionellen Kapitalwerts ermöglicht darüber hinaus den direkten Vergleich zwischen

der in der Praxis überwiegend verwendeten Bewertung auf Basis der Kapitalwertmethode sowie dem erweiterten Kapitalwert auf Grundlage des Realloptionsansatzes. Dies steigert die Glaubwürdigkeit der Modellergebnisse und unterstützt die Akzeptanz des Modells durch den Anwender. Die softwaretechnische Realisierung der Bewertungsmethode hilft Unternehmen Investitionsvorhaben systematisch zu bewerten und Handlungsempfehlungen abzuleiten. Die Verwendung von System Dynamics hilft die teilweise komplexen Wechselwirkungen zwischen den Bewertungsparametern abzubilden. Dennoch eignet sich die Anwendung der Methode vor allem für Großinvestitionen, da vor allem bei diesen der erhöhte Aufwand für die Datenbeschaffung gerechtfertigt erscheint.

Zusammenfassend ist das Modell zur Bewertung von Investitionen zur Steigerung der Ökoeffektivität innerbetrieblicher Wertschöpfungsketten aus den genannten Gründen geeignet, die ganzheitliche Bewertung von Investitionsmaßnahmen unter Berücksichtigung externer Umwelteinflüsse sowie flexibler Handlungsmöglichkeiten in Form von Realloptionen zu unterstützen, weist jedoch Schwächen in einer aufwändigen Datenbeschaffung sowie der teilweise subjektiven Ergebnisinterpretation auf.

8 Zusammenfassung und Ausblick

8.1 Zusammenfassung

Nachhaltiges Wirtschaften wird immer mehr zu einem Produktionsparadigma, aus dem sich für produzierende Unternehmen neue Chancen und Risiken ergeben. Die konsequente Ausrichtung auf nachhaltiges Wirtschaften im Sinne eines ökoeffektiven Handelns ist verbunden mit strategischen Investitionsentscheidungen. Derartige Entscheidungen bedürfen einer strukturierten und ganzheitlichen Bewertung der mit der Investition verbundenen Handlungsmöglichkeiten und Risiken. Die in der Praxis überwiegend verwendeten konventionellen Bewertungsverfahren auf Grundlage von Kapitalwerten führen teilweise zu unrealistischen Investitionsbewertungen und unwirtschaftlichen Investitionsentscheidungen, da Aspekte der Unsicherheit und Flexibilität im zeitlichen Ablauf des Investitionsprozesses nicht hinreichend abgebildet werden. Dies liegt nicht zuletzt an den komplexen Wechselwirkungen der für die Investition relevanten Einflussparameter.

Die Arbeit beschreibt ein Modell zur Bewertung strategischer Investitionsentscheidungen zur Steigerung der Ökoeffektivität innerbetrieblicher Wertschöpfungsketten. Das Modell basiert auf Ansätzen der Realoptionstheorie und kombiniert diese mit der Modellierungsmethode des System Dynamics. Das Modell ermöglicht die Unterteilung der Investition in eine Grundinvestition sowie in hierzu in Bezug stehende Optionen in Form einer Folgeinvestition. Es unterstützt dabei, Investitionsvorhaben strukturiert zu beschreiben und die für die Bewertung relevanten Parameter herzuleiten. Die Abbildung der Investition in System Dynamics macht die komplexen Wirkbeziehungen zwischen externen Umwelteinflüssen und den für die Investition relevanten Bewertungsparametern sichtbar. Das Modell ist untergliedert in ein generisches Bewertungsmodell sowie anwendungsspezifische Submodelle. Das generische Bewertungsmodell gibt den Rahmen für eine optionspreisbasierte Investitionsbewertung vor. Ergänzend ermöglichen die Submodelle die Nutzung des Modells im Anwendungszusammenhang der Ökoeffizienz.

Das Modell ermöglicht die Bewertung der Investition mittels erweiterter Kapitalwert. Ergänzend zum konventionellen Kapitalwert weist dieser der Flexibilität zur Wahrnehmung oder Unterlassung

von Optionen einen Wert zu. Die Simulation der Wertentwicklung ermöglicht die Bewertung der Gesamtinvestition unter Unsicherheit. Ergänzt wird das Modell um eine methodische Vorgehensweise zur Modellanwendung. Sie stellt mit ihren drei Schritten einen Handlungsleitfaden zur Anwendung in der industriellen Praxis dar. Die Situationsbeschreibung unterstützt die Charakterisierung des Investitionsvorhabens sowie die Ableitung von Realoptionen und Umwelteinflüssen. Die Modellbildung stellt im zweiten Schritt den Kernbereich des Vorgehens dar, in dem das Bewertungsmodell aufgebaut, die bewertungsrelevanten Parameter initiiert und die Zielgrößen des Modells berechnet werden. Im letzten Schritt erfolgen die Analyse und Ergebnisinterpretation, welche die Abbildung von Entwicklungsszenarien ermöglicht und die Basis für die Investitionsentscheidung darstellt.

8.2 *Ausblick und weiterer Forschungsbedarf*

Die Abbildung komplexer Wirkbeziehungen im Rahmen des Bewertungsmodells sowie die teilweise mathematisch anspruchsvollen Berechnungen zur Bewertung und Simulation der Optionswerte, machen für die Modellierung eine softwareseitige Unterstützung notwendig. Die Modellierung fand im Rahmen der Arbeit in der System-Dynamics-Software Vensim statt. Vensim bietet vielseitige Möglichkeiten bei der Modellbildung auf Basis des System Dynamics. Die Gestaltung der Modelle in Vensim bietet jedoch keinen Rahmen, den Modell Anwender strukturiert durch die jeweiligen Bewertungsschritte im Sinne der beschriebenen Vorgehensweise zu führen. Darüber hinaus werden Teile der Daten in Microsoft Excel eingegeben und visualisiert. Dies erschwert die strukturierte Anwendung des Bewertungsmodells. Die bereits im Rahmen des Forschungsvorhabens EcolInvest begonnene Realisierung der in Vensim umgesetzten Modelle in einem spezifischen Bewertungstool, wird die Durchgängigkeit der Bewertungsschritte verbessern. Das Bewertungstool wird den Anwender durch die einzelnen Bewertungsschritte führen und eine klare Struktur für die Modellbildung, Dateneingabe sowie Ergebnisinterpretation vorgeben. Dies wird die Erkenntnisse der Arbeit einem breiten Anwenderkreis zugänglich machen und Unternehmen branchenübergreifend einen Mehrwert in der Bewertung strategischer Investitionsprojekte im beschriebenen Anwendungszusammenhang bieten.

Die kritische Bewertung des Modells zeigt, dass vor allem das Abschätzen der Bewertungsparameter aus dem Anwendungszusammenhang teilweise mit hohem Aufwand zur Datenerhebung verbunden ist. Die Submodelle sowie die Checkliste zur Identifikation der anwendungsspezifischen Umwelteinflüsse bieten hierbei einen Rahmen für die Ableitung der entsprechenden Bewertungsparameter vor. Es empfiehlt sich, die Parameter für spezifische Anwendungsfelder weiter vorzustrukturieren, um die Übertragbarkeit für ähnliche Investitionsprojekte auf einen breiten Anwenderkreis zu unterstützen. Hier bietet sich beispielsweise die Entwicklung von Technologiesteckbriefen an, welche typische Parameter für bestimmte Anwendungssituationen klassifizieren. Vor allem die Bewertung der Volatilität der Investitionsvorhaben gestaltet sich schwierig. Hier könnte eine breite Anwendung der Methode in ähnlich gestalteten Investitionsvorhaben Erfahrungswissen generieren und würde einen deutlichen Mehrwert in der Projektbewertung leisten.

