

Lara Waltersmann

»Gestaltung betrieblicher
Umweltinformationssysteme«



STUTTGARTER BEITRÄGE ZUR PRODUKTIONSFORSCHUNG BAND 161

Lara Waltersmann

»Gestaltung betrieblicher Umweltinformationssysteme«

Herausgeber

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl^{1,2}

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Alexander Sauer^{1,3}

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Kai Peter Birke⁴

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Marco Huber^{1,2}

¹ Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, Stuttgart

² Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF) der Universität Stuttgart

³ Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) der Universität Stuttgart

⁴ Institut für Photovoltaik (*ipv*) der Universität Stuttgart

Kontaktadresse:

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Nobelstr. 12
70569 Stuttgart
Telefon 0711 970-1100
info@ipa.fraunhofer.de
www.ipa.fraunhofer.de

Bibliographische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.de> abrufbar.

Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2023

D 93

2023

Druck und Weiterverarbeitung:

Fraunhofer Verlag Mediendienstleistungen, Stuttgart, Jahr des Drucks
Für den Druck des Buches wurde chlor- und säurefreies Papier verwendet.



Dieses Werk steht, soweit nicht gesondert gekennzeichnet,
unter folgender Creative-Commons-Lizenz:
Namensnennung – Nicht kommerziell – Keine Bearbeitungen
International 4.0 (CC BY-NC-ND 4.0).

Gestaltung betrieblicher Umweltinformationssysteme

**Von der Fakultät Energie-, Verfahrens- und Biotechnik
der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde einer Doktor-Ingenieurin (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung**

Vorgelegt von

**Lara Waltersmann
aus Münster**

Hauptberichter: Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Alexander Sauer

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann

Tag der mündlichen Prüfung: 12.09.2023

Institut für Energieeffizienz in der Produktion
der Universität Stuttgart

2023

Vorwort der Autorin

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Alexander Sauer, Leiter des Instituts für Energieeffizienz in der Produktion der Universität Stuttgart und des Fraunhofer-Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, für seine fachliche Unterstützung, die professionelle Förderung meiner Arbeit und darüber hinaus für die vertrauensvolle Zusammenarbeit. Bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Christoph Herrmann, Leiter des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik der Technischen Universität Braunschweig und des Fraunhofer-Instituts für Schicht- und Oberflächentechnik IST, möchte ich mich für die Übernahme des Mitberichts und der wissenschaftlichen Begleitung der Arbeit bedanken. Für die Übernahme des Vorsitzes der Prüfungskommission bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr.-Ing. Elias Klemm, Leiter des Instituts für Technische Chemie der Universität Stuttgart.

Mein Dank gilt außerdem Herrn Prof. Dr. Jörg Mandel, der mich mit zahlreichen fachlichen Diskussionen unterstützte. Bei meinen Kolleginnen und Kollegen am Fraunhofer IPA, die mich begleitet und bei meiner Arbeit unterstützt haben, möchte ich mich für die gemeinsame Zeit mit spannenden Projekten sowie für die kollegiale und freundschaftliche Zusammenarbeit bedanken. Ebenso danke ich den Studentinnen und Studenten, mit denen ich zusammengearbeitet habe.

Ganz herzlich bedanke ich mich bei meiner Familie und besonders bei meinen Eltern, die mich stets unterstützt und mir die Ausbildung ermöglicht haben, sowie bei meinem Lebensgefährten Julian für seinen Zuspruch und Beistand. Die bedingungslose Unterstützung hat maßgeblich zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Kurzfassung

Aufgrund diverser ökologischer Krisen, wie Klimawandel und Biodiversitätsverlust, und des damit verbundenen gesellschaftlichen und regulatorischen Drucks hin zu einem ökologischen Wirtschaften wird das Umweltmanagement und -controlling für Unternehmen immer wichtiger und zunehmend zum entscheidenden Wettbewerbsfaktor. Mit seinen Funktionen zur Information, Planung und Kontrolle, Koordination und Rationalitätssicherung bildet das Umweltcontrolling die Grundlage für die Erfüllung der Anforderungen an die Transparenz und die Verbesserung der ökologischen Leistung von Unternehmen. Durch die steigenden Informationsbedarfe der Stakeholder wird es jedoch zunehmend komplex, wobei Informationssysteme dabei helfen können, diese Komplexität zu beherrschen.

Vor dem Hintergrund der steigenden Anforderungen an das Umweltcontrolling und der benötigten informationstechnischen Unterstützung adressiert die vorliegende Arbeit die Forschungsfrage, wie ein betriebliches Umweltinformationssystem unternehmensspezifisch gestaltet werden kann. Ergebnis der Arbeit ist eine Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems, die sich an den Phasen des User Centered Design orientiert sowie ein Referenzdatenmodell und -architektur beinhaltet. Durch diese Methode werden unter anderem erstmals unternehmensindividuelle Parameter bei der Gestaltung detailliert berücksichtigt und eine Vollständigkeit der Umweltdaten und -informationen sichergestellt. Unternehmen werden hiermit befähigt ein Informationssystem zu konzipieren, welches alle relevanten Daten für das Umweltcontrolling erfasst, verarbeitet sowie den entsprechenden Personen in geeigneter Form zugänglich macht. Es wird außerdem eine Auswahl und Integration eines Informationssystems in die bestehende Informationssystemarchitektur eines Unternehmens ermöglicht.

Anhand von zwei Fallbeispielen mit produzierenden Unternehmen konnte gezeigt werden, dass die Methode in der Praxis anwendbar und für die Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems gut geeignet ist.

Abstract

The sustainable performance of companies is increasingly becoming a decisive competitive factor. Transparency and the improvement of the ecological dimension of sustainability are the focus here and are demanded by politics, authorities and society, but also by customers and investors. With its functions of information, planning and control, coordination and rationality assurance, environmental management accounting forms the basis for meeting these requirements. However, due to the increasing information needs of stakeholders, environmental management accounting is becoming increasingly complex, and information systems can help to master this complexity.

Against the background of the increasing requirements on environmental management accounting and the highly needed information technology support, this thesis addresses the research question of how a corporate environmental management information system can be designed specifically for a company. The result of the thesis is a method for designing a corporate environmental management information system that is oriented towards the phases of User Centered Design and includes a reference data model and architecture. For the first time, this method considers company-specific parameters in detail and ensures the completeness of environmental data and information. Companies are enabled to design an information system that collects all relevant data for environmental management accounting, processes them and makes them available to the relevant persons in a suitable way. It also enables the selection and integration of an information system into the existing information system architecture of a company.

Based on two case studies with manufacturing companies, it was shown that the method is applicable in practice and well suited for the design of an corporate environmental management information system.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	xv
Abbildungsverzeichnis	xvii
Tabellenverzeichnis	xxiii
1 Einleitung.....	1
1.1 Ausgangssituation.....	1
1.2 Problemstellung und Forschungsbedarf	5
1.3 Zielsetzung und Forschungsfragen.....	9
1.4 Wissenschaftstheoretische Positionierung und Forschungsmethodik.....	10
1.5 Aufbau der Arbeit	15
2 Grundlagen.....	17
2.1 Nachhaltigkeit im Unternehmenskontext	17
2.1.1 Definition und Konzepte der Nachhaltigkeit.....	17
2.1.2 Nachhaltigkeitsmanagement	21
2.1.3 Umweltmanagement.....	22
2.2 (Umwelt-)Controlling.....	24
2.2.1 Umweltcontrolling.....	25
2.2.2 Daten, Informationen und Wissen	28
2.2.3 Umweltinformationen	32
2.3 Informationssysteme	33
2.3.1 Definition und Klassifikation von Informationssystemen	33
2.3.2 Informationssystemarchitekturen	36

2.3.3	Datenmodelle	38
2.3.4	Software- und Systementwicklung	38
2.4	Betriebliche Umweltinformationssysteme	43
2.4.1	Definition und Klassifikation betrieblicher Umweltinformationssysteme .	43
2.4.2	Betriebliche Umweltinformationssysteme in der Praxis	48
2.5	Reifegradmodelle.....	51
2.5.1	Reifegradmodelle des Umweltmanagements	51
2.5.2	Reifegradmodelle im Bereich Digitalisierung	53
2.6	Zwischenfazit.....	55
3	Stand der Forschung und Technik	59
3.1	Methodisches Vorgehen	59
3.2	Vorgehensmodelle zur Einführung von betrieblichen Umweltinformationssystemen	61
3.3	Architekturen und Datenmodelle von betrieblichen Umweltinformationssystemen	70
3.4	Umweltinformationsmanagement.....	75
3.5	Requirement Engineering.....	78
3.6	Zwischenfazit.....	80
4	Anforderungen und Handlungsbedarf.....	82
4.1	Definition der Anforderungen	82
4.1.1	Objektbereich	82
4.1.2	Eigenschaften der Methode	83
4.1.3	Eigenschaften des resultierenden Informationssystems	84
4.2	Einordnung bestehender Ansätze.....	87

4.2.1	Ansätze zu Vorgehensmodellen zur Einführung von betrieblichen Umweltinformationssystemen.....	87
4.2.2	Ansätze zu Architekturen und Datenmodellen von betrieblichen Umweltinformationssystemen.....	90
4.2.3	Ansätze des Umweltinformationsmanagements.....	93
4.2.4	Ansätze des Requirement Engineering.....	95
4.3	Zwischenfazit und Handlungsbedarf.....	96
5	Methode zur Gestaltung betrieblicher Umweltinformationssysteme.....	99
5.1	Überblick über die Methode.....	99
5.2	Vorüberlegungen zur Entwicklung der Methode.....	103
5.2.1	Erarbeitung eines Reifegradmodells.....	103
5.2.2	Morphologischer Kasten für Umweltinformationssysteme.....	108
5.3	Planung des Prozesses.....	114
5.3.1	Definition eines Projektplans mithilfe des Reifegradmodells.....	114
5.3.2	Identifikation der Stakeholder.....	116
5.4	Erarbeitung des Nutzungskontexts.....	117
5.4.1	Ermittlung der Rahmenbedingungen und der Motivation.....	117
5.4.2	Auswahl der Anwendungsfälle.....	118
5.5	Definition der Anforderungen.....	122
5.5.1	Identifikation nicht-funktionaler Anforderungen.....	122
5.5.2	Spezifikation der Anwendungsfälle.....	124
5.5.3	Anforderungsdokumentation.....	127
5.6	Definition der Gestaltungslösung.....	127
5.6.1	Definition des Datenmodells.....	127

5.6.2	Analyse der Informationssysteme	131
5.6.3	Abgleich der benötigten mit vorhandenen Daten	132
5.6.4	Definition eines Datenerhebungskonzepts.....	133
5.6.5	Auswahl eines Informationssystems	135
5.6.6	Definition der Informationssystemarchitektur	137
5.6.7	Erstellung von Prototypen	140
5.6.8	Definition von Sichten und Workflows	141
5.6.9	Dokumentation und Roadmap	142
5.7	Evaluation	142
5.8	Zwischenfazit.....	143
6	Validierung der Methode anhand von zwei Fallbeispielen aus dem produzierenden Gewerbe	147
6.1	Methodisches Vorgehen nach Mayring	147
6.2	Validierung mit der PNZ-Produkte GmbH	149
6.2.1	Planung des Prozesses	149
6.2.2	Erarbeitung des Nutzungskontexts	153
6.2.3	Definition der Anforderungen	157
6.2.4	Definition der Gestaltungslösung	160
6.2.5	Evaluation.....	170
6.2.6	Fazit: Validierung mit der PNZ-Produkte GmbH	170
6.3	Validierung mit der Schaeffler AG	173
6.3.1	Planung des Prozesses	173
6.3.2	Erarbeitung des Nutzungskontexts	177
6.3.3	Definition der Anforderungen	182

6.3.4	Definition der Gestaltungslösung	184
6.3.5	Evaluation	197
6.3.6	Fazit: Validierung mit der Schaeffler AG	198
6.4	Zwischenfazit	199
7	Reflexion	201
7.1	Bewertung der Erfüllung der Anforderungen	201
7.1.1	Anforderungen an den Objektbereich	203
7.1.2	Anforderungen an die Eigenschaften der Methode	203
7.1.3	Anforderungen an die Eigenschaften des resultierenden Informationssystems	204
7.2	Beantwortung der Forschungsfragen	206
8	Zusammenfassung und Ausblick	209
8.1	Grenzen der Methode	210
8.2	Ausblick	212
	Literaturverzeichnis	214
	Anhang	282

Abkürzungsverzeichnis

ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
BDE	Betriebsdatenerfassung
BI	Business Intelligence
BIA	B Impact Assessment (Tool der B Corporation)
BPMN	Business Process Model and Notation
BUIS	Betriebliche Umweltinformationssysteme
CCF	Corporate Carbon Footprint
CEMIS	Corporate Environmental Management Information Systems
CoSP	Control of Suspect Part
CSR	Corporate Social Responsibility
DIN	Deutsches Institut für Normung
DNK	Deutscher Nachhaltigkeitskodex
DRM	Digital Release Management
eEPK	erweiterte ereignisgesteuerte Prozesskette
EMAS	Eco Management and Audit Scheme
ERP	Enterprise-Resource-Planning
ESG	Environment, Social, Governance
ETL	Extract, Transform, Load
EU	Europäische Union
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
GaBi	Ganzheitliche Bilanzierung
GHG	Greenhouse gas
GRI	Global Reporting Initiative
HBS	Hilfs- und Betriebsstoffe
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IoT	Internet of Things
IS	Informationssystem
ISO	International Organization for Standardization

IT	Informationstechnologie
KMU	Kleine und mittelständische Unternehmen
KPI	Key-Performance-Indicator
LCA	Life Cycle Assessment
LCC	Life Cycle Costing
MFCA	Materialflusskostenrechnung
MES	Manufacturing Execution System
NGO	Nichtregierungsorganisation
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OHSAS	Occupational Health and Safety Assessment Series
OLAP	Online Analytical Processing-Komponente
PCF	Product Carbon Footprint
PDCA	Plan-Do-Check-Act
PLM	Product Lifecycle Management
QDAS	Qualitätsdatenmanagement
SBSC	Sustainability Balanced Scorecard
SBTi	Science Based Targets initiative
SDG	Sustainable Development Goals
SOA	serviceorientierte Architektur
sTrace	Informationssystem für Materialbewegungen in der Vorfertigung
SWEBOK	Guide to the software engineering body of knowledge
TCO	Total Cost of Ownership
TDC	Transportation Data Cube
THG	Treibhausgase
UML	Unified Modeling Language
UN	United Nations
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VORD	Viewpoint oriented requirement definition
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Planetare Grenzen	2
Abbildung 2: Datenaufkommen weltweit und Anteil digitaler Industrieunternehmen in Deutschland	4
Abbildung 3: Umfrageergebnisse zum Beitrag und der Nutzung von Digitalisierung für die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit in Unternehmen	6
Abbildung 4: Inhaltlicher Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit	10
Abbildung 5: Einordnung der eigenen Arbeit in die Wissenschaftssystematik	11
Abbildung 6: Vorgehen und Zyklen des Design Science Research	14
Abbildung 7: Aufbau der Arbeit	15
Abbildung 8: Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit	19
Abbildung 9: Zusammenfassung der wichtigsten Definitionen für Nachhaltigkeit im Unternehmenskontext	24
Abbildung 10: Anpassung von Porters Wertschöpfungskette für das Umweltcontrolling	27
Abbildung 11: Wissenspyramide	29
Abbildung 12: Dimensionen und Kriterien der Informationsqualität	30
Abbildung 13: Zusammenfassung der wichtigsten Definitionen für das (Umwelt-)Controlling	33
Abbildung 14: SWEBOK Prozess	41
Abbildung 15: Zusammenfassung der wichtigsten Definitionen für betriebliche Informationssysteme	43

Abbildung 16: Morphologischer Kasten	46
Abbildung 17: Zusammenfassung der Erkenntnisse für betriebliche Umweltinformationssysteme	51
Abbildung 18: Zusammenfassung der Erkenntnisse für Reifegradmodelle	54
Abbildung 19: Definitionen der wichtigsten Begriffe im Kontext der Gestaltung betrieblicher Umweltinformationssysteme	57
Abbildung 20: Methodisches Vorgehen nach PRISMA	60
Abbildung 21: Einordnung der Unterkapitel in den Objektbereich dieser Arbeit	61
Abbildung 22: Im Forschungsprojekts INTUS entwickeltes Phasenmodell	65
Abbildung 23: Schichtenarchitektur	72
Abbildung 24: Phasen des User Centered Design	78
Abbildung 25: Übersicht über die Phasen und Schritte der Methode	101
Abbildung 26: Reifegradmodell für den potentiellen Einsatz betrieblicher Umweltinformationssysteme	105
Abbildung 27: Angepasster morphologischer Kasten für betriebliche Umweltinformationssysteme	113
Abbildung 28: Relevante Aspekte zur Charakterisierung eines Anwendungsfalls	120
Abbildung 29: Nicht-funktionale Anforderungen nach VOLERE-Template	123
Abbildung 30: Relevante Aspekte für die Spezifikation der Anwendungsfälle	125
Abbildung 31: Referenzdatenmodell für das Umweltcontrolling	129
Abbildung 32: Visualisierung zur Übersicht über Informationssysteme (Beispiel)	131
Abbildung 33: Visualisierung zum Abgleich der benötigten mit vorhandenen Daten	133
Abbildung 34: Aufwand und Mehrwerte der benötigten Daten und Informationen	134
Abbildung 35: Möglichkeiten zur Senkung der Datengenauigkeit für das Betrachtungsobjekt Produkt	135

Abbildung 36: Referenzarchitektur für ein betriebliches Umweltinformationssystem	139
Abbildung 37: Prozessschaubild der Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems anhand von BPMN	144
Abbildung 38: Übersicht über die Unternehmen der Fallbeispiele	147
Abbildung 39: Gütekriterien nach Mayring und deren Adressierung in dieser Arbeit	148
Abbildung 40: Übersicht über die verwendeten Methoden für die PNZ-Produkte GmbH	152
Abbildung 41: Motivation und Ziele für den Einsatz eines betrieblichen Umweltinformationssystems für die PNZ-Produkte GmbH	155
Abbildung 42: Übersicht über die Organisation des Umweltmanagements sowie die Spezifikationen des betrieblichen Umweltinformationssystems der PNZ-Produkte GmbH in Form des morphologischen Kastens	159
Abbildung 43: Datenmodell für das Umweltcontrolling für die PNZ-Produkte GmbH	161
Abbildung 44: Informationssysteme der PNZ-Produkte GmbH	162
Abbildung 45: Informationssystemarchitektur für die PNZ-Produkte GmbH	166
Abbildung 46: Beispiel eines definierten Prozesses zur Erhebung der Abfalldaten	168
Abbildung 47: Roadmap für die Implementierung des betrieblichen Umweltinformationssystems für die PNZ-Produkte GmbH	169
Abbildung 48: Fazit der Validierung mit der PNZ-Produkte GmbH als Fallbeispiel	171
Abbildung 49: Einordnung von der Schaeffler AG, Standort Bußmatten in den Reifegrad	174
Abbildung 50: Übersicht über die verwendeten Methoden zur Anforderungserhebung für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten	177

Abbildung 51: Motivation und Ziele für den Einsatz eines betrieblichen Umweltinformationssystems für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten	179
Abbildung 52: Übersicht über die Organisation des Umweltmanagements sowie die Spezifikationen eines betrieblichen Umweltinformationssystems der Schaeffler AG, Standort Bußmatten in Form des morphologischen Kastens	183
Abbildung 53: Datenmodell für das Umweltcontrolling für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten	185
Abbildung 54: Übersicht über die verwendeten Informationssysteme des Umweltmanagements der Schaeffler AG, Standort Bußmatten	186
Abbildung 55: Geplante Informationssystemarchitektur zur Integration der produktionsnahen Informationssysteme der Schaeffler AG, Standort Bußmatten	188
Abbildung 56: Übersicht über die verwendeten Informationssysteme mit den verfügbaren Daten der Schaeffler AG, Standort Bußmatten	189
Abbildung 57: Identifizierte Datenlücken je Prozessschritt für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten	190
Abbildung 58: Informationssystemarchitektur für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten	194
Abbildung 59: Erweiterung der bisherigen Informationssystemarchitektur für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten	195
Abbildung 60: Roadmap für die Implementierung des betrieblichen Umweltinformationssystems für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten	196
Abbildung 61: Fazit der Validierung mit dem Standort Bußmatten der Schaeffler AG als Fallbeispiel	198

Abbildung 62: Übersicht über die Erfüllung der Anforderungen durch die entwickelte Methode	202
Abbildung 63: Prozess zur Erhebung der Treibhausgasemissionen für Scope 1 und 2	303
Abbildung 64: Prozess zur Aktualisierung der Sicherheitsdatenblätter	303
Abbildung 65: Prozess zur Aktualisierung der Emissionsfaktoren	304
Abbildung 66: Prozess zur Aktualisierung der Prüfergebnisse	304
Abbildung 67: Prozess zur Erhebung der Transportart und -entfernung	305
Abbildung 68: Prozess zur Einhaltung des Wartungsplans	305
Abbildung 69: Prozess zur Ermittlung des Energieverbrauchs	306
Abbildung 70: Screenshot des Klick-Dummies für die Erhebung und Kompensation der THG-Emissionen	307
Abbildung 71: Screenshot des Klick-Dummies für die Erfüllung der Zertifizierung nach ISO 9001 und ISO 14001	307
Abbildung 72: Screenshot des Klick-Dummies für den Anwendungsfall Segmentvorstellung	310

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Methoden für Informationsbedarfsermittlung	31
Tabelle 2:	Reifegrade des Umweltmanagements eines Unternehmens	52
Tabelle 3:	Bewertung der Ansätze zu Vorgehensmodellen zur Einführung von betrieblichen Umweltinformationssystemen	88
Tabelle 4:	Bewertung der Ansätze zu Architekturen und Datenmodellen von betrieblichen Umweltinformationssystemen	91
Tabelle 5:	Bewertung der Ansätze des Umweltinformationsmanagements	93
Tabelle 6:	Bewertung der Ansätze des Requirement Engineering	95
Tabelle 7:	Bewertung möglicher Methoden zur Anforderungserhebung	116
Tabelle 8:	Eignung der Methoden für die Validierung bei PNZ-Produkte GmbH	151
Tabelle 9:	Identifizierte Anwendungsfälle für die PNZ-Produkte GmbH	156
Tabelle 10:	Auswahl des betrieblichen Umweltinformationssystems	165
Tabelle 11:	Eignung der Methoden für die Validierung bei der Schaeffler AG, Standort Bußmatten	176
Tabelle 12:	Identifizierte Anwendungsfälle für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten	181
Tabelle 13:	Digitalisierungsgrade eines Unternehmens	288
Tabelle 14:	Identifikation und Beschreibung der Stakeholder für die PNZ-Produkte GmbH	301
Tabelle 15:	Identifikation und Beschreibung der Stakeholder für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten	308

1 Einleitung

Nachhaltiges Wirtschaften wird im Kontext der ökologischen Krisen zur notwendigen Voraussetzung für die Erhaltung unserer Lebensgrundlagen und für Unternehmen zunehmend zum entscheidenden Wettbewerbsfaktor. Neben Politik, Behörden und Gesellschaft fordern auch Kundinnen und Kunden sowie Investierende Transparenz und die Verbesserung der ökologischen Dimension der Nachhaltigkeit von Unternehmen. Einer der Schlüssel für eine glaubwürdige Kommunikation und Verbesserung ist hierbei die Erfassung nachvollziehbarer umweltrelevanter Daten. Hierfür bildet das Umweltcontrolling mit seinen Funktionen zur Information, Planung und Kontrolle, Koordination sowie Rationalitätssicherung die Grundlage. Betriebliche Umweltinformationssysteme wiederum können das Umweltcontrolling unterstützen und sind aufgrund der Komplexität des Umweltcontrollings und der Vielfalt von Datenquellen häufig unentbehrlich. Im Zuge der detaillierten Gestaltung und Auswahl dieser Informationssysteme stehen Unternehmen jedoch vor einer Herausforderung. Vor diesem Hintergrund hat die vorliegende Arbeit zum Ziel eine Methode zur Gestaltung betrieblicher Umweltinformationssysteme zu entwickeln, um das Umweltcontrolling mit seinen entsprechenden Informationsbedarfen in produzierenden Unternehmen unterstützen zu können.

1.1 Ausgangssituation

„You can't have an economy without a planet.“ (Albert ,Al' Gore)

Die drängenden ökologischen Krisen unserer Zeit erfordern einen Paradigmenwechsel der Industrie hin zu einem nachhaltigen Wirtschaften. So hat das World Economic Forum festgestellt, dass über die Hälfte des weltweiten Bruttoinlandsprodukts mäßig oder stark von der Natur und ihren bereitgestellten Services abhängig ist. Zusätzlich wird durch die allgegenwärtige Klimakrise und die ersten spürbaren Auswirkungen auch in Europa, wie Extremwetterereignisse, Dürren und Hitzewellen, deutlich, dass für eine funktionierende

Wirtschaft auch ein intaktes Ökosystem benötigt wird (World Economic Forum 2020, S.8). Neben der Klimakrise überschreiten wir weltweit mit unserer aktuellen Lebensweise auch weitere planetare Grenzen, obwohl nur innerhalb dieser Grenzen ein sicherer Handlungsraum für die Menschheit gewährleistet werden kann (vgl. Abbildung 1). Ein Überschreiten dieser Grenzen birgt also ein erhebliches Risiko, Lebensgrundlagen zu zerstören, und trotzdem haben bereits mehrere Bereiche den sicheren Handlungsraum überschritten: das Artensterben, das Einbringen von neuartigen Substanzen und Organismen, speziell durch Plastik, die biogeochemischen Kreisläufe mit Stickstoff und Phosphor, der Süßwasserverbrauch und Landnutzungsänderungen, insbesondere durch Abholzungen. (Steffen et al. 2015, S.736; Persson et al. 2022, S.1510; Wang-Erlandsson et al. 2022, S.388)

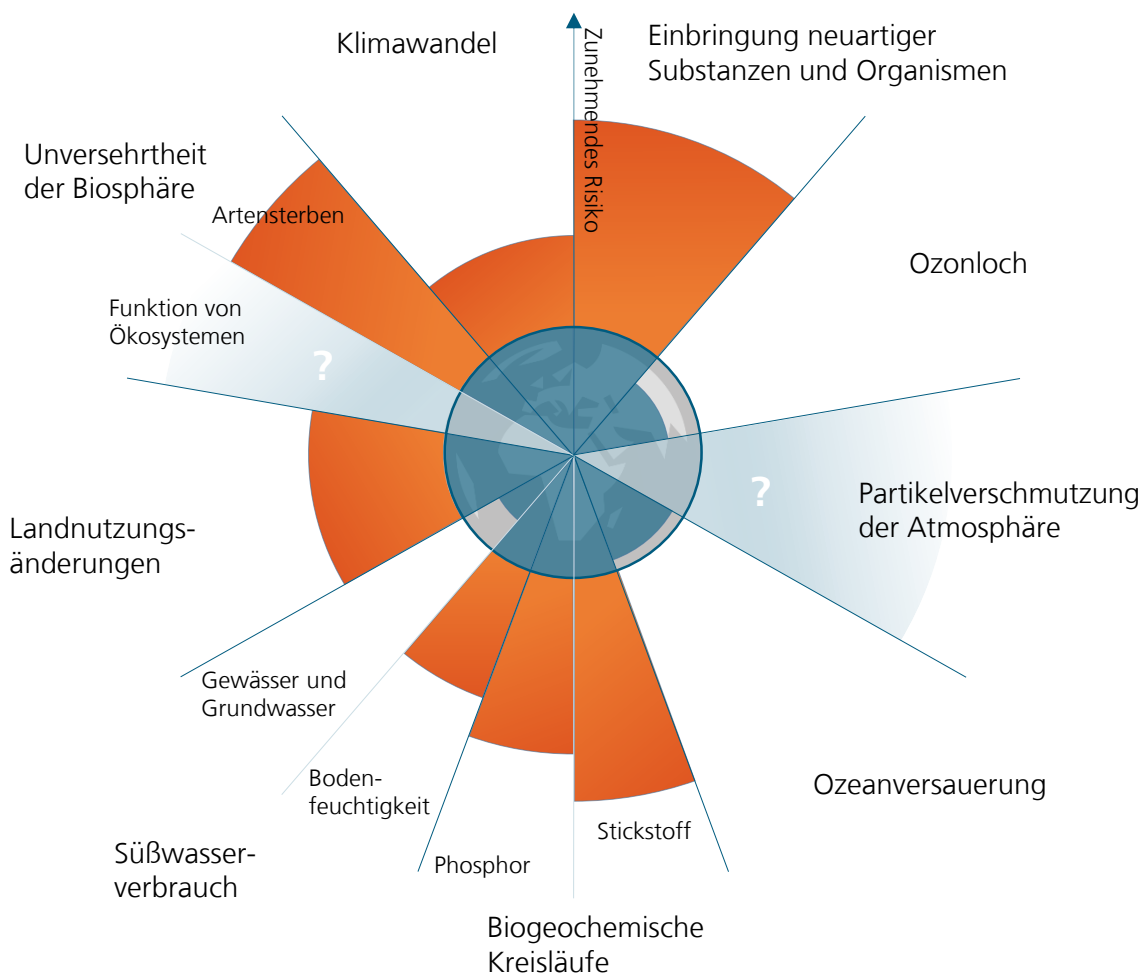


Abbildung 1: Planetare Grenzen nach Steffen et al. 2015, S.736; Persson et al. 2022, S.1510; Wang-Erlandsson et al. 2022, S.388

Der Industrie kommt bei der Eindämmung dieser Krisen, insbesondere der Klimakrise, eine bedeutende Rolle zu. So war die Industrie im Jahr 2020 mit knapp 25 % der gesamten Treibhausgasemissionen in Deutschland nach der Energiewirtschaft der größte Emittent (BMWK 2022). Vor diesem Hintergrund erhöht sich für Unternehmen der Druck für ein nachhaltiges Wirtschaften von Seiten der Kundschaft, der Gesellschaft, der Politik und der Investierenden (Seidel et al. 2013, S.14; Mieke et al. 2021, S.2). Während die Kundschaft und die Gesellschaft nachhaltige Produkte, nachvollziehbare Umweltziele sowie valide Informationen fordern, werden von der Politik vermehrt Gesetze verabschiedet, die Unternehmen ökologische Rahmenbedingungen vorgeben. Um das Pariser Klimaschutzabkommen zur Begrenzung der Erderwärmung auf 1,5 Grad Celsius im Vergleich zum vorindustriellen Zeitalter einzuhalten, wird eine massive Reduktion der Treibhausgasemissionen in den nächsten Jahren notwendig (United Nations 2015). In Deutschland wurde in diesem Kontext das Klimaschutzgesetz verabschiedet, welches eine generelle Klimaneutralität bis 2045 festschreibt und den Industriesektor verpflichtet die Treibhausgasemissionen bis 2030 um 58 % gegenüber 1990 zu senken (KSG). Zudem werden die Treibhausgasemissionen durch den verabschiedeten CO₂-Preis zu einem Wettbewerbsfaktor (Umweltbundesamt 2022). Ein weiterer Meilenstein war der Green Deal der EU-Kommission, der einen Rahmen für den ökologischen Umbau der europäischen Wirtschaft spannt und politische Ziele und Maßnahmen für die Sektoren Landwirtschaft, Verkehr, Industrie, Energie und Gebäude definiert (Europäische Kommission 2022). Weitere bundes- als auch europaweite Initiativen für ein nachhaltiges Wirtschaften umfassen die EU-Taxonomie, die Corporate Social Responsibility-Richtlinie (CSR-Richtlinie), das Eco Management and Audit Scheme (EMAS), das Öko-Design und das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz. Auch Investierende achten durch die EU-Taxonomie oder Environmental-Social-Governance-Kriterien (ESG-Kriterien) vermehrt auf die Nachhaltigkeit von Unternehmen, erwarten Transparenz über diese Themen und ziehen Nachhaltigkeitsberichte zurate (Amel-Zadeh & Serafeim 2018, S.87). Ökologisches Wirtschaften wird für Unternehmen also zum entscheidenden Wettbewerbsfaktor und muss in der unternehmerischen Praxis verankert werden (Gast et al. 2017, S.46).

Neben der notwendigen nachhaltigen Transformation ist die zweite Herausforderung, vor der Unternehmen stehen und die deutliche Effizienzgewinne verspricht, die Digitalisierung (Ghobakhloo 2020, S.1). Die weltweite Menge und Verfügbarkeit von gespeicherten und verarbeiteten Daten hat in den letzten Jahren exponentiell zugenommen (Röhl et al. 2021, S.5). Die Digitalisierung bietet damit die Chance, das Informationsangebot und damit die Transparenz über das eigene Unternehmen deutlich zu erhöhen (Baringhorst et al. 2017, S.11).). Doch trotz dieser Potenziale ist der aktuelle Nutzungsgrad von Daten in Unternehmen gering. So wurden in einer Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft nur 28 % der befragten Unternehmen hinsichtlich ihres Datenmanagements als digital eingestuft, während 72 % als weniger digital klassifiziert wurden (Röhl et al. 2021, S.4) (vgl. Abbildung 2). Dieses verdeutlicht, dass die Potenziale der Digitalisierung und des Datenmanagements noch nicht ausgeschöpft werden. Da mit der Digitalisierung sowie dem damit verbundenen Hardwareeinsatz und Energieverbrauch auch ökologische Auswirkungen verbunden sind, muss Digitalisierung gezielt eingesetzt werden (Schebek et al. 2017, S.14). So betrug der Stromverbrauch durch Informations- und Kommunikationstechnologien im Jahr 2014 mit 57,2 TWh rund 10 % des deutschen Stromverbrauchs. (Kemmler et al. 2017, S.132).

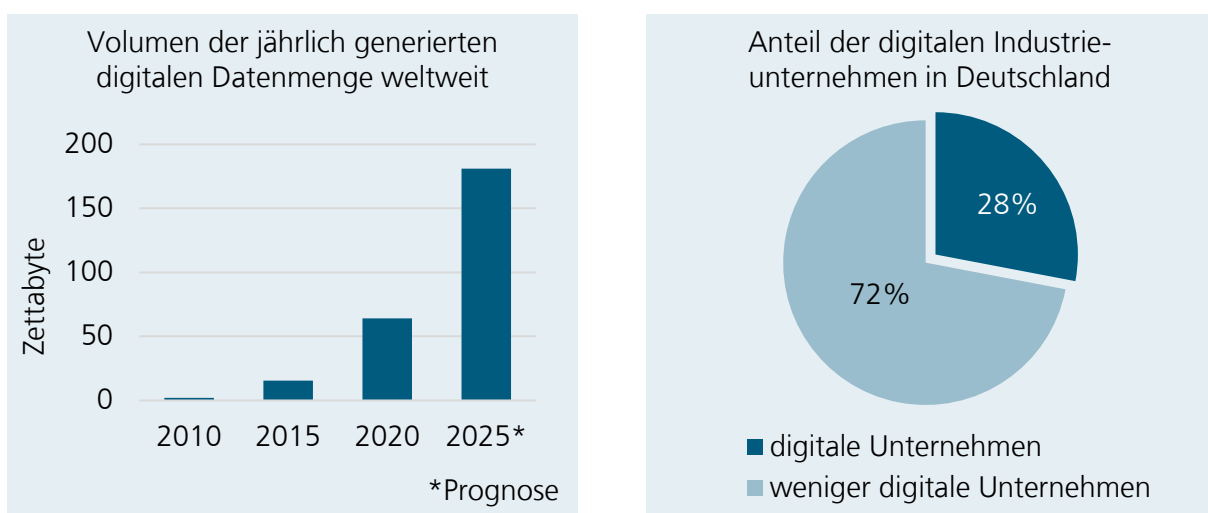


Abbildung 2: Datenaufkommen weltweit und Anteil digitaler Industrieunternehmen in Deutschland (links: IDC 2022, rechts: Röhl et al. 2021, S.4)

Die Integration sowohl der ökologischen Dimension der Nachhaltigkeit als auch der Digitalisierung in das Kerngeschäft stellt somit nach wie vor eine Herausforderung für

Unternehmen dar. Aufgrund der Komplexität beider Themen fehlt es bisher an einer interdisziplinären und integrativen Betrachtung beider Aspekte. (Eisner et al. 2022, S.2)

1.2 Problemstellung und Forschungsbedarf

Die beschriebene Ausgangssituation verdeutlicht die Notwendigkeit für Unternehmen die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit in ihrer Geschäftstätigkeit als zentrales Element zu verankern. Um also die steigenden Anforderungen in diesem Bereich zu erfüllen, benötigt es ein effizientes Umweltmanagement und -controlling, welches zuverlässige und ausreichende Daten in Bezug zur ökologischen Dimension der Nachhaltigkeit des Unternehmens liefert (Hildebrandt & Landhäußer 2017, S.269; Beier et al. 2020, S.58; KPMG AG 2021, S.48). Die detaillierte Aufnahme der Umwelteinwirkungen bildet so die Voraussetzung für die Verbesserung der Umweltleistung eines Unternehmens, da das konsequente Datenmonitoring Optimierungen, Einhalten von Standards und Regularien sowie effektive Nachhaltigkeitskommunikation und -marketing ermöglicht (Schaltegger & Burritt 2017, S.39; Barni et al. 2018, S.707). Hierfür muss das Wissen über die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit integraler Bestandteil der operativen Geschäftstätigkeit eines Unternehmens werden und bekannt sein, zu welchem Zweck die Informationen letztendlich genutzt werden (Winroth et al. 2016, S.843; Barni et al. 2018, S.707; Gunarathne & Lee 2019b, S.3). Aktuell werden diese benötigten Informationen in Unternehmen jedoch nicht systematisch erhoben und strukturiert gespeichert, wodurch zu wenige und zu ungenaue Daten im Umweltcontrolling vorhanden sind. Diese unstrukturierte Datenerhebung und -verarbeitung führt neben inkonsistenten Daten auch zu einem hohen personellen Aufwand, unter anderem durch Mehrfacherhebungen. Hierdurch fehlt Unternehmen die Informationsgrundlage, um eine fundierte Entscheidung für die notwendigen ökologischen Verbesserungen zu treffen. (Burritt & Christ 2016, S. 24–26; Schaltegger & Burritt 2017, S.38; Schebek et al. 2017, S.189)

In diesem Kontext verspricht die Digitalisierung insbesondere höhere Transparenz über die eigene Geschäftstätigkeit (Rogall et al. 2022, S.1). Gerade im Umweltmanagement könnte die bessere Datenverfügbarkeit dafür genutzt werden, das Umweltcontrolling zu verbessern und Silodenken innerhalb eines Unternehmens aufzubrechen (Burritt & Christ

2016, S. 30–31). In einer Umfrage unter mittelständischen Unternehmen stimmten insgesamt 81,9 % der befragten Unternehmen zumindest teilweise zu, dass die Digitalisierung die Umweltbelastung durch Identifikation und anschließende Änderung von umweltschädlichem Verhalten verringern kann (Baringhorst et al. 2017, S.53). Abbildung 3 verdeutlicht, dass der Digitalisierung auch für die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit große Potentiale zugeschrieben werden, diese jedoch in den operativen Prozessen noch nicht gehoben werden. Laut einer Studie von KPMG fokussieren sich Unternehmen derzeit auf die Digitalisierung ihrer operationalen Geschäftsprozesse, sodass die eingesetzten Systeme und Prozesse homogenisiert und die Qualität der Stammdaten verbessert werden (KPMG AG 2021, S. 6–7). Hierbei bleibt die nichtfinanzielle Berichterstattung, also unter anderem Umwelterklärungen als Teil des Umweltmanagements, jedoch eine Herausforderung. (KPMG AG 2021, S.7). So werden die benötigten Daten in einem Großteil der Fälle noch mithilfe einer manuellen Lösung, also Tabellenkalkulationsprogrammen, erhoben. Dieses zeigt sich auch in einer weiteren Studie des Instituts der deutschen Wirtschaft. Hier wurde festgestellt, dass Lösungen zur Datenerhebung und -nutzung fehlen, um die Ressourceneffizienz in Unternehmen zu steigern (Institut der deutschen Wirtschaft et al. 2021, S.88).

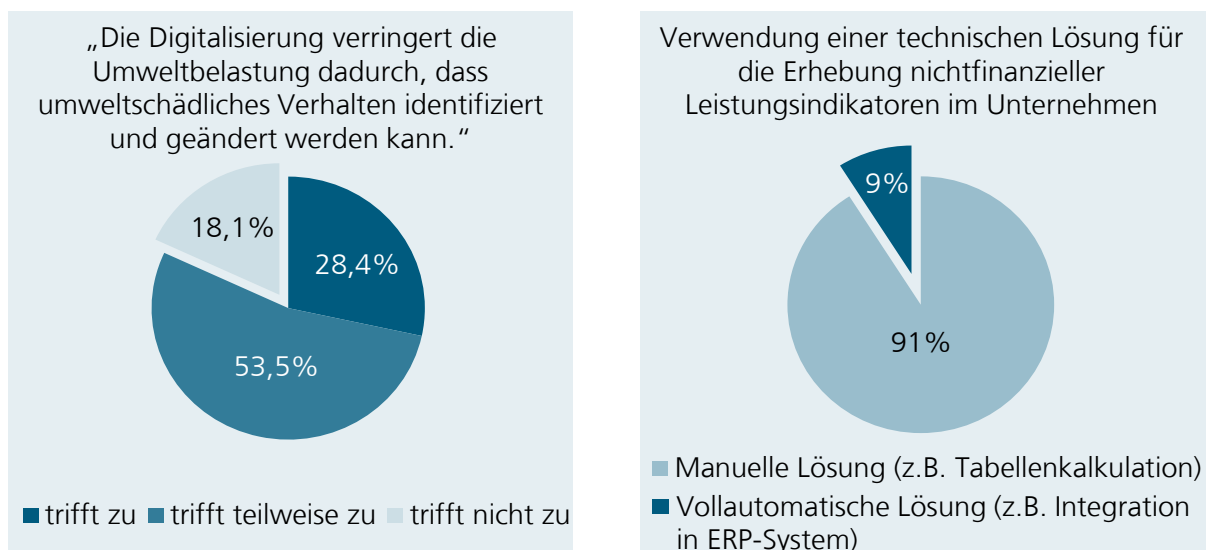


Abbildung 3: Umfrageergebnisse zum Beitrag und der Nutzung von Digitalisierung für die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit in Unternehmen (links: Baringhorst et al. 2017, S.53, rechts: KPMG AG 2021, S.43)

Es ergeben sich also steigende Anforderungen an Unternehmen, die durch das Umweltmanagement und -controlling erfüllt werden müssen. Jedoch mangelt es diesem Bereich aktuell noch an systemseitiger Unterstützung, obwohl diese aufgrund der Komplexität der Daten und Vielfalt der Datenquellen sogar als zwingend erforderlich angesehen wird (Junker & Farzad 2015, S.1131; KPMG AG 2020, S.7). Genau für diese systemseitige Unterstützung können betriebliche Umweltinformationssysteme eingesetzt werden und stellen so einen Enabler für die Abschätzung von Umwelteinwirkungen und für ein effektives sowie effizientes Umweltcontrolling dar. Durch betriebliche Umweltinformationssysteme können Daten strukturiert erhoben und verarbeitet werden und somit der manuelle Aufwand sowie die Komplexität des Umweltmanagements und -controllings reduziert werden. (Schaltegger & Burritt 2017, S.240; Seidel et al. 2018, S.221; Gotsch et al. 2020, S. 73–74)

Trotz der Vorteile betrieblicher Umweltinformationssysteme kommen diese bisher unzureichend in Unternehmen zum Einsatz – sowohl als Erweiterung bestehender betrieblicher Informationssysteme, wie Enterprise-Resource-Planning-Systeme (ERP-Systeme), als auch in Form von Einzellösungen (Dagiliene & Štutienė 2019, S.277). Hierbei zeigen Untersuchungen zudem, dass die am Markt befindlichen Informationssysteme nicht alle benötigten Funktionen von Unternehmen, insbesondere von kleineren Unternehmen, zur Verfügung stellen (Wohlgemuth 2015, S.234; Hoang et al. 2016, S.3). So weisen beispielsweise ERP-Systeme oder Managementinformationssysteme, die normalerweise für Controlling-Aufgaben verwendet werden, bisher eine unzureichende Integration von ökologischen Aspekten auf und reichen für die Informationsversorgung des Umweltmanagements und -controllings nicht aus (Alewine et al. 2016, S.30; Dagiliene & Štutienė 2019, S.279; Gotsch et al. 2020, S.76). Auch Anforderungen an Flexibilität, Anpassungsfähigkeit in Bezug auf das Informationsangebot sowie die Integrationsfähigkeit werden durch bisherige Lösungen unzureichend erfüllt (Bischof & Winkler 2012, S.215; Wohlgemuth 2015, S.224).

Generell gehört die Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems zu den zentralen unternehmerischen Aufgaben, ist durch die zusätzliche ökologische Dimension

jedoch komplexer als bei rein ökonomisch ausgerichteten Informationssystemen (Junker & Farzad 2015, S.1135; Krcmar 2015, S.2). Darüber hinaus gestaltet sich auch die Auswahl eines betrieblichen Umweltinformationssystems als Teil der Gestaltung aufgrund der Vielfalt der Angebote als schwierig (Brzozowska et al. 2015, S.997). Obwohl geschätzt wird, dass ohne eine detaillierte Methode zur Gestaltung und Einführung eines betrieblichen Umweltinformationssystems die Abbruchrate deutlich höher ist als bei konventionellen Implementierungen, existiert eine solche Methode bisher nicht. Zudem ist unklar, wie sich die Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems von der eines konventionellen betrieblichen Informationssystems unterscheidet, welche Informationen und Daten, z.B. in Form eines Referenzdatenmodells, beinhaltet werden sollten und inwiefern bestehende Systementwicklungsprozesse für die Gestaltung dieser Systeme geeignet sind. (Melville & Whisnant 2012, S.4; Seidel et al. 2013, S.40; Löser 2015, S.54; Dagiliene & Šutiene 2019, S.261)

1.3 Zielsetzung und Forschungsfragen

Ausgehend von der beschriebenen Problemstellung umfasst das Ziel dieser Arbeit daher die Entwicklung einer Methode zur unternehmensspezifischen Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems. Durch die Methode sollen Unternehmen dazu befähigt werden ein Informationssystem zu gestalten, welches alle relevanten Daten für das Umweltcontrolling erfasst und verarbeitet sowie den entsprechenden Personen in geeigneter Form zugänglich macht.

Um dieses Ziel zu erreichen, muss folgende zentrale Forschungsfrage beantwortet werden:

Wie kann ein betriebliches Umweltinformationssystem unternehmensspezifisch gestaltet werden?

Zur umfassenden Beantwortung der zentralen Forschungsfragen kann diese in folgende Teilforschungsfragen untergliedert werden:

1. Welche Aufgaben im Unternehmen sollten durch betriebliche Umweltinformationssysteme unterstützt werden?
2. Welche Anforderungen sollten an die Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems gestellt werden?
3. Wie kann eine Methode zur unternehmensspezifischen Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems aufgebaut sein?
4. Wie können ein Referenzdatenmodell und eine Referenzarchitektur eines betrieblichen Umweltinformationssystems aufgebaut sein?
5. Wie kann eine Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems validiert werden?

Die Arbeit konzentriert sich dabei auf Unternehmen und ist an der Schnittstelle zur ökologischen Dimension der Nachhaltigkeit, dem Controlling und den betrieblichen Informationssystemen angesiedelt (vgl. Abbildung 4).

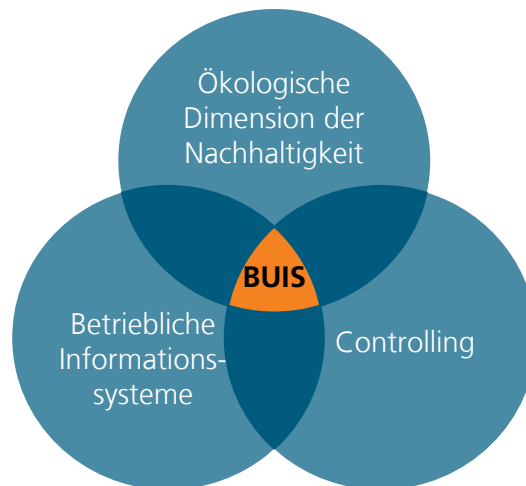


Abbildung 4: Inhaltlicher Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit

1.4 Wissenschaftstheoretische Positionierung und Forschungsmethodik

Für eine wissenschaftstheoretische Positionierung ist zunächst zu klären, was Wissenschaft bedeutet. Wissenschaft als Prozess zeichnet sich dadurch aus, dass Erkenntnisse systematisch erlangt werden und somit die Wissensbasis erweitern. Charakteristisch für Wissenschaft sind die systematische Vorgehensweise und die intersubjektive Überprüfbarkeit (Kornmeier 2007, S. 4–5). Ulrich und Hill stimmen den genannten Charakteristika der Wissenschaft zu. Für die beiden Autoren handelt es sich jedoch um eine gesellschaftliche Erscheinung, die in den jeweiligen soziokulturellen Kontext gesetzt werden muss und deshalb keiner allgemeingültigen Definition unterworfen werden kann (Ulrich & Hill 1976, S.305).

In der Wissenschaft wird zwischen Formal- und Realwissenschaften unterschieden (vgl. Abbildung 5). Während sich die Formalwissenschaften mit der Konstruktion von Zeichensystemen befassen, beschreiben, erklären und gestalten Realwissenschaften empirische Wirklichkeitsausschnitte. Zu den Formalwissenschaften zählen daher Philosophie, Logik und Mathematik. Die Realwissenschaften unterteilen sich nochmals in reine Grundlagenwissenschaften und angewandte Handlungswissenschaften.