Letztlich bietet das beschriebene Modell konkrete Anknüpfungspunkte zur Übertragung der Erkenntnisse auf andere Anwendungszusammenhänge. Das generische Bewertungsmodell bietet hierfür eine erfolgversprechende Grundlage. Als geeignete Anwendungszusammenhänge kommen dabei generell Investitionsvorhaben mit strategischer Bedeutung und einem hohen Maß an Unsicherheit und Flexibilität in Frage.

9 Literaturverzeichnis

- Adelmeyer et al. 2005** Adelmeyer, Moritz & Warmuth, Elke. 2005.
Finanzmathematik für Einsteiger: Von Anleihen über Aktien zu Optionen.
2 Aufl.
Wiesbaden : Vieweg + Teubner.
Studium.
ISBN 3528131853
- Albers 1981** Albers, Willi. 1981.
Handwörterbuch der Wirtschaftswissenschaft: (HdWW) : zugleich Neuauflage des Handwörterbuchs der Sozialwissenschaften.
Stuttgart [u.a.] : Fischer [u.a.].
ISBN 3525102593
- Ates 2011** Ates, Aynur. 2011.
Der Handel mit Emissionszertifikaten.
Lohmar : Eul.
ISBN 9783844101034
- Banse et al. 2001** Banse, Gerhard & Müller, Hans-Peter. 2001.
Johann Beckmann und die Folgen: Erfindungen, Versuch der historischen, theoretischen und empirischen Annäherung an einen vielschichtigen Begriff.
Münster : Waxmann.
ISBN 978-3-8309-1091-6
- Baron et al. 2005** Baron, Ralf, Alberti, Klaus, Gerber, Jochen, Jochem, E. & Bradke, H. 2005.
Studie zur Konzeption eines Programms für die Steigerung der Materialeffizienz in mittelständischen Unternehmen: Abschlussbericht.
Wiesbaden : Little
- Bathe et al. 2002** Bathe, Joachim, Kramer, Matthias & Müller, David. 2002.
Die Berücksichtigung von zwei unsicheren Bewertungsparametern mit dem Realloptionsansatz im Rahmen des Investitionscontrolling bei der DaimlerChrysler AG.
Controlling **14** (2), S. 93–98.
DOI: 10.15358/0935-0381-2002-2-93
- Bauernhansl 2012a** Bauernhansl, Thomas. 2012.
Cradle to Cradle und was das IPA daraus macht.

- In: Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA (Hrsg.): *Interaktiv*, 2/2012, S. 42–45, zuletzt geprüft am 12. Dezember 2015.
Verfügbar: http://www.ipa.fraunhofer.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Interaktiv/Interaktiv_2.2012.pdf
- Bauernhansl 2012b** Bauernhansl, Thomas. 2012.
Wie der Wandel gelingt - Nachhaltigkeit als Treiber der Markt und Ressourcenstrategie.
In: Gesellschaft für Fertigungstechnik (Hrsg.): *Stuttgarter Impulse - Produktionstechnik für den Wandel FtK 2012 : ...für eine neue Mobilität. ...für neue Märkte*.
Stuttgart : Ges. für Fertigungstechnik, S. 271–294.
ISBN 978-3-925589-59-1
- Bauernhansl et al. 2013** Bauernhansl, Thomas, Mandel, Jörg & Dörr, Marcus. 2013.
Abwärme aus Produktionsprozessen.
In: Neugebauer, Reimund (Hrsg.): *Handbuch Ressourcenorientierte Produktion*.
München : Hanser, S. 316–325.
ISBN 9783446436237
- Becker 2010** Becker, Hans P. 2010.
Investition und Finanzierung: Grundlagen Der Betrieblichen Finanzwirtschaft.
Wiesbaden : Gabler.
ISBN 9783834963055
- Becker et al. 1997** Becker, Jörg & Rosemann, Michael. 1997.
Die Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung - ein Ordnungsrahmen zur Komplexitätsbeherrschung in Prozeßmodellen.
In: *Proceedings zur Tagung 'Workflow-Management in Geschäftsprozessen im Trend 2000'*, Schmalkalden, S. 18–30
- Behringer et al. 2011** Behringer, Stefan & Meyer, Katrin. 2011.
Motivation zu nachhaltigem Handeln in kleinen und mittleren Unternehmen und deren Einfluss auf den langfristigen Unternehmenserfolg.
In: Meyer, Jörn-Axel (Hrsg.): *Nachhaltigkeit in kleinen und mittleren Unternehmen*.
Lohmar : Eul, S. 15–30.
ISBN 9783844100426
- Beier 2009** Beier, Wolfgang. 2009.
Biologisch abbaubare Kunststoffe.
Dessau-Roßlau : Umweltbundesamt.
Verfügbar: <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3834.pdf>

- Bentzen 2004** Bentzen, Jan. 2004.
Estimating the rebound effect in US manufacturing energy consumption.
Energy Economics **26** (1), S. 123–134
- Berndt 2010** Berndt, Ralph. 2010.
Erfolgreiches Management.
Berlin : Springer.
ISBN 9783642136863
- Bickhoff 2000** Bickhoff, Nils. 2000.
Erfolgswirkungen strategischer Umweltmanagementmaßnahmen: Eine theoretische und empirische Untersuchung.
Wiesbaden : Deutscher Universitätsverlag.
Betriebswirtschaftliche Forschung zur Unternehmensführung; 38.
ISBN 9783824490301
- Bieg et al. 2009** Bieg, Hartmut & Kussmaul, Heinz. 2009.
Investition.
2 Aufl.
München : Vahlen
- Black et al. 1973** Black, Fischer & Scholes, Myron. 1973.
The pricing of options and corporate liabilities.
The journal of political economy **81** (3), S. 637–654
- Bleicher 2011** Bleicher, Knut. 2011.
Das Konzept Integriertes Management: Visionen - Missionen - Programme.
Frankfurt am Main : Campus.
ISBN 9783593394404
- Bleis 2012** Bleis, Christian. 2012.
Grundlagen Investition und Finanzierung: Lehr- und Arbeitsbuch.
3 Aufl.
München : Oldenbourg.
ISBN 9783486702576
- Blesl et al. 2013** Blesl, Markus & Kessler, Alois. 2013.
Energieeffizienz in der Industrie.
Berlin : Springer Vieweg.
SpringerLink : Bücher.
ISBN 9783642365133
- BMJ 2012** Bundesministerium der Justiz BMJ. 2012.
Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz - EEG), zuletzt geprüft am 22. April 2013.

Verfügbar: http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/eeg_2009/gesamt.pdf

Bornemann 2014

Bornemann, Basil. 2014.
Policy-integration und Nachhaltigkeit: Integrative Politik in der Nachhaltigkeitsstrategie der deutschen Bundesregierung.
Wiesbaden : Springer.
ISBN 9783658049003

Braungart 2009

Braungart, Michael. 2009.
Die nächste industrielle Revolution: Die Cradle to Cradle-Community.
2 Aufl.
Hamburg : Europäische Verlagsanstalt.
ISBN 9783863930059

Braungart et al. 2009

Braungart, Michael & McDonough, William. 2009.
Cradle to cradle: Remaking the way we make things.
London : Vintage.
ISBN 9780099535478

Braungart et al. 2010

Braungart, Michael, McDonough, William & Sonhüter, Beatrice. 2010.
Mission possible: Cradle-to-cradle design.
New York : Films for the Humanities & Sciences.
ISBN 1617332356

Brennan et al. 2000

Brennan, Michael J. & Trigeorgis, Lenos. 2000.
Project flexibility, agency, and competition: New developments in the theory and application of real options.
New York : Oxford University Press.
ISBN 9780195112696

Büchele et al. 2012

Büchele, Ralph, Henzelmann, Torsten & Wiedemann, Andrea. 2012.
GreenTech made in Germany 3.0: Umwelttechnologie-Atlas für Deutschland.
1. Aufl.
Berlin : Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, zuletzt geprüft am 12. Dezember 2015.
Verfügbar: <http://www.bmub.bund.de/service/publikationen/broschueren-bestellen/>

Bullinger 2012

Bullinger, Hans-Jörg. 2012.
Fokus Technologiemarkt: Technologiepotenziale identifizieren – Marktchancen realisieren.
München : Hanser.
ISBN 9783446433236

- Bullinger et al. 2009** Bullinger, Hans-Jörg, Spath, Dieter, Warnecke, Hans-Jürgen & Westkämper, Engelbert. 2009.
Handbuch Unternehmensorganisation: Strategien, Planung, Umsetzung.
3. Aufl.
Berlin : Springer.
ISBN 978-3-540-87595-6
- Burschel et al. 2004** Burschel, Carlo J., Losen, Dirk & Wiendl, Andreas. 2004.
Betriebswirtschaftslehre der nachhaltigen Unternehmung.
München : Oldenbourg.
ISBN 9783486200331
- Clausius 2000** Clausius, Eike H. J. 2000.
Betriebswirtschaftslehre.
München, Wien : Oldenbourg.
Betriebswirtschaftslehre; 2.
ISBN 3486239236
- Claussen 2012** Claussen, Peter. 2012.
Die Fabrik als soziales System: Wandlungsfähigkeit durch systemische Fabrikplanung und Organisationsentwicklung - ein Beispiel aus der Automobilindustrie.
Wiesbaden : Springer.
ISBN 9783834943774
- Colsman 2016** Colsman, Bernhard. 2016.
Nachhaltigkeitscontrolling.
2. Aufl.
Wiesbaden : Springer.
ISBN 9783658094362
- Cooke** Cooke, David L.
Using System Dynamics Models to Enhance the Visualization of Stochastic Price Processes: *System Dynamics Society (Hg.) 2004 – Proceedings of the 22nd International Conference of the System Dynamics Society*
- Cox et al. 1979** Cox, John C., Ross, Stephen & Rubinstein, Mark. 1979.
Option Pricing: A Simplified Approach.
Journal of Financial Economics **1979** (7), S. 229–263
- Coyle 1977** Coyle, Robert G. 1977.
Management system dynamics.
London : Wiley.
ISBN 0471994510
- Damodaran 2001** Damodaran, Aswath. 2001.
The Dark Side of Valuation: Valuing Old Tech, New Tech and

- New Economy Companies*.
Upper Saddle River : Prentice Hall.
ISBN 9780130406521
- Dangl et al. 1998** Dangl, Thomas & Wirl, Franz. 1998.
Investition bei Unsicherheit als Erklärung für hohe implizite Diskontraten bei Energiesparinvestitionen: Explanation of observed high implicit discount rates of conservation investments using the theory of "investment under uncertainty".
Operations-Research-Spektrum : Zeitschrift der Gesellschaft für Operations Research **20** (4), S. 259–367
- Dena 2012** Agricola, Annegret Cl., Joest, Steffen, Czernie, Marc, Heuke, Reemt, Kalinowska, Dominika & Peters Sebastian. 2012.
Steigerung der Energieeffizienz mit Hilfe von Energieeffizienz-Verpflichtungssystemen.
Berlin : Deutsche Energie-Agentur GmbH dena.
Verfügbar: http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Presse/studien_umfragen/Energieeffizienz-Verpflichtungssysteme/Studie_Energieeffizienz-Verpflichtungssysteme_EnEffVSys.pdf
- Denison 2009** Denison, Christine A. 2009.
Real Options and Escalation of Commitment: A Behavioral Analysis of Capital Investment Decisions.
The Accounting Review **84** (1), S. 133–155.
DOI: 10.2308/accr.2009.84.1.133
- Dixit et al. 1994** Dixit, Avinash K. & Pindyck, Robert S. 1994.
Investment under uncertainty.
Princeton, N.J : Princeton University Press.
ISBN 9780691034102
- Drucker 1996** Drucker, Peter F. 1996.
The effective executive.
New York : HarperBusiness.
ISBN 9780887306129
- Dyllick 1992** Dyllick, Thomas. 1992.
Ökologisch bewusste Unternehmensführung: Bausteine einer Konzeption.
Die Unternehmung : Swiss journal of business research and practice **46** (6), S. 391–413
- EDI Odenwaldkreis 2011** Europe-Direct-Informationszentrum Odenwaldkreis. 2011.
Newsletter des Europe-Direct-Informationszentrums Odenwaldkreis, zuletzt geprüft am 15. Mai 2013.

Verfügbar: <http://www.europa.odenwaldkreis.de/nlarchiv/2011-03.pdf>

- Eichhorn 1979** Eichhorn, Wolfgang. 1979.
Modelle und Theorien in den Wirtschaftswissenschaften.
In: Raffée, Hans & Abel, Bodo (Hrsg.): *Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Wirtschaftswissenschaften*.
München : Vahlen, S. 60–104.
ISBN 9783800607723
- Eilenberger 2003** Eilenberger, Guido. 2003.
Betriebliche Finanzwirtschaft: Einführung in Investition und Finanzierung, Finanzpolitik und Finanzmanagement von Unternehmen.
München : Oldenbourg.
ISBN 9783486255355
- Erhardt et al. 2010** Erhardt, Reiner & Pastewski, Nico. 2010.
Relevanz der Ressourceneffizienz für Unternehmen des produzierenden Gewerbes: Ergebnisse der Datenerhebung über die Relevanz des Themas Ressourceneffizienz im produzierenden Gewerbe Deutschlands.
Stuttgart : Fraunhofer-Verl.
ISBN 978-3-8396-0177-8
- Erkman 2003** Erkman, Suren. 2003.
Perspectives on industrial ecology.
In: Bourq, Dominique & Erkman, Suren (Hrsg.): *Perspectives on industrial ecology*.
Sheffield : Greenleaf, S. 338–342.
ISBN 1874719462
- Erlach 2009** Erlach, Klaus. 2009.
Energiewertstrom: Der Weg zur energieeffizienten Fabrik.
1. Aufl.
Stuttgart : Fraunhofer-Verl.
ISBN 978-3-8396-0010-8
- Erlach 2010** Erlach, Klaus. 2010.
Wertstromdesign: Der Weg zur schlanken Fabrik.
Berlin : Springer.
VDI-Buch.
ISBN 978-3-540-89866-5
- Erlach et al. 2010a** Erlach, Klaus, Kuhlmann, Timm & Weskamp, Markus. 2010.
Kosten runter in drei Monaten: Energiewertstrommethode zeigt Einsparpotenziale im Produktionsprozess auf.
Plastverarbeiter **61** (3), S. 28–30