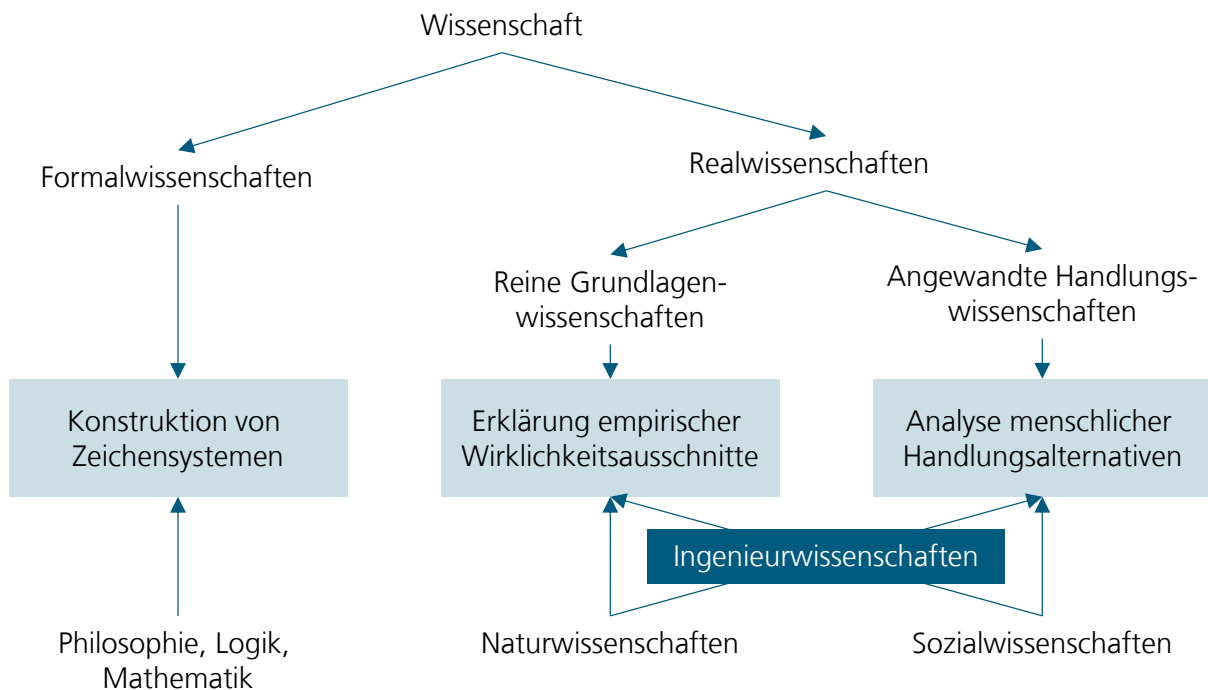


Abbildung 5: Einordnung der eigenen Arbeit in die Wissenschaftssystematik nach Ulrich & Hill 1976, S.305

Ziel der Grundlagenwissenschaften, die klassischerweise die Naturwissenschaften umfassen, ist es, Erklärungsmodelle zu erstellen und hierbei die Diskrepanz zwischen Theorie und Beobachtung zu erläutern. Im Kontext von Informationssystemen wird in diesem Wissenschaftszweig auf das Paradigma der Verhaltenswissenschaften (engl. Behavioral Science Paradigm) zurückgegriffen. Es sollen Theorien entwickelt und gerechtfertigt werden, die organisatorische und menschliche Verhaltensweisen im Zusammenhang mit Informationssystemen erklären oder vorhersagen können. (Ulrich & Hill 1976, S.305; Hevner et al. 2004, S.76)

Die angewandten Wissenschaften fokussieren sich auf die „*Analyse menschlicher Handlungsalternativen zwecks Gestaltung sozialer und technischer Systeme*“ (Ulrich & Hill 1976, S.305), um so Handlungen anzuleiten und zu unterstützen. (Ulrich 1982, S.5) Es besteht also ein direkter Bezug zu einer praktischen Problemstellung. Hierbei wird außerdem zwischen gesellschaftlichem und technischem Bereich unterschieden. Zum gesellschaftlichen Bereich zählen die Sozialwissenschaften, zum technischen die Ingenieurwissenschaften. Im Kontext der Informationssysteme wird das Paradigma der

Design-Wissenschaft (engl. Design Science Paradigm) verwendet, das seine Wurzeln im Ingenieurwesen hat. Es zielt darauf ab, Innovationen zu schaffen, durch die die Analyse, die Gestaltung, die Implementierung, das Management und die Nutzung von Informationssystemen effektiv und effizient durchgeführt werden können. (Ulrich & Hill 1976, S.305; Simon 1996, S.111; Hevner et al. 2004, S.76)

Das oberste Ziel der Grundlagenwissenschaften ist somit die Ermittlung der Wahrheit, während angewandte Wissenschaften auf den Nutzen und die Effektivität in der Praxis abzielen. (Ulrich 1982, S.4; Hevner et al. 2004, S. 79–80)

Da in dieser Arbeit eine Methode zur Gestaltung betrieblicher Umweltinformationssysteme entwickelt wird, zielt diese auf die Gestaltung eines technischen Systems ab. Sie kann somit in die Realwissenschaften, explizit in die Ingenieurwissenschaften, eingeordnet werden und unterliegt dem Design Science Paradigma. Als zugrundeliegende Forschungsmethodik wird daher Design Science Research nach Hevner et al. verwendet, welches das Design und die Evaluation von Artefakten zum Ziel hat (Hevner et al. 2004, S.80). Artefakte sind definiert als Konstrukte, Modelle, Architekturen, Methoden, Instanziierungen, Designprinzipien und -theorien, die dabei unterstützen Probleme bei der Entwicklung und Implementierung von Informationssystemen zu verstehen und zu adressieren. Sie müssen in einer strukturierten Art und Weise vorliegen, können jedoch sowohl in Form einer Software, formaler Logik, Mathematik oder auch als informelle Beschreibungen in natürlicher Sprache entwickelt werden. Die Evaluation kann durch Fallstudien, Feldstudien, Analysen, Experimenten, Simulationen, Tests, fundierte Argumentation oder Szenarien erfolgen. (Hevner et al. 2004, 77, 86; Vaishnavi & Kuechler 2015, S.20)

In der vorliegenden Arbeit ist das zu entwickelnde Artefakt eine Methode, die ein Referenzdatenmodell und eine Referenzarchitektur beinhaltet. Unter Zuhilfenahme von Standards, z.B. Business Process Modeling Notation (BPMN) und Unified Modeling

Language (UML), wird diese strukturiert dargestellt. Evaluiert wird das Artefakt anhand von zwei Fallstudien.

Die Verwendung von Design Science Research im Bereich Green Information Systems (Green IS) bzw. betriebliche Umweltinformationssysteme wird als vielversprechend angesehen, steht jedoch noch am Anfang und ist daher ein recht neues Forschungsgebiet (Brendel et al. 2018, S. 1–2). In Abbildung 6 sind das allgemeine Vorgehen und die Zyklen des Design Science Research dargestellt. Hiernach sind Forschungsergebnisse nach ihrer Relevanz für die Praxis und ihrem Beitrag zur Erweiterung der Wissensbasis zu bewerten. Die Umgebung definiert hierbei die Problemstellung, indem die Unternehmensanforderungen, wie sie von den Menschen innerhalb der Organisation wahrgenommen werden, definiert werden. Die Wissensbasis beinhaltet die Grundlagen und Methoden, um Forschung durchführen zu können. Über die Entwicklung und Validierung der Artefakte findet im Design Science Research die eigentliche Forschung statt. Der Relevanzzyklus gewährleistet dabei, dass die Unternehmensanforderungen in der Forschung berücksichtigt werden und überführt die Artefakte in die Praxis. Der Stringenzyklus stellt die Innovation der Forschung sicher, indem bestehende Grundlagen und Methoden in der Forschung berücksichtigt und neue Erkenntnisse in die Wissensbasis aufgenommen werden. Der zentrale Designzyklus ist das zentrale Element, da hier Iterationen zwischen dem Design des Artefakts und der Validierung stattfinden und so das Design bewertet und verbessert werden kann. (Hevner et al. 2004, S. 79–81; Hevner 2007, S. 3–5)

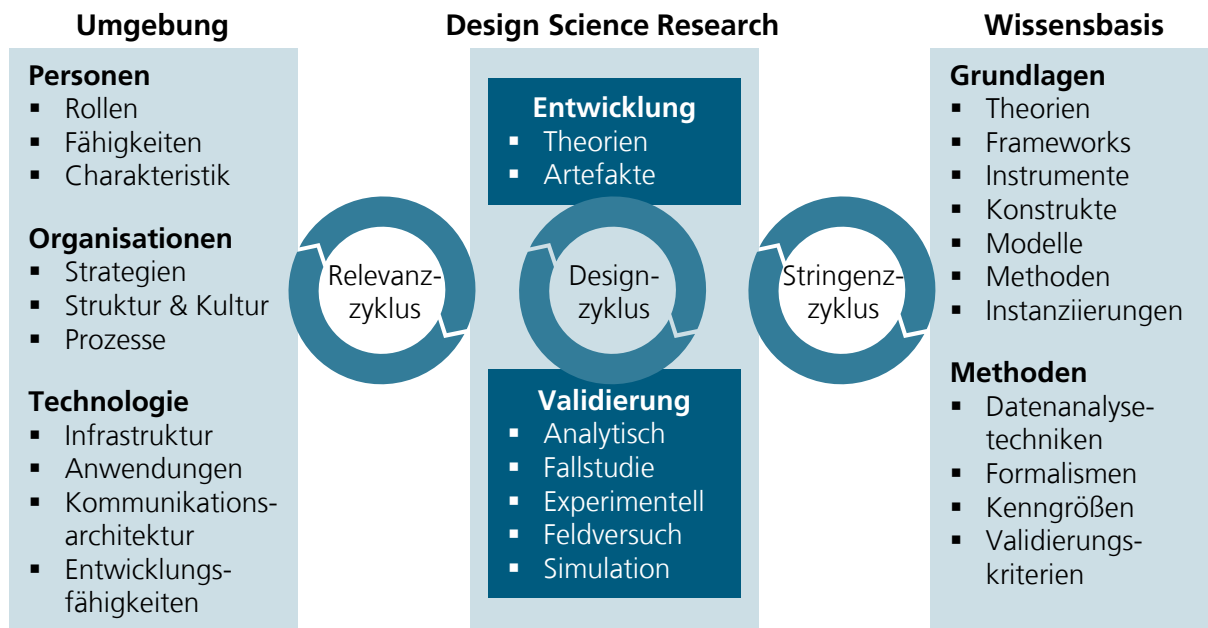


Abbildung 6: Vorgehen und Zyklen des Design Science Research nach Hevner et al. (Hevner et al. 2004, S.80; Hevner 2007, S.2)

Für die Verwendung von Design Science Research wurde ein Leitfaden verfasst, der insgesamt sieben Leitlinien umfasst (Hevner et al. 2004, S.83):

1. **Design als Artefakt:** Design Science Research muss ein brauchbares Artefakt in Form eines Konstrukts, eines Modells, einer Methode oder einer Instanziierung hervorbringen.
2. **Problemrelevanz:** Das Ziel ist die Entwicklung technologiebasierter Lösungen für wichtige und relevante Geschäftsprobleme.
3. **Validierung des Designs:** Der Nutzen, die Qualität und die Wirksamkeit eines Artefakts müssen durch gut durchgeführte Evaluierungsmethoden rigoros nachgewiesen werden.
4. **Forschungsbeiträge:** Effektives Design Science Research muss klare und nachweisbare Beiträge für Artefakt, Grundlagen und/oder Methoden liefern.
5. **Stringente Forschung:** Designwissenschaftliche Forschung stützt sich auf die Anwendung stringenter Methoden sowohl bei der Konstruktion als auch bei der Bewertung des Artefakts.

6. **Design als Suchprozess:** Die Suche nach einem effektiven Artefakt erfordert den Einsatz verfügbarer Mittel, um die gewünschten Ziele zu erreichen.
7. **Kommunikation der Forschung:** Design Science Research muss sowohl für technologieorientierte als auch für managementorientierte Zielgruppen effektiv präsentiert werden.

1.5 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit orientiert sich an den Leitlinien und den Zyklen des Design Science Research nach Hevner et al. und ist in Abbildung 7 dargestellt.

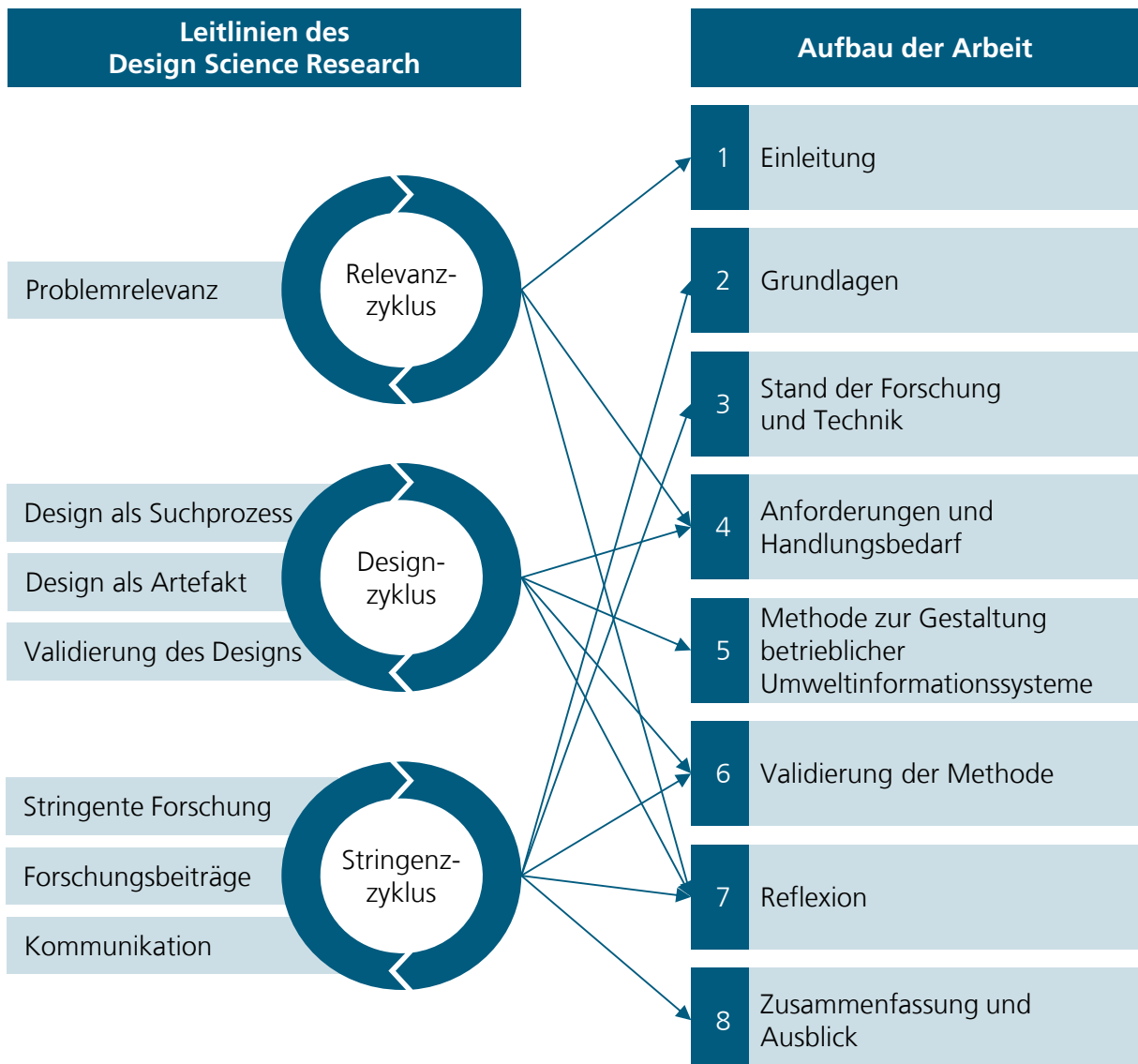


Abbildung 7: Aufbau der Arbeit

Kapitel 1 befasst sich mit der Ausgangssituation, der Problemstellung und dem Forschungsbedarf. Darauf aufbauend wurden in diesem Kapitel die Zielsetzung der Arbeit und die Forschungsfragen abgeleitet sowie die wissenschaftstheoretische Positionierung und Forschungsmethodik dargelegt. Die Grundlagen zu Nachhaltigkeit, Informationssystemen und im Speziellen betrieblichen Umweltinformationssystemen werden im Kapitel 2 erläutert. Hier wird auch auf den Unterschied zu Daten, Informationen und Wissen eingegangen sowie Reifegradmodelle definiert. Der Stand der Forschung und Technik im Kapitel 3 beschreibt bestehende Ansätze zu Vorgehensmodellen zur Einführung von betrieblichen Umweltinformationssystemen, zu Architekturen und Datenmodellen, zu Umweltinformationsmanagement sowie allgemein zu Requirement Engineering als Teil des Softwareentwicklungsprozesses. Im Kapitel 4 werden die Anforderungen an die Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltmanagementsystems abgeleitet und die bestehenden Ansätze anhand der identifizierten Anforderungen bewertet. Der so ermittelte Handlungsbedarf wird im Kapitel 5 aufgegriffen und die Methode, die diesen Handlungsbedarf adressiert, entwickelt. Anhand von zwei Fallbeispielen aus dem produzierenden Gewerbe wird die entwickelte Methode anschließend im Kapitel 6 validiert. Die Reflexion im Kapitel 7 verifiziert die Methode anhand der Erfüllung der Anforderungen und stellt die Beantwortung der Forschungsfragen dar. Im abschließenden Kapitel 8 wird die Arbeit zusammengefasst, die Grenzen der Methode aufgezeigt sowie ein Ausblick für weitere potentielle Forschungsaktivitäten gegeben.

2 Grundlagen

In diesem Kapitel werden die Begriffe und Grundlagen definiert, die für das Verständnis der Arbeit notwendig sind. Diese umfassen Nachhaltigkeit im Unternehmenskontext, das das übergeordnete Konzept des Umweltmanagements bildet. Darüber hinaus werden das (Umwelt-)Controlling, Informationssysteme, betriebliche Umweltinformationssysteme und Reifegradmodelle betrachtet.

2.1 Nachhaltigkeit im Unternehmenskontext

Nachhaltigkeit ist ein komplexes Konzept, welches die Grundlage dieser Arbeit bildet. Daher wird in diesem Kapitel ausgehend von der Definition der Nachhaltigkeit, die Bedeutung von Nachhaltigkeit für Unternehmen in Form des Nachhaltigkeits- und des Umweltmanagements beschrieben.

2.1.1 Definition und Konzepte der Nachhaltigkeit

Für Nachhaltigkeit wurden im Laufe der Jahre unterschiedliche Definitionen formuliert. Die am weitesten verbreitete Definition für nachhaltige Entwicklung wurde 1987 im Brundtland-Report veröffentlicht: "[Sustainable development means] *to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs.*" (Brundtland 1987, S.16) Die beschriebenen „needs“ weisen in diesem Kontext auf die Grundbedürfnisse hin (Brundtland 1987, S.16).

Diesem Bericht vorangegangen war die 1972 veröffentlichte Studie des Club of Rome „The limits to growth“. Auf der Grundlage von Szenarien und Systemanalysen wurden in dieser Studie die Auswirkungen von kontinuierlichem Wachstum im Bereich der Industrie, der Bevölkerung, der Nahrungsmittelproduktion, des Ressourcenverbrauchs und der Umweltverschmutzung untersucht. Ergebnis der Untersuchung war, dass mit der aktuellen Entwicklung die absoluten Grenzen des Wachstums im Laufe der nächsten hundert Jahre erreicht, Nahrungsmittel nicht ausreichen sowie Rohstoffe erschöpft

werden (Meadows et al. 1972). Die anschließende Diskussion um notwendige Maßnahmen und Konsequenzen führte zur Brundtland-Definition.

Um das Konzept der Nachhaltigkeit zu operationalisieren, wurde 1994 der Nachhaltigkeitsbegriff mit der Definition des Drei-Säulen-Modells (engl. Triple Bottom Line) von Elkington weiter detailliert (Elkington 2004, S.23). Dieses besagt, dass die drei Säulen der Nachhaltigkeit, Ökonomie, Ökologie und Soziales, miteinander in Einklang gebracht werden müssen, um eine nachhaltige Entwicklung zu erreichen. Die Säule Ökologie bedeutet hierbei, dass zur Befriedigung des Ressourcen- und Dienstleistungsbedarfs heutiger und künftiger Generationen die Gesundheit der Ökosysteme, die sie bereitstellen, nicht beeinträchtigt werden darf (Morelli 2011, S.7). Hierbei soll die Ausbeutung von Ressourcen und Ökosystemen auf ein Maß reduziert werden, das die Regenerationsfähigkeit dieser nicht überschreitet, sowie Schad- und Abfallstoffe minimiert werden, sodass die Assimilationskapazität nicht überschritten wird (Littig & Griessler 2005, S.3; Gast et al. 2017, S.46). Die Säule Soziales kann als nachhaltig angesehen werden, wenn die Arbeit innerhalb einer Gesellschaft und die damit verbundenen institutionellen Arrangements die menschlichen Bedürfnisse befriedigen und so gestaltet sind, dass die Natur und ihre Reproduktionsfähigkeit über lange Zeiträume erhalten bleiben. Zudem müssen die normativen Ansprüche sozialer Gerechtigkeit, Menschenwürde und Partizipation erfüllt werden (Littig & Griessler 2005, S.11). Die Säule Ökonomie bezieht sich auf die Fähigkeit des Wirtschaftssystems zu überleben und sich weiterzuentwickeln, um zukünftige Generationen zu unterstützen und zu versorgen (Spangenberg 2005, S.58).

Das Drei-Säulen-Modell setzt eine gleichrangige Beziehung zwischen Ökonomie, Ökologie und Soziales voraus. Dieses Nachhaltigkeitsverständnis wird auch schwache Nachhaltigkeit genannt und es ermöglicht eine Verrechnung von Sach-, Human- und Naturkapital. Konkret bedeutet dies z.B., dass ein Ökosystem degradiert, Naturkapital also verringert werden kann, wenn so in gleichem oder höherem Maße Sach- oder Humankapital erhöht werden kann (Costanza et al. 1997, S.255). An diesem Nachhaltigkeitsverständnis wurde viel Kritik geübt, da die Gleichrangigkeit der Säulen

vernachlässigt, dass das Naturkapital die Lebensgrundlage und somit die Grundvoraussetzung für die beiden Säulen Ökonomie und Soziales bildet. Aus diesem Grund wurde die starke Nachhaltigkeit mit dem Vorrangmodell definiert, welche eine Substitution von Naturkapital durch Human- oder Sachkapital weitestgehend ablehnt (Ott & Döring 2011). Abbildung 8 veranschaulicht die beiden Modelle mit ihren unterschiedlichen Beziehungen zwischen den Nachhaltigkeitssäulen.

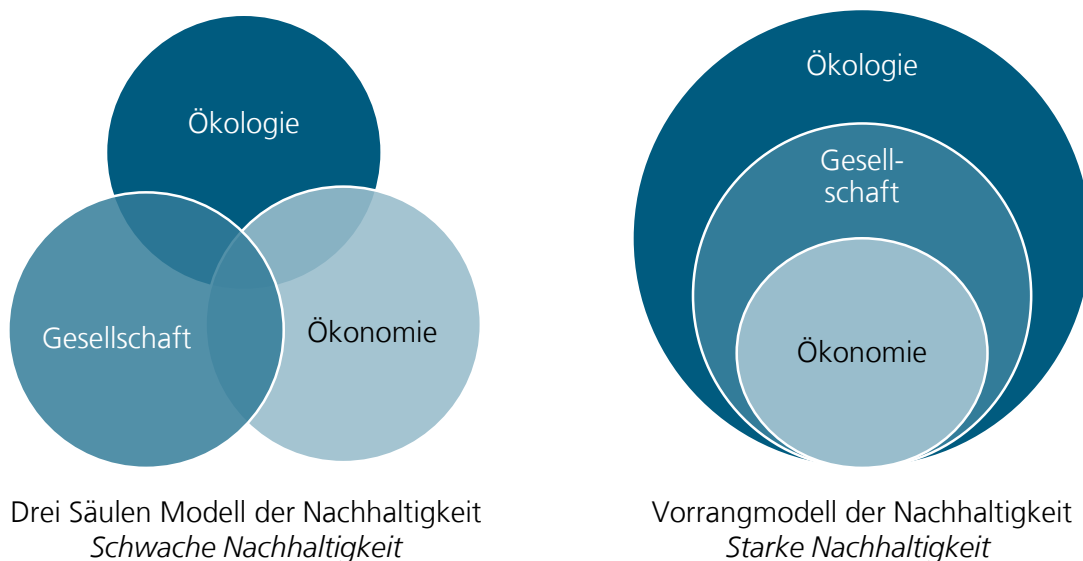


Abbildung 8: Drei-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit nach Costanza et al. (links) und Vorrangmodell nach Ott und Döring (rechts) (Costanza et al. 1997, S.259; Ott & Döring 2011)

Für eine nachhaltige Wirtschaftsweise eröffnen sich in diesem Kontext drei wesentliche Nachhaltigkeitsstrategien: Effizienz, Konsistenz und Suffizienz.

Die Effizienzstrategie hat das Ziel, mit möglichst wenig Ressourceneinsatz den größtmöglichen ökonomischen Output zu erreichen. Der Kern dieser Strategie ist also die Steigerung der Material- und Energieeffizienz, z.B. durch Prozess- oder Produktverbesserungen. Häufig wird diese Strategie auch als Öko-Effizienz bezeichnet, da durch Effizienzsteigerungen die ökologischen Auswirkungen vermindert werden. (Tschandl 2012, S.24; Behrendt et al. 2018, S.8)

Die Konsistenzstrategie, oder auch Öko-Effektivität genannt, beschreibt hingegen eine „umweltverträgliche Beschaffenheit von Stoffströmen“ (Behrendt et al. 2018, S.13). Diese

können entweder in geschlossenen technischen Stoffkreisläufen geführt oder mit den in der Natur vorhandenen Stoffströmen soweit übereinstimmen, dass sie sich in diese ohne schädliche Umweltauswirkungen und ohne Überschreiten der natürlichen Aufnahmefähigkeit der Systeme eingliedern. Diese Strategie zielt also darauf ab, die Qualität der Stoffströme zu transformieren. (Behrendt et al. 2018, S.13)

Die Suffizienzstrategie unterscheidet sich von den beiden vorherigen Strategien. Während Effizienz- und Konsistenzstrategie darauf fokussieren die Produktion von Gütern umzugestalten, sollen bei der Suffizienzstrategie die Konsummuster so geändert werden, dass es ermöglicht wird, innerhalb der planetaren Grenzen zu wirtschaften. Dieses wird durch Verhaltensänderungen erzielt, z.B. durch weniger Konsum oder durch eine Lebensweise, die mit einem deutlich geringeren Ressourcenverbrauch verbunden ist. (Heyen et al. 2013, S.7)

Mithilfe der genannten Modelle ist es jedoch noch immer schwierig, Nachhaltigkeit objektiv zu bewerten und zu operationalisieren. Das Fehlen von Grenzwerten erschwert die Einschätzung des aktuellen Status. Daher wurde für die ökologische Säule das Konzept der planetaren Grenzen aufgestellt, die innerhalb von neun Kategorien biophysikalische Grenzwerte und ihre aktuelle Auslastung ermitteln (vgl. Abbildung 1). Das Einhalten dieser Grenzwerte sichert den langfristigen Erhalt der Lebensgrundlage, wobei bereits sechs dieser Grenzwerte massiv überschritten wurden. (Steffen et al. 2015, S.736; Persson et al. 2022, S.1510; Wang-Erlandsson et al. 2022, S.388)

Die 17 Sustainable Development Goals (SDGs) oder auch Ziele für eine nachhaltige Entwicklung sind ein weiterer Ansatz Nachhaltigkeit zu operationalisieren und messbar zu machen. Im Rahmen der Agenda 2030 der Vereinten Nationen wurden politische Ziele mit folgenden Überschriften von den Staats- und Regierungschefs verabschiedet: 1. Keine Armut, 2. Kein Hunger, 3. Gesundheit und Wohlergehen, 4. Hochwertige Bildung, 5. Geschlechtergleichheit, 6. Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen, 7. Bezahlbare und saubere Energie, 8. Menschenwürdige Arbeit und Wirtschaftswachstum, 9. Industrie, Innovation und Infrastruktur, 10. Weniger Ungleichheit, 11. Nachhaltige Städte und Gemeinden, 12. Nachhaltige/r Konsum und Produktion, 13. Maßnahmen zum

Klimaschutz, 14. Leben unter Wasser, 15. Leben an Land, 16. Frieden, Gerechtigkeit und starke Institutionen, 17. Partnerschaft zur Erreichung der Ziele. (UNDP 2021) Zur Erreichung dieser Ziele spielen Unternehmen eine zentrale Rolle. Darüber hinaus sind diese SDGs für viele Unternehmen ein Anhaltspunkt zur Einschätzung ihres Beitrags und Verbesserung ihrer Leistung im Bereich Nachhaltigkeit. (Rosati & Faria 2019, S.589)

Die beschriebenen Nachhaltigkeitskonzepte stellen eine erste Operationalisierung von Nachhaltigkeit in Unternehmen dar. Für die konkrete Verbesserung und Maßnahmenumsetzung muss in Unternehmen jedoch ein Nachhaltigkeitsmanagement vorhanden sein.

2.1.2 Nachhaltigkeitsmanagement

Wie im vorherigen Kapitel gezeigt wurde, ist Nachhaltigkeit an sich mit seinen drei Säulen komplex. Zur Operationalisierung der Nachhaltigkeit wurden bereits einige Konzepte und Ziele aufgestellt. Zudem wurde gezeigt, dass Unternehmen zur Erreichung einer nachhaltigen Wirtschaftsweise eine essentielle Rolle zukommt. Um dieser Rolle gerecht zu werden, benötigen Unternehmen ein Nachhaltigkeitsmanagement, das im Folgenden definiert wird.

Sich mit Nachhaltigkeit zu befassen, kann für Unternehmen verschiedene Vorteile bieten. Sie können ihre Risiken minimieren, ihre Markt- oder Differenzierungschancen steigern, ihre Produktivität erhöhen, ihre Wirtschaftsaktivitäten legitimieren und ihre Reputation verbessern (Tschandl 2012, S.23). Um die Wirtschaftsaktivitäten von Unternehmen nachhaltig zu gestalten, müssen Unternehmen folgende Anforderungen erfüllen (Brauweiler 2010b, S.64):

- Ökonomisch: Sicherung des wirtschaftlichen Unternehmenserfolgs
- Ökologisch: Minimierung der negativen Umweltein- und -auswirkungen in Bezug auf Standorte, Produktionsprozesse, Produkte und Investitionen
- Sozial: Übernahme gesellschaftlicher Verantwortung

Ein Nachhaltigkeitsmanagement bringt diese drei Anforderungen in Einklang und integriert sich in klassische Managementsysteme (Brauweiler 2010b, S. 66–67).

Managementsysteme können in diesem Kontext definiert werden als ein „Satz zusammenhängender oder sich gegenseitig beeinflussender Elemente einer Organisation, um Politiken und Ziele und Prozesse zum Erreichen dieser Ziele festzulegen“ (DIN EN ISO 14001, S.15). Ein Nachhaltigkeitsmanagementsystem ist ergänzend zur vorherigen Definition „ein methodisches Hilfsmittel (...), die unternehmerischen Nachhaltigkeitsmanagementaktivitäten in ein Gesamtkonzept zu überführen und dadurch zu systematisieren und zu strukturieren“ (Brauweiler 2010b, S.70).

Neben dem Begriff des Nachhaltigkeitsmanagements existiert auch der Begriff Corporate Social Responsibility (CSR). Ursprünglich ausschließlich für soziale Belange verwendet, wurde er später um ökologische Aspekte ergänzt und wird heutzutage synonym zum Nachhaltigkeitsmanagement verwendet. Der Begriff CSR legt jedoch noch immer einen Fokus auf die Verantwortung eines Unternehmens. (Engemann et al. 2007, S.14; Brauweiler 2010b, S.66)

Die Anforderungen für Unternehmen sind im Nachhaltigkeitsmanagement in den letzten Jahren massiv angestiegen. So fordern verschiedenste Stakeholder, wie Politik, Kundinnen und Kunden sowie Investierende, die Einhaltung von Regularien, die Verbesserung der Nachhaltigkeit von Unternehmen sowie eine Veröffentlichung von glaubhaften Nachhaltigkeitsinformationen. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass die Berichtspflichten im nichtfinanziellen Bereich für Unternehmen in den nächsten Jahren weiter zunehmen werden. (KPMG AG 2021, S.46)

2.1.3 Umweltmanagement

Das Umweltmanagement ist Teil des Nachhaltigkeitsmanagements (Schaltegger et al. 2007, S.141) und kann definiert werden als „alle auf die Umwelt bezogenen Aspekte der Unternehmensführung“ (Dyckhoff 2000, S.1). Es zielt auf die kontinuierliche Verbesserung der Umweltleistung eines Unternehmens ab und erfüllt hierbei die Aufgabe Maßnahmen zur Einhaltung der festgelegten Umweltziele zu planen, umzusetzen und zu kontrollieren (Förtsch & Meinholz 2018, S.327). Konkrete Aufgaben und Ziele des Umweltmanagements sind folgende (Burritt et al. 2002, S.42):

- Identifikation von möglichen Verbesserungen der Umweltleistung;

- ökologische Differenzierung bei Entscheidungen über Produktpreise, -mix und -entwicklung;
- Transparenz über umweltrelevante Unternehmensaktivitäten;
- Erfüllung der Ansprüche und Informationsbedürfnisse kritischer Stakeholder, um die Bereitstellung von und den Zugang zu Ressourcen zu gewährleisten;
- Rechtfertigung von Umweltmanagementbereichen und Umweltschutzmaßnahmen;
- Priorisierung von Umweltmaßnahmen.

Zudem kann das Umweltmanagement in zwei Funktionen unterteilt werden. Es erfüllt zum einen die Führungsfunktion mit der Erstellung von umweltbezogenen Strategien und der Ableitung von Maßnahmen. Zum anderen werden über die Querschnittsfunktion die Umweltziele in alle Unternehmensfunktionen integriert (Brauweiler 2010a, S.282). Im Gegensatz zum Nachhaltigkeitsmanagement wurde das Umweltmanagement im Rahmen der DIN EN ISO 14001 und der Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) III-Verordnung standardisiert. Nach der Norm DIN EN ISO 14001 ist ein Umweltmanagementsystem *„Teil des Managementsystems, der dazu dient, Umweltaspekte zu handhaben, bindende Verpflichtungen zu erfüllen und mit Risiken und Chancen umzugehen.“* (DIN EN ISO 14001, S.15) Für die Umsetzung der kontinuierlichen Verbesserung der Umweltleistung wird der „Plan-Do-Check-Act“-Zyklus (PDCA-Zyklus) mit seiner iterativen Vorgehensweise vorgeschlagen (Brauweiler 2010a, S.286). Die EMAS III-Verordnung spezifiziert das Umweltmanagementsystem detaillierter, indem die konkreten Bestandteile und Aufgaben aufgelistet werden: *„Organisationsstruktur, Planungstätigkeiten, Verantwortlichkeiten, Verhaltensweisen, Vorgehensweisen, Verfahren und Mittel für die Festlegung, Durchführung, Verwirklichung, Überprüfung und Fortführung der Umweltpolitik und das Management der Umweltaspekte“* ((EG) Nr. 1221/2009, S.4). Beide Umweltmanagementsysteme setzen Dokumentationspflichten voraus, wobei nur die EMAS III-Verordnung auch eine externe Veröffentlichung der Umwelterklärung fordert ((EG) Nr. 1221/2009, S.2; DIN EN ISO 14001, S. 32–34).

Abbildung 9 fasst die wichtigsten Definitionen dieses Unterkapitels zusammen und setzt diese in Beziehung zueinander.

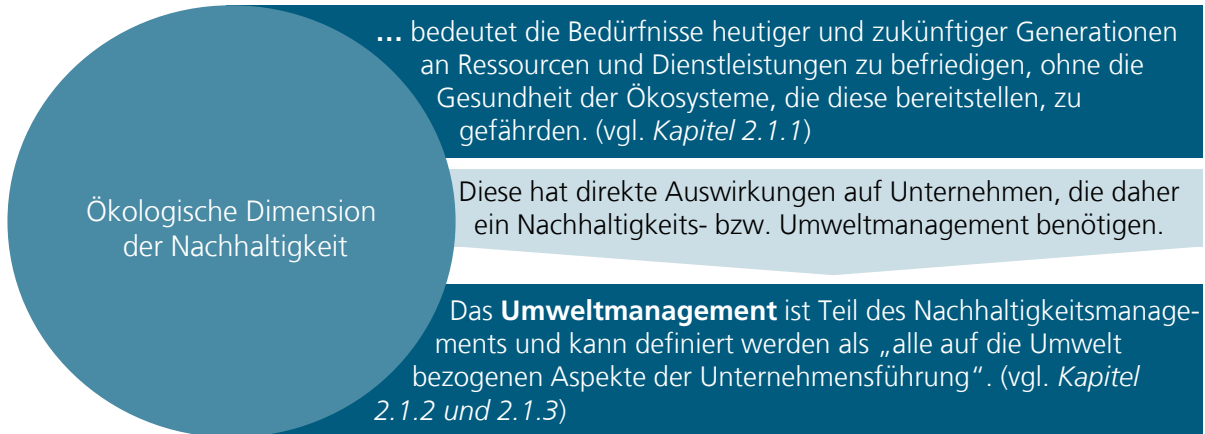


Abbildung 9: Zusammenfassung der wichtigsten Definitionen für Nachhaltigkeit im Unternehmenskontext

2.2 (Umwelt-)Controlling

Zur Aufgabenerfüllung des Umweltmanagements wird ein Umweltcontrolling im Unternehmen benötigt, welches als Grundlage Umweltinformationen verwendet. Daher befasst sich dieses Kapitel mit der Definition des Umweltcontrollings und Umweltinformationen. Zum Verständnis von Umweltinformationen werden außerdem mithilfe der Wissenspyramide die Begriffe Zeichen, Daten, Informationen und Wissen erläutert.

Generell ist das Controlling für die Unternehmenssteuerung und Zielorientierung in Unternehmen wesentlich und hat die Aufgabe die Geschäftsführung kennzahlenbasiert zu unterstützen. Aus dieser Aufgabe können vier Funktionen des Controllings abgeleitet werden, die alle Unternehmensfunktionen betreffen: Informationsfunktion, Planungs- und Kontrollfunktion, Koordinationsfunktion sowie die Rationalitätssicherung der Geschäftsführung (Horváth 2003, S.151; Schaltegger et al. 2007, S.30; Tschandl 2012, S.12). Die Informationsfunktion wird in der Literatur häufig als wichtigste Funktion des Controllings angesehen (Tschandl 2012, S.13). Indem sie eine ausreichende Informationsversorgung sicherstellt und die dazu benötigten Prozesse und Instrumente einführt, kann der Controller Managemententscheidungen effizient und effektiv

unterstützen (Horváth 2018, S.614). Aufbauend auf der Informationsversorgung sorgt die Planungs- und Kontrollfunktion dafür, dass Unternehmen auf Basis von Kennzahlen ihre Geschäftsaktivitäten planen und durch Messungen und Abweichungsanalysen kontrollieren können. Die Koordinationsfunktion stellt sicher, dass die unterschiedlichen Unternehmensfunktionen und Geschäftsprozesse effizient zusammenarbeiten und ineinandergreifen. Im Gegensatz zur Literatur wird in der Praxis die Rationalitätssicherung der Geschäftsführung als die wichtigste Funktion des Controllings angesehen (Tschandl 2012, S.14). Hierbei sollen Defizite der Unternehmensführung aufgedeckt und Instrumente zur rationalen Entscheidungsunterstützung bereitgestellt werden. (Schaltegger et al. 2007, S.24)

2.2.1 Umweltcontrolling

Nachhaltigkeitsaspekte nehmen für Unternehmen einen immer größeren Stellenwert ein. Das Controlling wurde daher um einen Teilbereich erweitert, der sich mit den ökonomischen, ökologischen und sozialen Aspekten der Geschäftstätigkeit eines Unternehmens befasst (Wellbrock et al. 2020, S.16). Das Nachhaltigkeitscontrolling nimmt sich dieser Aspekte an. Die gesteigerten Anforderungen an die Nachhaltigkeit von Unternehmen wirken sich in diesem Zusammenhang auch auf das Nachhaltigkeitscontrolling aus. So wurde in den letzten Jahren beispielsweise die Science Based Target Initiative (SBTi) gegründet, die das Setzen von Emissionszielen anhand von wissenschaftlichen Kriterien fordert. Darüber hinaus wurden verschiedene, teilweise verpflichtende Rahmenwerke, insbesondere zur Berichterstattung, erarbeitet, wie die Global Reporting Initiative (GRI). Diese beinhalten beispielsweise Vorgaben zu Berichtspflichten im Bereich Kinderarbeit, Korruptionsbekämpfung, Energie-, Material- oder Emissionskennzahlen. (Utting & O'Neill 2020, S.5)

Das Umweltcontrolling ist eine Teildisziplin des Nachhaltigkeitscontrollings bzw. eine Erweiterung des Unternehmenscontrollings um ökologische Aspekte und ein Teilsystem des Umweltmanagements (Lang-Koetz & Heubach 2004, S.7; Tschandl 2012, S.15; Horváth 2018, S. 615–617). Häufig wird das Umweltcontrolling auch als Öko-Controlling, ökologieorientiertes Controlling, Green Controlling oder im Englischsprachigen als

Environmental Management Accounting bezeichnet (Schrack 2015, S.127; Horváth 2018, S.615). Genauso wie das Controlling erfüllt es vier Funktionen, jedoch mit Fokus auf das Umweltmanagement: Informationsfunktion, Planungs- und Kontrollfunktion, Koordinationsfunktion sowie Rationalitätssicherung der Geschäftsführung bzw. des Umweltmanagements (Arndt 1993, S. 72–73; Bischof & Winkler 2012, S. 212–213). Es trägt daher wesentlich zur Planung, Kontrolle und Koordination der umweltorientierten Unternehmensziele und Umweltmanagementaktivitäten eines Unternehmens bei und analysiert die betrieblichen Material- und Energieströme sowie Umweltbelastungen (Lang-Koetz & Heubach 2004, S.7; Horváth 2018, S.615; Burritt et al. 2019, S.480). Neben monetären Aspekten aus dem klassischen Controlling werden somit auch physische Aspekte ermittelt, sodass sowohl Umwelteinflüsse, die die wirtschaftliche Lage eines Unternehmens beeinflussen, als auch Unternehmenseinflüsse, die auf das Ökosystem einwirken, untersucht werden (Burritt et al. 2019, S.480). Eine gemeinsame Interpretation der ökologischen und ökonomischen Informationen ermöglicht die Rationalitätssicherung der Geschäftstätigkeit (Horváth & Schulze 2012, S. 17–18; Zvezdov 2012, S.7).

Es umfasst ebenfalls alle Unternehmensfunktionen und bildet die Basis für die Integration des Umweltmanagements in die Geschäftsprozesse. Durch die Identifikation von ökologischen Verbesserungspotentialen können zudem ökonomische Potentiale gehoben werden (Umweltbundesamt & Volk 2001, S.1). Eine der wichtigsten Aufgaben des Umweltcontrollings ist die Informationsversorgung der relevanten Stakeholder und insbesondere des Managements durch die Klassifizierung, Sammlung, Aufzeichnung, Zuordnung, Analyse und Kommunikation von Daten (Tschandl 2012, S.12; Schaltegger & Burritt 2017, S.260; Horváth 2018, S.616). Burritt et al. identifizieren hierfür potentielle interne Stakeholder bzw. Nutzerinnen und Nutzer des Umweltcontrollings inklusive ihrer Art des Informationsbedarfs und orientieren sich an der Wertschöpfungskette nach Porter (Porter 1985, S.37; Burritt et al. 2002, S.44). Die internen Stakeholder in Form von unterstützenden und wertschöpfenden Unternehmensfunktionen sind der Abbildung 10 zu entnehmen. Externe Stakeholder sind in diesem Kontext Banken und Versicherungen, Gesetzgeber und Behörden, Investierende, Kundschaft, Lieferanten, Medien, Öffentlichkeit, Standardisierungs- und Zertifizierungsstellen, Verbände und NGOs sowie

Wettbewerber (Rautenstrauch 1999, S. 8–9; Perl 2006, S.23; Shakir 2010, S.201; Isensee 2011, S.16; Förtsch & Meinholz 2018, S.474; Leiden et al. 2021, S.2). Die Stakeholder haben hierbei jeweils andere Informationsbedarfe (Burritt et al. 2002, S. 45–46).



Abbildung 10: Anpassung von Porters Wertschöpfungskette für das Umweltcontrolling nach Burritt et al. 2002, S.44

Um den genannten Funktionen gerecht zu werden, kommen unterschiedliche Instrumente aus dem Controlling zum Einsatz und unterstützen so die Entscheidungen des Managements zur Verringerung der Umweltauswirkungen. Diese umfassen unter anderem: ABC-Analyse, ökologieorientierte Früherkennungssysteme, Szenarioanalyse, Risikoanalyse, Technologiefolgenabschätzung, Umweltverträglichkeitsprüfung, Produktfolgenabschätzung, Produktlinienanalyse, Portfolioanalyse, Checklisten, Stoff- und Energiebilanzen, Kennzahlensysteme, Ökobilanzierung, Umweltkostenrechnung und Umwelt-Budgetrechnung. (Schaltegger et al. 2008, S.312; Tschandl 2012, S. 19–20)

Trotz der umfassenden Instrumente sind die beiden größten Herausforderungen des Umweltcontrollings die ökologische Informationsgenerierung und -bewertung für eine Einschätzung der Leistung, Chancen und Risiken sowie die korrekte Informationsverwendung zur Unternehmenssteuerung (Horváth & Schulze 2012, S.18). Der Integration des Umweltcontrollings in die Geschäftsprozesse wird hierbei eine zentrale Rolle zugeschrieben, um so eine ökonomisch-ökologisch gleichberechtigte

Entscheidungsfindung zu ermöglichen (Horváth & Schulze 2012, S.18). Bislang wird das Umweltcontrolling jedoch meistens nicht in dem geforderten Maße integriert. Insbesondere das Controlling und Umweltcontrolling arbeiten weitestgehend getrennt voneinander, obwohl eine stärkere Involvierung des Controllings gefordert wird, um auf die entsprechenden Erfahrungen und Instrumente zurückgreifen zu können (Wilmshurst & Frost 2001, S.143; Schaltegger et al. 2007, S.31; Schaltegger & Zvezdov 2012, S.47; Ascani et al. 2021). Darüber hinaus werden bislang sehr unterschiedliche Ansätze zur Implementierung von Nachhaltigkeit und Umweltcontrolling in Unternehmen verwendet. Dieses äußert sich in der Weise, dass eine hohe Diversität bei der Auswahl von Kennzahlen zur Umweltmessung, der Berichterstattung und der Entscheidungsunterstützung besteht. Das Umweltcontrolling gestaltet sich somit sehr unternehmensindividuell (Adams & Frost 2008, S.299). Im Bereich der nichtfinanziellen Berichterstattung und der Umweltinformationen hat eine Studie von KPMG herausgefunden, dass ein Großteil der Umweltinformationen noch manuell erhoben werden und es an informationstechnischer Unterstützung fehlt. Informationssysteme bieten zur Unterstützung des Umweltcontrollings deutliche Vorteile, wie eine vereinfachte Datenerfassung und -auswertung (KPMG AG 2021, S. 43–44). Durch die Verwendung von Informationssystemen für das Umweltcontrolling können zusätzlich die Transparenz, die innerbetriebliche Kooperation und die Integration von Controlling-Instrumenten verbessert werden (Isensee 2011, S.26).

2.2.2 Daten, Informationen und Wissen

Wissen und Informationen stellen für Unternehmen heute einen essentiellen Wettbewerbsfaktor dar und bilden die Basis für das Umweltcontrolling (Perl 2006, S.21). Dieses hängt mit der zunehmenden Wissensintensität, der größeren geographischen Verteilung der Geschäftstätigkeiten, den kürzeren Lebenszyklen der Produkte sowie der höheren Fluktuation der Beschäftigten in Unternehmen zusammen (Krcmar 2015, S.660). Um Wissen zu definieren, ist die Wissenspyramide ein in der Literatur häufig genutztes Konzept (Davenport & Prusak 1998, S. 2–6). Abbildung 11 verdeutlicht den Zusammenhang zwischen Zeichen, Daten, Informationen und Wissen.

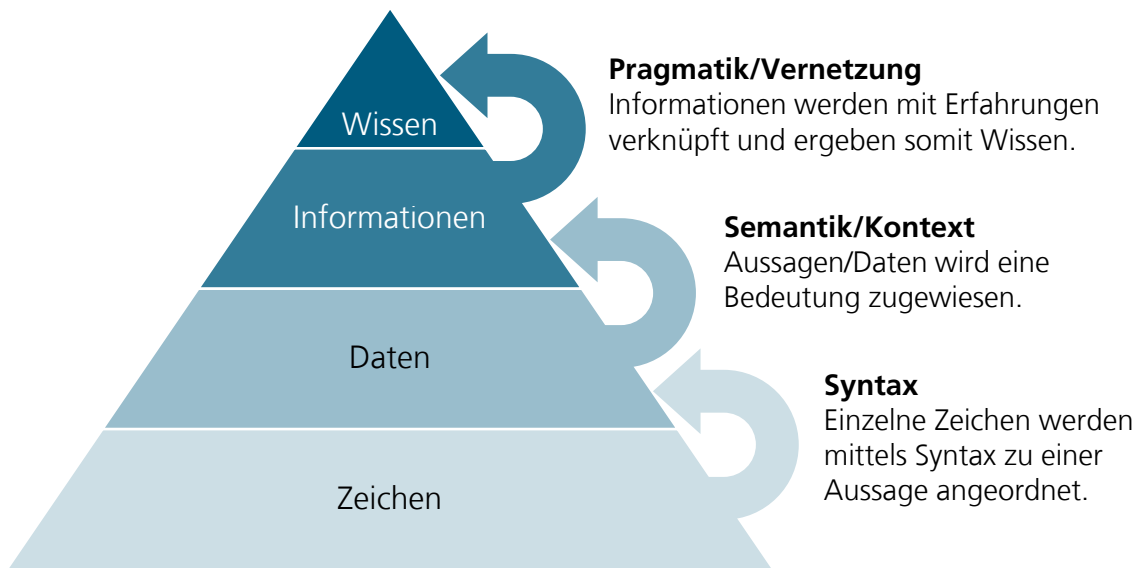


Abbildung 11: Wissenspyramide nach Rehäuser & Krcmar 2021, S.7

Zeichen stellen im Rahmen der Wissenspyramide die unterste Ebene dar und sind „*das kleinste bei einer Programmausführung zugreifbare Datenelement*“ (Hansen 1992, S.111). Sie können aus Zahlen, Buchstaben oder Sonderzeichen bestehen.

Durch die Verwendung von Syntax, also der Kombination der Zeichen nach den gültigen Regeln einer Sprache, bekommen die Zeichen eine Aussage und werden so zu Daten. Die Datenerfassung ist in Abhängigkeit der geforderten Genauigkeit mit unterschiedlich hohen Kosten verbunden. Als grundlegende Kriterien sollten daher Relevanz und Effizienz bei der Datenerfassung beachtet werden, um ausschließlich relevante Daten einmalig zu erheben und so Inkonsistenzen und Redundanzen in den Datenbeständen zu vermeiden (Hall 2011, S.12). Ziel eines Datenmanagements ist es, Daten zur Verfügung zu stellen und zu nutzen. Eine Datenmanagementstrategie legt in diesem Zusammenhang fest, „*welche Daten für welche Systeme und Aufgaben auf welche Art und Weise*“ bereitgestellt werden sollten. (Krcmar 2015, S. 178–179)

Wird Daten eine weitere Bedeutung (Semantik) zugewiesen, entstehen Informationen (Bodendorf 2003, S.1). Diese können als „*zweckbezogenes Wissen*“ definiert werden (Wittmann 1959, S.14). Zweckbezogen bedeutet in diesem Kontext, dass durch die Informationen Handlungen oder Entscheidungen vorbereitet werden (Davenport & Prusak 1998, S.4). Daher haben Informationen für Unternehmen einen großen Wert, nur auf

ihrer Grundlage können Handlungen und Entscheidungen getroffen werden. Aus diesem Grund wurden sie neben Arbeit, Rohstoffen und Betriebsmitteln als betriebswirtschaftlicher Produktionsfaktor anerkannt. Als immaterielle Güter besitzen Informationen jedoch Eigenschaften, die sie von materiellen Gütern unterscheiden. So hängt der Wert einer Information davon ab, in welchem Kontext und zu welchem Zeitpunkt sie verwendet wird. Informationen können außerdem in unterschiedlichen Qualitäten vorliegen und sowohl erweitert als auch verdichtet werden. (Krcmar 2015, S. 16–17) Nach Krcmar ist Informationsqualität definiert als der „*Grad der Nutzbarkeit einer Information für den jeweiligen Einsatzzweck*“ (Krcmar 2015, S.140). Die Anforderungen an Informationen können also, wie in Abbildung 12 dargestellt, nach Dimensionen und Kriterien zusammengefasst werden (Hall 2011, S. 13–14; Krcmar 2015, S.179).

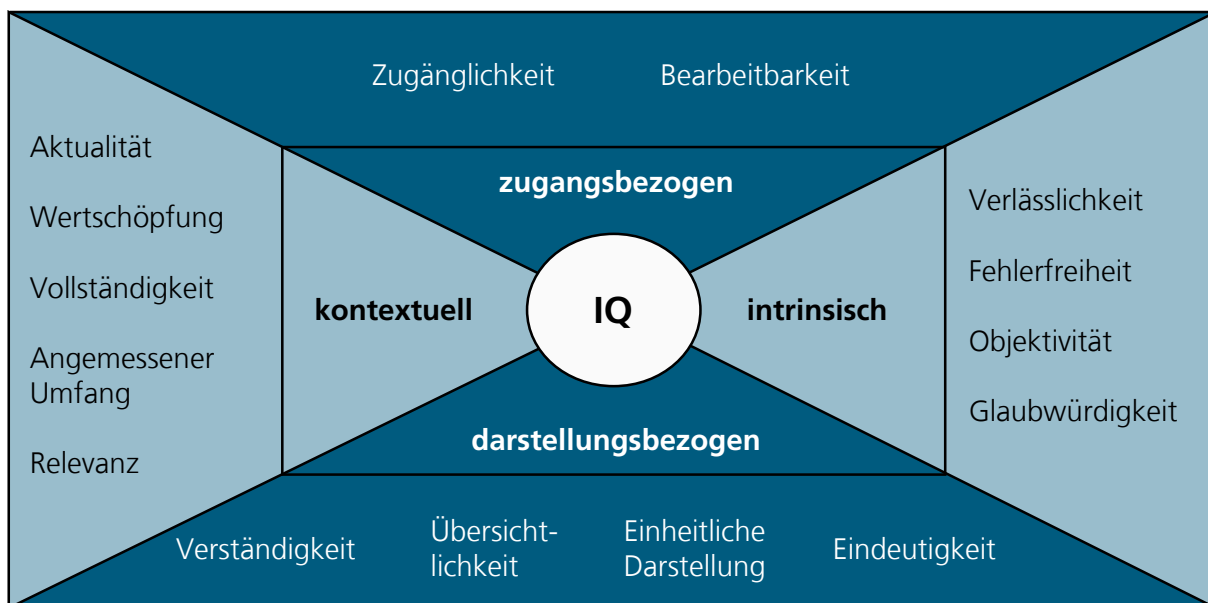


Abbildung 12: Dimensionen und Kriterien der Informationsqualität nach Krcmar 2015, S.145

Um die gewünschten Informationen in der richtigen Qualität und Quantität sowie zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort im richtigen Format bereitzustellen, wird ein Informationsmanagement benötigt (Bernus & Schmidt 1998, S.2). Aufgabe dieses Informationsmanagements ist also relevante Informationen bereitzustellen und die erforderlichen Rahmenbedingungen hierfür zu schaffen (Voß & Gutenschwager 2001, S.70). Hierbei muss der Informationsbedarf, also die Informationen, die zur Erfüllung einer

Aufgabe benötigt werden, durch das Informationsangebot gedeckt werden. Zur Ermittlung der Informationsbedarfe existieren verschiedene Methoden. Diese können in subjektive, objektive und gemischte Methoden eingeteilt werden (vgl. Tabelle 1).

Tabelle 1: Methoden für Informationsbedarfsermittlung nach Krcmar 2015, S.125

Verfahren zu Ermittlung des Informationsbedarfs		
Subjektive Verfahren	Objektive Verfahren	Gemischte Verfahren
Ableitung aus einer subjektiven Interpretation der Aufgabe	Ableitung aus einer intersubjektiv validierten Interpretation der Aufgabe	Vorgabe theoretischer Raster, die subjektiv interpretiert werden
<ul style="list-style-type: none"> - Offene Befragung - Wunschkataloge - Befragung der Beschäftigten im Tätigkeitsumfeld 	<ul style="list-style-type: none"> - Strategieanalyse - Prozessanalyse - Input-Prozess-Output-Analyse - Entscheidungs-/Aufgabenanalyse 	<ul style="list-style-type: none"> - Strukturierte Befragung - Modellierung - Weiterentwicklung aus dem Kontext (Evolution) - Entwicklung aus dem Bestehenden (Ist-Situation und Tätigkeitsanalysen) - Methode der kritischen Erfolgsfaktoren - Balanced Scorecard

Die oberste Ebene der Wissenspyramide bildet das Wissen, das durch eine Vernetzung aus Informationen durch eine Anwenderin oder einen Anwender entsteht. Es kann definiert werden als eine Mischung aus Erfahrungen, Werten, Kontext- und Fachinformationen (Davenport & Prusak 1998, S.5). Wissen wird daher zur Problemlösung und Auswertung von neuen Informationen benötigt. In Unternehmen ist es darüber hinaus nicht nur durch Dokumente dokumentiert, sondern besteht ebenfalls z.B. durch festgelegte Prozesse oder Normen. Durch ein Wissensmanagement wird die Wissensbasis in Unternehmen gestaltet sowie systematisch verändert und erweitert. (Mertens et al. 2017, S.59)

2.2.3 Umweltinformationen

Ökologische Informationen bzw. Umweltinformationen sind zum einen Informationen über physikalische Größen, wie z.B. Energie-, Materialflüsse und -bestände sowie Umwelteinwirkungen. Zum anderen stellen sie Informationen über monetäre Größen, wie z.B. umweltbezogene Kosten, dar. Darüber hinaus können auch qualitative Größen, wie Stakeholderbefragungen, zu Umweltinformationen zählen (Burritt et al. 2002, S.42; Schaltegger et al. 2008, S.311). Sie können sowohl intern, beispielsweise zur Entscheidungsfindung oder Überwachung von Grenzwerten und Zielen, als auch extern zur Berichterstattung oder Legitimation der Geschäftstätigkeit verwendet werden (Burritt & Schaltegger 2010, S.842).

Nach Perl-Vorbach sind Umweltinformationen multidisziplinär, da sie aus den Bereich Chemie, Biologie, Recht, Betriebswirtschaft etc. stammen können. Aufgrund der schwer identifizierbaren Zusammenhänge zwischen Ursache und Wirkung besitzen sie eine schwache Strukturierung und einen hohen Komplexitätsgrad. Für die Kommunikation der Umweltinformationen werden außerdem sehr unterschiedliche Aggregationsebenen – von detailliert für Genehmigungen bis aggregiert für Entscheidungsunterstützungen – und verschiedene Darstellungsformen, wie Berichtsform oder Dashboards, benötigt. Zudem stellt die genaue Zuordnung von Umweltinformationen eine Herausforderung dar, da diese über verschiedene Unternehmensfunktionen und Informationssysteme hinweg, also sehr dezentral, vorliegen. (Perl-Vorbach 2010, S.118) Diese Dezentralität zeigt sich auch darin, dass Umweltinformationen an unterschiedliche Adressatinnen und Adressaten gerichtet werden müssen. Von der Unternehmensführung über den Produktionsleiter bis hin zu unterstützenden Bereichen, wie Marketing oder Einkauf, benötigen fast alle Unternehmensfunktionen Umweltinformationen (Lang-Koetz 2006, S.40). Das daher notwendige Umweltinformationsmanagement sorgt für eine Integration der Umweltinformationen in die Informationssysteme und die organisatorischen Strukturen. Hierbei müssen sowohl innerbetriebliche als auch überbetriebliche Informationsquellen berücksichtigt werden (Hilty & Rautenstrauch 1997, S.161; Perl 2006, S.59).

Umweltinformationen sind demnach die Voraussetzung für ein effektives Umweltcontrolling und Umweltmanagement (Perl 2006, S.21). Aufgrund ihrer Charakteristika sind Umweltinformationen jedoch schwer zu erfassen und auszuwerten. Unternehmen benötigen daher Unterstützung bei der Informationsverarbeitung, z.B. in Form von Informationssystemen (Ríkhardsson et al. 2005, S.150; Schaltegger et al. 2007, S.84).

In Abbildung 13 sind die wichtigsten Definitionen für das (Umwelt-)Controlling dargestellt.

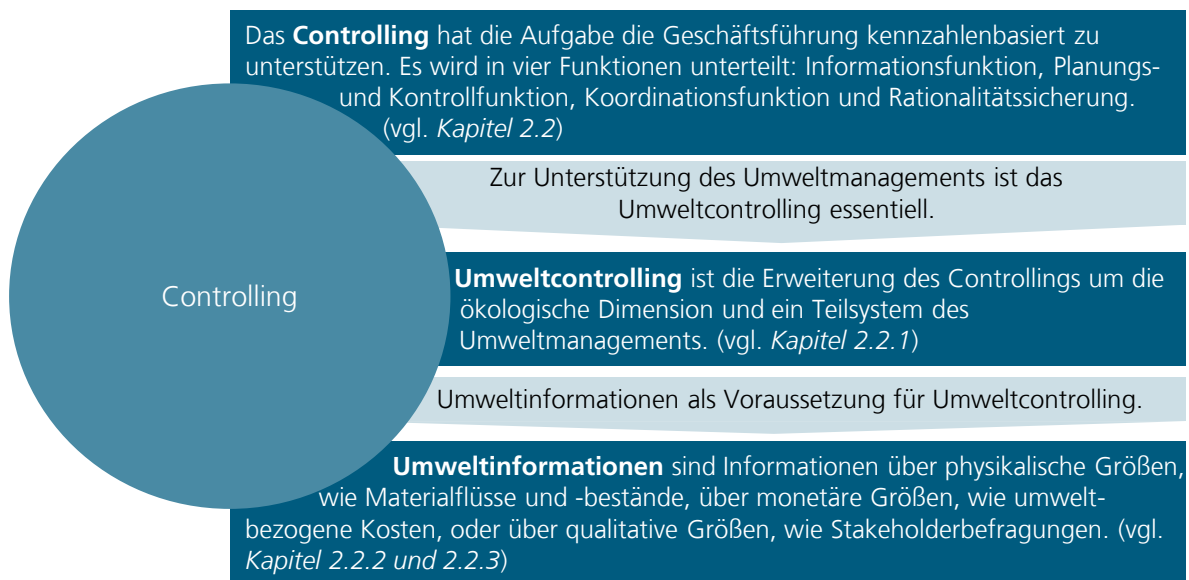


Abbildung 13: Zusammenfassung der wichtigsten Definitionen für das (Umwelt-)Controlling

2.3 Informationssysteme

In diesem Kapitel werden Informationssysteme näher betrachtet, definiert und klassifiziert. Zusätzlich werden mit Informationssystemen verbundene Modelle, wie Informationssystemarchitekturen und Datenmodelle, beschrieben.

2.3.1 Definition und Klassifikation von Informationssystemen

Informationssysteme sind Systeme, um Daten, Informationen und Wissen zu erfassen, zu speichern, zu verarbeiten, bereitzustellen und weiterzugeben (Bernus & Schmidt 1998, S.2; Zsifkovits & Brunner 2012, S.233). Hierbei handelt sich um Anwendungssoftware, die

die Unternehmensziele unterstützt und betriebliche Aufgaben, wie die Entscheidungsunterstützung, Koordination, Steuerung und Kontrolle sowie die Automatisierung, Integration und Virtualisierung von Geschäftsprozessen, übernimmt (Krcmar 2015, S.22). Es werden sowohl die Leitungs- und Entscheidungsfunktion des Managements als auch operative Aufgaben unterstützt (Hall 2011, S.14). Ein betriebliches Informationssystem ist zudem ein soziotechnisches System bestehend aus einer Kombination von Menschen, Prozessen und Informationstechnologie bzw. Software (Melville 2010, S.3; Watson et al. 2010, S.24). Informationssysteme können als offen, dynamisch und komplex charakterisiert werden, da sie mit der Umwelt interagieren, sich über die Zeit durch diese Interaktionen ändern können und eine große Anzahl von Komponenten und Beziehungen beinhalten (Krcmar 2015, S.23). Ziel ist die Bereitstellung und Aufrechterhaltung eines integrierten Informationsflusses im gesamten Unternehmen, so dass die richtigen Informationen jederzeit und überall in der benötigten Qualität und Quantität zur Verfügung stehen (Bernus & Schmidt 1998, S.2). Der Informationsbedarf in Unternehmen soll gedeckt werden, um Unternehmensfunktionen, wie Controlling, Produktion oder Personalmanagement, zu unterstützen (Bernus & Schmidt 1998, S.1; Krcmar 2015, S.108). Untersuchungen legen nahe, dass Informationssysteme keine direkten Wettbewerbsvorteile erzeugen, sondern vielmehr den Aufbau ergänzender Fähigkeiten, wie effiziente Geschäftsprozesse, Wissensmanagement oder Flexibilität, fördern. Diese führen anschließend zu einem Wettbewerbsvorteil (Löser 2015, S.42).

Bei der Gestaltung von Informationssystemen werden zum einen Daten und zum anderen Funktionen betrachtet, die für die Aufgabenerfüllung benötigt werden. Hierbei muss darauf geachtet werden, dass Funktionen nicht isoliert, sondern im Gesamtkontext aller relevanten Funktionen, berücksichtigt werden, um eine geeignete Integration und somit eine effiziente Aufgabenerfüllung sicherzustellen (Krcmar 2015, S.57). Für die Auswahl von Informationssystemen wurden verschiedene Kriterien definiert. Neben den Kosten, welche in einmalige und laufende Kosten unterteilt werden können, spielen häufig auch Effizienz, Funktionalität, Integrationsfähigkeit, Nutzungsfreundlichkeit, Standardisierung, Anpassungsfähigkeit, Lieferzeit, Support und der Softwareanbieter selbst eine Rolle (Kilic et al. 2015, S.2346; Krcmar 2015, 208, 217; Efe 2016, S.111). Unter einmalige Kosten

fallen Beschaffungskosten von Hard- und Software, Vorbereitungskosten, Entwicklungskosten, Migrationskosten und Schulungskosten. Laufende Kosten beziehen sich auf die Wartung der Hard- und Software, Versicherung und Personal (Hall 2011, S.591). Auch müssen teilweise Vorgaben von Kundinnen und Kunden oder Lieferanten umgesetzt werden (Krcmar 2015, S.217).

Nach Shakir unterteilen sich die Hauptkategorien betrieblicher Informationssysteme aufgrund ihrer Funktionen in Enterprise Resource Planning-Systeme (ERP-Systeme), Managementinformationssysteme, Buchhaltungsinformationssysteme (engl. Accounting Information Systems) sowie Business Intelligence- und Data Warehouse-Systeme. (Shakir 2010, S.206)

ERP-Systeme sind die in der Unternehmenspraxis am weitesten verbreiteten Informationssysteme. Sie speichern Stamm- und Transaktionsdaten, stellen Auswertungsfunktionen zur Verfügung, erleichtern den Datentransfer und ermöglichen die Automatisierung von Geschäftsprozessen. Der Fokus dieser Systeme liegt auf betriebswirtschaftlichen Daten (Hall 2011, S.31; Stindt et al. 2014, S.3). Bei ERP-Systemen handelt es sich also um ein integriertes Informationssystem, das die Aufgaben der Administration, Disposition, Planung und des Managements eines Unternehmens unterstützt (Lang-Koetz 2006, S.44). Management-Informationssysteme sind Systeme, die Daten in Informationen umwandeln, um diese in geeigneter Form an Manager auf allen Ebenen und in allen Unternehmensfunktionen weiterzugeben und so zur Entscheidungsunterstützung beizutragen (Lucey 2005, S.2). Buchhaltungsinformationssysteme verarbeiten Finanztransaktionen und nichtfinanzielle Transaktionen, die sich direkt auf Finanztransaktionen auswirken (Hall 2011, S.7). Sowohl in Management- und Buchhaltungsinformationssystemen als auch in ERP-Systemen werden meist keine Umweltaspekte, wie Umweltziele oder spezifische ökologische Kennzahlen, integriert (Lang-Koetz 2006, S.50; Dagiliene & Štutiene 2019, S.278). Business Intelligence (BI) ist sehr weit gefasst und kann als Prozess zur Umwandlung von Daten in relevantes Wissen zur Unterstützung von Unternehmensentscheidungen verstanden werden (Krcmar 2015, S.153; Muntean 2018, S.1). Hierbei steht eine breite Auswahl von Softwarelösungen und

Ansätzen zur Verfügung, welche das Data Warehousing mit Extract-Transform-Load-Prozessen (ETL-Prozesse) zur Datenstrukturierung, Analysefunktionen und Visualisierungen umfassen (Gangadharan & Swami 2004, S.140). Ein Data Warehouse ist eine relationale oder multidimensionale Datenbank, in der Datenbestände aus unterschiedlichen Quellen integriert und harmonisiert werden (Goeken 2006, S.16; Hall 2011, S.497). Zur Datenanalyse stehen verschiedene Werkzeuge, wie Drilldowns zur Informationsdetaillierung, Rollups zur Informationsverdichtung oder Slice and Dice zur Erzeugung mehrdimensionaler Sichten, zur Verfügung (Krcmar 2015, S. 150–152).

2.3.2 Informationssystemarchitekturen

Die Architektur für Informationssysteme beschreibt formal die Struktur der Komponenten, deren Beziehung zueinander und die zugrundeliegenden Prinzipien und Richtlinien für das Design eines Informationssystems (IEEE 1471, S.3). Es handelt sich also um ein Modell, das die Objekte, Funktionen und Schnittstellen eines Informationssystems im Gesamtkontext eines Unternehmens definiert. Eine Architektur wird somit als Basis für die Planung, Implementierung und Überwachung eines Informationssystems benötigt und stellt sicher, dass Informationssysteme an der Unternehmensstrategie und den Geschäftsanforderungen ausgerichtet sind. (Vasconcelos et al. 2003, S.78; Krcmar 2015, S.280)

Im Allgemeinen wird zwischen offenen, geschlossenen, verteilten und integrierten Architekturen unterschieden. Offene Architekturen basieren auf freien Standards, um eine einfache Erweiterbarkeit sicherzustellen. Geschlossene bzw. proprietäre Architekturen sind hingegen nur eingeschränkt auf eine Erweiterung oder Kommunikation mit weiteren Informationssystemen ausgelegt. Hierdurch soll eine Optimierung auf ein spezifisches Anwendungsfeld ermöglicht werden. Dieses kann jedoch leicht zu verteilten Architekturen führen, da für die Erfüllung verschiedener Funktionalitäten jeweils ein eigenes Informationssystem genutzt werden muss. Somit müssen viele verteilte Informationssysteme zu einem Gesamtsystem integriert werden. Bei integrierten Architekturen wurden hingegen die einzelnen Komponenten von einem Anbieter aufeinander abgestimmt und werden zusammen als ein Gesamtsystem angeboten. (Krcmar 2015, S.298)

Eine Architektur für ein Informationssystem kann in drei Bereiche eingeteilt werden (Vasconcelos et al. 2003, S.79):

- Die Daten- bzw. Informationsarchitektur beschreibt die wichtigsten Datentypen,
- die Anwendungsarchitektur greift die benötigten Anwendungen bzw. Funktionen zur Aufgabenerfüllung auf,
- die technologische Architektur stellt die benötigte informationstechnische Infrastruktur dar.

Um die Definition von Informationssystemarchitekturen zu erleichtern, wurden sogenannte Architekturmuster entwickelt. Sunyaev definiert Architekturmuster als: „[...] *an abstract description of a recommended architectural approach that has been tested and proven in different information systems and environments.*“ (Sunyaev 2020a, S.35) Etablierte Architekturmuster sind Schichtenarchitekturen und serviceorientierte Architekturen. Bei der Schichtenarchitektur wird ein Informationssystem anhand seiner Funktionen logisch in Schichten unterteilt. Die Grundstruktur besteht dabei aus Präsentations-, Anwendungs- und Datenhaltungsschicht. Diese können jedoch beliebig erweitert oder zusammengefasst werden, z.B. um eine Integrationsschicht. Ziel ist die Entkopplung der Schichten, um diese unabhängig voneinander weiterentwickeln zu können. Dadurch wird eine einfache Erweiterbarkeit und gute Skalierbarkeit gewährleistet. Die serviceorientierte Architektur ist gekennzeichnet durch die Bereitstellung von voneinander unabhängigen und wiederverwendbaren Diensten (engl. Services). Vorteil einer solchen Architektur ist die Wiederverwendbarkeit der Services für unterschiedliche Anwendungen sowie einfache Austauschbarkeit und Erweiterung der Services bei veränderten Anforderungen. (Siedersleben & Denert 2000, S.247; Tegtmeier et al. 2009, S. 7–8; Sunyaev 2020b, S. 20–45)

Nach Angelov et al. wird eine Referenzarchitektur in diesem Kontext definiert als eine generische Architektur für eine Klasse von Informationssystemen, die als Grundlage für den Entwurf konkreter Architekturen aus dieser Klasse verwendet wird (Angelov et al. 2009, S.141).

2.3.3 Datenmodelle

Unter einem Datenmodell wird ein „*Modell der zu beschreibenden und verarbeitenden Daten eines Anwendungsbereichs (...) und ihrer Beziehungen zueinander*“ verstanden (Lackes 2018a). Ein Anwendungsbereich kann hierbei sowohl eine Unternehmensfunktion, wie das Controlling, Rechnungswesen oder die Produktion, als auch das gesamte Unternehmen sein (Lackes 2018a). Sie dienen dazu die Datenstruktur eines Informationssystems festzulegen. Ein konzeptionelles oder semantisches Datenmodell beschreibt in diesem Zusammenhang die Daten in einer implementierungsunabhängigen, systematischen Form (Lackes 2018b). Hierfür können unter anderem Entity-Relationship-Modelle oder die objektorientierte Modellierungssprache Unified Modelling Language (UML) verwendet werden (Krcmar 2015, S.36). Aufbauend auf dem konzeptionellen Datenmodell werden anschließend logische und physische Datenmodelle abgeleitet, die beschreiben, wie die Daten konkret in der Software verwendet und implementiert werden (IEEE Computer Society 2014, S.135). Referenzdatenmodelle dienen dazu, eine Basis für die Entwicklung unternehmensspezifischer Modelle zu bilden, und stellen Empfehlungen für die Erstellung eines Datenmodells dar. Somit kann der Implementierungsaufwand gesenkt werden (Krcmar 2015, S.40).

2.3.4 Software- und Systementwicklung

Softwareentwicklung (engl. Software Engineering) ist eine Ingenieursdisziplin, die sich mit allen Aspekten der Softwareproduktion befasst, und umfasst Techniken zur Unterstützung der Programmspezifikation, des Entwurfs und der Entwicklung (Sommerville 2011, S. 5–6). Softwareentwicklung ist Teil der Systementwicklung, die wiederum alle Tätigkeiten zur Entwicklung eines neuen oder der Anpassung eines bestehenden Informationssystems umfasst. Die Systementwicklung wird hier als eine strukturierte Vorgehensweise zur Entwicklung komplexer Systeme verstanden und berücksichtigt neben der Software auch Hardware und Prozesse. (Sommerville 2011, S.6)

In diesem Kontext werden auch Gestaltungslösungen, also Nutzungsszenarien oder Prototypen, erstellt, wobei ein Prototyp definiert ist als eine „Darstellung eines Teils oder eines gesamten interaktiven Systems, die, wenn auch in mancher Hinsicht eingeschränkt, zur Analyse, Gestaltung und Bewertung verwendet werden kann“ (DIN EN ISO 9241-210, S. 9-13).

Für die Gestaltung eines Informationssystems muss zunächst auf Vorgehensmodelle der Softwareentwicklung eingegangen werden. Anschließend wird detaillierter auf die Phase des Requirement Engineerings eingegangen, da diese Phase als sehr wichtige Phase für die erfolgreiche Umsetzung eines Softwareprojekts angesehen wird. (Pacheco et al. 2018, S.366)

Vorgehensmodelle der Softwareentwicklung

Zur Softwareentwicklung wurden bereits unterschiedliche Prozesse definiert, die im Folgenden näher erläutert werden. Diese Prozesse haben jedoch gemeinsam, dass die Phasen Anforderungen, Entwurf, Implementierung sowie Wartung berücksichtigt werden (Sommerville 2011, S.53; IEEE Computer Society 2014). Die Phase Anforderungen ist definiert als der Prozess zur Bedarfsuntersuchung der Nutzerinnen und Nutzer, um so die Anforderungen an das System bzw. die Software abzuleiten. Diese Phase spielt in der Softwareentwicklung eine essentielle Rolle, da bei einem Großteil der Unternehmen das Scheitern von Softwareprojekten auf eine unzureichende Anforderungserhebung und -management zurückzuführen ist (Krcmar 2015, S.209; Pacheco et al. 2018, S.366). Während der Entwurfsphase werden die Architektur, die Komponenten, die Schnittstellen und weitere Eigenschaften des Systems oder der Komponenten definiert. Durch die Implementierung wird das Design in konkrete Komponenten übersetzt und die Softwarewartung stellt sicher, dass das Softwareprodukt während seines gesamten Lebenszyklus funktionsfähig ist und notwendige Anpassungen umgesetzt werden (IEEE Computer Society 2014, 5-2).

Im Folgenden werden die wichtigsten Vorgehensmodelle aufgegriffen und kurz vorgestellt. Hierbei handelt es sich um das Wasserfallmodell, Scrum sowie das Vorgehen nach dem Guide to the software engineering body of knowledge (SWEBOK).

Das Wasserfallmodell ist ein Vorgehensmodell mit den Phasen Anforderungsanalyse, Design, Implementierung, Integration und Test sowie Wartung. Im Allgemeinen folgen die Phasen aufeinander und starten erst, wenn die vorherige abgeschlossen und das Ergebnis abgesegnet wurde (Royce 1987, S.329). Dieses lineare Vorgehen macht das Wasserfallmodell inflexibel, sodass es nur verwendet werden sollte, wenn die Anforderungen an ein System genau bekannt sind und sich während des Entwicklungsprozesses nicht ändern. (Bullinger & Fähnrich 1997, S.15; Sommerville 2011, S. 30–32)

Scrum ist ein Vorgehensmodell zur agilen Softwareentwicklung, stellt jedoch eher eine übergeordnete Methode dar, sodass es mit anderen Softwareentwicklungsmethoden kombiniert werden kann. Für die Anwendung von Scrum müssen die Verantwortlichkeiten im Entwicklungsteam in Form eines „Scrum Masters“ als Manager des Prozesses, eines „Product Owners“ als Produktverantwortlicher und des Teams, das für die technische Umsetzung zuständig ist, festgelegt werden. Der „Product Owner“ ist hierbei für das „Product Backlog“, einer Liste mit den Produktfunktionalitäten, verantwortlich und aktualisiert und repriorisiert die benötigten Funktionalitäten. (Gloger 2010, S. 195–197)

Das Vorgehen nach SWEBOK ist, wie in Abbildung 14 dargestellt, in die Phasen Anforderungen, Design, Architektur, Implementierung und Wartung unterteilt (IEEE Computer Society 2014, S. v–xiii; Wong et al. 2017, S.296). Die Phase Anforderungen wird hierbei nochmals in die Phasen Anforderungserhebung, -analyse, -spezifizierung und -validierung unterteilt (IEEE Computer Society 2014, S. 1). Die Anforderungserhebung ist in diesem Kontext die wichtigste Phase, da hier die Bedarfe der späteren Nutzerinnen und Nutzer ermittelt und somit die Funktionen des späteren Systems festgelegt werden (Wong et al. 2017, S.296). Während der Anforderungsanalyse werden Konflikte zwischen den Anforderungen identifiziert und aufgelöst sowie weitere Anforderungen, z.B. aus dem organisationalen oder operativen Umfeld, ermittelt. Darüber hinaus werden Anforderungen priorisiert, klassifiziert und formalisiert und es wird ein erster Architekturentwurf erstellt (IEEE Computer Society 2014, S. 1-7). Hierbei wird deutlich,

dass es unmöglich ist, den Anforderungsprozess und den Software- oder Systementwurf, also die Phasen Design und Architektur, sauber voneinander zu trennen. Für die Spezifizierung und Validierung der Anforderungen werden diese zunächst dokumentiert und anschließend über Reviews, erste Prototypen oder Modelle überprüft (IEEE Computer Society 2014, S. 1-9).

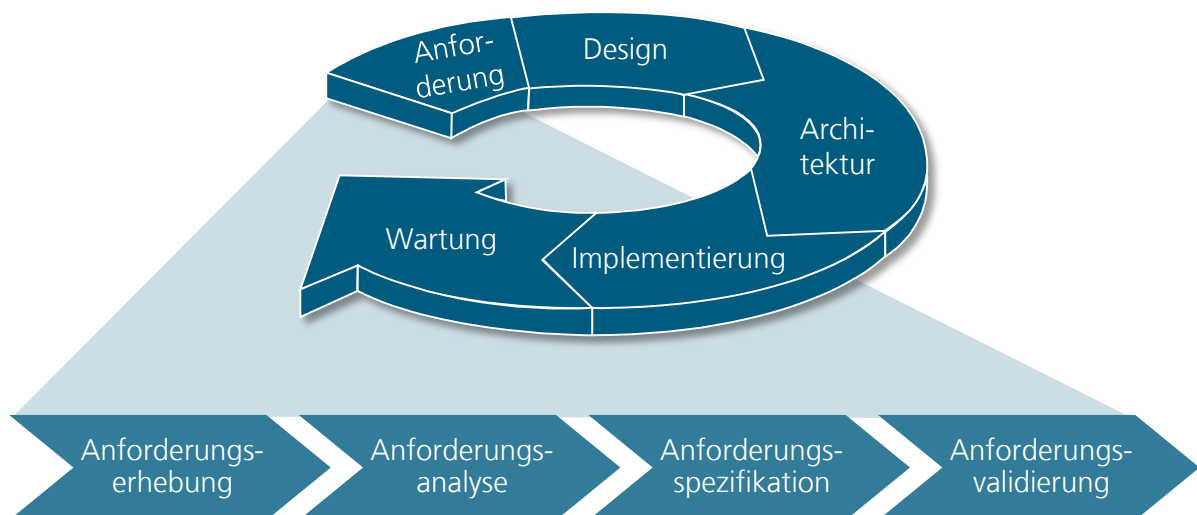


Abbildung 14: SWEBOK Prozess nach IEEE Computer Society 2014, 5–10

Requirement Engineering

Da dem Anforderungsmanagement bzw. Requirement Engineering eine zentrale Rolle zukommt, wird dieser Teil des Softwareentwicklungsprozesses im Folgenden genauer betrachtet.

Anforderungen können definiert werden als „eine Bedingung oder Eigenschaft, die ein System oder eine Person benötigt, um ein Problem zu lösen oder ein Ziel zu erreichen“ (Krcmar 2015, S.74). Anforderungen können aufgrund von Fachwissen, Stakeholdern, Unternehmensregeln oder des betrieblichen Umfelds aufgestellt werden. Es wird zudem zwischen funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen unterschieden. Während funktionale Anforderungen das Verhalten und die Funktionen des Systems beschreiben, stellen nicht-funktionale Anforderungen potentielle Einschränkungen und die erforderliche Qualität der Erfüllung dar. Die funktionalen Anforderungen beantworten also die Frage „Was wird entwickelt?“. Durch die nicht-funktionalen Anforderungen wird

geklärt, wie und wie gut die funktionalen Anforderungen erfüllt werden müssen. (IEEE Computer Society 2014, S. 3–6; Krcmar 2015, S.74)

Das Requirement Engineering befasst sich daher mit (van Lamsweerde 2000, S.5):

- den Zielen, warum eine Software benötigt wird,
- mit den Funktionen, die die Software erfüllen muss, um diese Ziele zu erreichen,
- mit Rahmenbedingungen und Einschränkungen für die Softwareentwicklung.

Es muss also verdeutlicht werden, warum ein System unter bisherigen und zukünftigen Rahmenbedingungen benötigt wird und wie die Systemfunktionen zur Anforderungserfüllung beitragen. Um die Anforderungen zu erheben, wurde eine Vielzahl von Methoden entwickelt. Eine Auswahl dieser Methoden wird im Folgenden aufgelistet: Interviews, Workshops, Fokusgruppen, Quality Function Deployment, Szenarien, Prototyping, Dokumentenanalyse, Beobachtung, Fragebögen, Card Sorting, Ontologien, Modellierung, Use Cases, User Stories, Mind Mapping, Repertory Grid und Nominalgruppen-Technik (Goeken 2006, S. 127–129; Carrizo et al. 2014, S.653; IEEE Computer Society 2014, S. 6–7; Pacheco et al. 2018, S.369). Es wird empfohlen mehr als eine dieser Methoden bei der Anforderungserhebung zu verwenden, um möglichst vollständige Anforderungen zu gewährleisten (Pacheco et al. 2018, S.370). Zusätzlich wurden bereits verschiedene Kriterien und Auswahlmöglichkeiten erstellt, um geeignete Methoden zur Anforderungserhebung unter verschiedenen Rahmenbedingungen zu ermitteln. Dieses kann zum einen von der gewünschten Formalisierung und Stakeholder-Einbindung abhängen (Moallemi et al. 2021, S.4). Zum anderen können Unsicherheiten über die Anforderungen die Auswahl der Methoden beeinflussen. Mit einer Zunahme der Unsicherheit wird dazu geraten keine direkten Befragungen oder Beobachtungen zu verwenden, sondern sich über Prototyping den Anforderungen anzunähern (Davis 1982, S.20). Zusätzlich beeinflusst unter anderem das Erfahrungslevel der anwendenden Person die Auswahl der Methoden (Carrizo et al. 2014, S.653).

Abbildung 15 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Definitionen für betriebliche Informationssysteme, die in diesem Kapitel erläutert wurden.

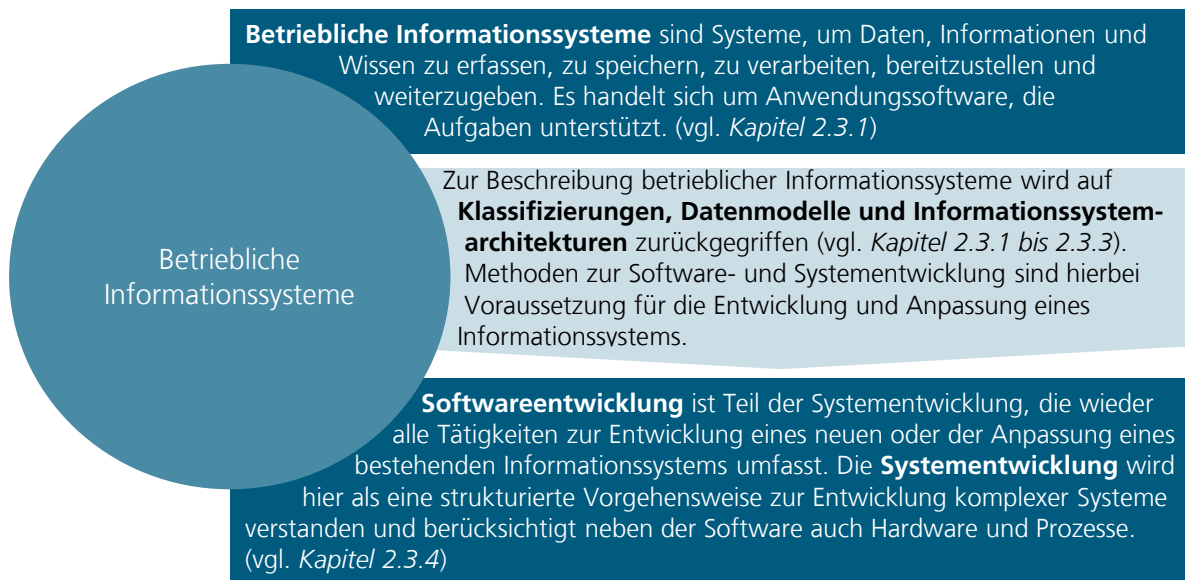


Abbildung 15: Zusammenfassung der wichtigsten Definitionen für betriebliche Informationssysteme

2.4 Betriebliche Umweltinformationssysteme

Für die Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems muss die Definition und Klassifizierung dieser Informationssysteme erarbeitet werden. Da es zusätzlich relevant ist, inwiefern betriebliche Umweltinformationssysteme derzeit in der Praxis eingesetzt werden, beschäftigt sich der zweite Teil mit verfügbaren betrieblichen Umweltinformationssystemen am Markt sowie ihrer Verwendung in Unternehmen.

2.4.1 Definition und Klassifikation betrieblicher Umweltinformationssysteme

Betriebliche Umweltinformationssysteme wurden erstmal 1989 erwähnt und sind ein interdisziplinärer Themenbereich, der vorwiegend aus der Wirtschaftsinformatik und Umweltinformatik stammt (Hilty & Rautenstrauch 1997, S. 159–160). Aufgrund des engen Zusammenhangs zu traditionellen betrieblichen Informationssystemen werden sie auch als Subsysteme dieser bezeichnet (Zsifkovits & Brunner 2012, S. 233–234; Wohlgemuth 2015, S.223). Darüber hinaus sind sie ein zentrales Instrument für das Umweltcontrolling, da sie bei der Analyse und Bewertung relevanter Umweltaspekte, der Planung, Kontrolle und Koordination von Maßnahmen sowie der Sammlung und

Dokumentation von Umweltinformationen unterstützen (Perego 2005, S.225; Perl 2006, S.30; Sommer 2010, S.369; Teuteberg & Gomez 2010, S.7; Dornhöfer 2017, S.22; Gunarathne et al. 2021, S.825). Sie zielen also auf die Unterstützung des Umweltcontrollings und auch des Umweltmanagements ab und sind genau für diese Zwecke konzipiert und gestaltet (Zsifkovits & Brunner 2012, S. 233–234). Hierbei wird ihnen eine wesentliche Rolle als Enabler und Lösung zur Verbesserung der Umweltleistung von Unternehmen zugesprochen (Chen et al. 2008, S. 194–195; Stindt et al. 2014, S.4). Rautenstrauch definiert betriebliche Umweltinformationssysteme daher als ein organisatorisch-technisches System, welches Umweltinformationen in Unternehmen systematisch erfasst, verarbeitet und bereitstellt (Rautenstrauch 1999, S.10). Gräuler et al. äußerten jedoch aufgrund der Beschränkung auf innerbetriebliche Umweltinformationen Kritik an dieser Definition. Hierbei würden Informationen von Lieferanten, Kundschaft oder öffentliche Informationen nicht berücksichtigt (Gräuler et al. 2013, S.100). Ortner und Etlinger ergänzen die Definition von Rautenstrauch um die Verwendung und Herkunft der Umweltinformationen, die *„für den Entscheidungsprozess beim Durchführen eines betrieblichen Umweltmanagements maßgeblich sind und hierzu überwiegend Daten aus betrieblichen Informationssystemen nutzen.“* (Ortner & Etlinger 2012, S.257) Arndt definiert betriebliche Umweltinformationssysteme hingegen als *„ein Werkzeug zur Verbesserung einer fach- und bereichsübergreifenden Versorgung des betrieblichen Umweltmanagements mit Informationen“*. (Arndt 1997, S.144) Das Umweltbundesamt sieht sie als ein *„wichtiges Hilfsmittel für das Umweltcontrolling und das Umweltmanagement (...). Computergestützt bereiten sie Daten und Informationen im Unternehmen so auf, dass diese beim Entscheidungsprozess optimal genutzt werden können“* (Umweltbundesamt & Volk 2001, S.575). Betriebliche Umweltinformationssysteme stellen in der Regel Softwaresysteme dar, die sich jedoch in ihrer Komplexität stark unterscheiden können. Sowohl einfache Tabellenkalkulationen als auch komplexe Software, z.B. zur Stoffstromanalyse oder Ökobilanzierung, können als solche bezeichnet werden (Schaltegger et al. 2007, S.83).

In allen vorgestellten Definitionen stellen Umweltinformationen sowie die Unterstützung des Umweltmanagements bzw. -controllings ein zentrales Element dar. Daher wird für diese Arbeit folgende Definition gewählt:

Betriebliche Umweltinformationssysteme sind Informationssysteme, die das betriebliche Umweltmanagement und -controlling durch die systematische Erfassung, Verarbeitung und Bereitstellung von Umweltdaten und -informationen unterstützen. Softwareunterstützt stellen sie die fach- und bereichsübergreifende Informationsversorgung sicher.

Umweltdaten und -informationen sind hier nicht auf innerbetriebliche Daten beschränkt, sondern umfassen ebenfalls Daten und Informationen aus der Wertschöpfungskette und weitere externe Daten und Informationen, zum Beispiel aus Datenbanken für Sachbilanzen. Innerbetrieblich müssen sie insbesondere Daten in Form von „*Stoff- und Materialstammdaten (Eigenschaft der Stoffe), Strukturdaten (Organisationsstruktur und Prozessabfolge), Prozessdaten (funktionelle Zusammenhänge), Stoff- und Energieflussdaten (Art und Menge) und Organisationsdaten (organisatorische Abläufe) verarbeiten können.*“ (Wohlgemuth 2015, S.224)

Die Einführung eines solchen Informationssystems ist häufig dadurch motiviert, dass Informationsbedarfe interner und externer Stakeholder sowie die Anforderungen des Umweltmanagementsystems erfüllt werden müssen (Lang-Koetz & Heubach 2004, S.2; Perl-Vorbach 2010, S.126). Zur weiteren Klassifizierung von betrieblichen Umweltinformationssystemen wurde ein morphologischer Kasten entwickelt, der die Komplexität und Vielfalt von betrieblichen Umweltinformationssystemen verdeutlicht. Auf Basis des morphologischen Kastens nach Rautenstrauch haben Teuteberg und Gomez Aspekte zusammengefasst, neu zugeordnet und teilweise erweitert, welches in Abbildung 16 dargestellt ist (Rautenstrauch 1999, S.19; Teuteberg & Gomez 2010, S.9).

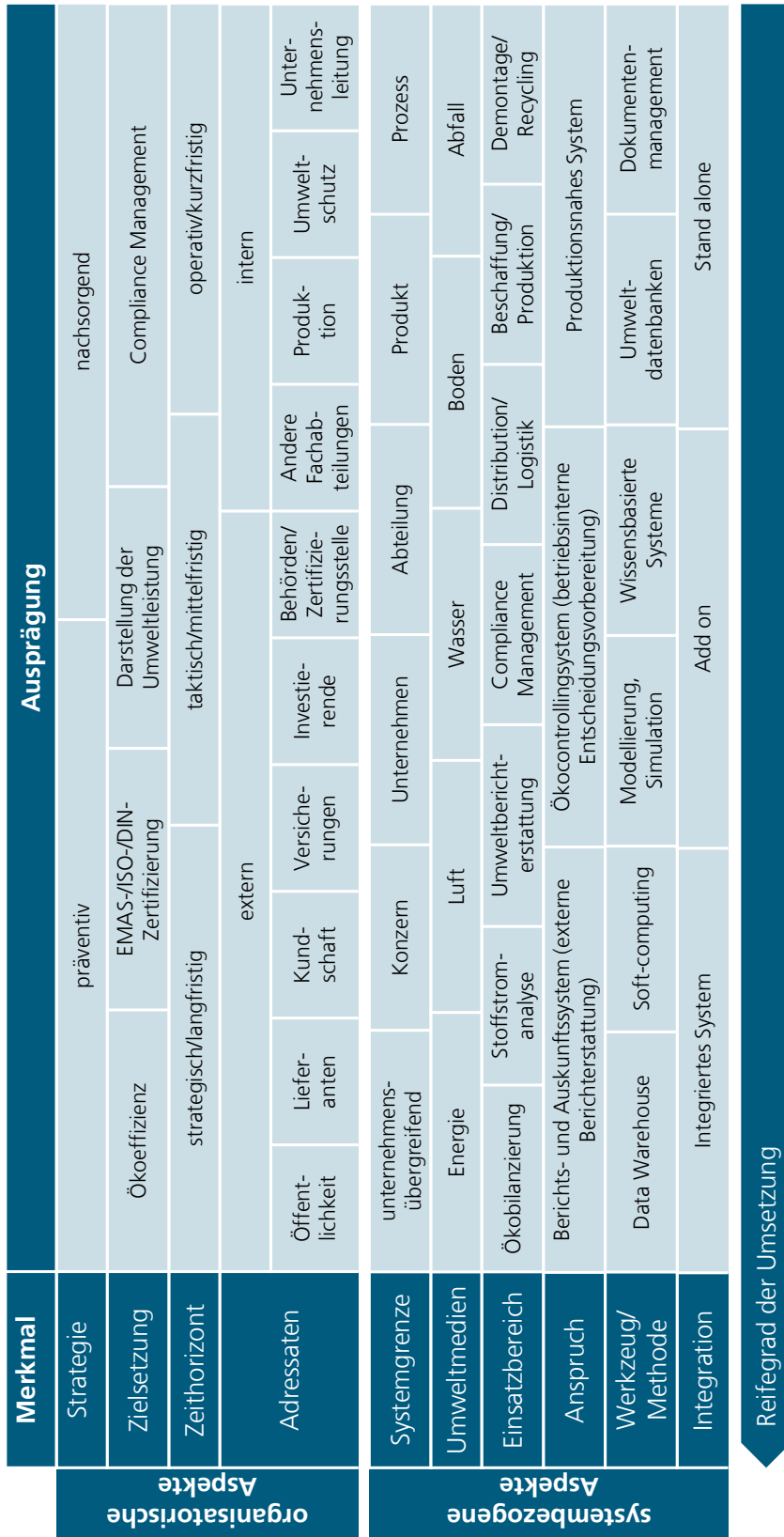


Abbildung 16: Morphologischer Kasten nach Teuteberg & Gómez 2010, S.9

Die Klassifikation von betrieblichen Umweltinformationssystemen nach ihrer Integration im Unternehmenskontext wird hierbei von mehreren Autoren aufgegriffen. Aufgrund eines verbesserten Informationsflusses und Datenverfügbarkeit werden integrierte Informationssysteme als bevorzugte Lösung betrachtet, während bei isolierten, also Stand alone, Lösungen die Gefahr von Datenredundanzen, -inkonsistenzen, und ineffizienter Kommunikation steigt (Carlson et al. 2006, S. 15–17; Gómez 2009, S.1; Junker 2013, S. 253–254). Zusätzlich kann entschieden werden, ob eine standardisierte Softwarelösungen oder bereits verwendete Unternehmenssoftware, wie ein ERP-System, mit oder ohne Anpassungen bzw. zusätzlicher Module eingesetzt werden soll. Eine weitere Lösung ist die Entwicklung eines individuellen Systems, z.B. mithilfe eines Data Warehouse-Ansatz mit einer zentralen Datenbasis (Moore 2002, S.71; Ríkhardsson et al. 2005, S. 152–153). Insbesondere durch Nutzung integrierter Informationssysteme können Unternehmen diverse Vorteile erlangen (Beucker et al. 2003, S.18; Perl 2006, S. 30–32; Schaltegger et al. 2007, S.84; Sommer 2010, S.371; Conrad 2014, S.193; KPMG AG 2021, S.43):

- Senkung der betrieblichen Kosten durch Effizienzsteigerungen,
- Erhöhung der Transparenz durch vereinfachten Datenzugriff,
- Erhöhung der Verfügbarkeit, Konsistenz, Vollständigkeit, Aktualität und Qualität von Daten und Informationen, u.a. durch eine Reduktion von Medienbrüchen,
- Reduktion des Aufwands bei der Erhebung, Verteilung und Kommunikation von Daten und Informationen.