- Erlach et al. 2010b** Erlach, Klaus & Weskamp, Markus. 2010.
Mit Methode zur Effizienz.
A&D Automation & Drives **2010** (Nr. 1+2), S. 60–63
- Ernst 2011** Ernst, Dietmar. 2011.
Unternehmensbewertungen Erstellen und Verstehen.
München : Vahlen.
ISBN 9783800644674
- Ernst et al. 2000** Ernst, Dietmar & Thümmel, Roderich C. 2000.
Realoptionen zur Strukturierung von M&A-Transaktionen.
Finanzbetrieb - Zeitschrift für Unternehmensfinanzierung und Finanzmanagement **2** (11), S. 665–673
- EU-Parlament 2011** Europäisches Parlament, Rat. 2011.
Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten, zuletzt geprüft am 22. April 2013.
Verfügbar: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:174:0088:0110:DE:PDF>
- Faßbender-Wynands 2001** Faßbender-Wynands, Ellen. 2001.
Umweltorientierte Lebenszyklusrechnung: Instrument zur Unterstützung des Umweltkostenmanagements.
Wiesbaden : Deutscher Universitätsverlag.
ISBN 9783824475179
- Fessmann 1980** Fessmann, Klaus-Dieter. 1980.
Organisatorische Effizienz in Unternehmungen und Unternehmungsteilbereichen.
Düsseldorf
- Fisch 2006** Fisch, Jan Hendrik. 2006.
Internationale Realoptionen: Aufbau von Auslandsgesellschaften bei Unsicherheit und Irreversibilität.
1 Aufl.
Wiesbaden : Gabler.
ISBN 9783834902047
- Fischer 1981** Fischer, Joachim. 1981.
Heuristische Investitionsplanung: Entscheidungshilfen für die Praxis.
Berlin : E. Schmidt.
Grundlagen und Praxis der Betriebswirtschaft; 42 // Bd. 42.
ISBN 9783503019403

- Forrester 1958** Forrester, Jay W. 1958.
Industrial dynamics: A major breakthrough for decision makers.
Harvard Business Review **36** (4), S. 37–66
- Forrester 1972** Forrester, Jay W. 1972.
Grundzüge einer Systemtheorie: Principles of Systems.
Wiesbaden : Betriebswirtschaftlicher Verlag.
ISBN 9783663020950.
Verfügbar: [http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10644908DOI: 10.1007/978-3-663-02094-3](http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10644908DOI:10.1007/978-3-663-02094-3)
- Forrester 1994** Forrester, Jay W. 1994.
System Dynamics, Systems Thinking, and Soft OR.
System Dynamics Review **10** (2), S. 245–256
- Foster 1985** Foster, Richard N. 1985.
Timing Technological Transitions.
Technology In Society (7), S. 127–141
- Franke et al. 2004** Franke, Jürgen, Härdle, Wolfgang & Hafner, Christian. 2004.
Einführung in die Statistik der Finanzmärkte.
2. Auflage.
Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg; Imprint; Springer.
Statistik und ihre Anwendungen.
ISBN 978-3-642-17049-2
- Freeman 1984** Freeman, R. Edward. 1984.
Strategic management: A stakeholder approach.
Boston : Pitman.
ISBN 0273019139
- Frei 1999** Frei, Michael. 1999.
Öko-effiziente Produktentwicklung: Grundlagen - Innovationsprozess - Umsetzung.
Wiesbaden : Gabler.
ISBN 9783409114257
- Friedrich 2014** Friedrich, Andreas. 2014.
Volatilität: Chancen und Risiken bei der Investition.
1., Aufl.
Hamburg : Diplomica Verlag.
ISBN 9783842894853
- Gabler 2013** Gabler. 2013.
Gabler Kompakt-Lexikon Wirtschaft: 4.500 Begriffe nachschlagen, verstehen, anwenden.
11. Auflage.
Wiesbaden : Gabler.
ISBN 9783658000073

- Götze 2008** Götze, Uwe. 2008.
Investitionsrechnung: Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben.
6 Aufl.
Berlin [u.a.] : Springer.
Springer-Lehrbuch.
ISBN 3-540-78872-7
- Götze 2010** Götze, Uwe. 2010.
Kostenrechnung und Kostenmanagement.
5 Aufl.
Berlin [u.a.] : Springer.
ISBN 978-3-642-11823-4
- Gromer 2012** Gromer, Christian. 2012.
Die Bewertung von nachhaltigen Immobilien: Ein kapitalmarkt-theoretischer Ansatz basierend auf dem Realloptionsgedanken.
Wiesbaden : Springer Gabler.
ISBN 978-3-8349-4532-7
- Gruber 2010** Gruber, Petra C. 2010.
Wie wir überleben!: Ernährung und Energie in Zeiten des Klimawandels.
Opladen [u.a.] : Budrich.
ISBN 9783866492967
- Grunwald 2006** Grunwald, Armin. 2006.
Nachhaltigkeit.
Frankfurt am Main : Campus.
Campus Einführungen.
ISBN 3593379783
- Günther 2005** Günther, Edeltraud. 2005.
Öko-Effizienz: Der Versuch einer Konsolidierung der Begriffsvielfalt.
Dresden : Univ. Diss., Fak. Wirtschaftswiss.
Dresdner Beiträge zur Betriebswirtschaftslehre; 103
- Häberle 2008** Häberle, Siegfried G. 2008.
Das neue Lexikon der Betriebswirtschaftslehre: Kompendium und Nachschlagewerk - mit 200 Schwerpunktthemen, 6.000 Stichwörtern, 2.000 Literaturhinweisen sowie 1.300 Internetadressen.
München : De Gruyter Oldenbourg.
ISBN 9783486843682
- Hauf et al. 2010** Hauf, Michael von, Isenmann, Ralf & Müller-Christ, Georg. 2010.

Industrial Ecology Management: Nachhaltige Zukunftsstrategien für Unternehmensverbände.

1., neue Ausg.

Wiesbaden : Betriebswirtschaftlicher Verlag Gabler.

Lehrbuch.

ISBN 9783834923615

Hauff 1987

Hauff, Volker. 1987.

Unsere gemeinsame Zukunft: Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung.

Ungekürzte Ausg.

Greven : Eggenkamp.

ISBN 978-3923166169

Hauff 2012

Hauff, Michael von. 2012.

Nachhaltiges Wachstum.

München : Oldenbourg.

ISBN 3486718983

Hauff et al. 2009

Hauff, Michael von & Kleine, Alexandro. 2009.

Nachhaltige Entwicklung: Grundlagen und Umsetzung.

München : Oldenbourg.

ISBN 3486590715

Haustein et al. 1970

Haustein, Heinz-Dieter & Kempf, Herbert. 1970.

Prognoseverfahren in der sozialistischen Wirtschaft.

Berlin : Verl. Die Wirtschaft

Heinen 1991

Heinen, Edmund. 1991.

Industriebetriebslehre: Entscheidungen im Industriebetrieb.

9., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage.

Wiesbaden : Gabler.

ISBN 9783322871626.

Verfügbar: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-322-87161-9DOI:10.1007/978-3-322-87161-9>

Heinrichs et al. 2014

Heinrichs, Harald & Michelsen, Gerd. 2014.

Nachhaltigkeitswissenschaften.

Berlin : Springer Spektrum.

Springer Spektrum.

ISBN 9783642251115

Heisel 2012

Heisel, Uwe. 2012.

Leichtbauwerkstoffe - eine Herausforderung für Technologen.

IfW News **2012** (7), S. 1, zuletzt geprüft am 3. Mai 2013.

Verfügbar: http://www.ifw.uni-stuttgart.de/news/pdf/IfW_News_Ausgabe07_Mai_2012.pdf

- Hengartner et al. 1978** Hengartner, Walter & Theodorescu, Radu. 1978.
Einführung in die Monte-Carlo-Methode.
1 Aufl.
München : Hanser.
ISBN 3-446-12331-8
- Herring et al. 2007** Herring, Horace & Roy, Robin. 2007.
Technological innovation, energy efficient design and the rebound effect.
Technovation **27** (4), S. 194–203
- Herrmann 2010** Herrmann, Christoph. 2010.
Ganzheitliches Life Cycle Management: Nachhaltigkeit und Lebenszyklusorientierung in Unternehmen.
Berlin [u.a.] : Springer.
ISBN 978-3-642-01420-8
- Hesse et al. 1992** Hesse, Wolfgang, Merbeth, Günter, Frölich, Rainer & Endres, Albert. 1992.
Software-Entwicklung: Vorgehensmodelle, Projektführung, Produktverwaltung.
München [u. a.] : Oldenbourg.
Handbuch der Informatik; Bd. 5.3.
ISBN 978-3486206937
- Hilzenbecher 2002** Hilzenbecher, Uwe. 2002.
Realoptionen in Investitions- und Wettbewerbsstrategien des Produkt- und Profitcentermanagement.
Hamburg [u. a.]
- Hofmann et al. 2012** Hofmann, Erik, Maucher, Daniel, Hornstein, Jens & den Ouden, Rainer. 2012.
Investitionsgüterereinkauf: erfolgreiches Beschaffungsmanagement komplexer Leistungen : Springer.
ISBN 9783642227127
- Homann 1996** Homann, Karl. 1996.
Sustainability: Politikvorgabe oder regulative Idee?
In: Gerken, Lüder (Hrsg.): *Ordnungspolitische Grundfragen einer Politik der Nachhaltigkeit.*
1.
Baden-Baden : Nomos, S. 33–47.
ISBN 9783789044243
- Hommel et al. 1999** Hommel, Ulrich & Pritsch, Gunnar. 1999.
Marktorientierte Investitionsbewertung mit dem Realoptionsansatz.
Finanzmarkt- und Portfoliomanagement **13** (2), S. 121–144

- Hommel et al. 2001** Hommel, Ulrich, Scholich, Martin & Vollrath, Robert. 2001.
Realloptionen in der Unternehmenspraxis: Wert schaffen durch Flexibilität.
Berlin : Springer.
ISBN 9783642566035
- Hommel et al. 2003** Hommel, Ulrich, Scholich, Martin & Baecker, Philipp. 2003.
Reale Optionen: Konzepte, Praxis und Perspektiven strategischer Unternehmensfinanzierung.
Berlin [u.a.] : Springer.
ISBN 3540019812
- Huber 2000** Huber, Joseph. 2000.
Industrielle Ökologie : Konsistenz, Effizienz und Suffizienz in zyklusanalytischer Betrachtung.
In: *Global Change - globaler Wandel*, S. 107–109
- Huch et al. 2003** Huch, Burkhard, Behme, Wolfgang & Ohlendorf, Thomas. 2003.
Rechnungswesen-orientiertes Controlling: Ein Leitfaden Für Studium und Praxis.
Heidelberg : Physica-Verlag.
ISBN 9783790800944
- Hungenberg et al. 2005** Hungenberg, Harald, Wulf, Torsten & Stellmaszek, Felix. 2005.
Einsatzfelder und Operationalisierung der Realloptionstheorie: Implikationen für die wertorientierte Unternehmensführung.
Nürnberg : Hungenberg, H. & Seliger, G., zuletzt geprüft am 10. März 2013.
Verfügbar: <http://www.management.wiso.uni-erlangen.de/Forschung/Arbeitspapiere.htm>
- IDW 2008** Institut der Wirtschaftsprüfer in Deutschland. 2008.
IDW-Standard: Grundsätze zur Durchführung von Unternehmensbewertungen ; (IDW S 1 i.d.F. 2008).
[Stand: 02.04.2008].
Düsseldorf : IDW-Verl.
ISBN 9783802113642
- Jefremow 2013** Jefremow, Katja. 2013.
Wirtschafts- und Unternehmensethik: Wege zur Sicherung der Zukunftsfähigkeit von Unternehmen // Wirtschafts- und unternehmensethik: Wege zur sicherung der zukunftsfähigkeit von unternehmen.
Hamburg : Diplomica.
ISBN 9783842885271
- Jung 2006** Jung, Hans. 2006.
Allgemeine Betriebswirtschaftslehre.

- 10 Aufl.
München : Oldenbourg.
ISBN 3486580493
- Kern 1974** Kern, Werner. 1974.
Investitionsrechnung.
Stuttgart : Poeschel.
ISBN 9783791001616
- Kiener 2009** Kiener, Stefan. 2009.
Produktions-Management: Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung.
München : Oldenbourg.
ISBN 9783486590982
- Kirsch 1979** Kirsch, Werner. 1979.
Die verhaltenswissenschaftliche Fundierung der Betriebswirtschaftslehre.
In: Raffée, Hans & Abel, Bodo (Hrsg.): *Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Wirtschaftswissenschaften*.
München : Vahlen, S. 105–120.
ISBN 9783800607723
- Klingelhöfer 2006** Klingelhöfer, Heinz Eckart. 2006.
Umweltzertifikate und Investitionen.
ZfB 76. Jg. (2006), H. 5, 525–548 **76. Jg.** (H. 5), S. 525–548
- Koch 2004** Koch, Jörg. 2004.
Marktforschung: Begriffe und Methoden.
4 Aufl.
München : Oldenbourg.
Managementwissen für Studium und Praxis.
ISBN 3486200224
- Krallmann et al. 2013** Krallmann, Herrmann, Bobrik, Annette & Levina, Olga. 2013.
Systemanalyse im Unternehmen: Prozessorientierte Methoden der Wirtschaftsinformatik.
München : Oldenbourg.
ISBN 9783486717686
- Krasontovitsch 2013** Krasontovitsch, Dimitrij. 2013.
Bewertung von Wachstumsunternehmen: Das Schwartz und Moon Modell als neuartiger holistischer Ansatz.
Hamburg : Diplomica.
ISBN 9783842898097
- Krubasik 1982** Krubasik, Edward G. 1982.
Technologie: Strategische Waffe.
Wirtschaftswoche **36** (25), S. 28–33

- Kubicek 1976** Kubicek, Herbert. 1976.
Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte Forschungsdesign als Elemente einer Konstruktionsstrategie empirischer Forschung.
Berlin : Inst. für Unternehmungsführung im Fachbereich Wirtschaftswiss. d. Freien Univ.
ISBN 9783883980164
- Lackmann 2010** Lackmann, Julia. 2010.
Die Auswirkungen der Nachhaltigkeitsberichterstattung auf den Kapitalmarkt: Eine empirische Analyse.
Wiesbaden : Gabler.
ISBN 9783834986320
- Langer 2010** Langer, Gunner. 2010.
Unternehmen und Nachhaltigkeit: Analyse und Weiterentwicklung aus der Perspektive der wissensbasierten Theorie der Unternehmung.
Wiesbaden : Westdeutscher Verlag.
ISBN 9783834961303
- Laux et al. 2008** Laux, Helmut & Schabel, Matthias M. 2008.
Subjektive Investitionsbewertung, Marktbewertung und Risikoteilung: Grenzpreise aus Sicht börsennotierter Unternehmen und individueller Investoren im Vergleich.
Berlin : Springer.
ISBN 9783540852728
- Laux et al. 2012** Laux, Helmut, Gillenkirch, Robert M. & Schenk-Mathes, Heike Y. 2012.
Entscheidungstheorie.
8. Aufl. 2012. Korr. Nachdruck 2012.
Berlin : Springer.
Springer-Lehrbuch.
ISBN 978-3-642-23510-8
- Little 1969** Little, John D. C. 1969.
Models and managers: the concept of a decision calculus.
Cambridge, Massachusetts : Massachusetts Institute of Technology.
Verfügbar: <http://archive.org/stream/modelsmanager-sco00litt#page/n3/mode/2up>
- Luehrman 1998** Luehrman, Timothy A. 1998.
Investment opportunities as real options: Getting started on the numbers.
Harvard Business Review **76** (4), S. 51–67