Im Kontext von betrieblichen Umweltinformationssystemen, insbesondere im englischsprachigen Kontext, wird häufig auch von Corporate Environmental Management Information Systems (CEMIS) und Green Information Systems (Green IS) gesprochen. Während CEMIS das englische Synonym darstellt, umfasst der Begriff Green IS eine breitere Auswahl von Informationssystemen und ist somit nicht synonym zu verwenden. Green IS ist definiert als "*IS-enabled organizational practices and processes that improve environmental and economic performance*" (Melville 2010, S.2). Green IS beinhaltet somit betriebliche Umweltinformationssysteme, aber auch Informationssysteme, die selbst Ressourceneinsparungen und nachhaltige Verhaltensweisen ermöglichen und fördern, wie beispielsweise Software für Videokonferenzen (Löser 2015, S.208).

2.4.2 Betriebliche Umweltinformationssysteme in der Praxis

Im folgenden Kapitel werden die betrieblichen Umweltinformationssysteme in der Praxis genauer untersucht. Hierfür wird zum einen die Marktsituation, also die Angebotsseite, analysiert, um Anschluss auf die Verwendung der zur Verfügung stehenden betrieblichen Umweltinformationssysteme, die Nachfrageseite, einzugehen. Bei der Betrachtung der Nachfrageseite wird zudem zwischen einer Erweiterung bereits verwendeter Software, wie ERP-Systemen oder Buchhaltungsinformationssystemen, und Stand-alone-Systemen unterschieden.

Verfügbare betriebliche Umweltinformationssysteme am Markt

Obwohl Nachhaltigkeit und Umweltmanagement eine wachsende Bedeutung in Unternehmen zukommt, ist der Markt im Bereich von betrieblicher Umweltinformationssysteme relativ fragmentiert, unübersichtlich und von Stand-alone-Lösungen dominiert (Brzowska et al. 2015, S.998; Gómez & Teuteberg 2015, S.318). Unter anderem aufgrund der Querschnittsfunktion des Umweltmanagements ist auf dem Markt eine große Diversität an betrieblichen Umweltinformationssystemen zu finden, die sich im Aufbau, der Gestaltung und auch der organisatorischen Integration in Unternehmen unterscheiden (Perl 2006, S.32). Sowohl große als auch kleinere Softwareunternehmen bieten mittlerweile Module und Softwarelösungen zur Unterstützung des Umweltmanagements an (Conrad 2014, S.199; Wohlgemuth 2015, S. 232–233; Bayerisches Landesamt für Umwelt 2016; Hoang et al. 2016, S.3; Johnson et al. 2016, S.261). Allerdings werden Angebote für betriebliche Umweltinformationssysteme der ERP-Softwareanbieter als sehr rudimentär beschrieben, bei dem nur die Kernanforderungen des Umweltmanagements erfüllt werden (Scholtz et al. 2018, S.268). Auch die weiteren am Markt befindlichen Informationssysteme erfüllen die Anforderungen an Flexibilität, Anpassungsfähigkeit in Bezug auf das Informationsangebot, die benötigten Funktionen sowie die Integrationsfähigkeit nur unzureichend (Jamous et al., S.7; Bischof & Winkler 2012, S.215; Wohlgemuth 2015, S.224; Hoang et al. 2016, S.3). Die große Diversität an Informationssystemen erschwert den Unternehmen die Auswahl einer für sie passenden Software und stellt sie somit vor

eine zusätzliche Herausforderung (Isenmann 2008, S.1637; Sommer 2010, S.376). Als weiteres Hemmnis zur Einführung wird die unzureichende Nutzungsfreundlichkeit (Usability) genannt (Brzozowska et al. 2015, S.997; Hemke & Wohlgemuth 2017, S.1988).

Mit der jüngsten Quelle von 2018 ist die Literatur über die am Markt verfügbaren betriebliche Umweltinformationssysteme nicht mehr aktuell. Daher ist zusätzlich eine Übersicht über diese Informationssysteme im Anhang zu finden, die mithilfe einer Marktrecherche identifiziert wurden. Diese Liste mit einer Einordnung zu abgedeckten Funktionen und Aufgaben auf Basis frei verfügbarer Informationen erhebt jedoch – insbesondere aufgrund der hohen Dynamik in diesem Bereich – keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Eine Herleitung der Funktionen und Aufgaben angelehnt an den morphologischen Kasten ist in Kapitel 5.2.2 zu finden.

Verwendung von betrieblichen Umweltinformationssystemen in Unternehmen

Aufgrund der Professionalisierung des Umweltmanagements wird in Unternehmen zunehmend eine Softwareunterstützung in diesem Bereich benötigt (Conrad 2014, S.204). Ältere Untersuchungen zeigen, dass betriebliche Umweltinformationssysteme von Unternehmen insbesondere für die Berichtserstellung, Überprüfung der Gesetzeskonformität, Ermittlung von Umweltaspekten und -kennzahlen, Stoffstromanalyse, Risikoanalyse und die Information von Beschäftigten und Behörden eingesetzt werden (Heubach & Lang-Koetz 2006, S.28; Perl 2006, S.192). Hierbei ist außerdem zu beobachten, dass kleine Unternehmen häufig auf einfache Lösungen, wie Tabellenkalkulationsprogramme, zurückgreifen (Sommer 2010, S. 376–377).

In diesem Zusammenhang treten auch Hemmnisse für die Einführung solcher Informationssysteme vonseiten der Unternehmen auf, die mit den Charakteristika der Umweltinformationen zusammenhängen. So liegen diese in der Regel verstreut über mehrere Abteilungen vor, sind sehr heterogen in ihrer Art und Erhebungsfrequenz, können auf operativer Ebene nicht gemessen werden und werden nicht mit dem Controlling oder anderen Abteilungen synchronisiert (Burritt & Christ 2016, S.26; Seethamraju & Frost 2016, S.1). Zusätzliche Hemmnisse sind auf interne organisatorische und technische Probleme, wie fehlende Daten oder Schnittstellen, als auch externe

Probleme, wie unklare rechtliche Rahmenbedingungen, zurückzuführen (Teuteberg & Gómez 2010, S. 12–13). Für eine erfolgreiche Einführung müssen der Zweck, die mögliche Integration und die Schnittstellen definiert sein sowie die Anforderungen, die allgemein an ein Informationssystem gestellt werden, berücksichtigt werden (Dornhöfer 2017, S.19). Zudem wird das Design eines betrieblichen Umweltinformationssystems durch das Umfeld, die Unternehmenscharakteristika, insbesondere die Unternehmensstrategie, und die Unternehmensgröße beeinflusst (Dagiliene & Štutiene 2019, S.266). In Bezug auf Umweltinformationen muss bei der Einführung zunächst geklärt werden, woher die Kennzahlen stammen, wie und aus welchen Systemen diese zusammengestellt werden (KPMG AG 2021, S.42).

Gemeinsam führt dieses dazu, dass betriebliche Umweltinformationssysteme bisher nicht in die Systemlandschaft integriert wurden und beispielsweise ein Großteil der Prozesse der nichtfinanziellen Berichterstattung noch manuell umgesetzt wird (Dagiliene & Štutiene 2019, S.277; KPMG AG 2021, S.42).

Bei einer Befragung des VDI Zentrum Ressourceneffizienz aus 2017 unter umweltschutzaffinen Unternehmen gaben knapp 30 % der Unternehmen an ein zertifiziertes und knapp 20 % an ein nicht zertifiziertes Softwaresystem für die Unterstützung des Umweltmanagements einzusetzen. Gerade bei kleinen und mittleren Unternehmen war dieser Anteil noch niedriger. Unter nicht zertifizierten Softwaresystemen wurden auch Tabellenkalkulationen miteinbezogen. (Wecus et al. 2017, S.22)

Abbildung 17 fasst die wichtigsten Erkenntnisse aus dem Kontext betrieblicher Umweltinformationssysteme zusammen, die die Definition, Klassifikation sowie die Verwendung betrieblicher Umweltinformationssysteme in der Praxis betreffen. Betriebliche Umweltinformationssysteme befinden sich an der Schnittstelle zwischen der ökologischen Dimension der Nachhaltigkeit, betrieblichen Informationssystemen und dem Controlling.

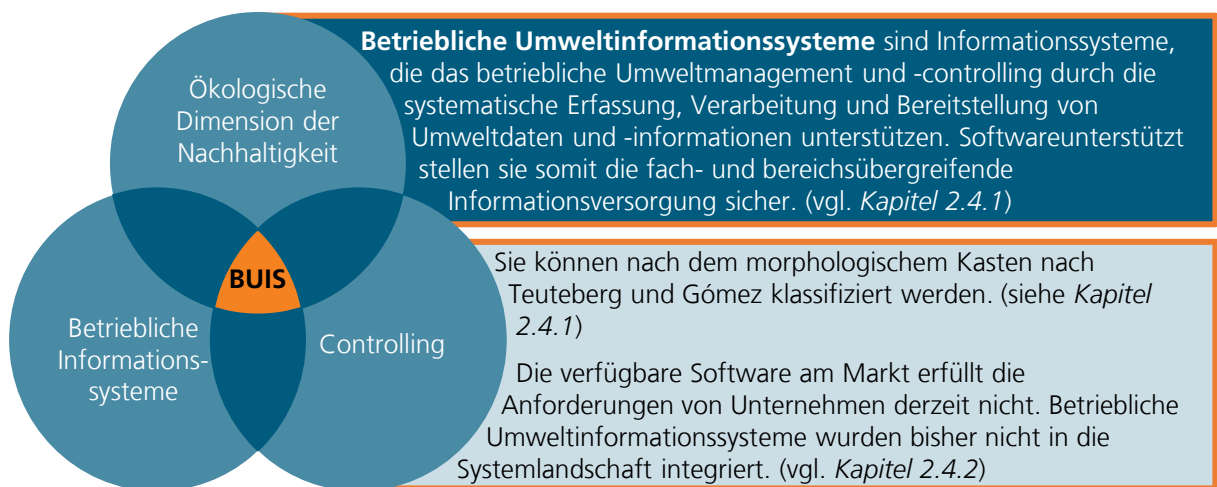


Abbildung 17: Zusammenfassung der Erkenntnisse für betriebliche Umweltinformationssysteme

2.5 Reifegradmodelle

Wie in Kapitel 2.2.1 dargelegt wurde, ist das Umweltcontrolling und somit das benötigte betriebliche Umweltinformationssystem unternehmensindividuell. Um ein Unternehmen und somit die Gestaltung eines solchen Informationssystems trotzdem zu charakterisieren, können Reifegradmodelle aus dem Umweltmanagement und der Digitalisierung herangezogen werden.

Der Reifegrad ist definiert als "*a measure to evaluate the capabilities of an organization in regard to a certain discipline*" (Rosemann & Bruin 2005, S.2). Ein Reifegradmodell besteht dabei aus aufeinanderfolgenden Reifegraden oder Stufen, die mithilfe von Merkmalen einen erwarteten, gewünschten oder typischen Entwicklungspfad charakterisieren und darstellen. (Pöppelbuß & Röglinger 2011, S.4; Ormazabal et al. 2017, S.633)

2.5.1 Reifegradmodelle des Umweltmanagements

Für das Umweltmanagement wurden bereits verschiedene Reifegradmodelle entwickelt. Diese definieren meist zwischen drei und fünf Reifegrade. Eine Übersicht solcher Reifegradmodelle haben Ormazabal et al. und Gunarathne und Lee erstellt (Ormazabal et al. 2017, S.633; Gunarathne & Lee 2019a, S.161). Wie Ormazabal et al. feststellen, ähneln sich die betrachteten Modelle und haben das Ziel den aktuellen Zustand des Umweltmanagements in einem Unternehmen zu beschreiben. Daher wird im Folgenden

das Reifegradmodell von Jabbour und Santos aufgegriffen, welches das am weitesten verbreitete Modell darstellt (Ormazabal et al. 2017, S.633). Sie definieren drei Stufen des Umweltmanagements (Jabbour & Santos 2006, S.58):

- **Reaktiv:** Das Umweltmanagement ist ausschließlich auf die Einhaltung von Gesetzen ausgerichtet und vom organisatorischen Kontext isoliert.
- **Präventiv:** Zunehmende Integration anderer Bereiche in das Umweltmanagement, die Umweltdimension wird aber nicht strategisch betrachtet.
- **Proaktiv:** Alle Bereiche des Unternehmens versuchen systematisch, durch das Umweltmanagement Wettbewerbsvorteile zu erzielen.

Sie unterscheiden hierbei zwischen der Integration in die Aufbauorganisation, in die Prozesse und der strategischen Integration. Darüber hinaus wird auch einbezogen, ob die Produkte angepasst und verändert werden, um Umweltauswirkungen zu verringern. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über die Ausprägung dieser Aspekte in Abhängigkeit des Reifegrads. (Jabbour & Santos 2006, S. 46–49)

Tabelle 2: Reifegrade des Umweltmanagements eines Unternehmens nach (Jabbour & Santos 2006, S.58)

	Ziel	Integration in Unternehmensstrukturen			Auswirkung auf Produkte
		Integration in Aufbauorganisation	Prozessintegration	Strategische Integration	
reaktiv	Regularien und Gesetze erfüllen	Falls vorhanden, isoliertes Umweltmanagement	Nein	Nein	End of pipe
präventiv	Öko-Effizienz erhöhen	Isoliertes Umweltmanagement	Ja, durch spezifische Projekte	Nein	Anpassung von Produkten, um Umweltwirkungen zu minimieren
proaktiv	Möglichkeiten für Wettbewerbsvorteile ausnutzen	Integriertes Umweltmanagement	Ja, kontinuierliche Verbesserung	Ja	Entwicklung neuer Produkte

2.5.2 Reifegradmodelle im Bereich Digitalisierung

Canetta et al. untersuchen in ihrer Veröffentlichung insgesamt 27 Reifegradmodelle im Bereich der Digitalisierung aus der Wissenschaft und Praxis (Canetta et al. 2018, S. 2–4). Um ein Reifegradmodell für die Charakterisierung eines Unternehmens und somit für die Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems nutzen zu können, sollten diese generell für Unternehmen anwendbar sein und zusätzlich eine Selbsteinschätzung ermöglichen. Im Folgenden werden diese Reifegradmodelle näher beschrieben.

Zur Bewertung des Reifegrads definieren Schumacher et al. fünf Stufen von 1 bis 5 mit insgesamt 62 Merkmalen, die wiederum in neun Dimensionen geclustert werden. Diese Dimensionen umfassen Strategie, Führung, Kundschaft, Produkte, Operations, Kultur, Beschäftigte, Governance und Technologie (Schumacher et al. 2016, S.164). Westermann et al. entwickeln im Auftrag des MIT Center for Digital Business und Capgemini Consulting eine digitale Reifematrix, die Unternehmen je nach digitaler und transformativer Intensität in vier Typen einteilt: Einsteiger, Konservative, Fashionista und Digerati (Capgemini Consulting & MIT 2011, S.60). Im Rahmen einer Studie beauftragt durch den VDMA wurde ein Industrie 4.0 Reifegradmodell erarbeitet. Dieses definiert sechs Kategorien mit insgesamt 18 Merkmalen. Die Kategorien umfassen: Strategie und Organisation, Smart Factory, Smart Operations, Smart Products, Data-driven Services und Beschäftigte. Die Bewertung innerhalb der Kategorien anhand der Merkmale führt im Anschluss zu einer Einteilung in sechs Stufen, die den Reifegrad widerspiegeln. Unternehmen können so als Außenstehende, Anfänger, Fortgeschrittene, Erfahrene, Experte oder Exzellenz klassifiziert werden (Goericke et al. 2015). PriceWaterhouseCoopers (PwC) hat ein Modell entwickelt, das Unternehmen in vier Reifegrade einteilt: Digitaler Novize, Vertikaler Integrator, Horizontaler Kollaborateur und Digitaler Champion. Der Reifegrad wird mithilfe von Beschreibungen in den folgenden Kategorien bestimmt (PricewaterhouseCoopers 2021):

- Geschäftsmodelle, Produkte und Service Portfolio,
- Marktzugang,
- Wertschöpfungskette und Prozesse,

- IT Architektur,
- Compliance, Gesetze, Risiko, Sicherheit und Steuern,
- Organisation und Kultur.

Abbildung 18 beschreibt die wichtigsten Erkenntnisse zur Reifegradmodellen für das Umweltmanagement und für Digitalisierung.

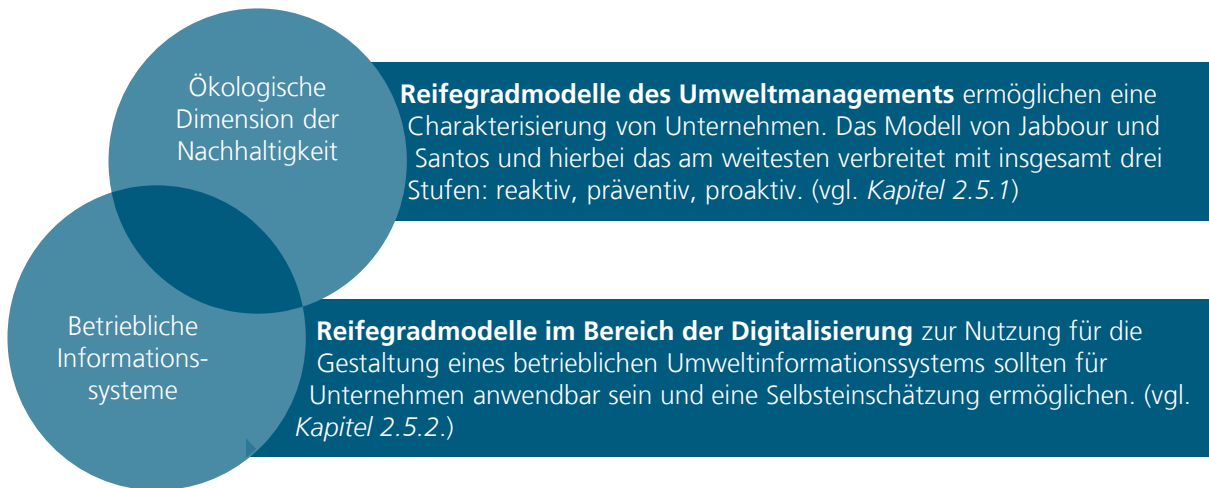


Abbildung 18: Zusammenfassung der Erkenntnisse für Reifegradmodelle

2.6 Zwischenfazit

In diesem Kapitel wurden die benötigten Begriffe und Grundlagen für die vorliegende Arbeit erarbeitet, um eine Methode zur Gestaltung eines unternehmensspezifischen, betrieblichen Umweltinformationssystems zu entwickeln. Somit wird der Objektbereich definiert und die erste Teilforschungsfrage „Welche Aufgaben im Unternehmen sollten durch betriebliche Umweltinformationssysteme unterstützt werden?“ beantwortet.

Ausgehend von allgemeinen Konzepten der Nachhaltigkeit, konnte Nachhaltigkeit im Unternehmenskontext insbesondere inklusive des Umweltmanagements und des Umweltcontrollings definiert werden. Es wurde außerdem herausgearbeitet, welche konkreten Aufgaben im Rahmen des Umweltmanagements und -controlling in einem Unternehmen anfallen. Hier konnte gezeigt werden, dass das Umweltcontrolling ein geeignetes Werkzeug zur Information, Planung und Kontrolle, Koordination sowie zur Rationalitätssicherung in Bezug auf die ökologische Leistung im Unternehmen ist. Auf dieser Basis können die Aufgaben, die ein betriebliches Umweltinformationssystem für die Unterstützung des Umweltmanagements und -controllings erfüllen muss, abgeleitet werden (vgl. Kapitel 2.1.3, 2.2.1 und 2.4).

Die Charakteristika von Umweltinformationen als wesentlicher Teil des Umweltcontrollings wurden im Kapitel 2.2 herausgearbeitet. Es wurde deutlich, dass Umweltinformationen für Unternehmen schwer zu erfassen sind und daher spezielle softwareseitige Unterstützung für die Bereitstellung, Verarbeitung und Verteilung benötigt wird.

Die Grundlagen zu Informationssystemen zeigen, wie Informationssysteme allgemein definiert und klassifiziert werden (vgl. Kapitel 2.3). Betriebliche Umweltinformationssysteme lassen sich hier den Managementinformationssystemen zuordnen. Zudem wurden Möglichkeiten aufgezeigt, wie Informationssysteme mithilfe von Informationssystemarchitekturen und Datenmodellen beschrieben werden können. Das Unterkapitel 2.3.4 greift die Entwicklung von Softwaresystemen auf, definiert Vorgehensmodelle und beschreibt die Phase Anforderungen bzw. Requirement Engineering als kritische Phase für eine erfolgreiche Implementierung von

Informationssystemen detaillierter. Die Inhalte dieses Kapitels werden zur Beschreibung eines betrieblichen Umweltinformationssystems für die Aufgabenerfüllung benötigt und bilden die Basis für die Entwicklung einer Methode zur Gestaltung solcher Informationssysteme.

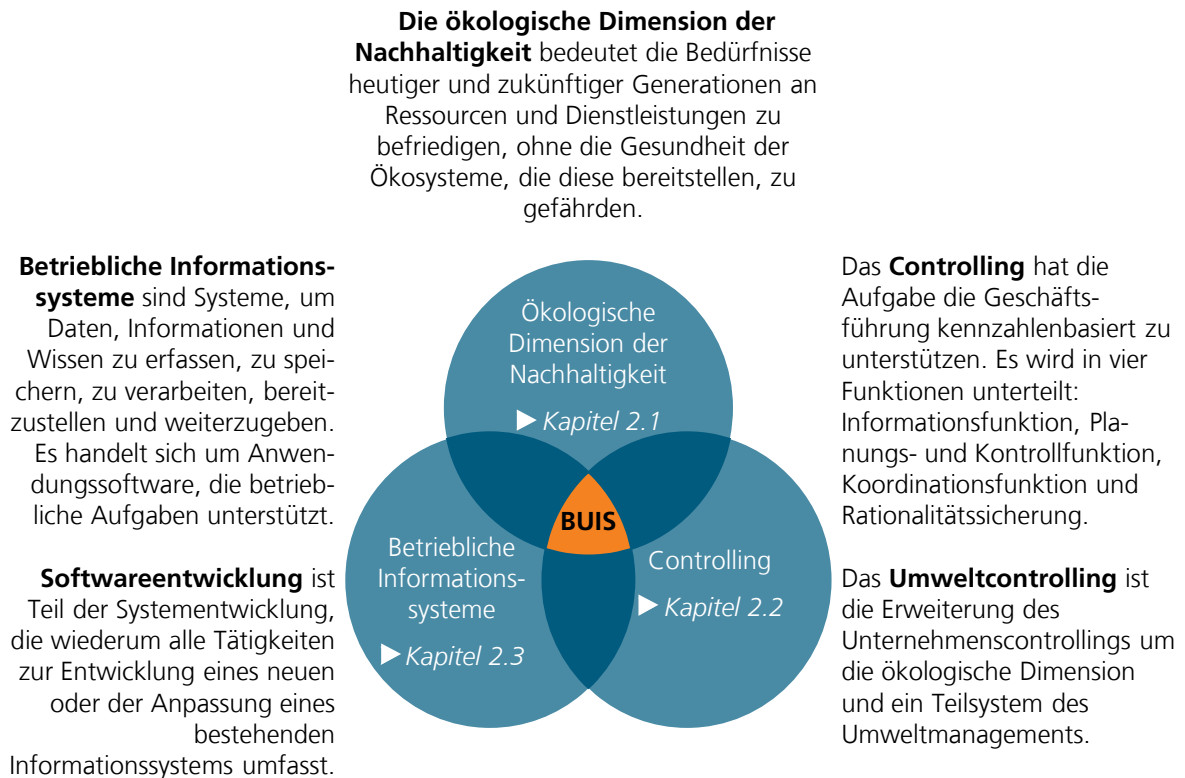
Im Kapitel 2.4 wurden die betrieblichen Umweltinformationssysteme definiert und unter anderem mithilfe eines morphologischen Kastens klassifiziert. Es wurde festgestellt, dass sie gut geeignet sind das Umweltmanagement und -controlling zu unterstützen. Aufgrund des unübersichtlichen Markts mit einer Vielzahl an Angeboten und der meist unklaren Definition, welche Aufgaben informationstechnisch übernommen werden sollen, stellt die Gestaltung und Einführung solcher Informationssysteme Unternehmen jedoch noch immer vor eine Herausforderung. Zur weiteren Untersuchung, inwiefern betriebliche Umweltinformationssysteme in der Praxis verwendet werden, wurde sowohl auf die Angebotsseite, also am Markt verfügbare Informationssysteme, als auch auf die Nachfrageseite, also dem aktuellen Unterstützungsbedarf von Unternehmen, eingegangen. Hierbei wurde festgestellt, dass die Angebotsseite zuletzt 2018 untersucht wurde und somit bereits veraltet ist. Daher ist eine Softwareliste im Anhang zu finden, die jedoch aufgrund der hohen Marktdynamik keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt.

Wie in Kapitel 2.2.1. gezeigt wurde, sind das Umweltcontrolling und somit die Gestaltung eines betrieblichen Umweltmanagementsystems unternehmensindividuell. Um auf die individuellen Parameter eingehen zu können und für die Entwicklung der Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems zu nutzen, wurden im Kapitel 2.5 Reifegradmodelle des Umweltmanagements und der Digitalisierung vorgestellt.

Durch die erarbeiteten Grundlagen und die Zielsetzung der Arbeit kann der Objektbereich dieser Arbeit definiert werden. Dieser umfasst betriebliche Umweltinformationssysteme sowie für die Gestaltung von Informationssystemen die Software- und Systementwicklung mit einem Fokus auf die Phasen Anforderungen und Entwurf.

Es wird deutlich, dass sich diese Arbeit an der Schnittstelle zwischen der ökologischen Dimension der Nachhaltigkeit, betrieblichen Informationssystemen und Controlling

befindet. Die wichtigsten Definitionen und Abgrenzungen für betriebliche Umweltinformationssysteme (BUIS) sind daher in der Abbildung 19 zusammengefasst.



Betriebliche Umweltinformationssysteme sind Informationssysteme, die das betriebliche Umweltmanagement und -controlling durch die systematische Erfassung, Verarbeitung und Bereitstellung von Umweltdaten und -informationen unterstützen. Softwareunterstützt stellen sie somit die fach- und bereichsübergreifende Informationsversorgung sicher. (vgl. *Kapitel 2.4*)

Zur Unterstützung der Gestaltung eines Informationssystems können Reifegradmodelle herangezogen werden. Sie ermöglichen eine Charakterisierung von Unternehmen und können mithilfe von Merkmalen einen Entwicklungspfad darstellen. (vgl. *Kapitel 2.5*)

Abbildung 19: Definitionen der wichtigsten Begriffe im Kontext der Gestaltung betrieblicher Umweltinformationssysteme

3 Stand der Forschung und Technik

Wie in den vorherigen Kapiteln hergeleitet, behandelt diese Arbeit ein Schnittstellenthema, wobei betriebliche Umweltinformationssysteme sowie die Software- und Systementwicklung den Objektbereich abbilden. Allgemeine Vorgehensmodelle der Softwareentwicklung, wie das Wasserfallmodell oder SWEBOK, wurden ausführlich in den Grundlagen behandelt (vgl. Kapitel 2.3.4). Dieses Kapitel geht nun auf spezifische Ansätze aus dem genannten Objektbereich ein und ist daher in fünf Unterkapitel gegliedert. Nachdem das methodische Vorgehen zur Ermittlung des Stands der Forschung und Technik erläutert wurde, werden Vorgehensmodelle zur Einführung von betrieblichen Umweltinformationssystemen sowie Architekturen und Datenmodelle von betrieblichen Umweltinformationssystemen dargelegt. Anschließend wird auf Ansätze aus dem Umweltinformationsmanagement eingegangen, da Umweltinformationen einen wesentlichen Bestandteil des Umweltcontrollings und somit der betrieblichen Umweltinformationssysteme darstellen. Aufgrund der Bedeutung der Anforderungsphase in der Software- und Systementwicklung werden zusätzlich Ansätze aus dem Requirement Engineering betrachtet.

3.1 Methodisches Vorgehen

Die Identifikation der relevanten Ansätze für den Stand der Forschung und Technik erfolgte anhand des PRISMA-Statements, das sich in vier Phasen einteilt (Moher et al. 2011, S. 9–11).

Abbildung 20 zeigt das Vorgehen und die Anzahl der nach jeder Phase identifizierten Ansätze. Hierfür wurden die Datenbanken Scopus und Web of Science mit den im Anhang zu findenden Suchstrings durchsucht, die den identifizierten Objektbereich der betrieblichen Umweltinformationssysteme und der Software- und Systementwicklung widerspiegeln.

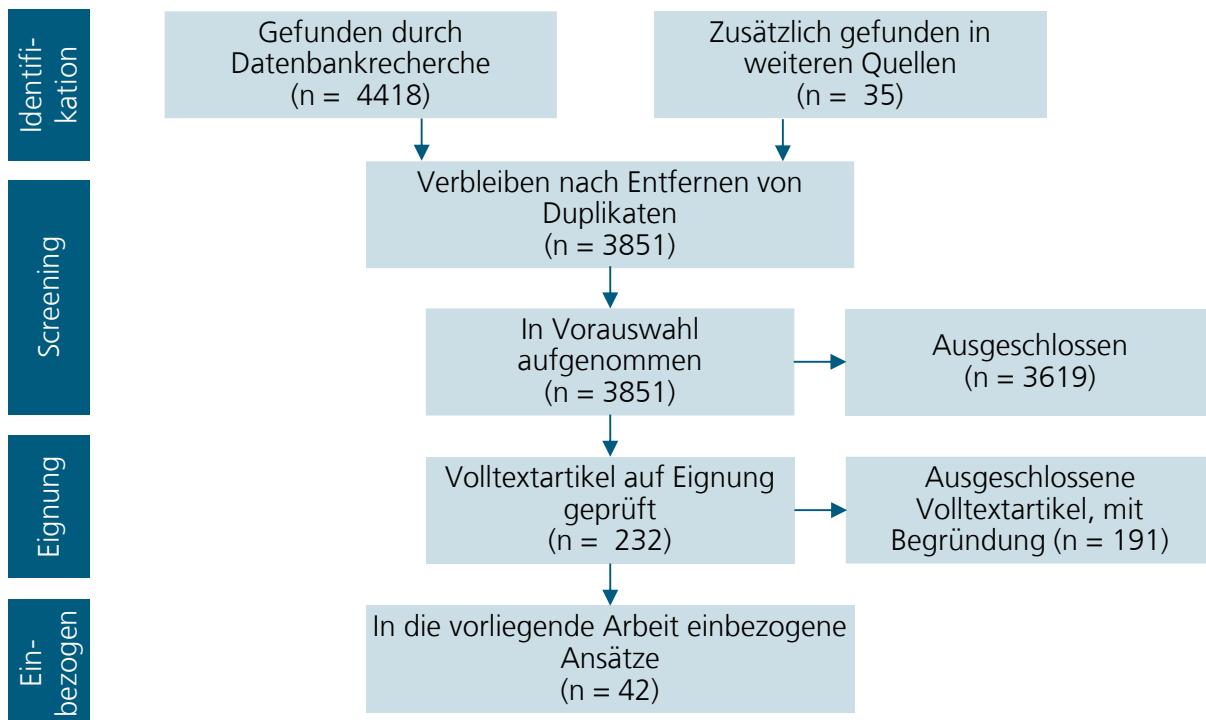


Abbildung 20: Methodisches Vorgehen nach PRISMA zur Identifikation relevanter Ansätze nach Moher et al. 2011, S. 11

In der Screening-Phase ausgeschlossene Ansätze wurden nicht weiter berücksichtigt, da diese trotz des Suchstrings außerhalb des Objektbereichs lagen. Weitere 191 Ansätze wurden ausgeschlossen, da diese bei näherer Untersuchung ebenfalls nicht im Objektbereich lagen. Die Ansätze vernachlässigten den Unternehmensaspekt, legten einen zu breiten Fokus auf Green IS oder bezogen sich allgemein auf Informationssysteme sowie auf die Softwareentwicklungsphasen der Implementierung und Wartung.

Die 42 identifizierten Ansätze können vier Themenfeldern zugeordnet werden, die sich an dem abgeleiteten Objektbereich orientieren. Abbildung 21 zeigt eine Übersicht über die Themenfelder und ihre Einordnung in den Objektbereich. Angelehnt an die Themenfelder werden die Ansätze in den folgenden vier Unterkapiteln sortiert nach ihrer Relevanz beschrieben.

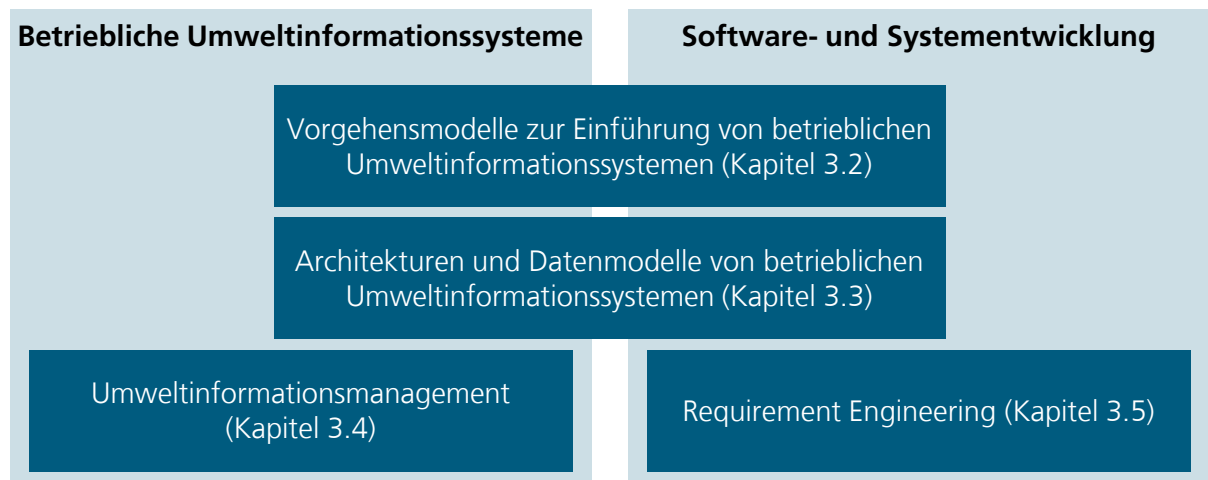


Abbildung 21: Einordnung der Unterkapitel in den Objektbereich dieser Arbeit

3.2 Vorgehensmodelle zur Einführung von betrieblichen Umweltinformationssystemen

Bislang existieren einige Vorgehensmodelle zur Einführung oder Gestaltung von betrieblichen Umweltinformationssystemen, die in diesem Unterkapitel erläutert werden.

Perl erstellt ein Konzept zur Implementierung von Umweltinformationssystemen in Unternehmen sowohl für eine betriebliche also auch eine überbetriebliche Nutzung in Netzwerken. Hierbei werden bestehende theoretische Konzepte zur Einführung von betrieblichen Umweltinformationssystemen untersucht sowie technische und organisatorische Herausforderungen und Barrieren identifiziert, die eine Umsetzung erschweren oder sogar verhindern (Perl 2006, S.3). Perl entwickelt ein vierstufiges Vorgehensmodell zur Implementierung bestehend aus (Perl 2006, S.230):

- Level 1: Organisationales Lernen
- Level 2: Umweltbewusstsein
- Level 3: Instrumente und Methoden
- Level 4: Betriebliche Umweltinformationssysteme

Dieses stufenweise Vorgehen ermöglicht eine langsame Annäherung des Unternehmens an das Thema Nachhaltigkeit und betriebliche Umweltinformationssysteme und vermeidet somit eine Überforderung bei der Einführung (Perl 2006, S.229). Im ersten Level müssen zunächst die Voraussetzungen für ein nachhaltiges Wirtschaften des Unternehmens durch

Verhaltensänderungen der Beschäftigten und eine Anpassung der Unternehmenskultur und -organisation geschaffen werden (Perl 2006, S.231). Im zweiten Level wird das Umweltbewusstsein des Unternehmens weiter ausgebaut und im dritten Level umweltbezogene Instrumente und Methoden eingeführt. Hierbei müssen Aspekte hinsichtlich der Instrumente, des Personals, der Organisation, der Wirtschaftlichkeit und der technischen Umsetzbarkeit berücksichtigt werden. Diese können z.B. Informationsbedarfe, Verantwortlichkeiten, Projektorganisation, Aufwände für Qualifizierungen oder Möglichkeiten der Datenaufbereitung betreffen (Perl 2006, S. 237–247). Nur das vierte Level bezieht sich explizit auf betriebliche Umweltinformationssysteme und definiert vier Rahmenfaktoren, die für eine erfolgreiche Implementierung definiert sein müssen: Ziel der Implementierung, Funktionen der Software, Personen oder Abteilungen mit Informationsbedarfen und weitere Anforderungen an eine Software. Die weiteren Anforderungen an die Software unterteilen sich in inhaltlich-organisatorische und systembezogene Aspekte. Während sich die inhaltlich-organisatorischen Anforderungen hauptsächlich auf die benötigten Umweltinformationen inklusive ihrer Erhebung und Verteilung beziehen, entsprechen die systembezogenen Anforderungen nicht-funktionalen Anforderungen, durch die z.B. ein modularer Aufbau des Systems gefordert wird (Perl 2006, S. 249–251). Zusätzlich muss eine Kosten-Nutzen-Abschätzung für die Implementierung durchgeführt sowie abschließend eine Software ausgewählt werden (Perl 2006, S. 252–255). Ein konkreter Prozess zur Implementierung eines betrieblichen Umweltinformationssystems wird im vierten Level allerdings nicht definiert.

Chofreh et al. entwickeln ein Framework, eine Roadmap und einen Leitfaden zur Implementierung eines nachhaltigen ERP-Systems, auch sustainable ERP oder S-ERP genannt (Chofreh et al. 2016; Chofreh et al. 2018c; Chofreh et al. 2018b; Chofreh et al. 2018a). Es werden konkrete Schritte auf strategischer, taktischer und operativer Ebene definiert, die zur Einführung eines S-ERP-Systems und der nachhaltigen Transformation eines Unternehmens durchgeführt werden müssen (Chofreh et al. 2018c, S.287). Die Phasen der Schritte orientieren sich an den Phasen des Projektmanagements:

Initialisierung, Planung, Durchführung, Monitoring/Kontrolle, Abschluss (Chofreh et al. 2018c, S.287).

Lang-Koetz entwickelt ein praxisnahes Vorgehensmodell zum Aufbau eines Umweltkennzahlensystems, zur Unterstützung des Umweltcontrollings und zur Beschaffung dieser Informationen mithilfe eines ERP-Systems. Der Fokus liegt hierbei auf betrieblichen Material- und Energieströmen, um die Transparenz über diese Kennzahlen zu steigern. Der Ansatz ist daher für das Umweltcontrolling von Unternehmen mit einem ERP-System geeignet (Lang-Koetz 2006, S. 17–18). Aufbauend auf einem Betrachtungsmodell zur Bestimmung und Charakterisierung der Informationsbedarfe entwickelt Lang-Koetz das Vorgehensmodell für den Aufbau eines integrativen Umweltcontrollings mithilfe eines ERP-Systems. Dieses besteht aus vier Phasen: Definition des Anwendungsbereichs, Identifizierung und Erfassung der relevanten Stoffströme, Aufstellung des Umweltkennzahlensystems und Erstellung der Informationsversorgung. Innerhalb dieser Phasen werden konkrete Schritte detailliert mit dem Ziel die Buchungsstruktur des ERP-Systems anzupassen und um Materialstammdaten zu erweitern (Lang-Koetz 2006, S.67). Zusätzlich stellt Lang-Koetz die Notwendigkeit der organisatorischen Integration heraus, welches unter anderem die Einbindung der Beschäftigten, eine nutzungsgerechte Darstellung der Umweltkennzahlen, Prozessdefinitionen sowie eine entsprechende Dokumentation beinhaltet (Lang-Koetz 2006, S. 94–95). **Lang-Koetz und Heubach** greifen dieses Vorgehensmodell auf und führen eine weitere Phase ein, die explizit auf die Analyse der vorhandenen Informationssysteme eingeht. Der Fokus auf die Implementierung eines betrieblichen Umweltinformationssystems als Erweiterung eines ERP-Systems bleibt jedoch bestehen. Zusätzlich werden Kennzahlenkarten mit benötigten Zusatzinformationen, eine Systembeschreibungskarte mit einer Beschreibung der vorhandenen Daten und eine Datenstruktur definiert. (Heubach & Lang-Koetz 2006, S.58; Lang-Koetz & Heubach 2007, S. 29–30)

Im **Forschungsprojekt INTUS** wird untersucht, wie die Instrumente des Umweltcontrollings – Umweltbilanz, Umweltkennzahlen und Flusskostenrechnung –

durch Informationssysteme bereitgestellt und unterstützt werden können. Hierbei werden ERP-Systeme und Excel-Lösungen betrachtet sowie ein Phasenmodell zur Implementierung entwickelt (Beucker et al. 2003, S.7). Dieses Phasenmodell besteht insgesamt aus neun Phasen (vgl. Abbildung 22) (Lang et al. 2004, S.112): Projektvorbereitung, Analyse und Formulierung der Anforderungen, Erstellung eines Konzepts, Überprüfung des Konzepts, Implementierung, Testen, Schulung, Installation, Anwendung und Wartung. In der Projektvorbereitung ist ein Audit zur Erhebung des Ist-Zustandes vorgesehen, um zum einen relevante Umweltaspekte, die Organisation des Unternehmens und des Umweltmanagements sowie die vorhandene IT-Infrastruktur zu identifizieren. Zum anderen werden in diesem Schritt die benötigten Instrumente des Umweltcontrollings ausgewählt (Steinfeldt & Lang 2004, S.18). Die Analyse und Formulierung der Anforderungen stellt die umfangreichste Phase dar, in der mithilfe der „Viewpoint oriented requirement definition“-Methode (VORD-Methode) die Anforderungen der Nutzerinnen und Nutzer sowie die umweltrelevanten Daten erhoben werden (Lang et al. 2004, S.114). Am Ende dieser Phase werden die Anforderungen in Form eines Lastenhefts mithilfe von zum Beispiel UML zusammengefasst (Steinfeldt & Lang 2004, S.21). Darauf aufbauend wird das Konzept technisch spezifiziert und ein Pflichtenheft erstellt (Steinfeldt & Lang 2004, S.24). Auch bei diesem Konzept wird darauf hingewiesen, dass die Berücksichtigung organisatorischer Aspekte, wie Prozessanpassungen oder Schulungen, entscheidend für den Erfolg des Projekts sind (Steinfeldt & Lang 2004, S.24).

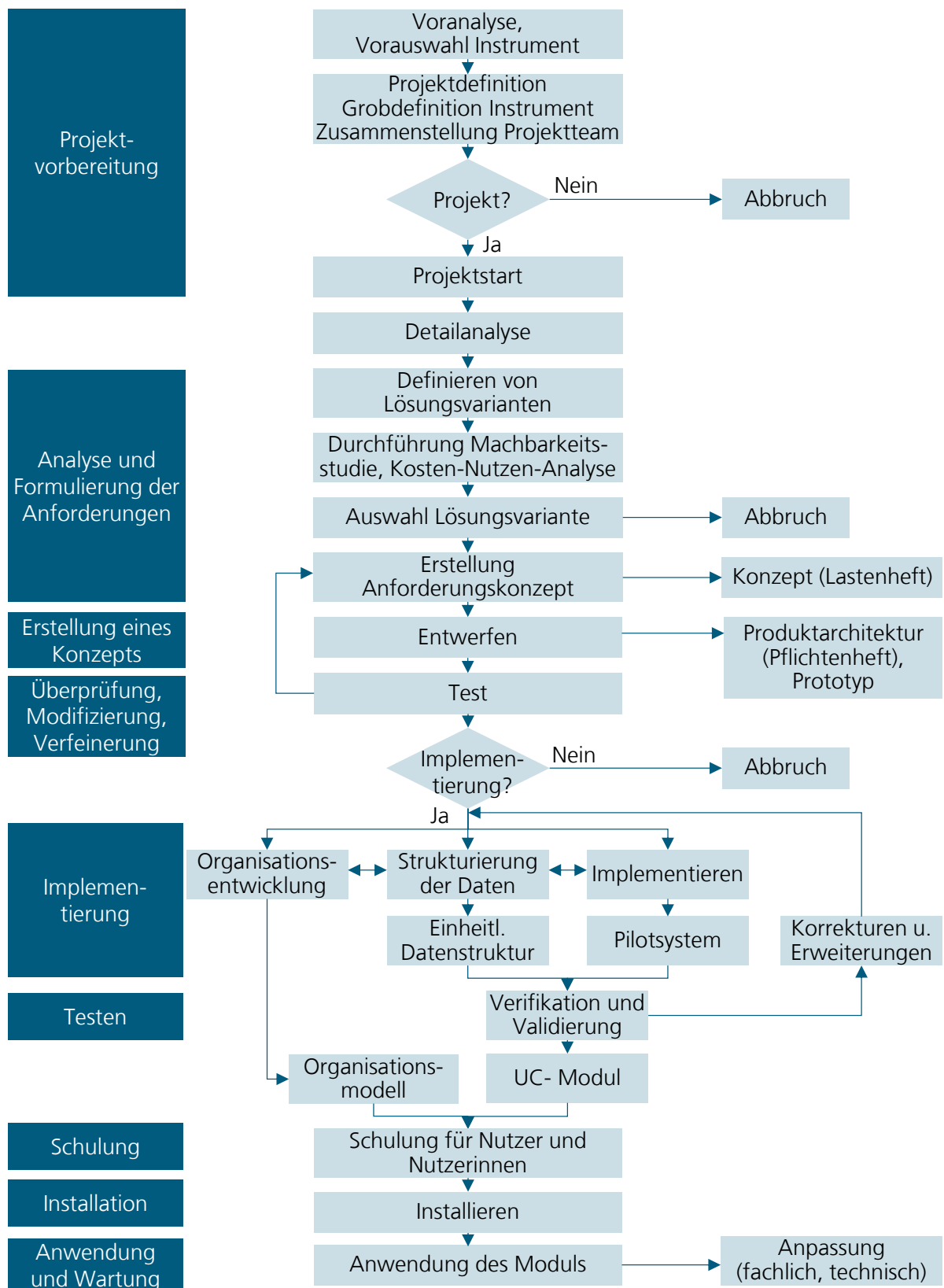


Abbildung 22: Im Forschungsprojekts INTUS entwickeltes Phasenmodell nach Lang et al. 2004, S.112

Pflaum et al. definieren ein theoretisches Vorgehen mit zehn Arbeitsschritten und zugehörigen Fragestellungen, um die Entwicklung und Einbindung von betrieblichen Umweltinformationssystemen für Unternehmen zu erleichtern (Pflaum et al. 1997, S.292). Während die ersten Schritte insbesondere die Motivation und Struktur des Umweltschutzes im betrachteten Unternehmen allgemein analysieren, konzentrieren sich die abschließenden drei Schritte auf die Informationserfassung, -verarbeitung und -verteilung (Pflaum et al. 1997, S.298). Die Definition einer abstrakten Referenzarchitektur soll eine möglichst breite Übertragbarkeit des Ansatzes sicherstellen (Pflaum et al. 1997, S.297).

O'Faoláin de Bhróithe et al. beschreiben eine Plattform für das Umwelt- und Energiemanagement von kleinen und mittelständischen Unternehmen inklusive eines Vorgehensmodells zum Aufbau. Durch die Phaseneinteilung des Vorgehensmodells nach dem integrierten ISO-Managementprozess in Management, Planung, Ausführung, Validierung und Kontrolle ist das Konzept ISO 14001 und ISO 9001 konform. Der Fokus der Plattform liegt insbesondere auf dem Energiemanagement und der Kennzahlenbildung. (O'Faoláin de Bhróithe et al. 2018, S. 189–192)

Scholtz et al. entwickeln ein Business Intelligence Tool in Form eines Dashboards für das Nachhaltigkeitsinformationsmanagement von Universitäten. Als Methoden nutzen sie hierfür Design Science Research und eine Fallstudie. Das so entwickelte System besteht aus einem Vorgehensmodell und einer Referenzarchitektur mit ETL-Prozess und Schichtenarchitektur. (Scholtz et al. 2018, S. 269–271)

Giesen et al. stellen einen Ansatz zur Einführung und Definition von Kernkomponenten eines betrieblichen Umweltinformationssystems vor. Hierbei werden zunächst die bestehenden Informationssysteme analysiert, um anschließend Schnittstellen und Funktionalitäten zu definieren sowie eine Entscheidung über zu ersetzende Informationssysteme zu treffen. Die identifizierten Kernelemente unterteilen sich in individuelle, administrative, beschreibende und konnektive Elemente. (Giesen et al. 2009, S.148)

Günther et al. entwerfen eine Methode zur Strukturierung eines Data Warehouses für das Umweltmanagement. Konkret wird ein Datenmodell für Materialemissionen aufgezeigt und die entwickelte Methode anhand einer Fallstudie in einem großen Unternehmen der Automobilbranche validiert. (Günther et al. 2004, S. 331–333)

Léon-Soriano et al. definieren ein Vorgehen zur betrieblichen Integration einer Sustainability Balanced Scorecard (SBSC) und dem Aufbau eines Informationssystems zur Datenerhebung für die SBSC auf Basis eines Data Warehouses. Außerdem verweisen sie auf ein Template zur Kennzahldefinition. (León-Soriano et al. 2010, S. 255–261)

Frysinger definiert einen Ansatz für die Integration eines Umweltinformationssystems anhand einer Fallstudie. Zunächst wird ein integriertes Datenmodell erstellt, für das Schlüsselprozesse, Fachexperten und derzeitige Datenquellen je Unternehmensprozess identifiziert werden. Auf Basis der zusammengeführten Prozessdatenmodelle wird dieses integrierte Datenmodell auf den Datenbanken des Unternehmens abgebildet. Abschließend werden weitere Anforderungen an das Umweltinformationssystem aufgenommen und dieses implementiert. (Frysinger 2001, S. 364–367)

Zsifkovits und Brunner beantworten die Frage, wie ein prozessorientierter Ansatz zur Einführung eines betrieblichen Umweltinformationssystems mit einem Fokus auf Stoffflüsse aussehen kann. Sie definieren hierzu allgemeine Schritte, die eine Identifikation und Definition von Prozessen, Zielen und Problemen sowie eine Maßnahmenplanung und -umsetzung beinhalten. Hierbei wird auf die Modellierungsmethoden „Architektur integrierter Informationssysteme“ (ARIS) mit der Daten-, Prozess-, Leistungs-, Funktions- und Organisationssicht sowie auf die „erweiterte ereignisgesteuerte Prozesskette“ (eEPK) für die Prozessmodellierung zurückgegriffen. (Zsifkovits & Brunner 2012, S. 242–250)

Tschandl beschreibt eine stoffstromorientierte Methode zum Aufbau eines integrierten Umweltcontrollings mithilfe eines betrieblichen Umweltinformationssystems, die „STABIS-Methode“. Die ersten sechs Schritte befassen sich mit der Strategieentwicklung, der Stoffstrombilanzierung und -analyse sowie der Maßnahmenplanung. In den letzten beiden Schritten wird explizit auf betriebliche Umweltinformationssysteme eingegangen

und der Aufbau eines Data Warehouses mit einer Definition über die vorhandenen Datenquellen empfohlen. (Tschandl 2012, S. 31–32)

Rey et al. haben im Rahmen des Forschungsprojekts MESA das Ziel ein Vorgehen zur Implementierung eines Stoffstrommanagements als Teil des Umweltmanagements für die Automobilbranche zu entwickeln (Rey et al. 2003, S.11). Hierfür untersuchen sie zum einen eine Modellierung mithilfe der Ökobilanzierungssoftware Umberto und zum anderen eine Methode zur Stoffstromanalyse mithilfe von ERP-Daten. Während die Ökobilanzierungssoftware aufgrund des Aufwands und der Fehleranfälligkeit der Datenerhebung und Prozessmodellierung weniger geeignet erscheint, ist die Verwendung von ERP-Daten durch die Einführung eines „Öko-Schlüssels“ für Materialdaten und der Erweiterung der Funktionalitäten laut Rey et al. vielversprechend (Rey et al. 2003, S. 30–36). Ein allgemeines Vorgehensmodell zur Einführung eines Stoffstrommanagements konnte jedoch aufgrund der Heterogenität der untersuchten Unternehmen bezüglich ihrer Varianten- und Prozessvielfalt nicht abgeleitet werden (Rey et al. 2003, S. 23–24).

Hemke und Wohlgemuth untersuchen, inwiefern Usability Methoden in die Entwicklung von betrieblichen Umweltinformationssystemen eingebunden werden sollten und schlagen die Verwendung von Scrum und User Stories vor, um eine hohe Nutzungsfreundlichkeit zu erreichen. (Hemke & Wohlgemuth 2017, S. 1986–1991)

Der Ansatz von **Molloy** zielt auf die strategische und systematische Integration von Informationssystemen für das Umweltmanagement in Unternehmen ab und verwendet hierfür den strategischen IT-Planungsprozess nach Heinrich und Lehner (Molloy 2007, S.254). Dieser beinhaltet die Phasen der strategischen Situationsanalyse, Zielplanung, Strategieentwicklung und Maßnahmenplanung. Durch Anwendung dieses Vorgehens konnten Redundanzen zwischen Informationssystemen aufgehoben und in einem Beispielunternehmen 10 bis 20 % an Personalkosten und 5 bis 15 % an Lizenzkosten eingespart werden (Molloy 2007, S.253).

Das **Forschungsprojekt IMPRESS** hat zum Ziel ein Vorgehensmodell zur Integration von betrieblichen Umweltinformationssystemen und ein entsprechendes Datenmodell zu entwickeln (Erixon et al. 2006, S.2; Tiviander et al. 2006, S.9). Hierzu werden drei

übergeordnete Schritte der Analyse, Synthese und Implementierung definiert. In der Analyse werden Ziele und Vision des zukünftigen Informationssystems sowie Informationsdefizite und -überschneidungen durch einen Fragebogen identifiziert. Die Synthese wird anschließend zur Beschreibung von unterschiedlichen Lösungen und einer Integration dieser Lösungen in die Unternehmensorganisation und IT-Infrastruktur verwendet (Erixon et al. 2006, S.23). In der anschließenden Implementierung muss gegebenenfalls zunächst eine Machbarkeitsstudie unter anderem unter Berücksichtigung von Kosten, benötigten Kompetenzen, Wartbarkeit und Datenerfassung erstellt werden, damit die Stakeholder eine entsprechende Lösungsvariante priorisieren und auswählen können. Nach der Planung und Implementierung des ausgewählten Informationssystems folgt eine abschließende Evaluation (Erixon et al. 2006, S.25). Zusätzlich wird in diesem Forschungsprojekt ein Datenmodell definiert, welches aus technischen, sozialen und naturbezogenen Komponenten besteht (Tiviander et al. 2006, S.14).

Carlson und Pålsson entwerfen einen Prozess für die Erstellung eines technischen Systemmodells im Bereich Umweltinformationsmanagement, insbesondere zur Sicherung der Datenqualität. Der sogenannte PHASETS-Prozess definiert folgende Schritte: Definition, Sammlung, Auswahl, Synthese, Aggregation und Kommunikation der Daten. (Carlson & Pålsson 2001, S. 429–431)

Der Ansatz von **Junker und Farzad** beschreibt ein Vorgehen zur Entwicklung eines Nachhaltigkeitsinformationssystems, welches das Qualitäts-, Technologiemanagement, den Arbeitsschutz und das IT-Controlling einbezieht (Junker & Farzad 2015, S.1135). Es wird ein allgemeiner Prozess definiert, der eine Definition der Nachhaltigkeitsziele und -strategieentwicklung sowie eine detaillierte IT-Strategieentwicklung vorsieht. Hierauf aufbauend wird das Nachhaltigkeitsinformationssystem anschließend geplant. Für die Planung des Informationssystems müssen bestehende Lücken in der Datenerfassung identifiziert, eine Machbarkeitsstudie für Lösungen zur Schließung dieser Lücken und eine Priorisierung der identifizierten Lösungen durchgeführt werden. Das Vorgehen wird anhand einer Fallstudie in der Inhouse-Logistik validiert. (Junker & Farzad 2015, S. 1134–1136)

3.3 Architekturen und Datenmodelle von betrieblichen Umweltinformationssystemen

In diesem Kapitel werden Referenzarchitekturen von betrieblichen Umweltinformationssystemen und Datenmodelle von umweltrelevanten Daten vorgestellt. Es werden sowohl Ansätze aufgegriffen, die diese beiden Aspekte gemeinsam betrachten, als auch Ansätze, die nur einen dieser Aspekte berücksichtigen.

Bischof und Winkler definieren ein Umweltcontrollingsystem mit den Funktionen Ökobilanzierung, Umweltkostenrechnung, Umweltkennzahlen sowie SBSC und untersuchen die IT-technischen Unterstützungsmöglichkeiten in Form eines betrieblichen Umweltinformationssystems. Auf Grundlage des ERP-Systems von SAP entwickeln sie eine Lösung und ordnen den Funktionen und zugehörigen Ebenen des Umweltcontrollingsystems die jeweils benötigten SAP-Komponenten zu (Bischof & Winkler 2012, S. 216–219). Zur Umsetzung wird eine Anpassung der Kostenarten und -stellen des ERP-Systems benötigt und ein Data Warehouse eingeführt. Eine Abbildung der Ökobilanzierung ist mit der entwickelten Lösung jedoch nicht möglich. (Bischof & Winkler 2012, S. 219–224)

Krcmar et al. entwickeln ein ausführliches Referenzmodell „*ECO-Integral*“ mit dem Ziel eine kontinuierliche Erfassung, Verarbeitung und Dokumentation von Umweltdaten und -informationen zu ermöglichen. Unter Umweltdaten und -informationen verstehen die Autoren Mengen, Kosten und Merkmale von betrieblichen Stoff- und Energieflüssen, die für die Erfüllung der Aufgaben im Umweltmanagement benötigt werden. Auf Basis des Standards für Unternehmensarchitekturen ARIS umfasst dieses Referenzmodell daher eine Modellierung von Funktionen, Daten und Prozessen für folgende Aufgaben:

- Erstellung von Stoff- und Energiebilanzen für Prozesse und Produkte,
- Erstellung eines Umweltprogramms,
- Aufbau einer Umweltkostenrechnung,
- Erstellung von Wirkungsanalysen und Bewertungen,
- Aufbau und Monitoring von Umweltkennzahlen und -kennzahlensystemen,
- Verwendung umweltrechtlicher Instrumente.

Generell soll das Modell Entscheidungsprozesse unterstützen, Instrumente einsetzen und eine Datenbasis bereitstellen. Das Referenzmodell wurde an drei Industriestandorten evaluiert. (Krcmar et al. 2000, S. 2–57)

Gräuler et al. entwerfen eine Architektur eines betrieblichen Umweltinformationssystems mit relevanten Funktionen. Die anhand einer Umfrage ermittelten Funktionen sollen vor allem die Datenqualität, Kompatibilität mit anderen Systemen, die Nutzungsfreundlichkeit sowie eine Unterstützung des Umweltmanagements sicherstellen (Gräuler et al. 2013, S.105). Zur Erfüllung dieser Funktionen wird eine Fünf-Schichtenarchitektur bestehend aus den Schichten Datenquellen, Daten, Prozesse inklusive Workflowmanagement, Services und Präsentation entwickelt (vgl. Abbildung 23). In der Service-Schicht finden sich drei Module, die die Bereiche Green IT, Grüne Logistik und Produktentwicklung sowie die Nachhaltigkeitskommunikation unterstützen. Diese Module können durch die vorhandene Service Mall, einer Art Schnittstelle zum Angebot weiterer Services, erweitert werden. (Gräuler et al. 2013, S. 99–111)

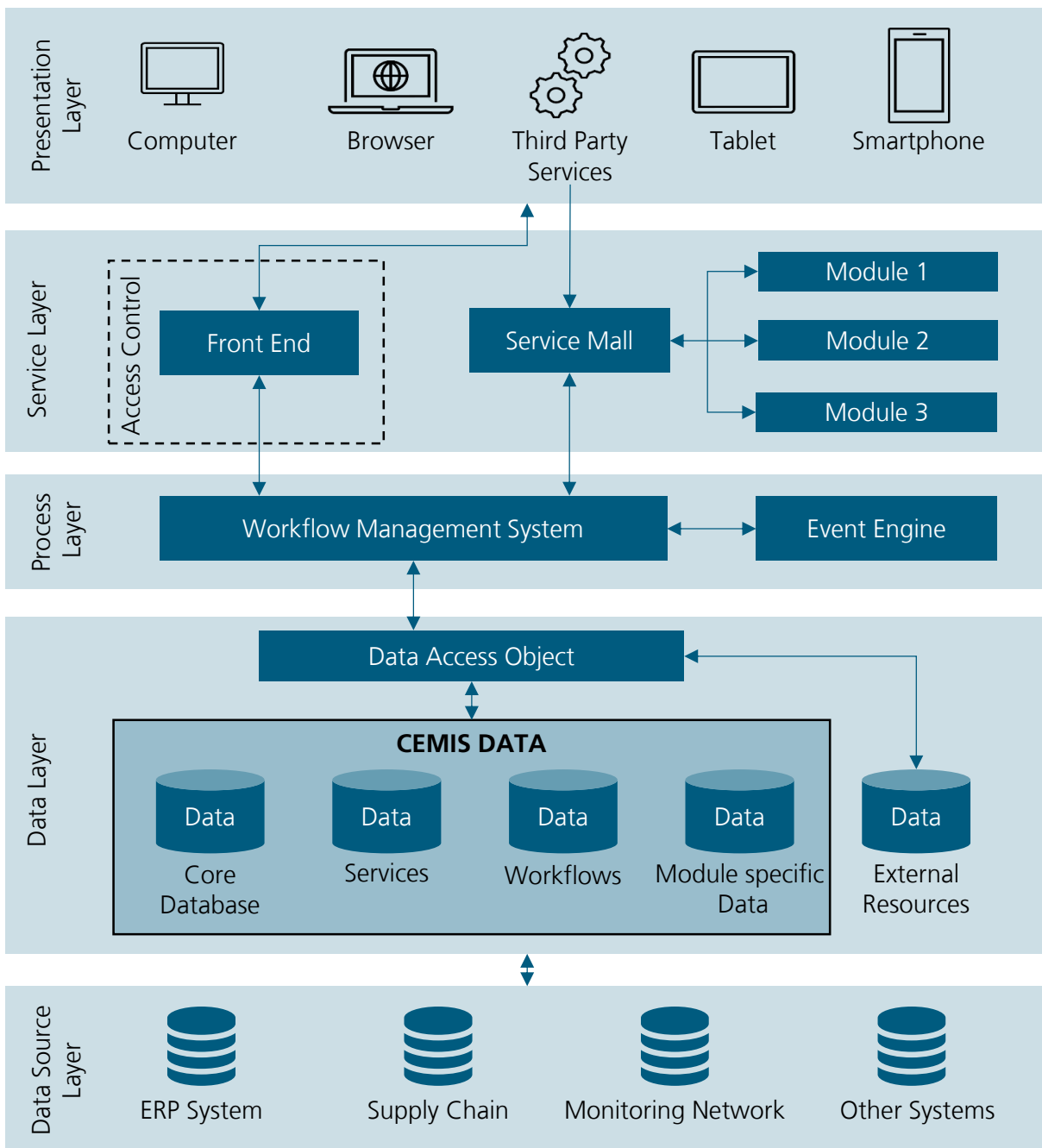


Abbildung 23: Schichtenarchitektur nach Gräuler et al. 2013, S.112

Ortner und Etlinger untersuchen, inwiefern die Schaffung einer Datenbasis für ein stoffstromorientiertes, betriebliches Umweltinformationssystem unterstützt werden kann und entwickeln ein Referenzdatenmodell für stoffstromrelevante Daten. In einem allgemeinen Schichtenmodell wird dieses Datenmodell zwischen den Datenquellen und einem Business Intelligence System eingeordnet. Dieses Referenzdatenmodell enthält

Grundinformationen, wie die Bezeichnung und spezifische Werte, sowie Zusatzinformationen mit Datenherkunft, Zweck und Zuständigkeiten. Zusätzlich werden stoffstromrelevante Daten aufgelistet und nach ihrer potentiellen Datenherkunft aus technischen, betriebswirtschaftlichen und externen Datenquellen klassifiziert (Ortner & Etlinger 2012, S. 264–270).

Löchelt entwickelt ein betriebliches Umweltinformationssystem auf Basis einer relationalen Datenbank zur Unterstützung des Umweltcontrollings. Dieses Informationssystem besteht aus einzelnen Modulen für quantitative und qualitative Bewertungen sowie Maßnahmenplanungen durch ein Expertensystem. (Löchelt 2000, S. 105–237)

Naana definiert ein betriebliches Umweltinformationssystem auf Basis eines Data-Warehouse-Konzepts und einer Drei-Schichtenarchitektur zur Unterstützung des strategischen Umweltcontrollings. Hierbei berücksichtigt sie die Schichten (Naana 2014, S.171):

1. Datenquellen,
2. Datenbeschaffungsbereich mit einem Data-Warehouse, Data Marts und einem Kennzahlensystem,
3. den Informations- und Präsentationsbereich mit Berichten, Online Analytical Processing-Komponente (OLAP) und Alarmen.

Zusätzlich definiert sie ein Datenschema mithilfe UML, welches die Inputs Material, Energie und Wasser sowie Prozesse, Produkt, Kosten, Wettbewerbs- und Innovationsfähigkeit berücksichtigt. (Naana 2014, S.186)

Stindt et al. entwickeln ein Architekturmodell und ein Datenmodell für die strategische Entscheidungsunterstützung im nachhaltigen Supply Chain Management, das die Analyse der ökologischen und ökonomischen Nachhaltigkeitsdimension unterstützt. Unter Verwendung der Design Science Research-Methode definieren die Autoren eine Drei-Schichtenarchitektur mit Quellsystemschiicht, Data Warehouse-Managementschiicht und einer Schicht zur Entscheidungsunterstützung. In der Quellsystemschiicht werden unterschiedliche interne und externe Quellsysteme, wie ERP-Systeme, Datenbanken für

Ökobilanzierungen oder Toxizitätsdatenbanken, eingebunden. Die Aufgaben der Data Warehouse-Managementschicht umfassen die Definition der Datenverfügbarkeit und -granularität, das Vorverarbeiten und die Aggregation von Daten sowie das Anreichern mit Anforderungen aus Regularien. Hierzu besteht diese Schicht aus einem ETL- und OLAP-Modul, einer Event Engine, einem Metadaten-Repository sowie einem Referenzmodell für Nachhaltigkeitsbewertungen und gesetzlichen Anforderungen. Die Schicht zur Entscheidungsunterstützung beinhaltet statistische Methoden, Optimierungsmethoden und Simulationssoftware. (Stindt et al. 2014, S. 2–8)

Rezgui und Naana definieren ein allgemeines betriebliches Umweltinformationssystem auf Basis von BI-Tools und eines Data Warehouses. Dieses kann das Umweltcontrolling mithilfe von Entscheidungsunterstützung durch OLAP, einem Dashboard mit Alarmen und einer integrierten Balanced Scorecard unterstützen. (Rezgui & Naana 2010, S.191)

Ferrari et al. analysieren, inwiefern IoT-Technologien die Dynamisierung einer Ökobilanzierung ermöglichen und die Erstellung erleichtern können. Sie nutzen das BI-Tool SAP Business Objects, um das ERP-System und eine Ökobilanzierungssoftware miteinander zu verbinden. Abfall- und Emissionsdaten können mit diesem Ansatz allerdings nicht erhoben werden. (Ferrari et al. 2021, S. 3–13)

Giesen entwickelt einen methodischen Rahmen zur informationstechnischen Unterstützung des Nachhaltigkeitsmanagements. Er listet benötigte Schnittstellen, Instrumente, Funktionalitäten und Administrationselemente auf. (Giesen 2014, S.5)

Wohlgemuth et al. beschreiben eine Systemarchitektur für ein betriebliches Umweltinformationssystem auf Basis einer Open-Source-Plattform mit Plug-in-Komponenten für das Materialflussmanagement und die Simulation von Produktionssystemen. Es werden drei Schichten definiert, die sich in die Plattform, die Informationssystemkomponenten und die Anwendung gliedern. Durch die modulare Architektur ist es potentiell möglich, die zur Verfügung stehenden Methoden zu erweitern. (Wohlgemuth et al. 2009, S.141)

Blume et al. stellen einen Ansatz zur Steigerung der Ressourceneffizienz im metallverarbeitenden Gewerbe vor. Bestandteile dieses Ansatzes sind Module für die

Erstellung eines Energiewertstrommodells, einer Material- und Energieflussanalyse, einer Ökobilanzierung und einer Simulation (Blume et al. 2018, S.242). Diese werden unter anderem auf Basis einer Excel-Tabelle eingebunden. Hierdurch wird eine Entscheidungsunterstützung mithilfe einer Wissensdatenbank zur Identifikation von Verbesserungen, die Definition und das Monitoring von Kennzahlen, eine Übersicht von gesetzlichen Rahmenbedingungen, eine Qualitätsüberwachung von Produkten sowie die Simulation von verschiedenen Szenarien ermöglicht. (Blume et al. 2018, S. 244–245)

Die Norm **ASTM E3012-16** ist ein Standard zur Beschreibung, Erhebung und Charakterisierung umweltrelevanter Informationen für einen einzelnen Fertigungsprozess. Mithilfe eines UML-Klassendiagramms wird ein Datenmodell erstellt, das die Informationsstruktur eines Fertigungsprozesses beschreibt. Es beinhaltet Informationen zum benötigten Input, Output, dem gefertigten Produkt, der Anlage und dem Prozess. Durch die Verkettung von mehreren Fertigungsprozessen kann somit auch ein Produktionssystem abgebildet werden (ASTM E3012-16, S. 6–7). Die Erstellung einer Ökobilanzierung mithilfe der anhand dieser Norm erhobenen Daten wird jedoch als aufwändig beschrieben, da einige Daten dennoch manuell und nur mit Expertenwissen eingebunden werden können (Bernstein et al. 2019, S.369).

Die Norm **ISO 20140-5 2017** beschreibt ein semantisches Datenmodell für die Umweltleistungsbewertung von Produktionssystemen. Die Norm fokussiert auf Automatisierungssysteme, ist jedoch generell für Produktionssysteme anwendbar. Die übergeordneten Klassen, die in der Norm definiert werden, setzen sich aus aktuellen Daten, externen Daten und Referenzdaten zusammen. (ISO 20140-5, S.5)

3.4 Umweltinformationsmanagement

Umweltinformationen sind einer der Kernbestandteile von betrieblichen Umweltinformationssystemen. Das Management dieser Informationen ist daher essentiell für die Aufgabenerfüllung eines solchen Informationssystems. Nicht nur Forschung aus dem Bereich der Informatik und der Informationssysteme befasst sich mit diesem Thema, sondern auch das Umwelt- und Wissensmanagement. Ansätze aus diesem Bereich werden im Folgenden vorgestellt.

Dornhöfer konzipiert ein „*Green Knowledge Management*“ in Form eines Umweltwissenssystems. Dieses beinhaltet verschiedene Dialogkomponenten, wie Dashboards oder Suchmöglichkeiten, sowie Analysetools und Arbeitsschritte (Dornhöfer 2017, S.87). Es kann durch ein Umweltinformationssystem umgesetzt werden, ist jedoch nicht zwangsläufig darauf ausgerichtet (Dornhöfer 2017, S.2). Falls ein Umweltinformationssystem verwendet werden soll, weist Dornhöfer darauf hin, dass dieses unternehmensindividuell und abhängig vom Zweck der Anwendung, der IT-Infrastruktur und dem Umfang bzw. den betrieblichen Umweltzielen ausgestaltet werden muss (Dornhöfer 2017, S.19). Zusätzlich definiert sie Schritte zur Einführung eines Umweltwissenssystems (Dornhöfer 2017, S.68):

1. Zielbestimmung
2. Wissensanforderungen und -identifikation
3. Wissenserwerb und -bewertung
4. Wissensentwicklung, -generierung und -formalisierung
5. Wissensspeicherung und -organisation
6. Wissensverteilung, -nutzung und -kontrolle

Schaltegger und Burritt definieren ein Vorgehen zum Aufbau einer Umweltbuchhaltung und empfehlen die Erstellung eines Journals, einer Art Buchführungstabelle, um umweltrelevante Daten zu erheben (Schaltegger & Burritt 2017, S. 265–272). Sie beschreiben insgesamt sechs Phasen mit konkreten Schritten und Ergebnissen. In den ersten drei Phasen werden die Ziele und Konten definiert sowie die benötigten Daten aufgenommen und aggregiert. Die Daten werden in dem Journal zusammengefasst, welches das Datum, die Menge, den Ort, eine Beschreibung der Transaktion, der Inputs, der Outputs, sowie deren Flüsse und der Datenqualität enthält. Für eine Abschätzung der Datenqualität können die Daten laut Schaltegger und Burritt in folgende Kategorien eingeteilt werden: Gemessene, berechnete, geschätzte Daten sowie Sekundärdaten von Lieferanten oder aus der Literatur bzw. aus Statistiken. Falls ein solches Journal geführt werden soll, wird darauf verwiesen, dass aufgrund des hohen Aufwands ein Informationssystem zur Unterstützung eingeführt werden muss (Schaltegger & Burritt 2017, S.273). Diese Daten werden in den nächsten Phasen auf ihre

Umweltauswirkungen analysiert und Kostenstellen und -trägern zugeordnet. In der letzten Phase wird ein Umweltmanagementsystem eingeführt sowie Verbesserungspotentiale identifiziert und entsprechende Maßnahmen umgesetzt (Schaltegger & Burritt 2017, S.265).

Erlandsson und Tillmann erstellen eine Klassifizierung von Umweltinformationen, indem sie diese Informationen in interne und externe sowie produkt- und unternehmensspezifische Anwendungen einteilen (Erlandsson & Tillman 2009, S.804). Zudem ermitteln sie Faktoren, die Umweltinformationen beeinflussen, und unterscheiden hierbei zwischen Stakeholdern und Unternehmensmerkmalen. So werden staatliche Stellen, Medien, Nichtregierungsorganisationen (NGOs) und Öffentlichkeit, Eigentümerinnen und Eigentümer, Investierende, Wettbewerber und Branchenverbände, Normungsorganisationen und Zertifizierungsstellen, Universitäten, andere Forschungseinrichtungen, Umweltberaterinnen und -berater, Akteure der Produktkette, Lieferanten und Kundschaft als potentielle Stakeholder identifiziert. Unternehmensmerkmale können in diesem Kontext Ressourcennutzung und kostentreibende Aktivitäten, Produkte, Unternehmensgröße, Position in der Produktkette, geografische Lage, Rentabilität, organisatorischer Aufbau, Umweltstrategie, Managementkompetenz und -unterstützung, Verantwortlichkeiten und vorhandene IT-Systeme des Unternehmens sein. (Erlandsson & Tillman 2009, S. 805–809)

Brown et al. definieren den strategischen Informationsbedarf für umweltrelevante Entscheidungen, der in bestehende Informationssysteme, wie Buchhaltungssysteme, integriert werden sollte. Dafür entwickeln sie eine Informationsmatrix zur Identifikation der relevanten Umweltinformationen (Brown et al. 2005, S. 80–81). In dieser Matrix schlagen sie je nach strategischer Ausrichtung des Unternehmens und Tragweite der Entscheidung unterschiedlich einzubindende Informationen vor. Bei der strategischen Ausrichtung wird zwischen einer Unternehmensstrategie zur Legitimation, Wettbewerbsfähigkeit und einer nachhaltigen Unternehmensführung unterschieden, während bei der Tragweite eine Entscheidung nur den Betrieb, den Markt oder sogar die ganze Gesellschaft betreffen kann (Brown et al. 2005, S. 85–87).

3.5 Requirement Engineering

Im Requirement Engineering als eine frühe Phase der Softwareentwicklung (vgl. Kapitel 2.3.4) werden die Anforderungen an die zu entwickelnde Lösung sowie deren benötigte Funktionen ermittelt. Somit ist dieser Schritt für eine erfolgreiche Umsetzung eines Informationssystems wesentlich. Aus diesem Grund werden in diesem Kapitel Ansätze aufgezeigt, die sich mit dem Anforderungsmanagement und den Informationsbedarfen für Informationssysteme auseinandersetzen.

Die **DIN EN ISO 9241-210** enthält Empfehlungen für das User Centered Design von interaktiven Systemen, also unter anderem Informationssysteme und legt einen besonderen Fokus auf die Anforderungen und die Gestaltung von Informationssystemen. Mit Hilfe der Norm soll die Interaktion zwischen Mensch und Maschine verbessert werden, indem sie auf die Planung und das Projektmanagement bei der Gestaltung der Systeme abzielt (DIN EN ISO 9241-210, S.7). Hierfür wurden Grundsätze entwickelt, die Iterationen, Interdisziplinarität sowie das Einbeziehen der letztendlichen Nutzerinnen und Nutzer vorsehen (DIN EN ISO 9241-210, S. 13–14). Abbildung 24 zeigt den vorgegebenen Entwicklungsprozess für eine menschenzentrierte Gestaltung.

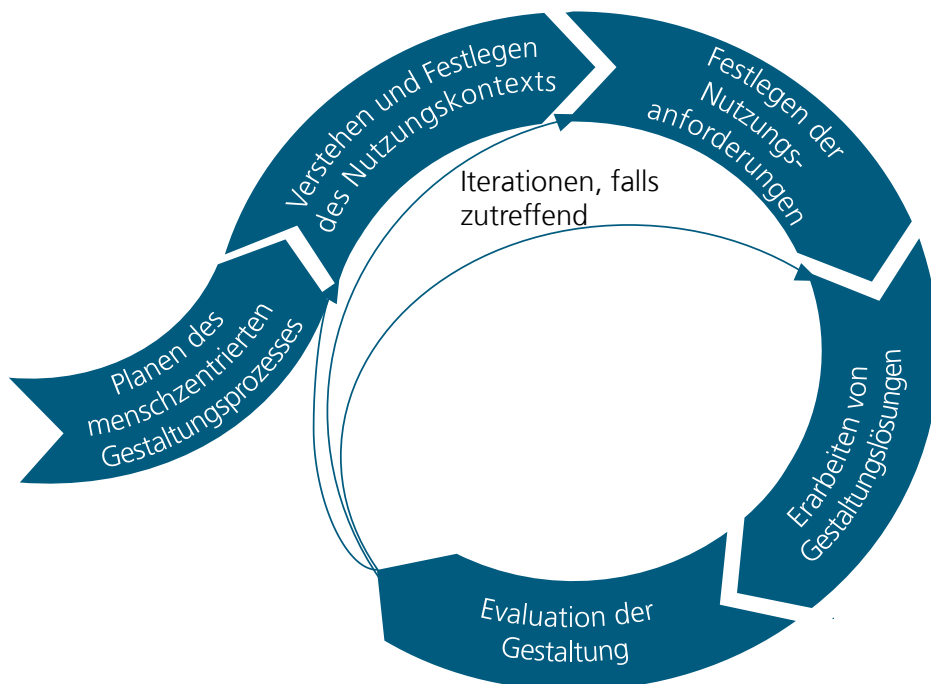


Abbildung 24: Phasen des User Centered Design nach DIN EN ISO 9241-210, S.21

Nach der initialen Planung im Rahmen des User Centered Design muss der Nutzungskontext beschrieben werden. Dieser sollte Nutzerinnen und Nutzer sowie weitere Stakeholder inklusive ihrer Merkmale, Ziele und Aufgaben sowie die Systemumgebung umfassen (DIN EN ISO 9241-210, S.22). Die anschließend zu spezifizierenden Nutzungsanforderungen setzen sich zusammen aus den Anforderungen im Kontext der Nutzungsbedarfe und des Nutzungskontextes, der Ergonomie, der Normen oder Richtlinien, der Gebrauchstauglichkeit sowie organisatorischen Anforderungen (DIN EN ISO 9241-210, S.23). Entsprechend der Anforderungen muss eine Gestaltungslösung erarbeitet und konkretisiert werden, bei der beispielsweise Prototypen oder Modelle erstellt werden (DIN EN ISO 9241-210, S.24). Durch die Evaluation wird diese Gestaltungslösung zum Beispiel mit Nutzerinnen und Nutzern getestet. Falls das Ergebnis nicht zufriedenstellend ist, werden Schritte über Iterationen wiederholt (DIN EN ISO 9241-210, S.28).

Winter und Strauch stellen ein Vorgehen für eine Informationsbedarfsanalyse zur Strukturierung und Einführung eines Data Warehouses dar (Winter & Strauch 2003, 1). Dieses gliedert sich in die vier Phasen Initialisierung, Ist-Analyse, Soll-Analyse und Modellierung mit insgesamt 13 Schritten. Insbesondere für die Priorisierung und Repriorisierung der Informationsbedarfe werden konkrete Kriterien vorgeschlagen, die unter anderem die benötigten Entwicklungs- und Extraktionskosten, Implementierungszeit, Kapazität des Entwicklungsteams, Aspekte der Datensicherheit, Datenschutzaspekte, gewünschte Informationsgranularität, gewünschte Aktualisierungshäufigkeit, Datenqualität und damit verbundene Kosten umfassen. (Strauch & Winter 2002, S.15)

Kontonya und Sommerville entwerfen eine Methode zur „*Viewpoint Oriented Requirement Definition*“ (VORD), in der sie Anforderungen mithilfe von quellspezifischen Sichten erheben und strukturieren. Hierbei unterscheiden sie direkte Sichten, deren Anforderungen von den Nutzerinnen und Nutzern stammen, und indirekte Sichten, die systemseitige Anforderungen darstellen. Das entwickelte Prozessmodell enthält vier Schritte, welches die Identifizierung der Sichten, die Dokumentation, Analyse

und Detaillierung der sichtenspezifischen Anforderungen beschreibt. (Kontonya & Sommerville 1996, S. 7–9)

Das VOLERE-Template wurde von **Robertson und Robertson** entwickelt, um die Ermittlung von Anforderungen in der Softwareentwicklung zu erleichtern. Dieses umfasst daher Empfehlungen und konkrete Vorschläge von zu berücksichtigenden funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen. Zunächst soll laut Template der Zweck und das Ziel des Projekts, die Stakeholder, die Rahmenbedingungen und der Anwendungsbereich des Projekts bestimmt werden. Außerdem wird empfohlen ein Datenmodell für projektrelevante Unternehmensdaten und ein Glossar zur Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses zu erstellen. (Robertson & Robertson 2020, S. 10–49)

3.6 Zwischenfazit

Der Stand der Forschung und Technik wurde hinsichtlich der Gestaltung betrieblicher Umweltinformationssysteme mithilfe des PRISMA-Statements systematisch erfasst und aufbereitet. Ausgehend vom Objektbereich, der aus den Grundlagen und der Zielstellung der Arbeit abgeleitet wurde, ergeben sich vier Themenfelder (vgl. Abbildung 21).

Vorgehensmodelle zur Einführung von betrieblichen Umweltinformationssystemen betreffen sowohl den Objektbereich der betrieblichen Umweltinformationssysteme als auch die Software- und Systementwicklung. Insgesamt wurden 20 Ansätze in diesem Themenfeld dargestellt, die sowohl allgemein für die Einführung eines solchen Informationssystems geeignet sind als auch spezifisch, zum Beispiel für die Erweiterung eines ERP-Systems um Material- und Energieströme, entwickelt wurden.

Architekturen und Datenmodelle von betrieblichen Umweltinformationssystemen stellen Referenzarchitekturen und -datenmodelle dar. Die 14 untersuchten Ansätze entwickeln Lösungen als Erweiterung bestehender Informationssysteme, wie ERP-Systemen oder Data Warehouses, oder auf Basis von Architekturmustern, wie der Schichtenarchitektur. Referenzdatenmodelle werden teilweise bereits in diese Architekturen integriert, beziehen sich jedoch häufig auf spezielle Anwendungen, wie die Ökobilanzierung oder Fertigungsprozesse.

Insgesamt wurden vier Ansätze aus dem Bereich des Umweltinformationsmanagements betrachtet. Diese definieren Vorgehen und Klassifizierungen, wie mit Umweltinformationen in Unternehmen umgegangen werden sollte.

Die vier Ansätze des Requirement Engineering zeigen, wie Anforderungen an die zu entwickelnde Lösung sowie deren benötigte Funktionen ermittelt werden sollten. Teilweise wird auch der Informationsbedarf, den ein Informationssystem decken sollte, aufgegriffen.

Die Aufbereitung des Stands der Forschung und Technik bildet die Grundlage für das folgende Kapitel, indem Anforderungen definiert und die identifizierten Ansätze anhand dieser Anforderungen bewertet werden.

4 Anforderungen und Handlungsbedarf

Das vorherige Kapitel Stand der Forschung und Technik (vgl. Kapitel 3) hat gezeigt, dass bereits eine Vielzahl von Ansätzen zur Gestaltung von betrieblichen Umweltinformationssystemen entwickelt wurde. Zur weiteren Analyse der aufgezeigten Ansätze werden in diesem Kapitel Anforderungen an die Methode zur Gestaltung eines solchen Informationssystems abgeleitet. Die bestehenden Ansätze werden im zweiten Teil dieses Kapitels entsprechend dieser Anforderungen bewertet. Die abschließende Reflexion dieses Kapitels ermöglicht die Ermittlung des Handlungsbedarfs.

4.1 Definition der Anforderungen

Durch die Ableitung der Anforderungen soll die zweite Teilforschungsfrage „Welche Anforderungen sollten an die Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems gestellt werden?“ beantwortet werden. Zur Strukturierung werden die Anforderungen in die drei Kategorien Objektbereich, Eigenschaften der Methode und Eigenschaften des resultierenden Informationssystems eingeteilt.

4.1.1 Objektbereich

Abgeleitet aus der Zielstellung und der zentralen Forschungsfrage „Wie kann ein betriebliches Umweltinformationssystem unternehmensspezifisch gestaltet werden?“ sind zwei Aspekte besonders relevant. Zum einen sollen *betriebliche Umweltinformationssysteme* betrachtet werden. Diese unterstützen das Umweltmanagement und -controlling durch die systematische Erfassung, Verarbeitung und Bereitstellung von Umweltdaten und -informationen (vgl. Kapitel 2.4). Zum anderen geht aus der zentralen Forschungsfrage hervor, dass ein Informationssystem gestaltet wird. Wie in Kapitel 2.3.4 erläutert, sind für die Gestaltung von Informationssystemen Vorgehensmodelle der *Software- und Systementwicklung* relevant. Dem Prozessmodell

nach SWEBOK folgend, umfasst die Gestaltung hierbei die Phasen Anforderungen, Design und Architektur (vgl. Abbildung 14).

4.1.2 Eigenschaften der Methode

Die Methode soll zur Gestaltung von betrieblichen Umweltinformationen geeignet sein und soll daher von verschiedenen Personen angewendet werden und alle unternehmensspezifisch benötigten Aufgaben, Funktionen und Informationen eines solchen Informationssystems ermitteln können. Daher werden folgende Anforderungen definiert.

Berücksichtigung von unterschiedlichem Vorwissen

Aufgrund der Vielfalt der Stakeholder, die betriebliche Umweltinformationssysteme verwenden und sich mit Umweltcontrolling befassen, muss die Methode *für Personen mit sehr unterschiedlichem Vorwissen im Bereich Umweltmanagement und Softwareentwicklung* geeignet sein (vgl. Kapitel 2.1.3 und 2.2.1).

Verwendung von Iterationen

Es muss auf einen möglichst geringen Aufwand der Methode geachtet werden, der sowohl eine möglichst kurze Einführungszeit, geringe Kosten und geringen Personaleinsatz voraussetzt (Bischof & Winkler 2012, S. 217–218; Löser 2015, S. 126–127). Dieses kann im besten Fall durch *Iterationen* und somit einer schrittweisen Definition eines Informationssystems gewährleistet werden.

Sicherstellung der Vollständigkeit des resultierenden Informationssystems

Die Methode muss zudem sicherstellen, dass das resultierende Informationssystem vollständig ist (Perl 2006, S.38). Dieses betrifft zum einen die Berücksichtigung aller relevanten *Unternehmensfunktionen*. Das Umweltcontrolling hat hierbei Berührungspunkte mit allen Unternehmensfunktionen und es müssen jegliche Aufgaben, bei denen ein betriebliches Umweltinformationssystem unterstützen kann, beachtet werden (vgl. Kapitel 2.1.3 und 2.2.1). Zum anderen muss gewährleistet werden, dass alle relevanten *Umweltdaten und -informationen* erfasst und verarbeitet werden (Ríkhardsson

et al. 2005, S. 151–152; Sommer 2010, S.374). Dieses setzt auch voraus, dass Vorgaben für eine eventuell benötigte zusätzliche Datenerfassung gemacht werden (Lang-Koetz 2006, S. 58–59).

Berücksichtigung unternehmensindividueller Parameter

In den Kapiteln 2.1.3 und 2.2.1 wurde beschrieben, dass das Umweltmanagement und -controlling aufgrund unterschiedlicher Umweltstrategien und -ziele in Unternehmen sehr individuell umgesetzt wird. Daher müssen bei der Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems die *unternehmensindividuellen Parameter* berücksichtigt werden (Sommer 2010, S.370). Diese Parameter umfassen (Dornhöfer 2017, S.19; Förtsch & Meinholz 2018, S.474; Dagilene & Šutiene 2019, S.266): Unternehmensgröße, Umwelt- und Organisationsstruktur, Umweltziele/-strategie, Integration des Umweltcontrollings, IT-Infrastruktur und Digitalisierungsgrad.

4.1.3 Eigenschaften des resultierenden Informationssystems

Trotz der unternehmensindividuellen Ausgestaltung des Umweltcontrollings existieren grundlegende Funktionen und Aufgaben, die ein betriebliches Umweltinformationssystem erfüllen muss (vgl. Kapitel 2.2.1 und 2.4). Diese betreffen insbesondere die Bereitstellung und Verarbeitung der Umweltinformationen.

Zielgruppen- & aufgabengerechte Informationsbereitstellung und -aufbereitung

Eine *zielgruppen- und aufgabengerechte Informationsbereitstellung* ist die Voraussetzung für eine effiziente Informationsversorgung und für die Nutzungsfreundlichkeit eines Informationssystems (Carlson 2005, S.126; Bischof & Winkler 2012, S.217; Gräuler et al. 2012, S.8). Um bei der Aufgabenerfüllung zu unterstützen, ist eine Aufbereitung der Daten und Informationen entsprechend ihrer Adressatinnen und Adressaten und der Verwendung notwendig. (Burritt & Schaltegger 2010, S.834)

Gemäß der Definition eines Informationswerts (vgl. Kapitel 2.2.1) müssen Zeitpunkt, Ort, Qualität, Quantität und Format der Information stimmen (Bernus & Schmidt 1998, S.2). Das bedeutet, dass die Aktualität, die Adressatinnen und Adressaten, die Daten- und Informationsqualität, die Aggregationsstufe, das Betrachtungsobjekt und der Zweck bzw.

die Darstellungsform berücksichtigt werden müssen. Aktualität bedeutet, dass die Umweltinformationen dann zur Verfügung stehen müssen, wenn sie benötigt werden (Sommer 2010, S.374; Gräuler et al. 2013, S.110). Als Adressatinnen und Adressaten müssen alle relevanten Stakeholder mit ihren jeweiligen Informationsbedarfen berücksichtigt und ihnen die relevanten Informationen vollständig bereitgestellt werden. Diese stellen die Zielgruppe der Informationen dar (Burritt et al. 2002, S.40; Ríkhardsson et al. 2005, S. 151–152; Lang-Koetz 2006, S.55; Schaltegger & Burritt 2017, S.56; Beier et al. 2020, S.58). Hier spielt die Daten- und Informationsqualität als ein kritischer Erfolgsfaktor für Informationssysteme eine große Rolle (Brzozowska et al. 2015, S.997). Im Zusammenhang mit der Zielgruppe und der Aufgabe sind bei der Daten- und Informationsqualität insbesondere die zugangsbezogene, kontextuelle und darstellungsbezogene Dimension relevant (vgl. Kapitel 2.2.1) (Krcmar 2015, S.145). Für die Erfüllung der zugangsbezogenen Qualität müssen die Adressatinnen und Adressaten der Information mit ihren Zugriffsrechten definiert sein (Scholtz et al. 2018, S.273). Die Relevanz als kontextuelles Qualitätskriterium spiegelt sich auch im Aggregationslevel der Umweltdaten und -informationen wider, da auf der einen Seite fein granulare Kennzahlen, z.B. als Steuerungsgrößen, auf der anderen Seite aggregierte Kennzahlen für Managemententscheidungen zur Verfügung stehen müssen (vgl. Kapitel 2.2.1) (Lang-Koetz 2006, S.57). Hier muss aufgabenbezogen das richtige Aggregationslevel gefunden werden, um alle Informationen darzustellen und gleichzeitig keine Informationsüberflutung oder hohen Aufwand zur Datenerhebung zu generieren. Hierbei muss auch die entsprechende Systemgrenze der Informationen bzw. das Betrachtungsobjekt berücksichtigt werden. Um die Informationen im richtigen Format darstellen zu können, muss der Zweck und die Darstellungsform definiert sein. (Lang-Koetz 2006, S.65; Sommer 2010, S.374; Bischof & Winkler 2012, S.217; Möller & Schaltegger 2012, S.305; Schaltegger & Burritt 2017, S.56; Seidel et al. 2018, S.223)

Ermöglichung einer Zuordnung der Daten

Für die Aufgabenerfüllung im Bereich des Umweltmanagements und -controllings müssen die zugrundeliegenden Daten spezifische Auswertungen ermöglichen und in einen

Kontext gesetzt werden können, um Informationen zu liefern. Hierfür muss eine *Zuordnung der Daten* zu den Verursachern von Kosten, Verbräuchen und Umweltauswirkungen sowie zur Systemgrenze, dem Zeitraum bzw. Zeitpunkt und den Verantwortlichen für die Information ermöglicht werden (Ríkhardsson et al. 2005, S.25; Schaltegger & Burritt 2017, S.55). Verursacher sind analog zu Kostenstellen und -trägern zu sehen (Ríkhardsson et al. 2005, S. 151–152; Lang-Koetz 2006, S. 58–59).

Nachvollziehbarkeit und Überprüfbarkeit der Informationen

Um die intrinsische Informationsqualität nach Krcmar zu erfüllen, muss die Verlässlichkeit, Fehlerfreiheit, Objektivität und Glaubwürdigkeit der Informationen sichergestellt werden (vgl. Kapitel 2.2.1) (Krcmar 2015, S.145). Durch die *Nachvollziehbarkeit und Überprüfbarkeit der Informationen* kann dieses gewährleistet und so auf konsistente Daten und Informationen zurückgegriffen werden (Sommer 2010, S.374; Bischof & Winkler 2012, S.217; Gräuler et al. 2013, S.104; Hilpert et al. 2014, S.6).

Einbindung unterschiedlicher (vorhandener) Datenquellen

Umweltinformationen sind dezentral in Unternehmen verteilt (vgl. Kapitel 2.2.3) (Perl-Vorbach 2010, S.118). Daher müssen *verschiedene Datenquellen über Schnittstellen eingebunden* werden können. Im besten Fall werden bereits vorhandene Datenquellen genutzt, um den Aufwand der Datenerhebung zu reduzieren. (Lang-Koetz 2006, S.65; Sommer 2010, S.374; Bischof & Winkler 2012, S. 217–218; Gräuler et al. 2013, S.105; Popelka et al. 2013, S.249; Brzozowska et al. 2015, S.997)

Anpassbarkeit des Informationssystems

Das Umweltmanagement und -controlling ist permanent Änderungen und neuen Anforderungen vonseiten der Stakeholder ausgesetzt. Daher muss auch ein unterstützendes Informationssystem auf zukünftige Veränderungen reagieren können und *anpassbar* sein (Arndt 1997, S.146; Lang-Koetz 2006, S. 58–59; KPMG AG 2021, S. 46–47; Peverali & Ullrich 2021, S.185). Dieses kann z.B. durch Modularität und Erweiterbarkeit des Informationssystems erreicht werden (Bischof & Winkler 2012, S.217; Boltena et al. 2014, S.7; Burritt et al. 2019, S.486).

4.2 Einordnung bestehender Ansätze

Insgesamt wurden 42 Ansätze in den Themenfeldern Vorgehensmodelle zur Einführung von betrieblichen Umweltinformationssystemen, Architekturen und Datenmodelle von betrieblichen Umweltinformationssystemen, Umweltinformationsmanagement und Requirement Engineering analysiert. Generell werden die Ansätze nach „umfänglich betrachtet“, „teilweise betrachtet“ und „nicht betrachtet“ bewertet. „Teilweise betrachtet“ wird, wie der Name nahelegt, vergeben, wenn nur einzelne Aspekte der zuvor definierten Anforderungen erfüllt werden. Durch dieses Vorgehen wird geklärt, inwieweit bestehende Ansätze bereits die zentrale Forschungsfrage „Wie kann ein betriebliches Umweltinformationssystem unternehmensspezifisch gestaltet werden?“ beantworten. Zusätzlich werden so die beiden Teilforschungsfragen „Wie kann eine Methode zur unternehmensspezifischen Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems aufgebaut sein?“ und „Wie können ein Referenzdatenmodell und eine Referenzarchitektur eines betrieblichen Umweltinformationssystems aufgebaut sein?“ anhand der bestehenden Ansätze näher untersucht.

4.2.1 Ansätze zu Vorgehensmodellen zur Einführung von betrieblichen Umweltinformationssystemen

Im Bereich der Vorgehensmodelle werden die meisten Ansätze, insgesamt 20, analysiert. Alle Ansätze erfüllen die Anforderungen an den Objektbereich größtenteils. Tabelle 3 fasst die Bewertung der Ansätze zusammen.