- Luehrman 1998** Luehrman, Timothy A. 1998.
Strategy as a portfolio of real options.
Harvard Business Review **76** (5), S. 89–99
- Majd et al. 2001** Majd, Saman & Pindyck, Robert S. 2001.
Time to Build, Option Value, and Investment Decisions.
In: Schwartz, Eduardo S. & Trigeorgis, Lenos (Hrsg.): *Real options and investment under uncertainty*.
Cambridge, Massachusetts : Massachusetts Institute of Technology, S. 273–295.
ISBN 0262194465
- Mappus et al. 2005** Mappus, Stefan & Fussler, Claude. 2005.
Erde 2.0-technologische Innovationen als Chance für eine nachhaltige Entwicklung.
Berlin : Springer.
ISBN 9783540213277
- McDonald et al. 1986** McDonald, Robert L. & Siegel, Daniel R. 1986.
The value of waiting to invest.
The quarterly journal of economics **101** (4), S. 707–728
- Meadows 1972** Meadows, Dennis L. 1972.
The limits to growth.
New York : Universe Books.
ISBN 3421026335
- Meadows 1987** Meadows, Dennis L. 1987.
Die Grenzen des Wachstums: Bericht d. Club of Rome zur Lage d. Menschheit.
14 Aufl.
Stuttgart : Dt. Verl.-Anst.
ISBN 9783421026330
- Merk 2011** Merk, Andreas. 2011.
Optionsbewertung in Theorie und Praxis: Theoretische und empirische Überprüfung des Black/Scholes-Modells.
1. Aufl.
Wiesbaden : Gabler.
Gabler research.
ISBN 978-3-8349-6534-9
- Meyer 2006** Meyer, Bernhard Heiko. 2006.
Stochastische Unternehmensbewertung: Der Wertbeitrag von Realoptionen.
1 Aufl.
Wiesbaden : Dt. Univ.-Verl.
ISBN 3-8350-0336-4

- Milling 1984** Milling, Peter. 1984.
System dynamics: Konzeption und Anwendung einer Systemtheorie.
Beiträge des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften der Universität Osnabrück (1), S. 1–36
- Mochel 1993** Mochel, Thomas. 1993.
Objektorientierte Simulation: Ein neues Konzept zur Simulation diskreter Systeme.
Als Ms. gedr.
Aachen : Shaker.
Reihe Informatik.
ISBN 9783861115588
- Möller et al. 2011** Möller, Klaus & Kubach, Michael. 2011.
Nachhaltigkeitsorientierte Wirkungen von Innovationen.
ZWF **106** (4), S. 261–266
- Mondello 2015** Mondello, Enzo. 2015.
Aktienbewertung: Theorie und Anwendungsbeispiele.
Wiesbaden : Springer Fachmedien.
ISBN 9783658081638
- Müller-Stewens et al. 2011** Müller-Stewens, Günter & Lechner, Christoph. 2011.
Strategisches Management: Wie strategische Initiativen zum Wandel führen.
4 Aufl.
Stuttgart : Schäffer-Poeschel.
ISBN 9783791027890
- Myers 1977** Myers, Stewart C. 1977.
Determinants of corporate borrowing.
Journal of financial economics **5** (2), S. 147–175
- Neugebauer 2008** Neugebauer, Reimund. 2008.
Untersuchung zur Energieeffizienz in der Produktion: Abschlussbericht.
München : Fraunhofer Gesellschaft
- Nöbauer 2016** Nöbauer, Bernhard. 2016.
Globalpolitische Herausforderung Klimawandel: Die Klimapolitik der Europäischen Union im internationalen Kontext.
Hamburg : Diplomica Verlag GmbH.
ISBN 9783959348386
- Nöll et al. 2011** Nöll, Boris & Wiedemann, Arnd. 2011.
Investitionsrechnung unter Unsicherheit: Rendite-/Risikoanalyse von Investitionen im Kontext einer wertorientierten Unternehmensführung.

- München : Vahlen.
ISBN 9783800643851
- Ott 2000** Ott, Frank M. 2000.
*Strategisches Investitionscontrolling in internationalen Konzer-
nen.*
Wiesbaden : Dt. Univ.-Verl.
Gabler Edition Wissenschaft.
ISBN 9783824472215
- Page et al. 1991** Page, Bernd & Liebert, Hansjörg. 1991.
Diskrete Simulation: Eine Einführung mit Modula-2.
Berlin [u.a.] : Springer.
Springer-Lehrbuch.
ISBN 9783540544210
- Peters et al. 2005** Peters, Sönke & Brühl, Rolf. 2005.
Betriebswirtschaftslehre: Einführung.
München : Oldenbourg.
ISBN 9783486576856
- Pfohl et al. 1997** Pfohl, Hans-Christian & Stölzle, Wolfgang. 1997.
*Planung und Kontrolle: Konzeption, Gestaltung, Implementie-
rung.*
2 Aufl.
München : Vahlen.
Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften.
ISBN 3800621614
- Pfriem 2006** Pfriem, Reinhard. 2006.
Innovationen für eine nachhaltige Entwicklung.
Wiesbaden : Dt. Univ.-Verl.
ISBN 9783835004924
- Poggensee 2011** Poggensee, Kay. 2011.
Investitionsrechnung: Grundlagen - Aufgaben - Lösungen.
2 Aufl.
Wiesbaden : Gabler.
ISBN 978-3-8349-3014-9
- Polimeni 2008** Polimeni, John M. 2008.
*The Jevons paradox and the myth of resource efficiency im-
provements.*
London [u. a.] : Earthscan.
Earthscan research editions.
ISBN 1844078132
- Popper et al. 2005** Popper, Karl R. & Keuth, Herbert. 2005.
Logik der Forschung.

- 11 Aufl.
Tübingen : Mohr Siebeck.
ISBN 9783161484100
- Porter 2008**
Porter, Michael E. 2008.
Competitive Advantage: Creating and Sustaining Superior Performance.
New York : Free Press.
ISBN 9781416595847
- Pschick et al. 2014**
Pschick, Andreas W. & Pschick, Andreas Wilhelm. 2014.
Hedgingstrategien im Stromgroßhandel: Preis- und Kreditrisiken sicher im Griff.
Hamburg : disserta.
ISBN 9783954253364
- Pufé 2014**
Pufé, Iris. 2014.
Nachhaltigkeit.
2., überarb. u. erw. Aufl.
Stuttgart : UTB; 3667 : Wirtschaftswissenschaften, Politikwissenschaft.
ISBN 9783825240547
- Pütter et al. 2007**
Pütter, Johannes & Braun, Hans-Peter. 2007.
Facility Management: Erfolg in der Immobilienbewirtschaftung.
5 Aufl.
Berlin [u.a.] : Springer.
ISBN 9783540347019
- Raffée et al. 1979**
Raffée, Hans & Abel, Bodo. 1979.
Aufgaben und aktuelle Tendenzen der Wissenschaftstheorie in den Wirtschaftswissenschaften.
In: Raffée, Hans & Abel, Bodo (Hrsg.): *Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Wirtschaftswissenschaften.*
München : Vahlen, S. 1–10.
ISBN 9783800607723
- Randers 2012**
Randers, Jørgen. 2012.
2052. Der neue Bericht an den Club of Rome: Eine globale Prognose für die nächsten 40 Jahre.
München : oekom.
ISBN 3865813984
- Rink 2002**
Rink, Dieter. 2002.
Lebensstile und Nachhaltigkeit: Konzepte, Befunde und Potentiale.
Opladen : Leske + Budrich.

- Reihe "Soziologie und Ökologie"; Bd. 7.
ISBN 9783810031129
- Rogall 2008** Rogall, Holger. 2008.
Ökologische Ökonomie: Eine Einführung.
Berlin : VS Verlag für Sozialwissenschaften GmbH.
ISBN 9783531910017
- Rolfes 2003** Rolfes, Bernd. 2003.
Moderne Investitionsrechnung: Einführung in die klassische Investitionstheorie und Grundlagen marktorientierter Investitionsentscheidungen.
München : Oldenbourg.
ISBN 9783486274295
- Rother et al. 2000** Rother, Mike & Shook, John. 2000.
Sehen lernen: Mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen.
Dt. Ausg., Version 1.0.
Stuttgart : LOGX.
ISBN 393229811X
- Rudolph et al. 2008** Rudolph, Manfred & Wagner, Ulrich. 2008.
Energieanwendungstechnik: Wege und Techniken zur effizienteren Energienutzung.
Berlin : Springer.
ISBN 9783540790211
- Rüegg-Stürm 2004** Rüegg-Stürm, Johannes. 2004.
Das neue (Sankt) St. Galler Management-Modell: Grundkategorien einer integrierten Managementlehre - der HSG-Ansatz.
In: Dubs, Rolf (Hrsg.): *Einführung in die Managementlehre: Grundkategorien einer integrierten Managementlehre - der HSG-Ansatz.*
Bern [u. a.] : Haupt, S. 65–141.
ISBN 978-3-258-07528-0
- Rüegg-Stürm et al. 2015** Rüegg-Stürm, Johannes & Grand, Simon. 2015.
Das St. Galler Management-Modell.
12, 2., vollst. überarb. und grundlegend weiterentw. Aufl.
Bern : Haupt Verlag.
ISBN 9783258079561
- Sauer et al. 2016** Sauer, Alexander & Bauernhansl, Thomas. 2016.
Energieeffizienz in Deutschland - eine Metastudie: Analyse und Empfehlungen.
2., aktualisierte Aufl.

- Berlin, Germany : Springer Vieweg.
ISBN 9783662488829
- Schacht et al. 2009** Schacht, U. & Fackler, M. 2009.
Praxishandbuch Unternehmensbewertung: Grundlagen, Methoden, Fallbeispiele.
Wiesbaden : Gabler.
ISBN 9783834906335
- Schäfer 2005** Schäfer, Henry. 2005.
Unternehmensinvestitionen: Grundzüge in Theorie und Management.
Heidelberg : Physica.
ISBN 9783790815801
- Schaltegger et al. 1995** Schaltegger, Stefan & Sturm, Andreas. 1995.
Öko-Effizienz durch Öko-Controlling: Zur praktischen Umsetzung von EMAS und ISO 14'001.
Stuttgart : Schaeffer-Poeschel.
ISBN 9783791009926
- Schanz 1979** Schanz, Günther. 1979.
Die Betriebswirtschaftslehre und ihre sozialwissenschaftlichen Nachbardisziplinen: Das Integrationsproblem.
In: Raffée, Hans & Abel, Bodo (Hrsg.): *Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Wirtschaftswissenschaften.*
München : Vahlen, S. 121–137.
ISBN 9783800607723
- Schanz 1988** Schanz, Günther. 1988.
Erkennen und Gestalten: Betriebswirtschaftslehre in kritisch-rationaler Absicht.
Stuttgart : Poeschel.
ISBN 9783791004396
- Schmidt-Sudhoff 1967** Schmidt-Sudhoff, Ulrich. 1967.
Unternehmerziele und unternehmerisches Zielsystem.
Wiesbaden : Gabler.
Betriebswirtschaftliche Beiträge; 10.
ISBN 978-3-663-02748-5
- Schönsleben et al. 2009** Schönsleben, Paul & Scherer, Eric. 2009.
Produktionssteuerung in dezentralisierten Leistungsprozessen.
In: Bullinger, Hans-Jörg, et al. (Hrsg.): *Handbuch Unternehmensorganisation.*
3.
Berlin : Springer, S. 790–803.
ISBN 978-3-540-87595-6

- Schröter et al. 2011** Schröter, Marcus, Lerch, Christian & Jäger, Angela. 2011. *Materialeffizienz in der Produktion: Einsparpotenziale und Verbreitung von Konzepten zur Materialeinsparung im Verarbeitenden Gewerbe*. Karlsruhe : Fraunhofer ISI, zuletzt geprüft am 3. Dezember 2015. Verfügbar: http://www.izu.bayern.de/publikationen/detail_publicationen.php?pid=0905010100991
- Schuh et al. 2013** Schuh, Günther & Warschat, Joachim. 2013. *Potenziale einer Forschungsdisziplin Wirtschaftsingenieurwesen*. München : Utz. acatech DISKUSSION. ISBN 978-3831643165
- Schwab 2008** Schwab, Adolf J. 2008. *Managementwissen für Ingenieure: Führung, Organisation, Existenzgründung*. 4 Aufl. Berlin, Heidelberg : Springer. VDI-Buch. ISBN 9783540784081
- Schwartz et al. 2001** Schwartz, Eduardo S. & Trigeorgis, Lenos. 2001. *Real options and investment under uncertainty: Classical readings and recent contributions*. Cambridge, Massachusetts : Massachusetts Institute of Technology. ISBN 0262194465
- Schweitzer 2005** Schweitzer, Marcell. 2005. Planung und Steuerung. In: Bea, Franz X., et al. (Hrsg.): *Allgemeine Betriebswirtschaftslehre*. 9. Stuttgart : Fischer, S. 16–139. ISBN 3828203167
- Seuring et al. 1997** Seuring, Stefan & Sietz, Manfred. 1997. Ökobilanzen - Eine kurze Übersicht zu Begriffen und Inhalten. In: Sietz, Manfred & Seuring, Stefan (Hrsg.): *Ökobilanzierung in der betrieblichen Praxis*. Taunusstein : Blottner, S. 9–24. ISBN 9783893670697
- Socolow 1994** Socolow, Robert H. 1994. *Industrial ecology and global change*. 1. Aufl.