Tabelle 3: Bewertung der Ansätze zu Vorgehensmodellen zur Einführung von betrieblichen Umweltinformationssystemen

Anforderungen \ Ansätze	Objektbereich		Eigenschaften der Methode					Eigenschaften des Informationssystems				
	Betriebliche Umweltinformationssysteme	Softwareentwicklung	Berücksichtigung von Vorwissen	Iterationen vorgesehen	Vollständigkeit – Unternehmensfunktionen	Vollständigkeit - Umweltdaten und -informationen	Berücksichtigung unternehmensindividueller Parameter	Zielgruppen- & aufgabengerechte Informationen	Zuordnung der Daten	Nachvollziehbare & überprüfbare Informationen	Einbindung von Datenquellen	Anpassbarkeit
Perl (2006)	●	●	●	○	◐	●	◐	◐	◐	●	●	●
Chofreh et al. (2016, 2018)	●	●	○	●	●	◐	◐	◐	◐	●	◐	◐
Lang-Koetz (2006)	●	●	○	○	●	◐	◐	◐	●	●	◐	◐
Lang-Koetz und Heubach (2007)	●	●	○	○	●	◐	◐	◐	●	●	◐	◐
Forschungsprojekt INTUS (2004)	●	●	○	●	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐
Pflaum (1997)	●	●	○	○	●	◐	◐	◐	◐	◐	●	○
O'Faoláin de Bhróithe et al. (2018)	◐	●	○	●	◐	◐	○	◐	○	●	●	◐
Scholtz et al. (2018)	◐	●	○	●	◐	◐	◐	◐	○	◐	●	◐
Giesen et al. (2009)	●	●	○	●	◐	○	◐	◐	○	○	●	●
Günther et al. (2004)	●	●	○	●	○	○	◐	◐	◐	◐	●	○
Léon-Soriano et al. (2010)	●	◐	○	●	○	◐	◐	◐	◐	◐	●	○
Fryssinger (2001)	●	●	○	○	◐	●	◐	◐	◐	○	●	○
Zsifkovits & Brunner (2012)	●	◐	○	○	●	◐	◐	◐	◐	○	◐	◐
Tschandl (2012)	●	●	○	○	◐	◐	◐	◐	◐	○	◐	◐
Rey et al. (2003)	●	◐	○	○	◐	◐	◐	◐	◐	●	○	◐
Hemke & Wohlgemuth (2017)	●	●	○	●	○	○	◐	◐	○	○	◐	◐
Molloy (2007)	●	◐	○	○	○	◐	◐	○	○	○	●	●
Forschungsprojekt IMPRESS (2006)	●	●	○	○	○	○	◐	◐	◐	○	◐	○
Carlson & Pålsson (2001)	●	◐	○	○	◐	○	◐	◐	◐	○	○	○
Junker & Farzad (2015)	◐	◐	○	○	◐	○	◐	◐	○	○	○	○

● umfänglich betrachtet ◐ teilweise betrachtet ○ nicht betrachtet

Nur der Ansatz von Perl berücksichtigt das Vorwissen der anwendenden Personen, indem sie Stufen für eine langsame Annäherung an das Thema betriebliche Umweltinformationssysteme definiert. Alle weiteren Ansätze berücksichtigen kein Vorwissen. Iterationen bei der Einführung von solchen Informationssystemen werden von acht der Ansätze vorgesehen. Eine Vollständigkeit bezüglich der Unternehmensfunktionen können nur vier Ansätze gewährleisten. Lang-Koetz, Lang-Koetz und Heubach, Chofreh et al. und Pflaum verweisen explizit darauf, weitere Abteilungen neben dem Umweltmanagement oder -controlling einzubeziehen. Die Vollständigkeit der relevanten Umweltdaten und -informationen kann nur von zwei Ansätzen sichergestellt werden: Perl und Frysinger. Diese Ansätze berücksichtigen detailliert die Aufnahme von relevanten Umweltdaten, z.B. über ein Datenlexikon. Viele weitere Ansätze können z.B. durch den Fokus auf eine spezielle Technologie, wie ein ERP-System, nicht alle Umweltdaten berücksichtigen oder vernachlässigen einzelne Aspekte, wie Emissions- oder Energiedaten. Bei sechs Ansätzen werden Umweltdaten sogar komplett außer Acht gelassen. Des Weiteren erfüllt kein Ansatz die Anforderung an die Berücksichtigung unternehmensindividueller Parameter vollständig. Meist werden nur einzelne isolierte Aspekte, wie die bestehende IT-Infrastruktur, Prozesse oder die Unternehmensstrategie, analysiert und diese nicht miteinander in Beziehung gestellt. Es werden also nur unvollständig einzelne Parameter einbezogen. Hervorzuheben ist der Ansatz von Rey et al., in dem mehrere Parameter erläutert werden, die für die Spezifikation eines betrieblichen Umweltinformationssystems relevant sind. Jedoch beziehen sich diese Parameter allein auf die Stoffstrommodellierung.

Alle untersuchten Ansätze weisen Schwächen bei der zielgruppen- und aufgabengerechten Informationsbereitstellung und -aufbereitung auf und nur zwei der Ansätze erfüllen die Anforderung an die Sicherstellung der Zuordnung von Informationen. Für beide Anforderungen gilt, dass jeweils nur Teile der definierten Aspekte in Kapitel 4.1.3 berücksichtigt oder sogar ganz vernachlässigt werden. Die Nachvollziehbarkeit und Überprüfbarkeit der Informationen berücksichtigen fünf der analysierten Ansätze. Diese explizite Berücksichtigung der intrinsischen Informationsqualität wird insbesondere durch die Verwendung eines ERP-Systems begünstigt, da eine Nachvollziehbarkeit durch die

Funktionsweise eines ERP-Systems bereits gewährleistet ist. Allerdings sind Ansätze, die auf ERP-Systeme setzen, bei der Einbindung von Datenquellen durch eine aufwendige Schnittstellenbereitstellung im Nachteil, während Data Warehouse-Konzepte mit ihrer flexiblen Datenanbindung im Vorteil sind. Die Ansätze von Perl, Pflaum, Molloy, O'Faoláin de Bhróithe et al., Giesen et al., Frysinger, Günther et al. und Léon-Soriano et al. berücksichtigen die Einbindung verschiedenster Datenquellen explizit und ermöglichen dieses durch den Aufbau ihrer Vorgehensmodelle oder der zugrundeliegenden Technologie, wie einem Data Warehouse. Für die Anforderung Anpassbarkeit des Informationssystems sind die Ansätze von Perl, Molloy und Giesen et al. zu erwähnen, die die Notwendigkeit einer Modularität bzw. Erweiterbarkeit in ihren Ansätzen adressieren. Bei den anderen Ansätzen ist dieses nicht explizit vorgesehen, jedoch teilweise in einem beschränkten Rahmen (beispielsweise durch einen Zukauf eines ERP-Moduls) möglich.

4.2.2 Ansätze zu Architekturen und Datenmodellen von betrieblichen Umweltinformationssystemen

Die Ansätze zu Architekturen und Datenmodellen bilden jeweils nur Teile des Softwareentwicklungsprozesses in Form von Referenzmodellen ab und erfüllen die Anforderungen an den Objektbereich daher nur teilweise. In der Tabelle 4 sind die Ansätze mit ihren Bewertungen dargestellt.

Tabelle 4: Bewertung der Ansätze zu Architekturen und Datenmodellen von betrieblichen Umweltinformationssystemen

Anforderungen Ansätze	Objektbereich		Eigenschaften der Methode				Eigenschaften des Informationssystems					
	Betriebliche Umweltinformationssysteme	Softwareentwicklung	Berücksichtigung von Vorwissen	Iterationen vorgesehen	Vollständigkeit – Unternehmensfunktionen	Vollständigkeit - Umweltdaten und -informationen	Berücksichtigung unternehmensindividueller Parameter	Zielgruppen- & aufgabengerechte Informationen	Zuordnung der Daten	Nachvollziehbare & überprüfbare Informationen	Einbindung von Datenquellen	Anpassbarkeit
Bischof, Winkler (2012)	●	◐	○	○	◐	◐	○	●	◐	●	●	◐
Krcmar et al. (2000)	●	◐	○	○	◐	◐	○	●	●	●	◐	◐
Gräuler et al. (2013)	●	◐	○	○	◐	◐	○	●	○	●	●	●
Ortner & Etlinger (2012)	●	◐	○	○	◐	◐	○	◐	◐	●	●	◐
Löchelt (2000)	●	◐	○	○	◐	◐	○	◐	◐	●	●	○
Naana (2014)	●	◐	○	○	◐	◐	○	◐	◐	◐	●	◐
Stindt et al. (2014)	◐	◐	○	○	◐	◐	○	◐	◐	◐	●	◐
Rezgui & Naana (2010)	●	◐	○	○	◐	◐	○	●	○	◐	●	○
Ferrari et al. (2021)	●	◐	○	○	◐	◐	○	○	◐	◐	◐	○
Giesen (2014)	◐	◐	○	○	◐	○	◐	○	○	○	●	●
Wohlgemuth et al. (2009)	●	◐	○	○	◐	○	○	○	○	○	●	●
Blume (2018)	◐	◐	○	○	◐	○	○	◐	○	○	●	◐
ASTM E3012-16	●	◐	○	○	◐	◐	○	○	◐	◐	○	○
ISO 20140-5:2017	●	◐	○	○	◐	◐	○	○	◐	◐	○	○

● umfänglich betrachtet ◐ teilweise betrachtet ○ nicht betrachtet

Ansätze mit Architekturen und Datenmodellen stellen keine Methoden oder Vorgehensmodelle dar, sodass diese zum einen kein Vorwissen und zum anderen keine Iterationen berücksichtigen können. Ebenso bezieht keiner der Ansätze alle Unternehmensfunktionen ein oder kann sicherstellen, dass alle relevanten Umweltdaten und -informationen erhoben werden. Insbesondere Unternehmensfunktionen neben dem

Umweltmanagement und -controlling werden vernachlässigt. Zudem beschränken sich die Ansätze auf eine unzureichende Auswahl von Umweltdaten und -informationen. Unternehmensindividuelle Parameter werden außer von Giesen nicht beachtet, da die Referenzarchitekturen oder Referenzdatenmodelle in den untersuchten Ansätzen nur einmal definiert werden und anschließend für jede Art von Unternehmen gelten sollen. Giesen entwickelt hier eine Lösung explizit für kleine und mittlere Unternehmen, berücksichtigt aber keine weiteren Parameter.

Eine zielgruppen- & aufgabengerechte Informationsaufbereitung und -bereitstellung können drei Ansätze sicherstellen. Durch das umfangreiche Referenzmodell von Krčmar et al. können die Prozesse und Funktionen des betrieblichen Umweltinformationssystems sehr detailliert beschrieben werden. Auch Bischof und Winkler fordern eine Empfängerorientierung und Rezgui und Naana berücksichtigen alle definierten Aspekte. Die Zuordnung der Informationen kann jedoch nur durch Krčmar et al. aufgrund des sehr detaillierten Datenmodells gewährleistet werden. Die weiteren Ansätze berücksichtigen nur Teilaspekte der Zuordnung, z.B. nur den Zeitbezug. Fünf der Ansätze erfüllen die Anforderung an nachvollziehbare und überprüfbare Informationen, indem sie alle Aspekte der intrinsischen Datenqualität explizit adressieren: Krčmar et al., Gräuler et al., Bischof und Winkler, Löchelt sowie Ortner und Etlinger. Einige Ansätze erfüllen diese Anforderung teilweise, welches darauf hindeutet, dass eine Nachvollziehbarkeit der Informationen durch das Datenmodell oder die gewählte Architektur prinzipiell möglich ist, jedoch von einigen Autoren nicht explizit aufgegriffen wird. Insgesamt 10 der 14 Ansätze sehen eine Einbindung verschiedener Datenquellen vor. Krčmar et al. definieren trotz des umfangreichen Referenzmodells keine Schnittstellen oder geben mögliche Datenquellen an, obwohl eine Einbindung von Datenquellen prinzipiell vorgesehen ist. Aufgrund der Verwendung eines ERP-Systems ist die Einbindung bei Ferrari et al. nur über eine Excel-Tabelle möglich und die Normen berücksichtigen keine weiteren Datenquellen, sondern fokussieren sich rein auf die Beschreibung von Fertigungsprozessen. Bei der Anpassbarkeit des Informationssystems ist insbesondere Gräuler et al. hervorzuheben, da hier jeder mögliche neue Service über eine Service Mall eingebunden werden kann. Auch Giesen und Wohlgemuth et al. berücksichtigen eine Erweiterbarkeit. Während Giesen

diese jedoch nur in einem Framework bereitstellt, können bei Wohlgemuth et al. weitere Funktionen über eine Open-Source-Plattform bereitgestellt werden. Sechs weitere Referenzarchitekturen sind so aufgebaut, dass auch zunächst Teile als Komponenten umgesetzt werden können. Eine Erweiterbarkeit über die bereits definierten Komponenten hinaus ist jedoch nicht vorgesehen.

4.2.3 Ansätze des Umweltinformationsmanagements

Die Ansätze des Umweltinformationsmanagements konzentrieren sich auf die Informationsseite und befassen sich daher nicht mit der softwareseitigen Unterstützung durch betriebliche Umweltinformationssysteme. Tabelle 5 zeigt eine Übersicht der Bewertung der Ansätze.

Tabelle 5: Bewertung der Ansätze des Umweltinformationsmanagements

Anforderungen Ansätze	Objektbereich		Eigenschaften der Methode				Eigenschaften des Informationssystems					
	Betriebliche Umweltinformationssysteme	Softwareentwicklung	Berücksichtigung von Vorwissen	Iterationen vorgesehen	Vollständigkeit – Unternehmensfunktionen	Vollständigkeit - Umweltdaten und -informationen	Berücksichtigung unternehmensindividueller Parameter	Zielgruppen- & aufgabengerechte Informationen	Zuordnung der Daten	Nachvollziehbare & überprüfbare Informationen	Einbindung von Datenquellen	Anpassbarkeit
Dornhöfer (2016)	●	○	●	○	●	●	●	●	○	●	●	●
Schaltegger & Burritt (2017)	●	○	○	○	●	●	●	●	●	●	●	○
Erlandsson & Tillmann (2009)	●	○	○	○	●	●	●	●	○	●	○	○
Brown et al. (2005)	●	○	○	○	●	●	●	○	○	○	○	●

umfänglich betrachtet

 teilweise betrachtet

 nicht betrachtet

Bezüglich der Berücksichtigung von Vorwissen erfüllt nur der Ansatz von Dornhöfer diese Anforderungen, da sie das Erfahrungslevel der anwendenden Personen berücksichtigt. Es sollen je nach Erfahrungslevel unterschiedliche Wissensmethoden zum Einsatz kommen. Iterationen werden jedoch von keinem der Ansätze vorgesehen. Alle Ansätze erfüllen die Anforderungen an die Vollständigkeit sowohl der Unternehmensfunktionen als auch der Umweltdaten mindestens teilweise. Insbesondere Dornhöfer berücksichtigt die weiteren relevanten Unternehmensfunktionen neben dem Umweltmanagement und -controlling. Die weiteren Ansätze fokussieren sich auf das Rechnungswesen, strategische Themen oder externe Stakeholder und decken somit nicht alle Funktionen und Bereiche ab. In Bezug auf die Umweltdaten wird deutlich, dass strategische Aspekte auch hier eine größere Bedeutung haben. Allein Erlandsson und Tillmann versuchen durch ihre Klassifikation von Umweltinformationen diese vollständig abzubilden. Drei der vier Ansätze berücksichtigen zudem die unternehmensindividuellen Parameter vollständig, die das Umweltmanagement und -controlling und somit auch ein resultierendes betriebliches Umweltinformationssystem beeinflussen.

Durch den Fokus auf Umweltinformationen bei Schaltegger und Burritt schneidet dieser Ansatz bei den Anforderungen zur Zuordnung, Nachvollziehbarkeit und Überprüfbarkeit der Informationen gut ab. Dornhöfer konzentriert sich in ihrem Ansatz auf das Wissen und die Wissensvermittlung und legt somit den Fokus auf die ziel- und aufgabengerechte Informationsaufbereitung und -bereitstellung. Die Verwendung von unterschiedlichen Datenquellen wird sowohl von Schaltegger und Burritt als auch von Dornhöfer als wichtig eingestuft. Eine Anpassbarkeit ist jedoch nur von Dornhöfers Umweltwissenssystem vorgesehen. Da sich die Ansätze auf Umweltinformationen fokussieren, muss darauf hingewiesen werden, dass es sich hier um theoretische Überlegungen zum Informationsmanagement handelt und nicht um konkrete Empfehlungen für die Umsetzungen eines Informationssystems. Die anderen beiden Ansätze schneiden bei den Anforderungen an die Eigenschaften des Informationssystems schlecht ab, da diese nur Informationen klassifizieren.

4.2.4 Ansätze des Requirement Engineering

Die Ansätze des Requirement Engineering stammen aus der Softwareentwicklung und erfüllen den Objektbereich daher nur in diesem Bereich. Tabelle 6 fasst die Bewertung der Ansätze zusammen.

Tabelle 6: Bewertung der Ansätze des Requirement Engineering

Anforderungen Ansätze	Objektbereich		Eigenschaften der Methode				Eigenschaften des Informationssystems					
	Betriebliche Umweltinformationssysteme	Softwareentwicklung	Berücksichtigung von Vorwissen	Iterationen vorgesehen	Vollständigkeit – Unternehmensfunktionen	Vollständigkeit – Umweltdaten und -informationen	Berücksichtigung unternehmens- individueller Parameter	Zielgruppen- & aufgabengerechte Informationen	Zuordnung der Daten	Nachvollziehbare & überprüfbare Informationen	Einbindung von Datenquellen	Anpassbarkeit
DIN EN ISO 9241-210	○	●	●	●	●	◐	◐	◐	○	○	◐	◐
Winter & Strauch (2003) / (2002)	○	●	○	●	●	◐	○	◐	◐	◐	●	◐
Kontonya & Sommerville (1996)	○	●	○	●	●	○	○	◐	○	○	○	○
Robertson & Robertson (2020)	○	●	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○

● umfänglich betrachtet ◐ teilweise betrachtet ○ nicht betrachtet

Außer dem Ansatz des User Centered Design (DIN EN ISO 9241-210) berücksichtigt keiner der Ansätze das Vorwissen der anwendenden Personen. Bei diesem Ansatz werden spätere Nutzerinnen und Nutzer explizit und je nach ihrem Vorwissen einbezogen. Iterationen werden von drei der vier Ansätze vorgesehen. Durch den expliziten Schritt zur Definition aller relevanten Stakeholder werden somit auch die Unternehmensfunktionen vollständig von allen Ansätzen berücksichtigt. Die Vollständigkeit der Umweltdaten wird nur durch das User Centered Design und Winter und Strauch teilweise erfüllt. Der Ansatz des User Centered Design berücksichtigt zusätzlich unternehmensindividuelle Parameter durch den Nutzungskontext in Form der IT-Infrastruktur und der Organisationsstruktur.

Bei den Eigenschaften des Informationssystems erfüllt der Ansatz von Winter und Strauch alle Anforderungen teilweise. Durch das Data Warehouse-Konzept kann dieser Ansatz explizit Datenquellen einbinden und ist durch einen kontinuierlichen Abgleich der benötigten Daten bei der Integration von neuen Daten anpassbar. Auch der Ansatz des User Centered Design kann drei der Anforderungen durch die Definition einer Gestaltungslösung teilweise erfüllen. Kontonya und Sommerville können durch die Berücksichtigung von Sichten eine zielgruppen- und aufgabengerechte Informationsbereitstellung teilweise sicherstellen. Für die weiteren Anforderungen sind die Ansätze von Kontonya und Sommerville sowie von Robertson und Robertson jedoch zu allgemein und beachten daher konkrete Daten und Informationen nicht.

4.3 Zwischenfazit und Handlungsbedarf

In Kapitel 4.1 wurden die Anforderungen an die unternehmensspezifische Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems aufgestellt. Diese gliedern sich in den Objektbereich, Eigenschaften an die Methode und Eigenschaften an das resultierende Informationssystem.

Durch die anschließende Analyse und Bewertung der bestehenden Ansätze anhand dieser Anforderungen in Kapitel 4.2 wird deutlich, dass bisher keiner der Ansätze alle Anforderungen vollständig erfüllt.

Die bisherigen Ansätze mit Vorgehensmodellen zur Einführung von betrieblichen Umweltinformationssystemen vernachlässigen insbesondere einige relevante Unternehmensfunktionen sowie unternehmensindividuelle Parameter. Auch im Bereich der Umweltdaten und -informationen sind die Defizite dieser Ansätze zu erkennen. Zum einen gewährleistet die Mehrzahl der Ansätze die Vollständigkeit der Umweltdaten nicht. Zum anderen kann eine zielgruppen- und aufgabenspezifische Informationsaufbereitung und -bereitstellung sowie Zuordnung der Informationen nicht sichergestellt werden. Ersteres erfüllt keiner der Ansätze, Letzteres nur zwei Ansätze. Insgesamt werden hier die Ansätze von Perl, Chofreh et al., Lang-Koetz, Lang-Koetz und Heubach, sowie die Ergebnisse des Forschungsprojekts INTUS am besten bewertet.

Die Architekturen und Datenmodelle von betrieblichen Umweltinformationssystemen weisen ebenfalls Schwächen im Bereich der Vollständigkeit auf. Außerdem berücksichtigt keiner der Ansätze die unternehmensindividuellen Parameter vollständig. Die Ansätze von Krcmar et al. und Bischof und Winkler werden in diesem Kontext am besten bewertet, wobei die Ansätze mit Schichtenarchitekturen und Data Warehouses insbesondere bei der Einbindung von unterschiedlichen Datenquellen Vorteile aufweisen.

Die Ansätze des Umweltinformationsmanagements sind nicht für die Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems ausgelegt, weisen dafür eine gute Erfüllung der Vollständigkeit in Bezug auf die Unternehmensfunktionen auf. Schaltegger und Burritt sowie Dornhöfer legen außerdem eine gute theoretische Basis für die Eigenschaften und letztendliche Gestaltung eines Informationssystems, da die damit verbundenen Anforderungen mehrheitlich erfüllt werden. Es muss jedoch betont werden, dass es sich um Konzepte zum Umweltinformationsmanagement und nicht um eine Gestaltung eines Informationssystems handelt.

Die Ansätze aus dem Requirement Engineering sind allgemein gehalten, sodass diese hauptsächlich die Anforderungen Iterationen und die Vollständigkeit bezüglich der Unternehmensfunktionen durch die Berücksichtigung aller Stakeholder erfüllen können. Der Ansatz des User Centered Design ist unter allen Ansätzen jedoch der einzige Ansatz, der sowohl Vorwissen als auch Iterationen berücksichtigt.

Insgesamt verwenden die analysierten Ansätze unterschiedliche Technologien bzw. Arten von betrieblichen Informationssystemen. Während sieben der Ansätze auf ERP-Systemen aufbauen, nutzen weitere sieben Ansätze ein Data Warehouse. Auch greifen drei Ansätze auf Excel-Tabellen und ein Ansatz auf eine Open-Source-Plattform zurück. Im Bereich der Architekturen verwenden fünf Ansätze eine Schichtenarchitektur und zwei Ansätze die standardisierte Unternehmensarchitektur ARIS.

Von den 42 Ansätzen aus dem Stand der Forschung und Technik sind 25 Ansätze älter als zehn Jahre, im Bereich der Vorgehensmodelle für die Einführung von betrieblichen Umweltinformationssystemen sind sogar 13 der 20 Ansätze älter als zehn Jahre. Der neuste Ansatz in diesem Bereich stammt aus dem Jahr 2018. Dieses zeigt, dass hier

insbesondere aufgrund der neuen informationstechnischen Entwicklungen und gestiegenen Anforderungen an das Umweltmanagement und -controlling in den letzten Jahren ein Handlungsbedarf aufgetreten ist.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Teilforschungsfrage „Welche Anforderungen sollten an die Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems gestellt werden?“ in Kapitel 4.1 beantwortet werden konnte. Jedoch werden die Anforderungen an die Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems bisher nicht ausreichend erfüllt. Somit können auch die zentrale Forschungsfrage "Wie kann ein betriebliches Umweltinformationssystem unternehmensspezifisch gestaltet werden?“ sowie die weiteren Teilforschungsfragen „Wie kann eine Methode zur unternehmensspezifischen Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems aufgebaut sein?“ und „Wie können ein Referenzdatenmodell und eine Referenzarchitektur eines betrieblichen Umweltinformationssystems aufgebaut sein?“ von den bereits bestehenden Ansätzen nicht hinreichend beantwortet werden.

Daher wird eine Methode zur unternehmensspezifischen Gestaltung von betrieblichen Umweltinformationssystemen benötigt. Aufbauend auf den gewonnenen Erkenntnissen wird diese nun im folgenden Kapitel entwickelt.

5 Methode zur Gestaltung betrieblicher Umweltinformationssysteme

In diesem Kapitel wird die Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems entwickelt. Hiermit sollen Unternehmen entsprechend ihrer individuellen Anforderungen ein betriebliches Umweltinformationssystem gestalten können, das das Umweltmanagement und -controlling unterstützt. Nach einem Überblick der Methode in Kapitel 5.1 werden Vorüberlegungen angestellt, die für die Entwicklung der Methode essentiell sind (Kapitel 5.2). Hierbei wird ein Reifegradmodell (vgl. Kapitel 2.5) zur Klassifizierung von Unternehmen hinsichtlich ihrer Verwendung von betrieblichen Umweltinformationssystemen entwickelt, das zur Aufwandsabschätzung der Methode herangezogen wird (vgl. Kapitel 5.2.1). Außerdem wird der morphologische Kasten angepasst, der in Kapitel 2.4.1 beschrieben wurde und eine Grundlage zur Klassifizierung von betrieblichen Umweltinformationssystemen bildet. Anschließend werden die einzelnen Phasen und Schritte der Methode detailliert erläutert. Die zu entwickelnde Methode orientiert sich an den Vorgehensmodellen der Softwareentwicklung, im Speziellen am User Centered Design, sodass die Kapitel 5.3 bis 5.7 die Phasen dieses Ansatzes widerspiegeln. Das abschließende Kapitel 5.8 reflektiert die Methode.

5.1 Überblick über die Methode

Im Folgenden wird ein Überblick über die gesamte Methode mit ihren fünf Phasen gegeben, die insgesamt 17 Schritte enthalten. Die einzelnen Schritte werden detailliert in den Kapiteln 5.3 bis 5.7 beschrieben. Die Methode richtet sich an produzierende Unternehmen, die ihr Umweltcontrolling mithilfe eines Informationssystems unterstützen möchten.

Wie in Kapitel 4.2.4 dargelegt wurde, erfüllt das User Centered Design die Anforderungen an eine Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems nicht vollständig, da der Ansatz zu allgemeingültig ist. Er ist jedoch geeignet als Rahmen für die

zu entwickelnde Methode zu dienen, da Stakeholder, Nutzungskontext und Anforderungen explizit berücksichtigt werden. Daher werden die konkreten Schritte der Methode den Phasen des User Centered Design untergeordnet, welches in Abbildung 25 dargestellt ist. Generell sieht die Methode einige Iterationen vor, insbesondere nach der Evaluation und zur Sicherstellung der Vollständigkeit der Anwendungsfälle und Stakeholder. Durch Zurückgreifen auf ein anerkanntes Modell wird gewährleistet, dass die zu entwickelnde Methode in der Praxis akzeptiert und angewendet wird.

Die einzelnen Schritte der Methode wurden zusätzlich unter Einbezug und Abgleich der Vorgehensmodelle zur Einführung von betrieblichen Umweltinformationssystemen von Perl, Hofreh et al., Lang-Koetz, Lang-Koetz und Heubach, und des Forschungsprojekts INTUS definiert (vgl. Kapitel 3.1). Diese erfüllen zwar insbesondere die Anforderungen unternehmensindividuelle Gestaltung sowie zielgruppen- und aufgabengerechte Informationsbereitstellung nur teilweise, bieten aber einen guten Anhaltspunkt für die zu berücksichtigenden Schritte (vgl. Kapitel 4.2.1).

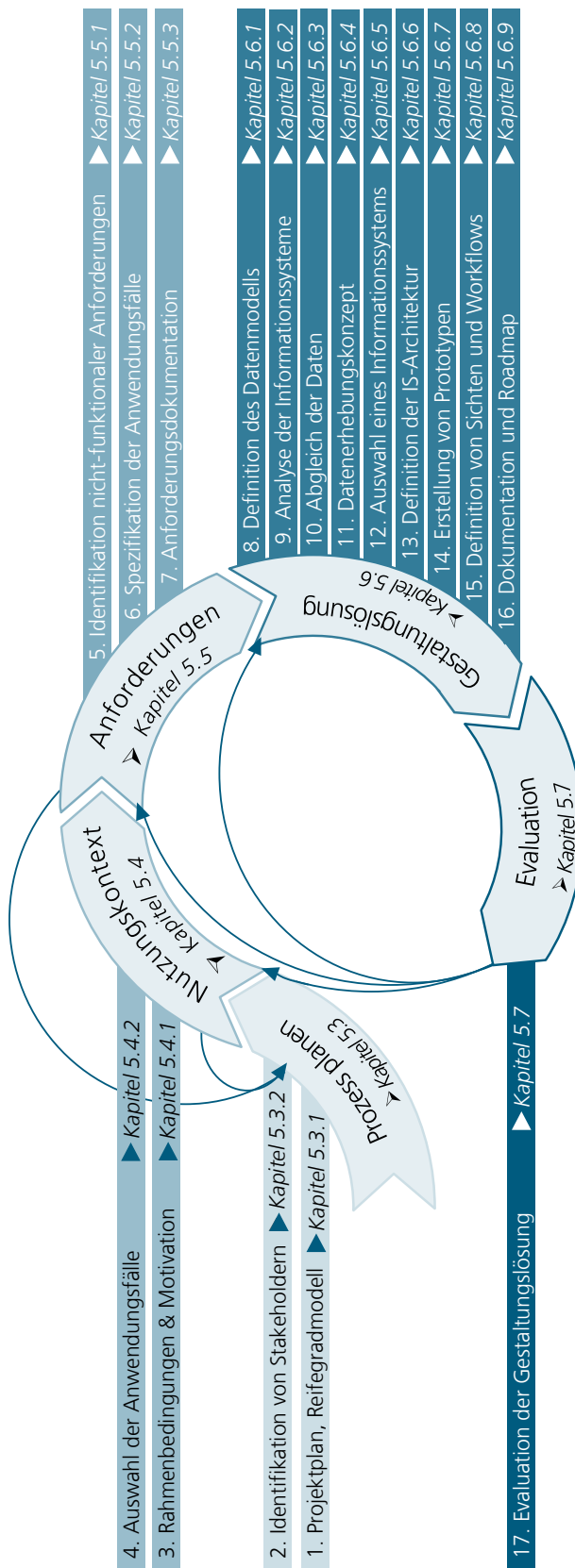


Abbildung 25: Übersicht über die Phasen und Schritte der Methode

Die Methode beginnt mit der Phase *Planung* des Prozesses (Kapitel 5.3), indem ein *Projektplan* (Schritt 1) erarbeitet und das Unternehmen in das *Reifegradmodell* eingeordnet wird. Die Durchführung der Methode wird also innerhalb des Unternehmens als Projekt aufgesetzt und es wird auf die Vorüberlegungen zum Reifegradmodell (Kapitel 5.2.1) zurückgegriffen. Außerdem wird ein Projektteam zusammengestellt, sodass dieser und der nachfolgende Schritt *Identifikation von Stakeholdern* (Schritt 2) ineinander übergehen.

In der Phase *Nutzungskontext* (Kapitel 5.4) müssen zunächst *die Rahmenbedingungen und die Motivation* (Schritt 3) zur Umsetzung eines betrieblichen Umweltinformationssystems ermittelt werden. Im nächsten Schritt werden die *Anwendungsfälle* (Schritt 4) ausgewählt, die die zu erfüllenden Aufgaben des Umweltcontrollings beschreiben.

Die Phase *Anforderungen* (Kapitel 5.5) beinhaltet die Schritte Identifikation von nicht-funktionalen Anforderungen, Spezifikation der Anwendungsfälle und die Anforderungsdokumentation. *Nicht-funktionale Anforderungen* (Schritt 5) können die Leistung oder Ergonomie eines betrieblichen Umweltinformationssystems betreffen. Für die *Spezifikation der Anwendungsfälle* (Schritt 6) wird ein Template verwendet, mit dessen Hilfe die Funktionen, die erforderlichen Informationen und Daten erhoben werden. Anschließend werden die *Anforderungen* zusammengefasst und *dokumentiert* (Schritt 7). Falls Konflikte zwischen Anforderungen auffallen, müssen diese hier gelöst werden.

Für die *Gestaltungslösung* (Kapitel 5.6) werden insgesamt neun Schritte durchlaufen. Die benötigten Daten der Anwendungsfälle werden zusammengeführt und es wird ein *Datenmodell* (Schritt 8) definiert. Dieses Datenmodell dient als Ausgangsbasis zur *Analyse der Informationssysteme* (Schritt 9). Hier wird untersucht, welche Informationssysteme im Unternehmen vorhanden sind sowie wo und wie die benötigten Daten verfügbar sind. Falls im Schritt *Abgleich der benötigten mit vorhandenen Daten* (Schritt 10) festgestellt wird, dass nicht alle benötigten Daten verfügbar sind, wird ein *Datenerhebungskonzept* (Schritt 11) erstellt. Dieses kann zum Beispiel die Installation zusätzlicher Sensorik

umfassen. Sobald sichergestellt ist, dass alle benötigten Daten zur Umsetzung der Anwendungsfälle erfasst werden können, kann ein *Informationssystem ausgewählt* (Schritt 12) werden. Hierbei werden Lösungsvarianten erstellt, die Machbarkeit untersucht und eine Kosten-Nutzen-Analyse erstellt. Zusätzlich ist es wichtig, eine *Informationssystemarchitektur* (Schritt 13) zu erstellen, die insbesondere Schnittstellen und Interaktionen mit anderen Informationssystemen definiert. Falls sich ein Unternehmen entscheidet ein betriebliches Umweltinformationssystem selbst zu entwickeln und nicht auf Standardlösungen zurückgreift, müssen *Prototypen erstellt* (Schritt 14) sowie *Sichten und Workflows definiert* (Schritt 15) werden. Abschließend wird die erstellte *Gestaltungslösung dokumentiert* und eine *Roadmap* (Schritt 16) zur Umsetzung formuliert.

Die *Evaluationsphase* (Kapitel 5.7) umfasst den abschließenden Schritt *Evaluation der Gestaltungslösung* (Schritt 17) und prüft, ob das gestaltete Informationssystem die erhobenen Anforderungen erfüllt.

5.2 Vorüberlegungen zur Entwicklung der Methode

Für die Entwicklung der Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems müssen zunächst Vorüberlegungen in Bezug auf ein Reifegradmodell und einen morphologischen Kasten zur Klassifikation von Unternehmen und von betrieblichen Umweltinformationssystemen getroffen werden. Das Reifegradmodell, das Unternehmen hinsichtlich ihres Digitalisierungsgrads und des Reifegrads ihres Umweltmanagements einordnet, wird zur groben Aufwandsabschätzung der einzelnen Schritte der Methode verwendet. Der morphologische Kasten stellt die systematische Grundlage zur Charakterisierung eines betrieblichen Umweltinformationssystems dar und sichert somit die Vollständigkeit der betrachteten möglichen Funktionen und Daten eines solchen Systems.

5.2.1 Erarbeitung eines Reifegradmodells

Bisherige Reifegradmodelle betrachten keine Kombination von Digitalisierung und Umweltmanagement (vgl. Kapitel 2.5), sondern definieren jeweils nur separate Reifegrade

für einen der beiden Aspekte. Gerade für betriebliche Umweltinformationssysteme, die an dieser Schnittstelle benötigt werden, ist jedoch ein kombiniertes Reifegradmodell wichtig. Unternehmen haben außerdem je nach Reifegrad des Umweltmanagements unterschiedliche Informationsbedarfe (Gunarathne & Lee 2019b, S. 8–9). Somit werden auch andere Anforderungen an die Anwendungsfälle und Informationsaufbereitung gestellt, die für die Gestaltung von betrieblichen Umweltinformationssystemen definiert werden müssen. Das hier entwickelte Reifegradmodell hat daher zum Ziel, den Schwerpunkt und somit den Aufwand der einzelnen Schritte der Methode vorab einschätzen zu können. Zudem gibt der Reifegrad den Unternehmen einen Anhaltspunkt über mögliche Handlungsfelder und Verbesserungspotentiale.

Wie in Kapitel 2.5 gezeigt wurde, existiert bereits eine Vielzahl an Reifegradmodellen jeweils zu einem der beiden Bereiche. Um auf anerkannte, validierte und standardisierte Reifegradmodelle zurückzugreifen, soll dieses Modell, das Umweltmanagement und Digitalisierung gleichermaßen berücksichtigt, durch die Kombination bestehender Reifegradmodelle entwickelt werden. Das Modell soll außerdem durch ein Unternehmen selbst durchgeführt werden können. Daher werden die Modelle von Jabbour und Santos für das Umweltmanagement und von PwC für den Digitalisierungsgrad ausgewählt (Jabbour & Santos 2006, S.58; PricewaterhouseCoopers 2021). Die ausgewählten Reifegradmodelle ermöglichen Unternehmen eine Selbsteinschätzung, da sie einfach aufgebaut und durch die zugrundeliegenden Kriterien nachvollziehbar sind. Darüber hinaus wurden beide Modelle in der Praxis getestet und validiert (Gunarathne & Lee 2019a, S.159; PricewaterhouseCoopers 2021). Zusätzlich basiert das Modell von Jabbour und Santos auf einer detaillierten Analyse anderer Reifegradmodelle und wurde aus diesen abgeleitet (Jabbour & Santos 2006, S. 46–49). Da das Modell nach PwC im Kapitel 2.5.2 nur kurz aufgegriffen wurde, findet sich im Anhang eine detailliertere Beschreibung.

Die Reifegradmodelle werden kombiniert, indem die Reifegrade der beiden Modelle in einer Matrix gegenübergestellt und die jeweils für betriebliche Umweltinformationssysteme relevanten Ausprägungen herausgearbeitet werden. Diese

betreffen insbesondere die Integration des Umweltmanagements sowie die Kategorien Informationssystemarchitektur, Prozesse und Organisation vonseiten der Digitalisierung.

Durch die Kombination der beiden Modelle entsteht das folgende Reifegradmodell, das eine Einschätzung des Digitalisierungsgrads und des Umweltmanagements zulässt und so Rückschlüsse auf den potentiellen Einsatz betrieblicher Umweltinformationssysteme und erste Aufwandseinschätzungen für die zu entwickelnde Methode ermöglicht (vgl. Abbildung 26). Da die Reifegrade Horizontaler Kollaborateur und Digitaler Champion außerhalb der Systemgrenze dieser Arbeit liegen, indem Wertschöpfungsnetze betrachtet werden, werden nur die Reifegrade Digitaler Novize und Vertikaler Integrator einbezogen, die den Reifegraden inkohärent und integriert entsprechen.

		Reifegrad der Digitalisierung	
		inkohärent	integriert
Reifegrad des Umweltmanagements	reaktiv	<ul style="list-style-type: none"> Kein bzw. isoliertes Umweltmanagementsystem Betriebliche Umweltinformationssysteme nur, falls vorhanden, für die Einhaltung von Regularien Fragmentierte Informationssystemarchitektur 	<ul style="list-style-type: none"> Kein bzw. isoliertes Umweltmanagementsystem Betriebliche Umweltinformationssysteme nur, falls vorhanden, für die Einhaltung von Regularien Homogene Informationssystemarchitektur; Digitalisierung von Prozessen & Datenflüssen
	präventiv	<ul style="list-style-type: none"> Isoliertes Umweltmanagementsystem Fragmentierte Informationssystemarchitektur 	<ul style="list-style-type: none"> Isoliertes Umweltmanagementsystem Homogene Informationssystemarchitektur; Digitalisierung von Prozessen und Datenflüssen
	proaktiv	<ul style="list-style-type: none"> Integriertes Umweltmanagementsystem Fragmentierte Informationssystemarchitektur 	<ul style="list-style-type: none"> Integriertes Umweltmanagementsystem Homogene Informationssystemarchitektur; Digitalisierung von Prozessen und Datenflüssen

Abbildung 26: Reifegradmodell für den potentiellen Einsatz betrieblicher Umweltinformationssysteme

Wie in Abbildung 26 dargestellt, ergeben sich somit folgende Charakterisierungen von Unternehmen und Schwerpunkte der Methode. Die beschriebenen Schwerpunkte beziehen sich hierbei auf die Schritte aus Abbildung 25.

Ein *reaktives, inkohärentes* Unternehmen hat kein bzw. nur ein isoliertes Umweltmanagement im Einsatz mit dem Ziel der reinen Einhaltung von Regularien und Gesetzen. Es sind keine bzw. wenige betriebliche Umweltinformationssysteme im Einsatz, die, wenn vorhanden, allein für die Einhaltung von Regularien eingesetzt werden. Zusätzlich existieren keine integrierten Informationssysteme und somit eine fragmentierte Informationssystemarchitektur. Schwerpunkt der Methode liegt daher im Ausbau des Umweltmanagements und der Unterstützung durch die Auswahl eines Informationssystems. Dieses wird zum einen durch die Zieldefinition (Schritt 3) ermöglicht. Falls noch kein Umweltmanagement vorhanden ist, sollte sich das Unternehmen vor Anwendung dieser Methode mit der Einführung eines Umweltmanagements befassen. Zum anderen wird die Digitalisierung des Unternehmens durch die Auswahl eines Informationssystems (Schritt 12) vorangetrieben. Es werden zudem Anregungen gegeben sich mit einer Informationssystemarchitektur auseinanderzusetzen, um einen höheren Digitalisierungsgrad zu erreichen und Informationssysteme zu integrieren (Schritt 13).

Ein *präventives, inkohärentes* Unternehmen hat ein isoliertes Umweltmanagement, das durch einen Projektcharakter geprägt ist und als Zielstellung die Öko-Effizienz erhöhen möchte. Dadurch sind betriebliche Umweltinformationssysteme, falls im Einsatz, stärker auf das Monitoring von Projekten ausgelegt. Auch hier existieren keine integrierten Informationssysteme und folglich eine fragmentierte Informationssystemarchitektur. Schwerpunkt der Methode ist die Erhebung des aktuellen Status und der zukünftigen Bedeutung des Umweltmanagements. Zukünftige Entwicklungen sollen eingeschätzt und durch die Zieldefinition (Schritt 3) sowie die Auswahl der Anwendungsfälle (Schritt 4) mitberücksichtigt werden. Bei der Auswahl der Anwendungsfälle können darüber hinaus bestehende Silo-Strukturen aufgeweicht und weitere Abteilungen einbezogen werden, sodass sich das isolierte in Richtung eines integrativen Umweltmanagements entwickelt. Wie beim reaktiven, inkohärenten Unternehmen wird auch hier die Digitalisierung des

Unternehmens durch die Auswahl eines Informationssystems (Schritt 12) und die Definition einer Informationssystemarchitektur (Schritt 13) vorangetrieben.

Ein *proaktives, inkohärentes* Unternehmen hat ein integriertes Umweltmanagement, das auf kontinuierliche Verbesserungen und Integration in andere Unternehmensfunktionen ausgelegt ist. Dieser internen Integration steht jedoch auf Digitalisierungsseite die fragmentierte Informationssystemarchitektur entgegen, wodurch betriebliche Umweltinformationssysteme, falls vorhanden, nicht integriert sind. Schwerpunkt der Methode ist daher auch die Betrachtung und Integration aller Unternehmensfunktionen in ein solches Informationssystem durch die Einbeziehung der Stakeholder, die Ziel- und Anforderungsdefinition und die Auswahl und Spezifikation der Anwendungsfälle (Schritte 2 bis 7). Durch die Prozessdefinition (Schritt 15) können die Prozesse digitalisiert werden und durch die Auswahl eines Informationssystems (Schritt 12) und Definition einer Informationssystemarchitektur (Schritt 13) kann der Digitalisierungsgrad erhöht werden.

Ein *reaktives, integriertes* Unternehmen hat im Unterschied zum reaktiven, inkohärenten Unternehmen eine homogene Informationssystemarchitektur. Prozesse und Datenflüsse sind digitalisiert. Hierauf wird jedoch aufgrund des inexistenten bzw. isolierten Umweltmanagements nicht zurückgegriffen. Schwerpunkt der Methode ist ähnlich wie beim Reaktiven, Digitalen Novizen der Ausbau des Umweltmanagements (Schritte 3). Aufgrund des höheren Digitalisierungsgrads und der somit verfügbaren Daten liegt der Fokus jedoch zusätzlich auf der Integration eines betrieblichen Umweltinformationssystems in die bestehende Informationssystemarchitektur (Schritte 8 bis 10 sowie 12 und 13). Dieses betrifft sowohl die benötigte Datenerhebung als auch das gesamte Informationssystem.

Ein *präventives, integriertes* Unternehmen kann aufgrund der Digitalisierung von Prozessen und Datenflüssen einfacher auf die benötigten Daten zugreifen, kann dieses Potenzial jedoch aufgrund des isolierten und auf Projekte ausgerichteten Umweltmanagements nicht komplett ausschöpfen. Schwerpunkt der Methode liegt wie beim Präventiven, Digitalen Novizen auf der Erhebung des aktuellen Status und der zukünftigen Bedeutung des Umweltmanagements (Schritte 3 und 4). Durch die

abteilungsübergreifende Definition von Verantwortlichen und Stakeholdern können bestehende Silo-Strukturen aufgeweicht und die Potenziale der bereits vorhandenen homogenen Informationssystemarchitektur genutzt werden. Hierbei muss auf eine Integration in die bestehende Informationssystemarchitektur geachtet werden (Schritte 8 bis 10, 12 und 13).

Im Falle des *proaktiven, integrierten* Unternehmens spielen Informationssysteme und Umweltmanagement zusammen. Durch die Integration des Umweltmanagements und die Homogenisierung der Informationssystemarchitektur können relevante Daten und Informationen aus verschiedenen Informationssystemen und Unternehmensfunktionen erhoben und ausgewertet werden. Eine kontinuierliche Verbesserung wird so ermöglicht. Schwerpunkt der Methode liegt hier zum einen in der Betrachtung und Integration aller Unternehmensfunktionen für die Aufgaben des Umweltmanagements (Schritte 2 bis 7) sowie in der Prozessdefinition zur Digitalisierung (Schritt 15). Außerdem muss auch hier auf die Integration in die bestehende Informationssystemarchitektur geachtet werden (Schritte 8 bis 10, 12 und 13).

Wie bei der Beschreibung der Schwerpunkte der Methode zu beobachten ist, zeigt sich die Tendenz, dass je mehr Vorarbeiten in einem Unternehmen im Bereich Digitalisierung und/oder Umweltmanagement vorhanden sind, desto mehr Schritte müssen detailliert betrachtet werden. Für die definierten Schwerpunkte sind daher mehr Zeit und Ressourcen im Projektplan (Kapitel 5.3.1) einzuplanen, damit sichergestellt wird, dass sich das zu definierende Informationssystem auch in die bestehenden Strukturen einfügt und die Aufgaben des Umweltmanagements vollständig betrachtet werden.

5.2.2 Morphologischer Kasten für Umweltinformationssysteme

Um eine detaillierte Klassifikation und somit Vollständigkeit des zu definierenden betrieblichen Umweltinformationssystems zu erreichen, wird der morphologische Kasten verwendet (vgl. Kapitel 2.4.1). Grundlage bildet der morphologische Kasten nach Rautenstrauch sowie die Weiterentwicklung durch Teuteberg und Gomez, der für die vorliegende Arbeit angepasst wird (Rautenstrauch 1999, S.18; Teuteberg & Gomez 2010, S.9).

Betriebliche Umweltinformationssysteme unterstützen das Umweltmanagement und -controlling, daher unterteilt sich der morphologische Kasten in die Organisation des Umweltmanagements und die Spezifikationen des Informationssystems.

Organisation des Umweltmanagements

Für die Organisation des Umweltmanagements sind der Reifegrad, die beteiligten Unternehmensfunktionen, die Adressatinnen und Adressaten sowie die zu erfüllenden Funktionen des Umweltmanagements relevant. Durch diese Kategorien können der Informationsbedarf des Umweltmanagements charakterisiert und der Nutzungskontext beschrieben werden. Diese Informationen sind also für die Phasen der Methode Prozessplanung und Nutzungskontext wichtig.

Im Gegensatz zum ursprünglichen morphologischen Kasten wird der Zeithorizont, die Zielsetzung und die Strategie zusammengefasst, da diese durch die Bestimmung des Reifegrads für das Umweltmanagement nach Jabbour und Santos bereits berücksichtigt werden (vgl. Kapitel 5.2.1). (Jabbour & Santos 2006, S.58)

Die beteiligten Unternehmensfunktionen, Adressatinnen und Adressaten sind für die Informationserhebung und -verarbeitung sehr wichtig, um die entsprechenden Informationsbedarfe zu ermitteln und somit auch erfüllen zu können. Die Bedeutung und Abhängigkeiten der Informationsbedarfe wurden bereits näher im Kapitel 2.2 und insbesondere im Kapitel 2.2.3 zu Umweltinformationen erläutert. Daher werden die Unternehmensfunktionen sowie die internen und externen Adressatinnen und Adressaten detaillierter aufgeschlüsselt. Zur Definition dieser beiden Aspekte wird sich an der Wertschöpfungskette für das Umweltcontrolling nach Burritt et al. orientiert (Burritt et al. 2002, S.44) (vgl. Kapitel 2.2.1). Die internen Adressatinnen und Adressaten werden um Mitarbeitende allgemein sowie Eigentümerinnen und Eigentümer ergänzt, da es sich zwar um keine Unternehmensfunktionen handelt, diese jedoch Stakeholder repräsentieren, die ebenfalls Informationsbedarfe aufweisen. Für die potentiellen externen Adressatinnen und Adressaten des Umweltmanagements werden die identifizierten externen Stakeholder für Unternehmen herangezogen, die bereits in Kapitel 2.2.1 benannt wurden.