- Cambridge, Mass [u.a.] : Cambridge Univ. Press.
ISBN 0-521-47197-4
- Spiecker-Lampe 2013** Spiecker-Lampe, Carola. 2013.
Produktionsintegrierter Umweltschutz: Chancen für Industrieunternehmen und Kreditinstitute.
Wiesbaden : Deutscher Universitätsverlag.
ISBN 9783663088745
- Spielberger 1983** Spielberger, Michael. 1983.
Betriebliche Investitionskontrolle: Grundprobleme und Lösungsansätze.
Heidelberg : Physica.
Physica-Schriften zur Betriebswirtschaft; 9.
ISBN 3790803057
- Spilgies 2006** Spilgies, Wulf-Dieter. 2006.
Realloptionen im Produktinnovationsmanagement: Einsatz qualitativen realoptionsorientierten Denkens bei der Planung von Innovationsprojekten.
Hamburg : Kovač.
Schriftenreihe innovative betriebswirtschaftliche Forschung und Praxis; 189.
ISBN 3830025912
- Spremann 1999** Spremann, Klaus. 1999.
Realloptionen - Finanzoptionen: Gemeinsamkeiten und Unterschiede.
In: Gutenberg, Erich & Albach, Horst (Hrsg.): *Die Theorie der Unternehmung in Forschung und Praxis.*
Berlin : Springer, S. 409–419.
ISBN 3540653511
- Stachowiak 1973** Stachowiak, Herbert. 1973.
Allgemeine Modelltheorie.
Wien : Springer.
ISBN 0387811060
- Stahlmann 2000** Stahlmann, Volker. 2000.
Umweltleistung von Unternehmen: Von der Öko-Effizienz zur Öko-Effektivität.
Wiesbaden : Gabler.
ISBN 9783409117234
- StBA 2015** Statistisches Bundesamt. 2015.
Umweltökonomische Gesamtrechnungen: Nachhaltige Entwicklung in Deutschland - Indikatoren zu Umwelt und Ökonomie.
Wiesbaden, zuletzt geprüft am 3. Dezember 2015.

Verfügbar: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/Umweltindikatoren/IndikatorenPDF_5850012.pdf?__blob=publicationFile

Strebel 1991

Strebel, Heinz. 1991.
Gründe und Möglichkeiten betriebswirtschaftlicher Umweltpolitik.
In: Seidel, Eberhard & Strebel, Heinz (Hrsg.): *Umwelt und Ökonomie*.
Wiesbaden : Gabler.
ISBN 9783409138062

TerHorst 1980

TerHorst, Klaus W. 1980.
Investitionsplanung.
Stuttgart : Kohlhammer.
Urban-Taschenbücher 276; Bd. 276.
ISBN 3170053086

Thommen et al. 2012

Thommen, Jean-Paul & Achleitner, Ann-Kristin. 2012.
Allgemeine Betriebswirtschaftslehre: Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht.
7., vollst. überarb. Aufl. 2012.
Wiesbaden : Gabler.
ISBN 978-3-8349-3416-1

Titman et al. 2008

Titman, Sheridan & Martin, John D. 2008.
Valuation: The art and science of corporation investment decisions.
[Repr.]
Boston, Mass, Munich [u.a.] : Pearson/Addison-Wesley.
The Addison-Wesley series in finance.
ISBN 0-321-33610-0

Trigeorgis 1996

Trigeorgis, Lenos. 1996.
Real options: Managerial flexibility and strategy in resource allocation.
Cambridge, Mass : Massachusetts Institute of Technology.
ISBN 026220102x

Troßmann 2013

Troßmann, Ernst. 2013.
Investition als Führungsentscheidung: Projektrechnungen für Controller.
München : Vahlen.
ISBN 9783800647125

Ulrich 2001

Ulrich, Hans. 2001.
Systemorientiertes Management: Das Werk von Hans Ulrich.
Studienausg.

Bern [u. a.] : Haupt.
ISBN 9783258063591

Ulrich et al. 1976

Ulrich, Peter & Hill, Wilhelm. 1976.
Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (Teil I).
Wissenschaftliches Studium Zeitschrift für Ausbildung und Hochschulkontakt (7), S. 304–309

Ulrich et al. 1979

Ulrich, Peter & Hill, Wilhelm. 1979.
Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre.
In: Raffée, Hans & Abel, Bodo (Hrsg.): *Wissenschaftstheoretische Grundfragen der Wirtschaftswissenschaften*.
München : Vahlen, S. 161–190.
ISBN 9783800607723

United Nations 2011. 2011.

Twentieth-Century Model ‚A Global Suicide Pact‘, Secretary-General Tells World Economic Forum Session on Redefining Sustainable Development. 28.01.2011, zuletzt geprüft am 24. April 2013.
Verfügbar:
<http://www.un.org/News/Press/docs/2011/sgsm13372.doc.htm>

VDI 4433 2011

VDI 4433. 2011.
Investitionsplanung und Investitionsstudien.
Berlin : Beuth.
VDI-Richtlinien; 4433

VDI 4661 2003

VDI 4661. 2003.
Energiekenngrößen: Definitionen, Begriffe, Methodik.
Berlin : Beuth.
VDI-Richtlinien; 4661

Weskamp 2012

Weskamp, Markus. 2012.
Manufacturing Execution Systeme - mit MES zur energieeffizienten Fertigung.
In: *Energieeffizienz in der Produktion*, S. 83–93

Wietschel et al. 2010

Wietschel, Martin, Arens, Marlene, Dötsch Christian, Herkel, Sebastian, Krewitt, Wolfram, Markewitz, Peter, Möst, Dominik & Scheufen, Martin. 2010.
Energietechnologien 2050 - Schwerpunkte für Forschung und Entwicklung.
Stuttgart : Fraunhofer-Verl.
ISI-Schriftenreihe Innovationspotenziale.
ISBN 9783839600849

- Wild 1974** Wild, Jürgen. 1974.
Grundlagen der Unternehmensplanung.
[1.-10. Tsd.].
Reinbek (bei Hamburg) : Rowohlt.
Rororo; 26: Studium.
ISBN 9783499210266
- Wittmann 1959** Wittmann, Waldemar. 1959.
Unternehmung und unvollkommene Information: Unternehmerische Voraussicht, Ungewißheit und Planung.
Köln [u.a.] : Westdeutscher Verlag.
ISBN 978-3-322-98247-6
- Wöhe et al. 2010** Wöhe, Günter & Döring, Ulrich. 2010.
Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre.
24 Aufl.
München : Vahlen.
ISBN 9783800637959
- Yang et al. 2007** Yang, Ming & Blyth, William. 2007.
Modeling Investment Risks and Uncertainties with Real Options Approach.
Paris : International Energy Agency, zuletzt geprüft am 22. November 2012
- Zimmerer 2014** Zimmerer, Christian. 2014.
Nachhaltige Produktentwicklung: Integration der Nachhaltigkeit in den Produktentstehungsprozess.
1., Aufl.
Hamburg : disserta.
ISBN 9783954254422
- Zürn 2010** Zürn, Marcel. 2010.
Auswirkungen des technologischen Fortschritts und des Klimaschutzes auf die Stromerzeugung: Analysen mit einem allgemeinen Gleichgewichtsmodell.
Lohmar : Eul.
ISBN 9783899368901

Nachhaltiges Wirtschaften wird immer mehr zu einem Produktionsparadigma aus dem sich für produzierende Unternehmen neue Chancen und Risiken ergeben. Diese sind verbunden mit strategischen Investitionen, die eine fundierte wirtschaftliche Bewertung erfordern.

Die vorliegende Arbeit beschreibt ein Bewertungsmodell für strategische Investitionen. Dieses ermöglicht es, Investitionen unter Berücksichtigung von unsicheren und flexiblen Umwelteinflüssen zu analysieren und abgesicherte Entscheidungen zu treffen.

Das in der Arbeit beschriebene Modell kombiniert Bewertungsmethoden der Realoptionstheorie mit Modellierungsansätzen des System Dynamics und schafft einen Rahmen zur ganzheitlichen Bewertung der Investitionssituation. Das Modell ermöglicht es dem Anwender, die für die Entscheidung relevanten Bewertungsparameter systematisch zu ermitteln und die komplexen Wirkbeziehungen untereinander abzubilden. Die beschriebene Vorgehensweise zur Anwendung des Modells liefert darüber hinaus konkrete Handlungsanweisungen für die strukturierte und zielgerichtete Modellnutzung.