Die Funktionen des Umweltcontrollings sind entsprechend der Definition in Kapitel 2.2.1 die Informationsfunktion, Planungs- und Kontrollfunktion, Koordinationsfunktion sowie die Rationalitätssicherung der Geschäftsführung bzw. des Umweltmanagements. (Arndt 1993, S. 72–73; Bischof & Winkler 2012, S. 212–213)

Spezifikationen eines betrieblichen Umweltinformationssystems

Die Kategorien, die ein betriebliches Umweltinformationssystem spezifizieren, gliedern sich in Systemgrenze, Aufgaben, Funktionen, verwendete Daten in Bezug auf Datenart, -genauigkeit und -frequenz, Schnittstellen zu anderen Systemen sowie Integrationsgrad. Hierdurch wird neben der Spezifikation des Informationssystems das Informationsangebot, das durch ein solches abgedeckt werden kann, charakterisiert. Diese Kategorien werden in der dritten Phase der Methode, der Gestaltungslösung, definiert.

Die Systemgrenze wurde nach Teuteberg und Gomez übernommen und zusätzlich um Fabrik/Standort als Teil eines Unternehmens sowie um Maschine/Anlage als Teil eines Prozesses ergänzt (vgl. Kapitel 2.4.1). (Teuteberg & Gomez 2010, S.9)

Die Aufgaben, die ein betriebliches Umweltinformationssystem erfüllen muss, orientieren sich an Rautenstrauch, werden jedoch um die Aufgaben Entscheidungsunterstützung und Kostenrechnung erweitert. So kann auch die Funktion Rationalitätssicherung des Umweltcontrollings unterstützt werden und es ist sichergestellt, dass alle vier Funktionen des Umweltcontrollings adressiert werden können.

Die Funktionen und Services eines betrieblichen Umweltinformationssystems werden analog zu Rautenstrauch definiert, allerdings um Visualisierung und Datenmanagement ergänzt. Mithilfe entsprechender Visualisierungen, z.B. über Dashboards, können die Informationsbedarfe der Adressatinnen und Adressaten adressiert werden. Das Datenmanagement wird zur effizienten Einbindung von unterschiedlichen Datenquellen benötigt (Sommer 2010a, S. 375). Im Folgenden werden alle Funktionen kurz beschrieben:

- Analyse: Detaillierte Analyse der Umweltdaten (z.B. über Drill down, Rollups, Slice & Dice etc.) sowie Kontextbezug zur Erstellung von Umweltinformationen
- Modellierung: Modellierung von Produktions-, Unternehmensprozessen oder Produkten, z.B. im Rahmen einer Ökobilanzierung
- Simulation: Simulation von Prozessen oder Produkten, z.B. zur Abschätzung von Umweltauswirkungen von neuen Produkten
- Echtzeit-Monitoring: Echtzeitfähiges Monitoring von Prozessen, z.B. über hochfrequente Daten aus Sensorik
- Dokumentenmanagement: Verwaltung von Dokumenten und Sicherstellung der Konformität zur Dokumentenverwaltung, z.B. für DIN EN ISO 14001
- Workflowkomponente: Steuerung und Ausführung von zuvor definierten Prozessen
- Reportgenerierung: Erstellung von internen und externen Berichten
- Visualisierung: Zielgruppen- und aufgabengerechte Darstellung von umweltrelevanten Daten, z.B. in Form von Diagrammen
- Datenverwaltung: Integration unterschiedlicher Datenquellen, Sicherstellung der Datenqualität sowie der Nachvollziehbarkeit und Überprüfbarkeit der Informationen

Die Daten werden generell mithilfe der Datenart, -genauigkeit und -frequenz charakterisiert. Je nach Datencharakterisierung werden unterschiedliche Anforderungen an das Datenhandling und somit auch an das betriebliche Umweltinformationssystem gestellt. Für die Art der verwendeten Daten werden Stoff- und Materialstammdaten, Strukturdaten, Prozessdaten, Stoff- und Energieflussdaten und Organisationsdaten unterschieden (vgl. Kapitel 2.4.1). Zusätzlich müssen auch Kostendaten berücksichtigt werden, um eine Entscheidungsunterstützung und Kostenrechnung zur Rationalitätssicherung zu gewährleisten. Die Datengenauigkeit orientiert sich an der Einteilung nach ISO 20140-5 und ist unterteilt in Messdaten (measured data), kalkulierte Daten (calculated data) und definierte Daten (defined data). Ein Messwert ist beispielsweise der elektrische Energieverbrauch einer Anlage, der mithilfe eines Energiemessgeräts ermittelt wurde. Kalkulierte Daten wurden durch eine Formel oder

Berechnung aus den Messwerten ermittelt. Definierte Daten können beispielsweise aus der Literatur, Standards oder Produktspezifikationen entnommen werden (ISO 20140-5, S. 37–39). Die Datenfrequenz definiert, wie häufig die Daten erhoben werden. Hier existiert eine Spannbreite von echtzeitfähigen, also hochfrequenten, bis hin zu jährlich und unregelmäßig erhobenen Daten.

Zur Einbindung aller Datenquellen müssen Schnittstellen zu anderen Informationssystemen berücksichtigt werden. Hier wurde eine Auswahl von typischen Informationssystemen produzierender Unternehmen vorgegeben, die jedoch beliebig über weitere Systeme oder Sensorik erweitert werden kann. Auch können Schnittstellen zu Kundinnen und Kunden sowie Lieferanten angegeben werden, um einen unternehmensübergreifenden Informations- und Datenaustausch zu gewährleisten.

Die Integration von betrieblichen Umweltinformationssystemen wurde von Rautenstrauch übernommen. Hier wird zwischen Stand-alone-Lösungen, also Lösungen ohne Schnittstellen zu anderen Systemen, Add-On-Lösungen als Erweiterungen von bestehenden Systemen und integrierten Systemen unterschieden (vgl. Kapitel 2.4.1).

Abbildung 27 zeigt den angepassten morphologischen Kasten.

Merkmal	Ausprägung															
	reaktiv				präventiv				proaktiv							
Reifegrad	unterstützend				Marketing				wertschöpfend							
Unternehmensfunktionen	Management	Controlling	Rechnungswesen	Umweltmanagement	Arbeits-sicherheit	Qualitätsmanagement	Personal	Rechtsabteilung	F&E	Marketing	Einkauf	Produktion	Logistik	Vertrieb	Entsorgung & Recycling	
Interne Adressaten	Management	Controlling	Rechnungswesen	Umweltmanagement	Arbeits-sicherheit	Qualitätsmanagement	Personal	Rechtsabteilung	F&E	Marketing	Einkauf	Produktion	Logistik	Vertrieb	Entsorgung & Recycling	
Externe Adressaten	Banken & Ver-sicherungen	Gesetzgeber & Behörden	Investierende	Kundschaft	Lieferanten	Medien	Öffentlichkeit & Zertifizierung	Standardisierung & Zertifizierung	Verbände & NGOs	Wettbewerber						
Funktionen des Umweltcontrollings	Informationsversorgung				Planungs- und Kontrollfunktion				Koordinationsfunktion				Rationalitätssicherung			
Organisation des Umweltmanagements																
BIS Spezifikationen																
Systemgrenze	Unternehmensübergreifend	Konzern	Unternehmen	Fabrik/Standort	Unternehmensfunktion/ Kostenstelle	Produkt	Prozess	Maschine/ Anlage								
Aufgaben	Berichterstattung (extern)	Berichterstattung (intern)	Unterstützung Prozessplanung	Unterstützung Prozessmonitoring	Prozessunterstützung/ Leitfaden	Informations-schnittstelle	Organisationsunterstützung	Umweltbilanzierung	Entscheidungsunterstützung	Kostenrechnung						
Funktionen / Services	Analyse	Modellierung	Simulation	Echtzeit-Monitoring	Dokumentenmanagement	Workflow-komponente	Report-generierung	Visualisierung	Datenmanagement							
Datenarten	Stoff- und Materialstammdaten		Strukturdaten		Prozessdaten		Stoff- und Energieflussdaten		Organisationsdaten		Kosten-daten					
Datengenaugigkeit	Messdaten															
Datenerhebungsfrequenz	Echtzeit	Stunde	Tag	Woche	Monat	Quartal	Jahr	unregelmäßig								
Schnittstellen	ERP	MES	BDE	PLM	Sensorik	Unternehmensübergreifend – Kundschaft	Unternehmensübergreifend – Lieferanten	Weitere Systeme								
Integration	Integriert				Add on				Stand alone							

Abbildung 27: Angepasster morphologischer Kasten für betriebliche Umweltinformationssysteme

5.3 Planung des Prozesses

In der ersten Phase der Methode wird ein Projektplan mithilfe des definierten Reifegradmodells erstellt sowie die relevanten Stakeholder identifiziert (vgl. Abbildung 25). Die Schritte werden im Folgenden detailliert beschrieben.

5.3.1 Definition eines Projektplans mithilfe des Reifegradmodells

Wie in Kapitel 5.2.1 erläutert wurde, wird das entwickelte Reifegradmodell dazu verwendet die Schwerpunkte der Methode zu bestimmen. Für die so identifizierten Schritte müssen im Projektplan entsprechend mehr Zeit bzw. mehr Ressourcen eingeplant werden. Eine Einschätzung des Reifegrads des Unternehmens kann durch Vorgespräche und Selbsteinschätzung des Unternehmens erfolgen (vgl. Abbildung 26). Im Vorgespräch muss außerdem der Zeitrahmen besprochen werden, zu dem das Projekt durchgeführt und abgeschlossen werden muss. Der Projektplan legt somit einen Zeit- und Meilensteinplan fest, der jedoch innerhalb des Projekts angepasst werden kann, falls sich beispielsweise Rahmenbedingungen durch den Einbezug neuer Stakeholder ändern. Außerdem werden in diesem Schritt ein erstes Projektteam sowie ein Verantwortlicher oder eine Verantwortliche für die Durchführung der gesamten Methode bestimmt. Der oder die Verantwortliche haben die Aufgabe durch die Methode zu führen und die Ergebnisse der einzelnen Schritte entsprechend zu dokumentieren.

In diesem Schritt werden außerdem die eingesetzten Methoden zur Anforderungserhebung festgelegt. Carrizo et al. haben die Eignung von Methoden in diesem Kontext untersucht (Carrizo et al. 2014, S.653). Anhand ihrer Ergebnisse und der identifizierten Methoden von Krcmar (vgl. Tabelle 1) wurden folgende Methoden zur Anforderungserhebung und Ermittlung des Informationsbedarfs, die generell im Rahmen dieser Methode angewendet werden können, identifiziert (Carrizo et al. 2014, S.653): Workshops, Fokusgruppen, Szenarien, Fragebogen, Beobachtung von Aufgaben bzw. Prozessanalyse, Beobachtung von Personen, Card Sorting, Repertory Grid, Nominalgruppen-Technik und Prototyping. Für die Auswahl der Methoden wurde berücksichtigt, dass die eingebundenen Personen meist sehr unterschiedliche

Erfahrungslevel mitbringen und somit für Novizen als auch für Fortgeschrittene oder Experten in dem Themenfeld bzw. der Domäne Umweltmanagement und betriebliche Umweltinformationssysteme geeignet sein müssen. Tiwari et al. identifizieren in diesem Kontext zusätzlich die Dokumentenanalyse als geeignete Methode (Tiwari et al. 2012, S.6). Die identifizierten Methoden mit ihrer Bewertung können der Tabelle 7 entnommen werden.

Die genaue Auswahl der Methoden innerhalb der einzelnen Schritte kann insbesondere nach der Erfahrung des Verantwortlichen bzw. der Verantwortlichen für die Methodendurchführung und in der Domäne, nach der verfügbaren Zeit sowie der Art der zu erhebenden Informationen erfolgen. Carrizo et al. bieten hierfür eine gute Übersicht der Methoden, die um die Dokumentenanalyse ergänzt wurde (Carrizo et al. 2014, S.653). Während sich die Erfahrung des Verantwortlichen bzw. der Verantwortlichen nicht verändert, variiert die verfügbare Zeit und insbesondere die Art der zu erhebenden Informationen im Laufe der Methode. Am Anfang der Methode werden eher strategische Informationen, wie für die Auswahl der Anwendungsfälle, benötigt. Dieses betrifft insbesondere die Schritte zur Identifikation der Stakeholder, die Ermittlung der Rahmenbedingungen, die Auswahl der Anwendungsfälle sowie die Identifikation nicht-funktionaler Anforderungen (Schritte 2-5). Bei Fortschreiten der durchgeführten Schritte (Schritte 6-17) werden die benötigten Informationen spezifischer, sodass am Ende der Methode operative Informationen, zum Beispiel zu Prozessabläufen, erhoben werden.

Tabelle 7: Bewertung möglicher Methoden zur Anforderungserhebung (Eigene Auswahl der Kriterien nach Carrizo et al., Ergänzung der Dokumentenanalyse)

	Erfahrung Methode			Erfahrung Domäne			Zeitbegrenzung			Art der zu erhebenden Informationen		
	hoch	mittel	niedrig	hoch	mittel	niedrig	hoch	mittel	niedrig	strategisch	taktisch	operativ
Workshops	●	●	○	●	●	○	○	◐	●	●	●	○
Fokusgruppen	●	●	◐	●	●	○	○	○	●	●	●	◐
Szenarien	●	●	◐	◐	◐	◐	●	●	●	◐	●	◐
Fragebogen	●	●	●	●	◐	◐	◐	◐	●	◐	●	●
Beobachtung von Aufgaben / Prozessanalyse	●	●	●	◐	●	●	○	◐	●	◐	●	●
Beobachtung von Personen	●	●	◐	◐	●	●	○	◐	●	●	●	●
Card Sorting	●	●	◐	●	◐	◐	●	●	●	○	●	◐
Repertory Grid	●	●	◐	●	◐	◐	●	◐	●	○	●	◐
Nominalgruppen-Technik	●	●	●	◐	◐	◐	○	◐	●	●	●	○
Prototyping	●	●	◐	●	◐	○	○	●	●	◐	●	●
Dokumenten-analyse	●	●	○	●	●	◐	◐	●	●	●	●	●

● anwendbar ◐ indifferent; kann zu guten Ergebnissen führen ○ nicht anwendbar

5.3.2 Identifikation der Stakeholder

In Kapitel 5.2.2 wurden bereits die möglichen Unternehmensfunktionen sowie internen und externen Adressatinnen und Adressaten des Umweltcontrollings identifiziert. Stakeholder sind in diesem Fall alle Personen oder Personengruppen, die von der Einführung eines betrieblichen Umweltinformationssystems betroffen sein werden. Daher muss das Unternehmen die relevanten Personen bestimmen, die in die Gestaltung eingebunden werden sollen. Bei der Gestaltung eines betrieblichen

Umweltinformationssystem ist zusätzlich die Unternehmensfunktion IT-Management zu berücksichtigen, die in die Kategorie Unternehmensinfrastruktur nach Porters Wertschöpfungskette fällt (Porter 1985, S.37). Das IT-Management stellt zwar keine Anforderungen an die inhaltliche Gestaltung eines solchen Informationssystems, also an die Erfüllung von Informationsbedarfen, ist jedoch bei der technischen Gestaltung intensiv eingebunden und kann hier entscheidende Vorgaben machen.

Die identifizierten Stakeholder sollten im Anschluss beschrieben, priorisiert und ihr Involvierungsgrad eingeordnet werden, um sie entsprechend adressieren zu können (DIN EN ISO 9241-210, S.22). Robertson und Robertson schlagen vor, Stakeholder mithilfe des Namens, der Rolle, der Domänenenerfahrung, der technologischen Erfahrung, ihrer Priorität und Involvierung zu beschreiben. Die Priorität bezieht sich auf die Wichtigkeit der Stakeholder für den späteren, erfolgreichen Einsatz des betrieblichen Umweltinformationssystems und kann mithilfe der Einteilung in Primär-, Sekundär- und unwichtiger Nutzer oder Nutzerin charakterisiert werden (Robertson & Robertson 2020, S. 16–19). Die Erfüllung der Anforderungen der Primärnutzerinnen und -nutzern steht also im Fokus, da diese das Informationssystem später hauptsächlich verwenden werden. Bei der Involvierung ist die Einbindung in die gesamte Methode gemeint. Hier kann zwischen aktiver Teilnahme/Projektteam, Absegnen der Ergebnisse, Information, Berücksichtigung der Informationsbedarfe und individueller Einbindung unterschieden werden.

5.4 Erarbeitung des Nutzungskontexts

In der zweiten Phase werden zunächst die Rahmenbedingungen und die Motivation zur Einführung eines betrieblichen Umweltinformationssystems erhoben sowie die relevanten Anwendungsfälle identifiziert und ausgewählt, welche die zu erfüllenden Aufgaben des Umweltcontrollings darstellen (vgl. Abbildung 25).

5.4.1 Ermittlung der Rahmenbedingungen und der Motivation

Bei der Ermittlung der Motivation und der Rahmenbedingungen zur Einführung eines betrieblichen Umweltinformationssystems geht es darum zu identifizieren, welche

Probleme und Herausforderungen angegangen und gelöst werden sollen. Probleme können zum Beispiel Dateninkonsistenzen, unzureichende Datenverfügbarkeiten, hoher Aufwand zur Datenerhebung, fehlende Datenqualität und -rückverfolgbarkeit sein. Bei präventiven und proaktiven Unternehmen müssen neben der aktuellen Situation auch zukünftige Aufgaben antizipiert werden, um mit einem betrieblichen Umweltinformationssystem im besten Fall bereits auf diese Aufgaben vorbereitet zu sein. Hierfür wurde im ersten Schritt bei der Projektplanung eine Methode ausgewählt. Zu den Rahmenbedingungen zählen neben den derzeitigen und zukünftigen Zielen und der Organisation des Umweltmanagements und -controllings auch weitere Rahmenbedingungen für ein Informationssystem bezüglich der technischen Umgebung, der Standardsoftware, der Arbeitsumgebung, des Zeitplans, des Budgets und des Unternehmens. (Robertson & Robertson 2020, S. 20–27)

5.4.2 Auswahl der Anwendungsfälle

Anwendungsfälle beschreiben die zu erfüllenden Aufgaben des Umweltmanagements und -controllings und sollten vollständig erhoben werden. Die Beschreibung der Aufgaben in Form von Anwendungsfällen ermöglicht eine Definition von abgegrenzten Teilbereichen, die durch ein betriebliches Umweltinformationssystem adressiert werden können (Burritt et al. 2019, S.482). Durch die Auswahl von Anwendungsfällen wird außerdem eine strategiegesteuerte Gestaltung ermöglicht. Im Gegensatz zu einer technologieorientierten Gestaltung geht diese auf die unternehmensindividuellen Anforderungen explizit ein, da keine Beschränkungen bezüglich einer Technologie vorliegen. Weitere Vorteile sind die Berücksichtigung der Umweltziele, Effizienzsteigerungen und eine verbesserte Kommunikation zwischen Unternehmensfunktionen und Stakeholdern (Moore 2002, S.69).

Insgesamt wurden 62 Anwendungsfälle aus der Literatur im Bereich des Umweltmanagements und -controllings für Unternehmen identifiziert, die die zu erfüllenden Aufgaben charakterisieren (vgl. Anhang). Diese Anwendungsfälle dienen als Anregung für Unternehmen zur Identifikation und Auswahl der für sie relevanten Anwendungsfälle. Außerdem wurden mögliche Methoden aus dem Umweltmanagement

und -controlling zugeordnet, die zur Aufgabenerfüllung beitragen können (vgl. Anhang). Die Anwendungsfälle erheben jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da das Umweltmanagement und somit auch das Umweltcontrolling in einem Unternehmen individuell aufgestellt sind. Ein Unternehmen kann daher jederzeit eigene Anwendungsfälle auswählen und definieren. Hierbei helfen die identifizierten relevanten Aspekte zur Charakterisierung von Anwendungsfällen, die die Zielsetzung, eine Beschreibung, die Priorisierung, die zu verwendende Methode, die Systemgrenze, die Frequenz der Durchführung und die beteiligten Unternehmensfunktionen sowie die Adressatinnen und Adressaten beinhalten (vgl. Abbildung 28). Die Definition der Anwendungsfälle orientiert sich am morphologischen Kasten für betriebliche Umweltinformationssysteme und übernimmt die beschriebenen Auswahlmöglichkeiten für die Systemgrenze, die Unternehmensfunktionen und die Adressatinnen und Adressaten.

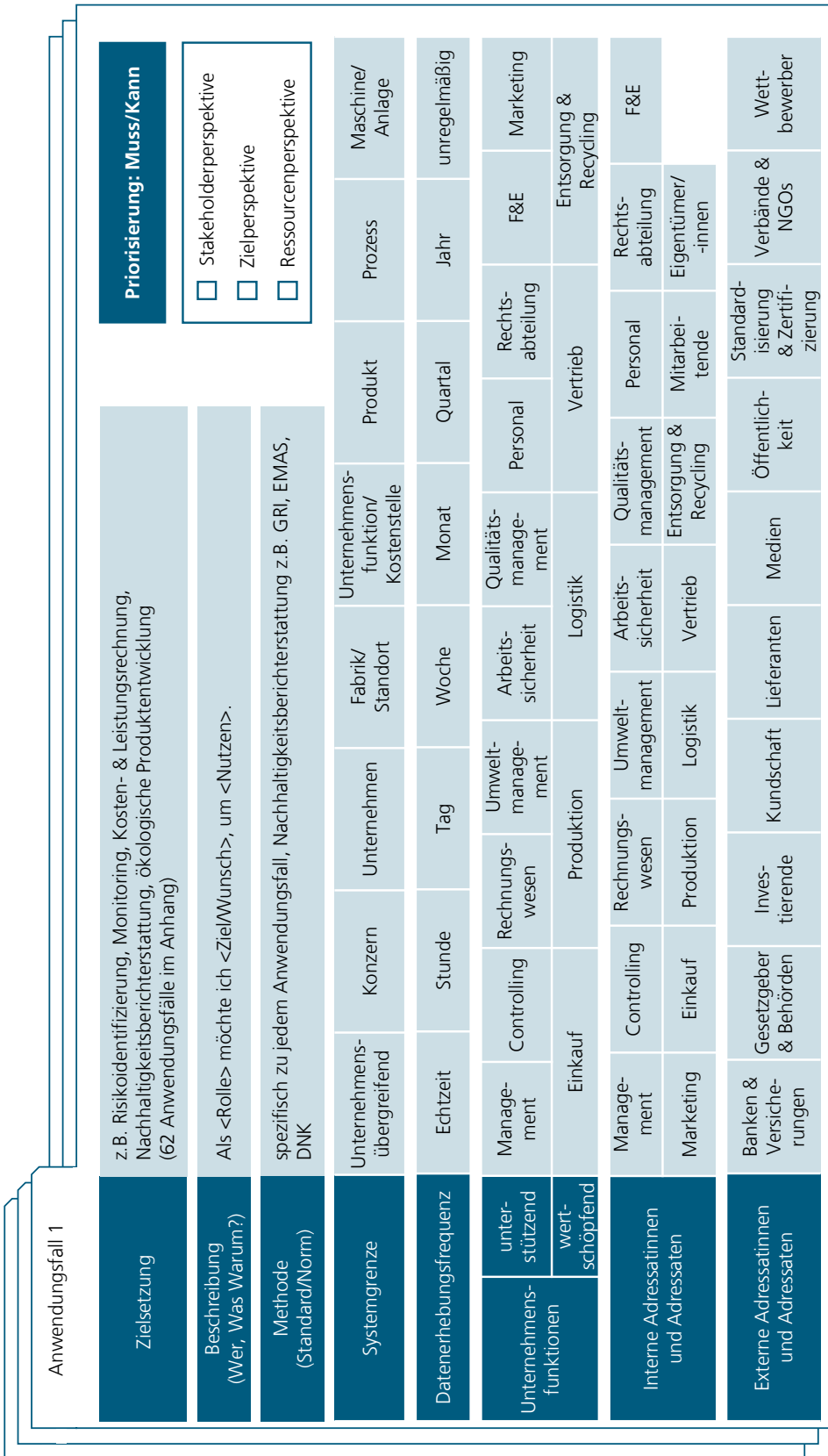


Abbildung 28: Relevante Aspekte zur Charakterisierung eines Anwendungsfalls

Die Zielsetzung zeigt zunächst das übergeordnete Ziel des Anwendungsfalls bzw. die zu erfüllende Aufgabe auf und dient auch als Titel. Eine beispielhafte Zielsetzung ist die Erstellung einer Umwelterklärung. Die Beschreibung geht detaillierter auf die Rolle, das Ziel und den erwarteten Nutzen ein. Hierdurch werden die Fragen Wer, Was und Warum beantwortet. Die Beschreibung lehnt sich an den Beschreibungen von User Stories an: „Als <Rolle> möchte ich <Ziel/Wunsch>, um <Nutzen>.“ Die Methode definiert zudem, ob sich an bestehende Standards oder Prozesse gehalten werden muss bzw. welche diesem Anwendungsfall zugrunde liegen. Dieses können im Fall der Umwelterklärung beispielsweise Reportingstandards, wie EMAS, sein. Die Priorisierung legt eine erste Einteilung der Anwendungsfälle in „Muss“ und „Kann“ fest. Die Systemgrenze bzw. das betrachtete Objekt beschreibt, was genau betrachtet wird. Hierbei wird zwischen Unternehmensübergreifend, Konzern, Unternehmen, Fabrik/Standort, Unternehmensfunktion/Kostenstelle, Produkt, Prozess und Maschine/Anlage unterschieden. Die Frequenz legt fest, wie oft diese Aufgabe bzw. der Anwendungsfall durchzuführen ist: Echtzeitnah, stündlich, täglich, wöchentlich, monatlich, quartalsweise, jährlich und unregelmäßig. Die Einteilung der Frequenz gibt nur einen Anhaltspunkt und kann vom Unternehmen je nach Bedarf frei definiert werden. Unregelmäßig bedeutet, dass eine Aufgabe zum Beispiel bei Anfragen von Kundinnen und Kunden, also einem Event, durchgeführt werden muss. Die Unternehmensfunktion im Lead wurde schon bei der Beschreibung (Wer) aufgegriffen, wird hier jedoch noch um beteiligte Unternehmensfunktionen ergänzt. Beteiligte Unternehmensfunktionen sind beispielsweise bei der Datenerhebung eingebunden. Zuletzt werden die internen und externen Adressatinnen und Adressaten bestimmt, deren Informationsbedarfe durch diesen Anwendungsfall erfüllt werden müssen.

Insbesondere bei präventiven und proaktiven Unternehmen müssen nicht nur die aktuellen Aufgaben des Umweltmanagements und -controllings aufgenommen und entsprechend des Schemas beschrieben werden, sondern auch zukünftige und strategisch wichtige Anwendungsfälle und Herausforderungen antizipiert und identifiziert werden.

Um die Vollständigkeit der identifizierten Anwendungsfälle sicherzustellen, sollten folgende drei Perspektiven untersucht werden:

- Zielperspektive: Welche Umweltziele hat das Unternehmen? Was wird benötigt, um die gesetzten Umweltziele zu erreichen? (Kritische Erfolgsfaktoren)
- Stakeholderperspektive: Was sind meine Stakeholdererwartungen? Wie kann ich diese erfüllen?
- Ressourcenperspektive: Welche Unternehmensfunktionen müssen für das Umweltmanagement und -controlling eingebunden werden? Und was benötigen diese?

5.5 Definition der Anforderungen

Die dritte Phase umfasst die Identifikation nicht-funktionaler Anforderungen, die Spezifikation der Anwendungsfälle, also die Detaillierung der funktionalen Anforderungen, sowie die Dokumentation dieser (vgl. Abbildung 25).

5.5.1 Identifikation nicht-funktionaler Anforderungen

Um die Vollständigkeit der nicht-funktionalen Anforderungen sicherzustellen, kann die umfangreiche Auflistung und Beschreibung von möglichen Anforderungen des VOLERE-Templates von Robertson und Robertson herangezogen werden. Dieses umfasst Anforderungen in Bezug auf Nutzungsfreundlichkeit und Ergonomie, Leistung, Erscheinungsbild, Betrieb und Umwelt, Sicherheit, Compliance, Diversität und Inklusion sowie Wartung und Support (Robertson & Robertson 2020, S. 52–76). Diese Kategorien sollten in diesem Schritt berücksichtigt und ihre Relevanz diskutiert werden. Abbildung 29 fasst die Kategorien mit den darunterliegenden detaillierten Anforderungen zusammen.

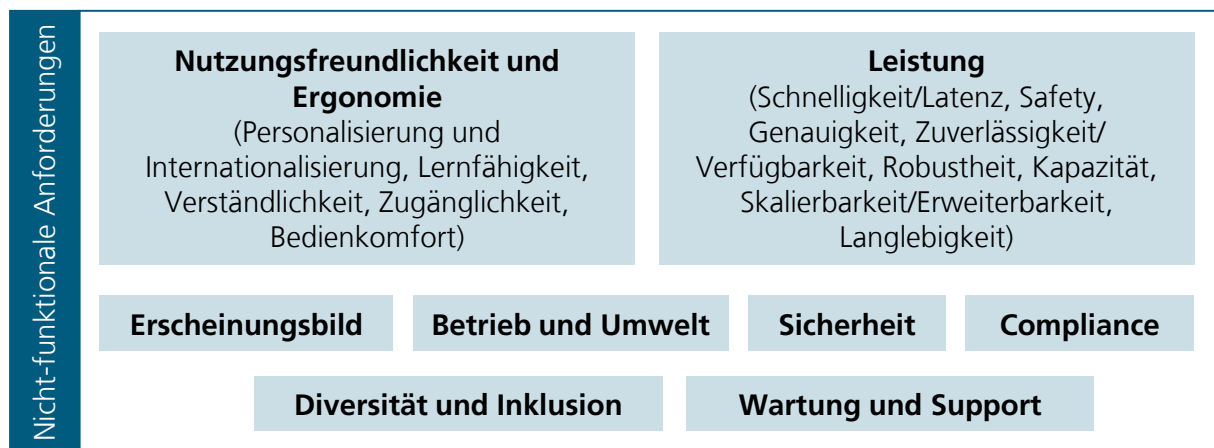


Abbildung 29: Nicht-funktionale Anforderungen nach VOLERE-Template (Robertson & Robertson 2020, S. 52–76)

Spezifisch für betriebliche Umweltinformationssysteme sind nach Perl insbesondere folgende nicht-funktionale, systembezogene Anforderungen einzubeziehen (Perl 2006, S. 250–251):

- Zuverlässigkeit der Software,
- Bedienerfreundlichkeit,
- Stabilität,
- Wartungsfreundlichkeit,
- modularer Aufbau zur Individualisierbarkeit.

5.5.2 Spezifikation der Anwendungsfälle

Die weitere Spezifikation der Anwendungsfälle orientiert sich ebenfalls am morphologischen Kasten und definiert das betriebliche Umweltinformationssystem mit seinen Funktionen und Aufgaben und somit das mögliche Informationsangebot (vgl. Kapitel 5.2.2). Eine Übersicht der zu berücksichtigenden Aspekte in Form eines Templates ist in Abbildung 30 zu sehen. Zunächst muss die zu erfüllende Aufgabe durch das Informationssystem bestimmt werden. Diese definiert gemeinsam mit dem Informationsbedarf die benötigten Funktionen. Um später entscheiden zu können, ob die Anforderungen des Anwendungsfalls ausreichend durch das Informationssystem erfüllt werden, wird zusätzlich ein Erfüllungskriterium für jeden Anwendungsfall definiert. Im Anschluss können die benötigten Informationen und Daten für jeden Anwendungsfall ermittelt werden. Für den Fall, dass ein Dokumentenmanagement benötigt wird, werden hier außerdem die benötigten Dokumente und ihre Verbindung zu den Kennzahlen bzw. Informationen definiert.

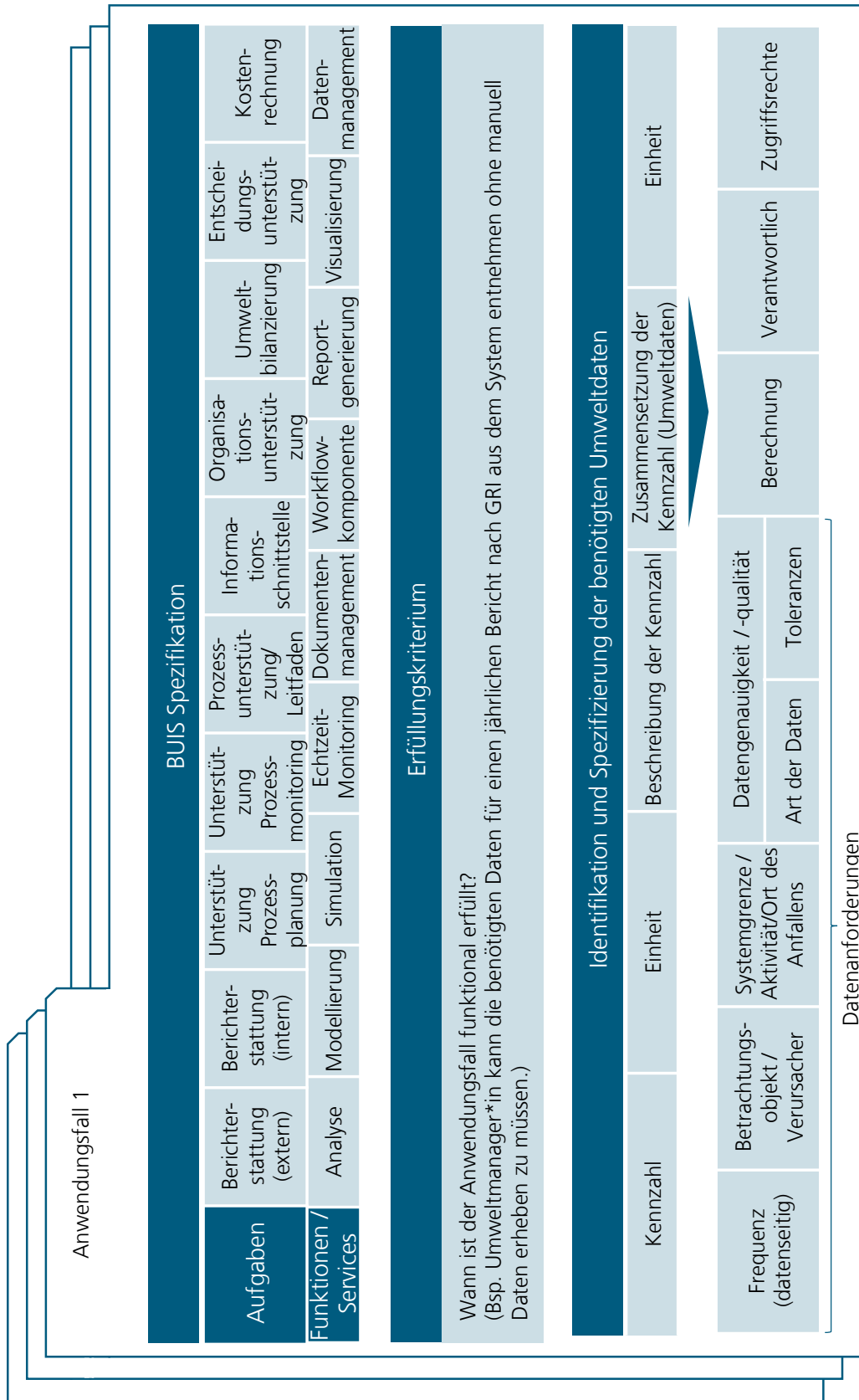


Abbildung 30: Relevante Aspekte für die Spezifikation der Anwendungsfälle

Wie in Kapitel 4.1.3 dargelegt, muss für eine zielgruppen- & aufgabengerechte Informationsbereitstellung und -aufbereitung die Aktualität, Adressatinnen und Adressaten, Daten- und Informationsqualität, Aggregationslevel, Betrachtungsobjekt und Zweck/Darstellungsform berücksichtigt werden. Zudem müssen für eine Zuordnung der Daten zu den Verursachern folgende Kontextinformationen berücksichtigt werden: Systemgrenze, Zeitraum bzw. Zeitpunkt und der/die Verantwortliche für die Information selbst. Diese Aspekte werden adressiert, indem je Anwendungsfall zunächst die benötigte Kennzahl bzw. Information eingetragen und beschrieben werden muss. Diese Kennzahl bzw. Information kann sich aus verschiedenen Daten zusammensetzen, die inklusive Einheit, Datenerhebungsfrequenz, Betrachtungsobjekt, Systemgrenze, Datengenauigkeit, verantwortlicher Person, Zugriffsrechten sowie der Berechnung der Kennzahl erfasst werden. Die Datenerhebungsfrequenz und die Datengenauigkeit orientieren sich an den vordefinierten Auswahlmöglichkeiten des morphologischen Kastens (vgl. Abbildung 27). Je nach Ausprägung der Datengenauigkeit muss die Art der Messung inklusive Toleranzen, die Art der Berechnung bei kalkulierten Daten oder die Quelle für definierte Daten angegeben werden. Das Betrachtungsobjekt sowie die Systemgrenze können entsprechend des morphologischen Kastens die Ausprägungen Konzern, Unternehmen, Fabrik/Standort, Unternehmensfunktion/Kostenstelle, Produkt, Prozess und Maschine/Anlage annehmen. Während das Betrachtungsobjekt unternehmensintern angesiedelt ist, kann die Systemgrenze auch unternehmensübergreifend sein. Beispielsweise können Daten extern von Lieferanten oder Kundinnen und Kunden benötigt werden. Datenanforderungen können sich auf die Frequenz, Betrachtungsobjekt, Systemgrenze und Datengenauigkeit beziehen. Die verantwortliche Person ist für die Erhebung, Vollständigkeit und Richtigkeit der Daten zuständig. Falls die Daten sensibel sind, können Zugriffsrechte vergeben werden. Für den Fall, dass die Kennzahl bzw. Information aus Einzeldaten berechnet wird, muss eine Berechnungsvorschrift hinterlegt werden.

5.5.3 Anforderungsdokumentation

In diesem Schritt werden die in den vorherigen Schritten identifizierten Anforderungen zusammengefasst und nochmals auf Konsistenz geprüft. Dieser Schritt bildet den Übergang von der Anforderungserhebung zur Systemgestaltung. Zur Dokumentation der funktionalen Anforderungen kann das im Schritt zur Spezifizierung der Anwendungsfälle verwendete Template herangezogen werden (vgl. Abbildung 30). Als Übersicht über die Organisation des Umweltmanagements und der Spezifikation des betrieblichen Umweltinformationssystems kann hier der morphologischen Kasten aus Kapitel 5.2.2 ausgefüllt werden (vgl. Abbildung 27).

Falls Konflikte zwischen den Anforderungen identifiziert werden, müssen diese aufgelöst werden (IEEE Computer Society 2014, S. 1–10; DIN EN ISO 9241-210, S.24). Konflikte können beispielsweise zwischen der gewünschten Genauigkeit und der Geschwindigkeit eines Systems entstehen.

5.6 Definition der Gestaltungslösung

Ziel der vierten Phase ist es, eine Gestaltungslösung zu erarbeiten, die die definierten Anforderungen aus den vorherigen Phasen erfüllt. Mit insgesamt neun Schritten stellt sie die umfangreichste Phase dar (vgl. Abbildung 25). Hierfür werden ein Datenmodell definiert, die vorhandenen Informationssysteme analysiert, ggf. ein Datenerhebungskonzept erarbeitet, ein passendes Informationssystem ausgewählt, eine Informationssystemarchitektur definiert, Prototypen erstellt, Datenflüsse und Workflows definiert sowie die Gestaltungslösung dokumentiert und eine Roadmap zur Umsetzung erarbeitet. Die einzelnen Schritte werden im Folgenden detailliert beschrieben.

5.6.1 Definition des Datenmodells

Die benötigten Daten aus allen Anwendungsfällen werden in diesem Schritt zunächst zusammengefasst, da einzelne Daten für mehrere Anwendungsfälle relevant sein können. In diesem Fall werden die Daten nur einmal übernommen und die Verwendung für die entsprechenden Anwendungsfälle hinterlegt. Bei unterschiedlichen Datenanforderungen,

z.B. hinsichtlich der Datenerhebungsfrequenz, wird die detaillierteste bzw. anspruchsvollste Anforderung übernommen. Hierdurch werden Mehrfacherhebungen vermieden und eine Übersicht über die Daten und ihre Verwendung erstellt.

In Abbildung 31 ist ein Datenmodell für die Gestaltung von betrieblichen Umweltinformationssystemen zu sehen, das mithilfe eines UML Klassendiagramms erstellt wurde. Hierbei handelt es sich um ein Referenzdatenmodell, das für ein spezifisches Unternehmen jeweils angepasst werden muss und beliebig, insbesondere um weitere Attribute, erweitert werden kann. Grundlage dieses Referenzdatenmodells bilden die Norm ASTM E3012-16 mit ihrer Einteilung der Daten in Inputs und Outputs sowie die Norm ISO 20140-5 (vgl. Kapitel 3.3). Beide Normen betrachten jedoch nur Fertigungsprozesse, sodass ein Referenzdatenmodell für die Betrachtung ganzer Unternehmen und der damit verbundenen umweltrelevanten Aspekte bisher nicht existierte und nun durch das vorliegende Referenzdatenmodell entwickelt wurde.

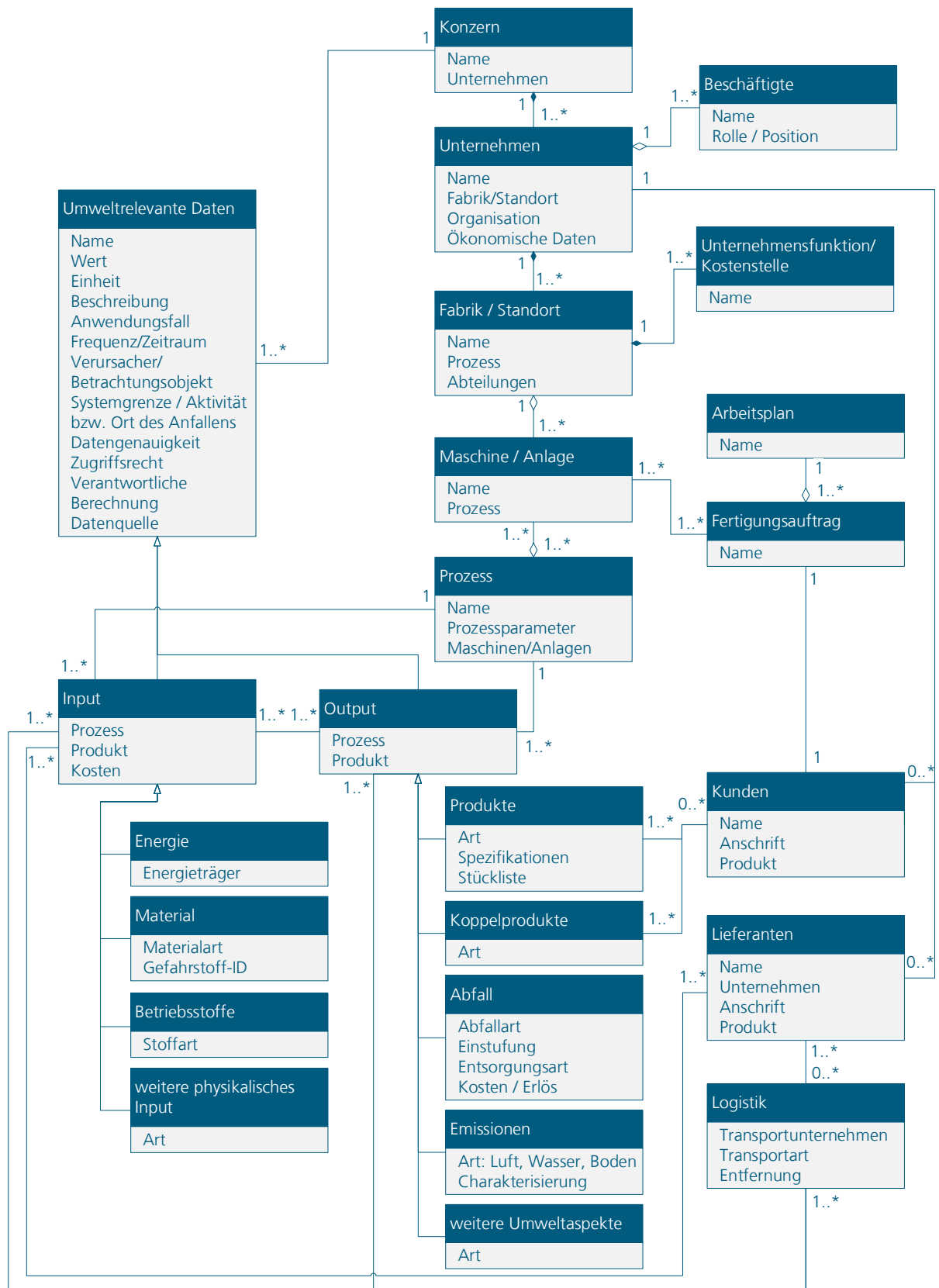


Abbildung 31: Referenzdatenmodell für das Umweltcontrolling

Ausgangspunkt bildet die Klasse umweltrelevante Daten mit den Attributen, die bereits in Kapitel 5.5.2 als Kontextinformationen definiert wurden. Zusätzlich wurden die Attribute, Wert und Datenquelle, eingeführt. Für die Unterteilung der Klassen der Inputs und Outputs wurde die Norm DIN EN ISO 14044 für Ökobilanzierungen herangezogen, da die Sachbilanz einer Ökobilanz die umweltrelevanten Inputs und Outputs vollständig erfasst. Daher werden Energie, Material, Betriebsstoffe und andere physikalische Inputs als Inputs sowie Produkte, Koppelprodukte oder Nebenprodukte, Abfall, Emissionen in Luft, Wasser, Boden und weitere Umweltaspekte als Outputs definiert (DIN EN ISO 14044, S.23). Für das Betrachtungsobjekt bzw. die Systemgrenze wird der Konzern als größtmögliche Einheit in relevante Klassen unterteilt. Ein Konzern besteht hierbei aus Unternehmen, die Beschäftigte haben und sich wiederum aus Fabriken/Standorten zusammensetzen. Eine Fabrik / ein Standort besitzt Unternehmensfunktionen bzw. Kostenstellen sowie Maschinen und Anlagen, die einen Prozess bilden und Fertigungsaufträgen zugeordnet sind. Während Kundinnen und Kunden Produkte und ggf. Nebenprodukte bestellen und somit einen Fertigungsauftrag auslösen, liefern die Lieferanten den Input der Prozesse. Zu den jeweiligen Klassen sind außerdem die benötigten Attribute definiert. Die Klasse Logistik berücksichtigt die Transporte von Input und Outputs.

Das Referenzdatenmodell bietet Unternehmen einen Ausgangspunkt zur Systematisierung der benötigten Daten für das Umweltcontrolling und erleichtert somit die Umsetzung in ein Informationssystem.

5.6.2 Analyse der Informationssysteme

Nach Erstellung des unternehmensspezifischen Datenmodells müssen in diesem Schritt die im Einsatz befindlichen Informationssysteme analysiert werden, um festzustellen, ob die Informationsbedarfe gedeckt werden können. Es wird untersucht, inwiefern die benötigten Daten in der geforderten Datengenauigkeit und -frequenz in welchen Informationssystemen verfügbar sind. Zudem ist die Informationssystemstrategie eines Unternehmens zu beachten, insbesondere die zukünftige Entwicklung und Implementierung von Informationssystemen, durch die ggf. weitere Daten verfügbar sein werden. Die Angabe und Dokumentation der Datenquelle ist hierbei wichtig, um die Nachvollziehbarkeit und Überprüfbarkeit der Informationen sicherzustellen (vgl. Kapitel 4.1.3). Des Weiteren wird gleichzeitig untersucht, welche Schnittstellen die Informationssysteme anbieten sowie ob und mit welchem Aufwand eine Anbindung möglich ist. Abbildung 32 stellt anhand eines Beispiels eine mögliche Visualisierung für eine Übersicht über die verwendeten Informationssysteme des Umweltmanagements in einem Unternehmen dar. Hierbei können die bereits bestehenden Schnittstellen, die verwendeten Daten sowie bereits erkennbare Probleme, wie eine manuelle Datenerhebung oder fehlende Zuordnungen, aufgezeigt werden. Außerdem bezieht die Visualisierung die Anwendungsfälle sowie Adressatinnen und Adressaten der Informationssysteme strukturiert mit ein.

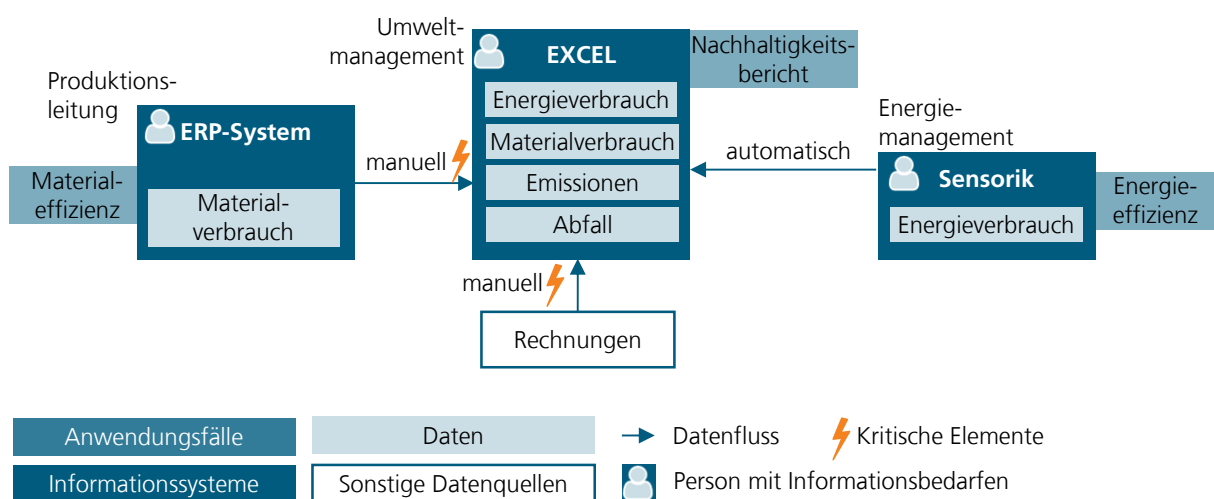


Abbildung 32: Visualisierung zur Übersicht über Informationssysteme (Beispiel)

Mögliche Datenquellen und zu untersuchende Informationssysteme sind je nach Datenart:

- Stoff- und Materialstammdaten: ERP-System, technische Datenblätter, Gefahrstoffdatenbank, externe Daten (z.B. Datenbanken, wie ecoinvent, Literatur oder Lieferantenangaben), PLM-System, Rechnungen
- Strukturdaten: ERP-System
- Prozessdaten: MES, BDE, Prozessleitsystem, Qualitätsdatensystem
- Stoff- und Energieflussdaten: Sensorik, MES, BDE, Prozessleitsystem, Qualitätsdatensystem
- Organisationsdaten: ERP-System
- Kostendaten: PLM, ERP-System, Buchhaltungsinformationssystem, Rechnungen

5.6.3 Abgleich der benötigten mit vorhandenen Daten

Dieser Schritt folgt nach der Analyse der Informationssysteme und zielt darauf ab, Datenlücken zwischen den erforderlichen und vorhandenen Daten zu identifizieren. Falls Datenlücken vorhanden sind, muss ein Datenerhebungskonzept erstellt werden. Hier findet daher eine Iteration statt und nach der Definition eines Datenerhebungskonzepts wird erneut auf Datenlücken überprüft. Diese Iteration wird so lange wiederholt, bis alle erforderlichen Daten erhoben werden können. Falls während der Iteration erkannt wird, dass die Erhebung der Daten nicht möglich oder für das Unternehmen zu aufwendig ist, können die Datenanforderungen gesenkt werden. Abbildung 33 stellt eine mögliche Visualisierung für identifizierte Datenlücken dar. Da sich die verfügbaren Daten über die Prozessschritte unterscheiden können, werden die benötigten Daten über die Prozessschritte hinweg aufgetragen. Außerdem werden die Datenanforderungen – Frequenz, Betrachtungsobjekt, Systemgrenze und Datengenauigkeit – dargestellt, da hier ebenfalls Datenlücken entstehen können (vgl. Abbildung 30).

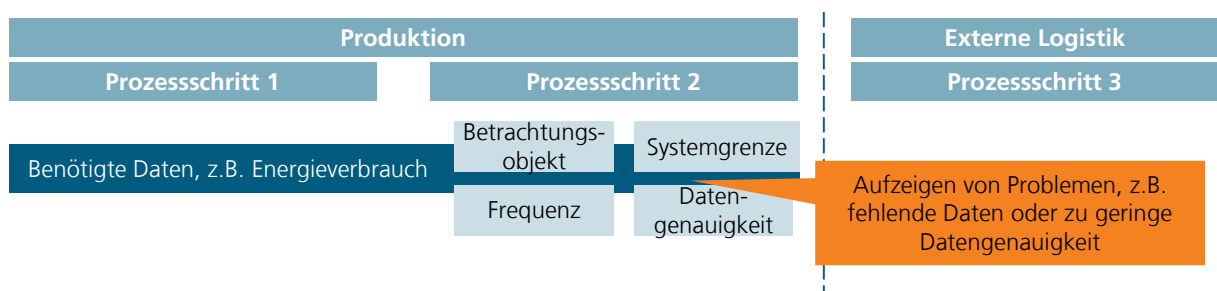


Abbildung 33: Visualisierung zum Abgleich der benötigten mit vorhandenen Daten

5.6.4 Definition eines Datenerhebungskonzepts

Falls beim Abgleich der Daten festgestellt wurde, dass Daten nicht bzw. nicht in der benötigten Datengenauigkeit oder -frequenz verfügbar sind, muss ein Datenerhebungskonzept erstellt werden. Ziel dieses Schritts ist es, ein Konzept zu erarbeiten, um alle benötigten Daten digital vorliegen zu haben und diese so in das Informationssystem integrieren zu können. Hierzu sollte der Nutzen der Daten und der resultierenden Informationen dem Aufwand der Datenerhebung gegenübergestellt werden. Den Nutzen der Daten und Informationen zu bestimmen, ist jedoch nicht trivial, da dieser schwer messbar ist und bisher kein anerkanntes Vorgehen existiert. Auf der einen Seite entstehen direkte Kosten, z.B. Personalkosten, Kosten für zusätzliche Sensorik oder Schnittstellen, die quantifizierbar sind. Demgegenüber stehen direkte Mehrwerte, wie Effizienzgewinne in der Erhebung, und indirekte, schwer messbare Mehrwerte, z.B. durch bessere Entscheidungsgrundlagen (Saloojee et al. 2007, S.4). Insbesondere der Informationswert kann sich durch die weitere Verwendung der Informationen stark ändern. Zukünftige Entscheidungen, die zunächst gar nicht in Betracht gezogen wurden, können durch die nun verfügbaren Informationen positiv beeinflusst werden (Krcmar 2015, S.163). Des Weiteren sollten informationstechnische Synergien zu anderen Unternehmensfunktionen berücksichtigt werden. So können Daten aus dem Umweltmanagement beispielsweise auch für Qualitätsmanagement, Instandhaltung oder Produktionsmanagement relevant sein.

In Abbildung 34 ist eine Übersicht dargestellt, welche Kosten und Mehrwerte berücksichtigt werden sollten. Die Bewertung der indirekten Mehrwerte muss jedoch

aufgrund der bestehenden Unsicherheiten und schwierigen Quantifizierbarkeit subjektiv durch die Nutzerinnen und Nutzer, z.B. mithilfe einer Nutzwertanalyse oder Analytic Hierarchy Process (AHP), erfolgen. (Krcmar 2015, S.163)

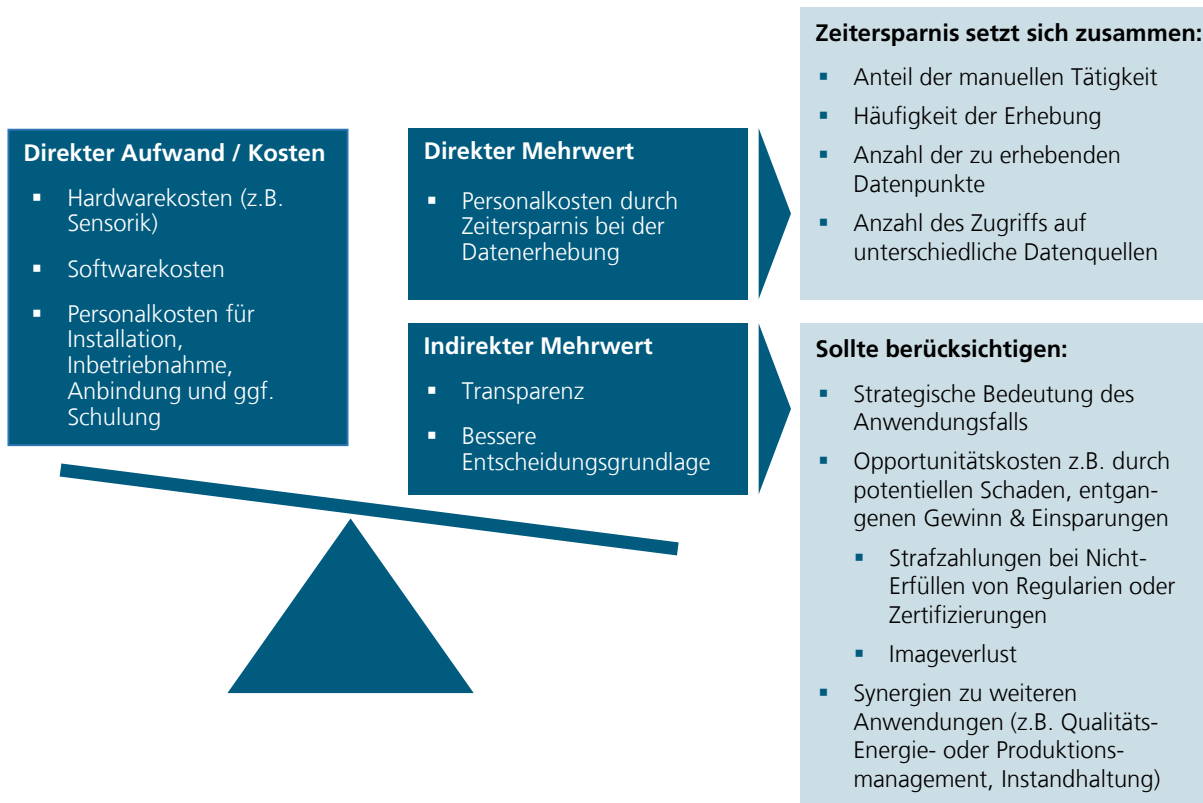


Abbildung 34: Aufwand und Mehrwerte der benötigten Daten und Informationen

Je nach Ergebnis der Bewertung des Aufwands und der Mehrwerte der benötigten Daten wird im Datenerhebungskonzept definiert, dass Daten zusätzlich erhoben werden oder dass Anwendungsfälle nicht erfüllt bzw. angepasst werden müssen. Anwendungsfälle können also depriorisiert werden und es kann entschieden werden, dass einzelne Anwendungsfälle nicht mehr in einem betrieblichen Umweltinformationssystem abgebildet werden sollen. Hier muss im Anschluss eine Iteration ab dem Schritt 4 durchlaufen werden. Bei einer Anpassung der Anwendungsfälle wird eine Iteration zum Schritt 6 durchgeführt. So kann die geforderte Datengenauigkeit oder -frequenz gesenkt werden, um hierdurch den Aufwand der Datenerhebung zu senken. Falls in diesem Fall eine Datenlücke für das Betrachtungsobjekt Produkt auftritt, zeigt die Abbildung 35 Möglichkeiten zur stufenweisen Senkung der benötigten Datengenauigkeit. Während bei

der Anforderung, dass Daten für Losgröße 1 vorliegen müssen, detaillierte Messdaten erhoben werden müssen, berücksichtigt die Stufe mit der geringsten Genauigkeit nur externe Datenbanken. Die Anzahl der benötigten Messdaten und damit auch der Aufwand können so stufenweise gesenkt werden, jedoch auf Kosten der Genauigkeit.

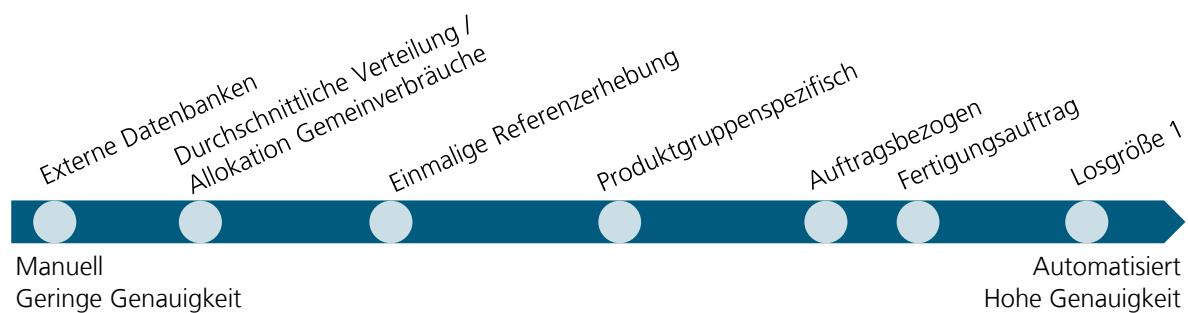


Abbildung 35: Möglichkeiten zur Senkung der Datengenauigkeit für das Betrachtungsobjekt Produkt

5.6.5 Auswahl eines Informationssystems

In diesem Schritt wird ein betriebliches Umweltinformationssystem ausgewählt, um anschließend eine Informationssystemarchitektur definieren zu können. Hierfür müssen zunächst Lösungsalternativen ermittelt werden, die mithilfe einer Machbarkeitsstudie und einer Kosten-Nutzen-Analyse untersucht werden.

Wie bereits in Kapitel 2.4.1 erläutert, kann die Integration von betrieblichen Umweltinformationssystemen in Unternehmen variieren. Analog zum morphologischen Kasten wird zwischen Stand-alone-Lösungen, Erweiterungen (sogenannten Add-Ons) bestehender Informationssysteme und einer vollständigen Integration unterschieden. Zusätzlich können Standardsoftware, angepasste Standardsoftware oder individuell entwickelte Systeme zum Einsatz kommen.

In einer Machbarkeitsstudie muss die technische Umsetzbarkeit der Lösungsalternativen untersucht werden (Lang & Heubach 2004, S. 17–18). Bezüglich der benötigten Daten wurde dieser Teil bereits in den Schritten Analyse der Informationssysteme und Definition eines Datenerhebungskonzepts betrachtet. Offene Aspekte, die noch untersucht werden müssen, sind daher die Abbildung der technischen Funktionen bzw. Services und die

Schnittstellendefinition zur gewünschten Integration. Die Machbarkeitsstudie bildet die Grundlage der Definition einer Informationssystemarchitektur.

Um eine Kosten-Nutzen-Analyse erstellen zu können, werden im Folgenden die zu berücksichtigenden Aspekte beschrieben. Die generell einzubeziehenden Kosten und Kriterien bei der Auswahl eines Informationssystems wurden in Kapitel 2.3.4 aufgegriffen. In Bezug auf die Kosten unterscheiden sich betriebliche Umweltinformationssysteme nicht von Informationssystemen im Allgemeinen und daher sollten einmalige Kosten in Form von Beschaffungskosten von Hard- und Software, Vorbereitungskosten, Entwicklungskosten, Migrationskosten und Schulungskosten berücksichtigt werden. Außerdem fallen laufende Kosten an, die sich auf die Wartung der Hard- und Software, Versicherung und Personal beziehen (Hall 2011, S.591). Der Nutzen der Lösungsalternativen setzt sich unternehmensindividuell zusammen und wird in Ausschluss- und Leistungskriterien unterteilt. Hierbei werden die identifizierten funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen berücksichtigt. Aufgrund der schwierigen Quantifizierbarkeit der zu erreichenden Einsparungen und des Nutzens sollten die Leistungskriterien mithilfe des Analytic Hierarchy Process (AHP) bewertet werden. Da die Auswahlkriterien für ein betriebliches Umweltinformationssystem bisher wenig erforscht sind, ist die Entscheidung für ein solches Informationssystem und zwischen Stand-alone-Lösung, Erweiterung und integrierter Lösung für Unternehmen nicht einfach zu treffen (El-Gayar & Fritz 2006, S.770). Obwohl integrierte Lösungen als bevorzugte Lösung gelten, können für einige Unternehmen auch Stand-alone-Lösungen oder Erweiterungen ausreichend sein. (Carlson et al. 2006, S. 15–17; Gómez 2009, S.1; Junker 2013, S. 253–254). Jedoch existieren bisher keine Merkmale, die die Eignung der Lösungen für ein Unternehmen bestimmen, sodass Unternehmen keine Entscheidungsunterstützung geboten wird. Daher wird eine Übersicht für Unternehmen abgeleitet, in welchen Fällen eine Tendenz zu Stand-alone-Lösungen, Erweiterungen oder integrierte Lösungen sowie Standardlösungen, angepasste Standardlösungen oder individuelle Lösungen besteht. Die Einteilung orientiert sich an den Merkmalen des Umweltcontrollings und eines betrieblichen Umweltinformationssystems aus dem morphologischen Kasten, die mithilfe der vorangegangenen Schritte ermittelt wurden.

Diese kann somit als Grundlage für eine Entscheidung des Integrationsgrads und der benötigten Individualität der Lösung dienen.

Der Integrationsgrad und die Individualität der Lösung wird durch die Komplexität der Anwendungsfälle beeinflusst, die sich aus der Anzahl der beteiligten Unternehmensfunktionen, der Adressatinnen und Adressaten, der Aufgaben und Funktionen und der Datenquellen zusammensetzt. Darüber hinaus sind die Häufigkeit der Datenerhebung und die Integrationsfähigkeit der bestehenden Informationssysteme zu berücksichtigen.

Je mehr Personen bzw. Unternehmensfunktionen das betriebliche Umweltinformationssystem später nutzen, desto höher sollte der Integrationsgrad gewählt werden, da ansonsten die Datenerhebung und insbesondere -verteilung aufwendig wird. Zusätzlich sollte in diesem Fall zu einer individuellen Lösung tendiert werden, damit die ggf. sehr unterschiedlichen Informationsbedarfe befriedigt werden können. In Bezug auf die Aufgaben und Funktionen werden ebenfalls bei einer größeren Anzahl eher individuelle Lösungen benötigt. Gerade Standard- und Stand-alone-Lösungen können die Kombination der benötigten Aufgaben und Funktionen bei großer Anzahl und Varianz nicht abbilden. Bei einer großen Anzahl an Datenquellen und auch einer hohen Datenfrequenz, also einer häufigen Erhebung, wird ein hoher Integrationsgrad benötigt, um den Aufwand der Datenerhebung möglichst gering zu halten. Für die Integrationsfähigkeit in bestehende Informationssysteme gilt, dass je einfacher die Integration desto eher sollte und muss ein Unternehmen ein betriebliches Umweltinformationssystem integrieren – auch um eine homogene Informationssystemarchitektur zu erhalten.

Für die Auswahl eines betrieblichen Umweltinformationssystems ist außerdem eine Marktübersicht erforderlich. Um Unternehmen hierbei eine Unterstützung zu bieten, ist im Anhang eine Softwareliste mit aktuell am Markt befindlichen betrieblichen Umweltinformationssystemen zu finden, welche nach den adressierten Aufgaben und Funktionen eingeordnet wurden.

5.6.6 Definition der Informationssystemarchitektur

Nachdem die Machbarkeitsanalyse erstellt und ein Informationssystem ausgewählt wurde, kann die Informationssystemarchitektur definiert werden. Wie in Kapitel 2.3.2 beschrieben werden hierbei Objekte, Funktionen und Schnittstellen eines Informationssystems im Gesamtkontext eines Unternehmens definiert.

Bei einer integrierten, individuellen Lösung sind die Freiheitsgrade zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems sehr groß. Daher wird in Abbildung 36 eine Referenzarchitektur definiert, die Unternehmen einen Anhaltspunkt für eine Architektur geben soll.

Um eine einfache Erweiterbarkeit und gute Skalierbarkeit sowie die Modularität des betrieblichen Umweltinformationssystems gewährleisten zu können, wird eine Schichtenarchitektur gewählt (vgl. Kapitel 2.3.2). Diese orientiert sich an der Herleitung und Referenzarchitektur von Keens et al., wurde jedoch in der Anwendungs- und Präsentationsschicht abgewandelt, um den Anforderungen analog zum morphologischen Kasten zu entsprechen (Keens et al. 2021, S.128).

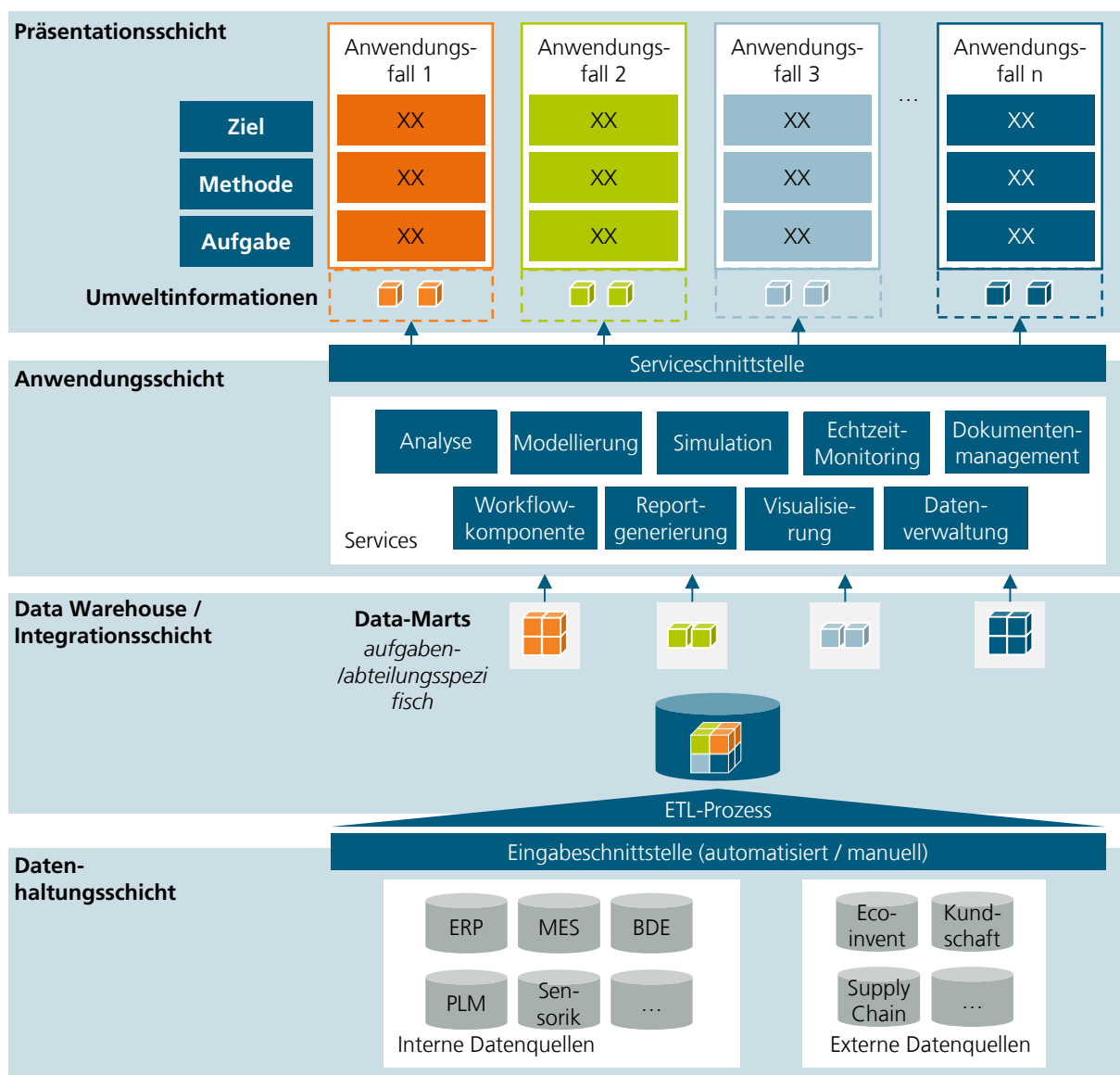


Abbildung 36: Referenzarchitektur für ein betriebliches Umweltinformationssystem

Die Referenzarchitektur besteht aus vier Schichten: Datenhaltungsschicht, Integrationsschicht mit einem Data Warehouse, Anwendungsschicht und Präsentationsschicht.

Die Datenhaltungsschicht mit den unterschiedlichen Informationssystemen wird über eine Eingabeschnittstelle und einen ETL-Prozess mit einem Data Warehouse in der Integrationsschicht angebunden. Die Eingabeschnittstelle kann sowohl manuell als auch automatisiert umgesetzt werden. Ein Data Warehouse wurde gewählt, da so heterogene

Datenquellen zusammengeführt, Daten verdichtet und durch Analyseverfahren und multidimensionale Sichten ausgewertet werden können. Außerdem bietet es eine gute Grundlage für die Entscheidungsunterstützung, da historische, aktuelle als auch prognostizierte Daten zur Verfügung gestellt und bei Bedarf angepasst werden können (Gräuler et al. 2013, S.110; Naana 2014, S.168; Burton et al. 2021, S.898). Somit kann eine „Single Source of Truth“ erstellt werden (Schuh et al. 2020, S.176). Data-Marts können optional definiert werden und bilden die Daten funktions- oder aufgabenspezifisch ab. Sie stellen Datenwürfel dar, die alle erforderlichen Informationen für einen Anwendungsfall oder eine Unternehmensfunktion beinhalten. Die angebotenen Services in der Anwendungsschicht orientieren sich an den Funktionen des morphologischen Kastens und werden für die Erfüllung der Anwendungsfälle benötigt. Durch die Abgrenzung der Services in einer eigenen Schicht und von den konkreten Anwendungsfällen können diese wiederverwendet werden. Vorteile einer serviceorientierten Architektur sind ebendiese Wiederverwendbarkeit der Services sowie die Flexibilität bei einer Erweiterung oder eines Austauschs von Services (El-Gayar & Fritz 2006, S.773; Tegtmeier et al. 2009, S. 7–8; Rapp et al. 2011, S.3). Die Präsentationsschicht exportiert oder visualisiert die Daten und Informationen für den Anwendungsfall entsprechend der Anforderungen der Adressatinnen und Adressaten. Analog zu den Aufgaben aus dem morphologischen Kasten kann hier ein Bericht, eine einfache Tabelle, Diagramme, ein Dashboard, ein Leitfaden oder weiteres verwendet werden.

Darüber hinaus kann die Informationssystemarchitektur dafür genutzt werden die Informationsflüsse aus den Systemen und zwischen den Schichten zu visualisieren, um so eine Übersicht über die Datenflüsse zu erlangen und Schnittstellen definieren zu können.

5.6.7 Erstellung von Prototypen

Für den Fall, dass sich ein Unternehmen dazu entscheidet ein betriebliches Umweltinformationssystem selbst zu entwickeln, wird ein Prototyp erstellt und von den relevanten Stakeholdern evaluiert (vgl. Kapitel 2.3.4). Dieser Schritt wird so oft durchgeführt, bis der Prototyp die Anforderungen der Stakeholder zufriedenstellend

erfüllt. Aufgrund der hohen Interdisziplinarität des Umweltcontrollings und des resultierenden Informationssystems kann ein Prototyp dabei helfen Fehlkommunikation zwischen den verschiedenen Unternehmensfunktionen vorzubeugen, Austausch zu fördern, Informationsbedarfe und -angebote zu integrieren sowie den Mehrwert des Informationssystems allen Stakeholdern klar vor Augen zu führen (Rikhardsson et al. 2005, S.156). Prototypen können hierbei Papiermodelle für Bildschirmdesigns bis hin zu Betatestversionen von Softwareprodukten darstellen. Häufig werden Prototypen mit niedrigem Realitätsgrad bevorzugt, um zu vermeiden, dass sich die späteren Nutzerinnen und Nutzer an unbedeutenden, zufälligen Merkmalen eines höherwertigen Prototyps orientieren, die die Designflexibilität auf unbeabsichtigte Weise einschränken können. (IEEE Computer Society 2014, S. 6–7)

Aufgrund der oben genannten Vorteile eines Prototypings sollte in der Projektplanung hierfür ausreichend Zeit vorgesehen werden. Falls keine Erfahrung mit Prototypen besteht, können Externe mit diesen Kompetenzen in den Prozess einbezogen werden. Auch können ggf. Anwendungsfälle nochmals priorisiert werden und nur für einen ausgewählten Teil Prototypen erstellt werden.

5.6.8 Definition von Sichten und Workflows

Parallel zur Erstellung eines Prototyps können Sichten und Workflows definiert werden. Sichten stellen die Daten und Informationen dar, die einer Adressatin, einem Adressaten oder einer Unternehmensfunktion zur Verfügung stehen. Sie können unterstützen, indem Anwendungsfälle für bestimmte Adressatinnen und Adressaten bzw. Unternehmensfunktionen geclustert werden und so eine einfache Übersicht über die zu erfüllenden Aufgaben ermöglicht wird. Durch Sichten kann das Informationsangebot strukturiert werden, um die Informationen für die Adressatin oder den Adressaten verständlich und interpretierbar anbieten zu können (Krcmar 2015, S.160). Durch die Definition von Sichten können auch funktionsbezogene Teilbereiche des Systems abgegrenzt werden, die eine schrittweise Implementierung des Informationssystems ermöglichen (Goeken 2006, S. 256–257). Dieses wird im nächsten Schritt mithilfe der Roadmap weiter detailliert.

Insbesondere falls Daten manuell in das Informationssystem eingetragen werden müssen oder eine starke Interaktion mit dem Informationssystem gefordert ist, sind Workflows zur Prozessdefinition hilfreich. Zur Definition kann beispielsweise auf die Standards BPMN oder eEPK zurückgegriffen werden. (Krcmar 2015, S. 59–63)

5.6.9 Dokumentation und Roadmap

In diesem Schritt wird die Gestaltungslösung zusammengefasst, um anschließend eine Beauftragung veranlassen oder die Entwicklung und Implementierung eines betrieblichen Umweltinformationssystems starten zu können. Hier werden mögliche Risiken identifiziert und dokumentiert, die bei der Implementierung und dem Betrieb des Informationssystems auftreten können.

Darüber hinaus wird eine Roadmap für die nächsten Schritte zur Umsetzung erstellt. Gegebenenfalls ist eine stufenweise Umsetzung des definierten Informationssystems erforderlich, um eine Überforderung des Unternehmens durch zu große Veränderungen zu vermeiden (Perl 2006, S.229). So können beispielsweise zunächst Teilbereiche des Informationssystems umgesetzt und schrittweise erweitert werden. Auswahlkriterien für die Umsetzung von Teilbereichen können sich an den Anwendungsfällen mit ihrer strategischen Bedeutung bzw. Priorisierung sowie dem Aufwand zur Umsetzung orientieren. Auch sollten weitere Aktivitäten aus anderen Bereichen, wie z.B. die Digitalisierung der Produktion, berücksichtigt werden, um Synergien zwischen solchen Projekten zu identifizieren. In einer Roadmap müssen außerdem benötigte Schulungen für die Mitarbeitende aufgenommen und terminiert werden, um sicherzustellen, dass die erforderlichen Kompetenzen für die Umsetzung und den Betrieb des betrieblichen Umweltinformationssystems vorhanden sind (Chofreh et al. 2018c, S.287).

5.7 Evaluation

In der fünften Phase wird das schlussendlich definierte betriebliche Umweltinformationssystem evaluiert (vgl. Abbildung 25). Daher wird untersucht, ob die Gestaltungslösung alle funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen erfüllt. Falls nicht, muss eine Iteration zu dem entsprechenden Schritt durchgeführt werden, sodass

Workflows, Sichten, Prototypen, die Auswahl des Informationssystems oder die Anforderungen in Form der Anwendungsfälle angepasst werden müssen. Bei Erfüllung aller Anforderungen ist die Methode beendet und die Gestaltungslösung kann umgesetzt werden. Falls die Anforderungen nicht ausreichend erfüllt werden und Anpassungen, also ein weiteres Durchlaufen der Iterationen, zu keinen wesentlichen Verbesserungen führen, kann die Methode abgebrochen werden. Gründe hierfür können beispielsweise Budgetrestriktionen oder organisatorische Hemmnisse, wie fehlende Managementunterstützung für notwendige Prozessänderungen, sein. In diesen Fällen steht keine Gestaltungslösung zur Verfügung, die die Anforderungen entsprechend erfüllt.

5.8 Zwischenfazit

Wie in Kapitel 4 dargelegt wurde, existiert bisher keine Methode, die es Unternehmen ermöglicht ein unternehmensspezifisches, betriebliches Umweltinformationssystem gemäß den identifizierten Anforderungen zu gestalten. Bisherige Methoden vernachlässigen insbesondere die Vollständigkeit der erforderlichen Daten, die unternehmensindividuellen Parameter sowie die zielgruppen- und aufgabengerechte Informationsausbereitung. Speziell die Möglichkeit einer strategiegetriebenen und nicht technologiegetriebenen Gestaltung wurde von vielen Ansätzen durch die Beschränkung auf eine Erweiterung von ERP-Systemen oder einer Vorgabe von konkreten Systemen vernachlässigt.

Ausgehend von den Anforderungen wurde daher in diesem Kapitel eine Methode zur unternehmensspezifischen Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems inklusive eines Referenzdatenmodells und einer Referenzarchitektur entwickelt. Diese Methode besteht aus insgesamt 17 Schritten, die in fünf Phasen nach dem User Centered Design gegliedert wurden. Zusammenfassend stellt Abbildung 37 die Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems detailliert nach BPMN inklusive der Iterationen, der Entscheidungsknoten und den Ergebnissen aus den einzelnen Schritten dar.

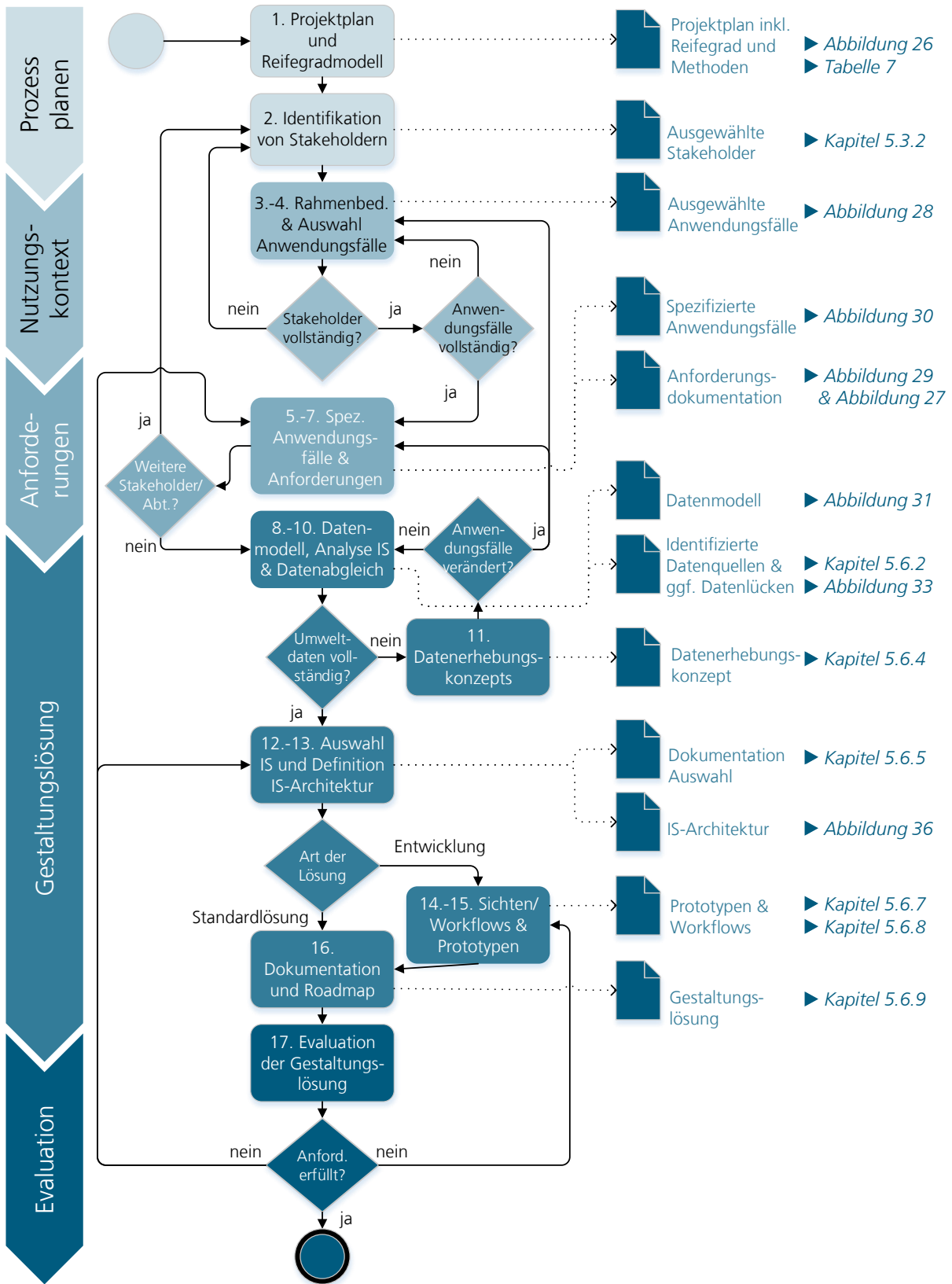


Abbildung 37: Prozessschaubild der Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems anhand von BPMN

Die entwickelte Methode beruht auf einer Kombination und Anpassung von anerkannten Methoden zur Anforderungserhebung, Informationsbedarfsanalyse und Softwareentwicklung, die es Unternehmen ermöglicht ein ihren Anforderungen entsprechendes betriebliches Umweltinformationssystem zu gestalten. Darüber hinaus wurde ein Reifegradmodell zur Charakterisierung von Unternehmen bezüglich ihres Umweltmanagements und ihres Digitalisierungsgrads entwickelt, welches die Grundlage für die Aufwandsabschätzung der Methode bildet. Der weiterentwickelte morphologische Kasten dient als Ausgangspunkt für die Definition von Anwendungsfällen und die Spezifikation eines betrieblichen Umweltinformationssystems und stellt somit die Vollständigkeit der potentiellen Funktionen und Aufgaben sicher. Um Unternehmen bei der Auswahl von Anwendungsfällen zu unterstützen, wurden außerdem 62 Anwendungsfälle aus der Literatur identifiziert. Mithilfe der entwickelten Methode werden erstmals Unternehmenscharakteristika, die die Gestaltung eines solchen Informationssystems beeinflussen, erläutert und Unternehmen so eine Unterstützung gegeben.

Dieses Kapitel beantwortet daher folgende Teilforschungsfragen:

- Wie kann eine Methode zur unternehmensspezifischen Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems aufgebaut sein?
- Wie können ein Referenzdatenmodell und eine Referenzarchitektur eines betrieblichen Umweltinformationssystems aufgebaut sein?

Die erste Forschungsfrage wurde durch das gesamte Kapitel 5 mit einer Übersicht über die Methode (Kapitel 5.1) sowie der detaillierten Beschreibung der einzelnen Schritte (Kapitel 5.3 bis 5.7) beantwortet. Ein Referenzdatenmodell, das die erforderlichen Daten systematisiert, und eine Referenzarchitektur, die eine Integration aller Datenquellen, Modularität sowie eine effiziente Informationsbereitstellung ermöglicht, wurden in den Kapiteln 5.6.1 und 5.6.6 definiert. Des Weiteren konnte eine Detaillierung der Antwort auf die erste Teilforschungsfrage zu den Aufgaben eines betrieblichen Umweltinformationssystems erzielt werden, indem 62 konkrete Anwendungsfälle identifiziert wurden (vgl. Anhang).

Hierdurch wurde auch bereits ein Großteil der zentralen Forschungsfrage beantwortet:

Wie kann ein betriebliches Umweltinformationssystem unternehmensspezifisch gestaltet werden?

Um die Hauptforschungsfrage jedoch abschließend beantworten zu können, muss die entwickelte Methode validiert werden. Die Validierung anhand von zwei Fallbeispielen erfolgt im nächsten Kapitel.

6 Validierung der Methode anhand von zwei Fallbeispielen aus dem produzierenden Gewerbe

In diesem Kapitel wird die entwickelte Methode aus Kapitel 5 anhand von zwei Fallbeispielen validiert. Für die zwei Fallbeispiele wurden zwei Unternehmen ausgesucht, die sich in Bezug auf ihre Unternehmensgröße, Variantenvielfalt, Branche und Reifegrad unterscheiden (vgl. Abbildung 38). Hierdurch soll sichergestellt und gezeigt werden, dass die Methode generell für Unternehmen des produzierenden Gewerbes geeignet ist.



Abbildung 38: Übersicht über die Unternehmen der Fallbeispiele

Im weiteren Kapitel werden das methodische Vorgehen der Validierung erläutert sowie die beiden Fallbeispiele jeweils den Phasen der Methode folgend vorgestellt. Es wird außerdem je ein abschließendes Fazit für die Validierung gezogen.

6.1 Methodisches Vorgehen nach Mayring

Da es sich bei der folgenden Validierung um qualitative Forschung handelt, werden die Gütekriterien nach Mayring zugrunde gelegt (Mayring 2008, S. 144–148):

- Verfahrensdokumentation: Ergebnisse müssen dokumentiert werden.
- Argumentative Interpretationsabsicherung: Interpretationen müssen mit Argumenten abgesichert werden.
- Regelgeleitetheit: Systematisches Vorgehen für die Durchführung qualitativer Forschung muss sichergestellt werden.
- Nähe zum Gegenstand: Forschung soll in der „Alltagsumgebung“ stattfinden.
- Kommunikative Validierung: Subjektivität durch den Forschenden oder die Forschende soll durch die Rückspiegelung der Ergebnisse vermindert werden.
- Triangulation: Subjektivität durch den Forschenden oder die Forschende soll durch die Verwendung mehrerer Datenquellen vermindert werden.

Die Abbildung 39 stellt dar, wie die sechs Gütekriterien nach Mayring in dieser Arbeit und mithilfe der Validierung adressiert werden.

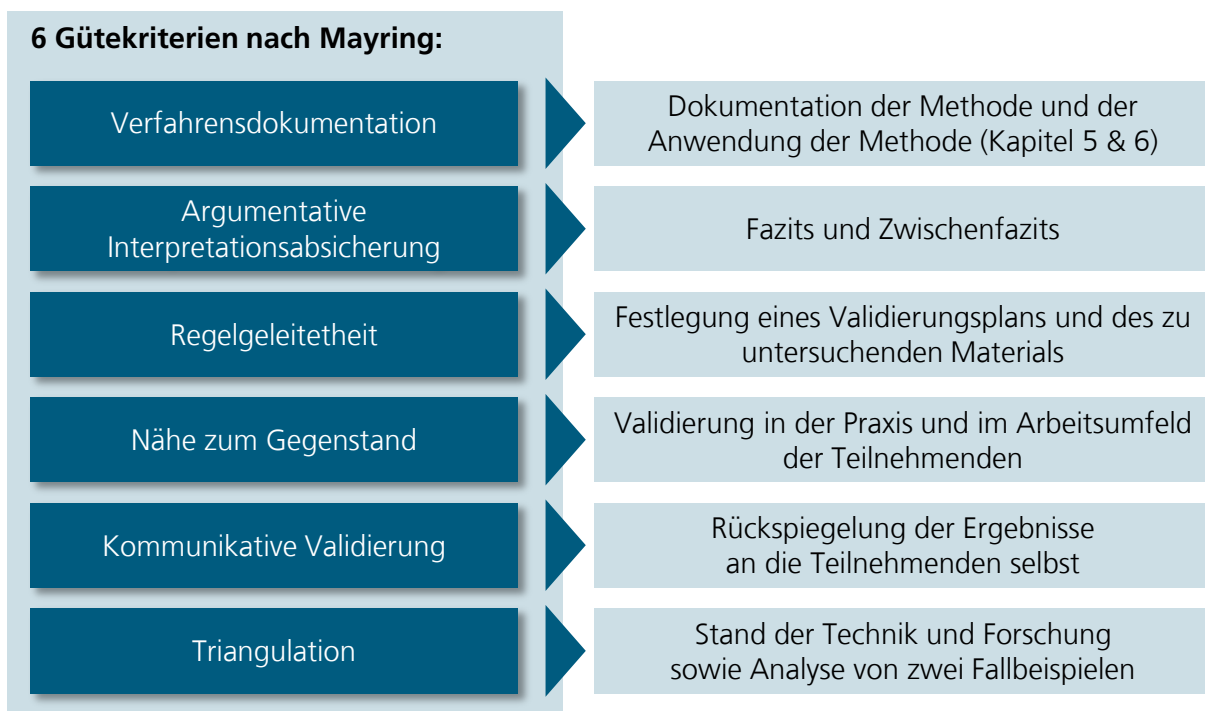


Abbildung 39: Gütekriterien nach Mayring und deren Adressierung in dieser Arbeit (Mayring 2008, S. 144–148)

Die Methode selbst wurde bereits im Kapitel 5 dokumentiert und deren Anwendung und Validierung wird in diesem Kapitel beschrieben, sodass das Kriterium der *Verfahrensdokumentation* erfüllt ist. Durch die Fazits und Zwischenfazits in diesem Kapitel werden die Ergebnisse reflektiert und somit die *argumentative Interpretationsabsicherung* adressiert. Die Methode wurde definiert und die Validierung orientiert sich an den definierten Schritten. Daher wird der Validierungsplan bzw. Projektplan mit dem Projektteam anhand der entwickelten Methode festgelegt und die *Regelgeleitetheit* erfüllt. Durch die Validierung in der Praxis und im Arbeitsumfeld der Projektteams wird die *Nähe zum Gegenstand* sichergestellt. Die Verminderung der Subjektivität durch den Forschenden oder die Forschende wird durch die Rückspiegelung und Diskussion der erarbeiteten Ergebnisse mit den Teilnehmenden (*kommunikative Validierung*) erreicht. Durch die Recherche im Stand der Forschung und Technik sowie die Validierung anhand von zwei Fallbeispielen werden verschiedene Datenquellen einbezogen und so eine *Triangulation* ermöglicht.

6.2 Validierung mit der PNZ-Produkte GmbH

Die PNZ-Produkte GmbH ist einer der führenden Anbieter im Bereich umweltfreundliche und nachhaltige Holzschutz- und Holzpflegeprodukte und kann somit der Prozessindustrie zugeordnet werden. Das Unternehmen ist nach B Corporation, ISO 14001 und ISO 9001 zertifiziert und verfügt über eine klimaneutrale, nach Scope 3 zertifizierte Lieferkette. Es hat einen Standort, der in Deutschland ist und an dem insgesamt 50 Beschäftigte arbeiten. Daher gehört es zu den kleinen Unternehmen. Das Produkt kann als einfach fertigbar charakterisiert werden, jedoch besteht mit ca. 45.000 unterschiedlichen Artikeln im Sortiment eine hohe Variantenvielfalt. (PNZ-Produkte GmbH)

6.2.1 Planung des Prozesses

Im Folgenden werden die Schritte zur Planung und Durchführung der Methode bei der PNZ-Produkte GmbH beschrieben.

Definition eines Projektplans mithilfe des Reifegradmodells

Durch ein Vorgespräch konnte das Unternehmen zunächst in das Reifegradmodell eingeordnet werden. Das Unternehmen nutzt Nachhaltigkeit und Umweltfreundlichkeit als Wettbewerbsvorteil aus und die Geschäftsführung sieht die strategische Bedeutung des Themas. Es wird außerdem kontinuierlich an Verbesserungen in diesem Bereich gearbeitet – sowohl durch neue Produkte als auch durch Zertifizierungen, Lieferantenmanagement und Prozessoptimierungen. Daher ist das Unternehmen im Umweltmanagement als *proaktiv* einzustufen. Für die Bestimmung des Digitalisierungsgrads wurde der Online-Selbsttest durchgeführt. Aufgrund einer fragmentierten IT-Struktur und nur teilweise digitalisierten Prozessen wurde das Unternehmen als *inkohärent* eingestuft. Somit ergeben sich die Schwerpunkte der Methode in den Schritten 2 bis 7 sowie 12, 13 und 15.

Anschließend wurde ein Projektplan inklusive eines ersten Projektteams und einer Verantwortlichen für die Methode erstellt. Das Projektteam bestand aus der Geschäftsführung, dem Labor bzw. Forschung und Entwicklung. Diese Personen sind auch hauptverantwortlich mit den Aufgaben des Umweltmanagements betraut und repräsentieren noch weitere Unternehmensfunktionen, wie Controlling oder Qualitätssicherung. Mit diesem Projektteam konnte ein Projektplan mit einer parallelen Auswahl der Methoden zur Anforderungserhebung erstellt und abgestimmt werden. Die Erfahrung mit den jeweiligen Methoden wurde vom Projektteam als mittel eingestuft, die Erfahrung in der Domäne aufgrund der Querschnittsfunktionen im Team als hoch. Insgesamt bestand im Projekt eine niedrige Zeitbegrenzung. Wie in Kapitel 5.3.1 beschrieben, unterscheidet sich die Art der Informationen. In frühen Phasen der Methode werden eher strategische Informationen, in späteren Phasen operative Informationen erhoben. Tabelle 8 verdeutlicht mit den beschriebenen Voraussetzungen die Eignung der Methoden. Hervorgehoben sind die Methoden, die die größte Eignung für die Anwendung bei strategischen sowie bei operativen Informationen aufweisen.

Tabelle 8: Eignung der Methoden für die Validierung bei PNZ-Produkte GmbH

	Erfahrung Methode	Erfahrung Domäne	Zeitbegrenzung	Art der zu erhebenden Informationen		Eignung Methode bei strategischen Informationen	Eignung Methode bei operativen Informationen
	mittel	hoch	niedrig	strategisch	operativ		
Workshops	●	●	●	●	○	4	-
Fokusgruppen	●	●	●	●	◐	4	3,5
Szenarien	●	◐	●	◐	◐	3	3
Fragebogen	●	●	●	◐	●	3,5	4
Beobachtung von Aufgaben / Prozessanalyse	●	◐	●	◐	●	3	3,5
Beobachtung von Personen	●	◐	●	●	●	3,5	3,5
Card Sorting	●	●	●	○	◐	-	3,5
Repertory Grid	●	●	●	○	◐	-	3,5
Nominalgruppen-Technik	●	◐	●	●	○	3,5	-
Prototyping	●	●	●	◐	●	3,5	4
Dokumentenanalyse	●	●	●	●	●	4	4

● anwendbar ◐ indifferent; kann zu guten Ergebnissen führen ○ nicht anwendbar

Für die Erhebung von strategischen Informationen in den Schritten 2 bis 5 wurden Workshops und die Dokumentenanalyse als Methoden ausgewählt. Dieses betrifft die Schritte zur Identifikation der Stakeholder, die Ermittlung der Rahmenbedingungen, die Auswahl der Anwendungsfälle sowie die Identifikation nicht-funktionaler Anforderungen. Fokusgruppen wurden aufgrund der zu kleinen Anzahl der Teammitglieder abgelehnt. Für die Erhebung der operativen Informationen in den Schritten 6 bis 17 wurden als Methoden eine Dokumentenanalyse und Prototyping ausgewählt. In Abbildung 40 ist eine Übersicht über die Phasen mit denjenigen Schritten, in denen die ausgewählten

Methoden verwendet werden, dargestellt. Neben den bereits genannten Methoden werden außerdem die Methoden AHP zur Auswahl eines Informationssystems und BPMN zur Beschreibung von Workflows angewendet (vgl. Kapitel 5.6.5 und 5.6.8).

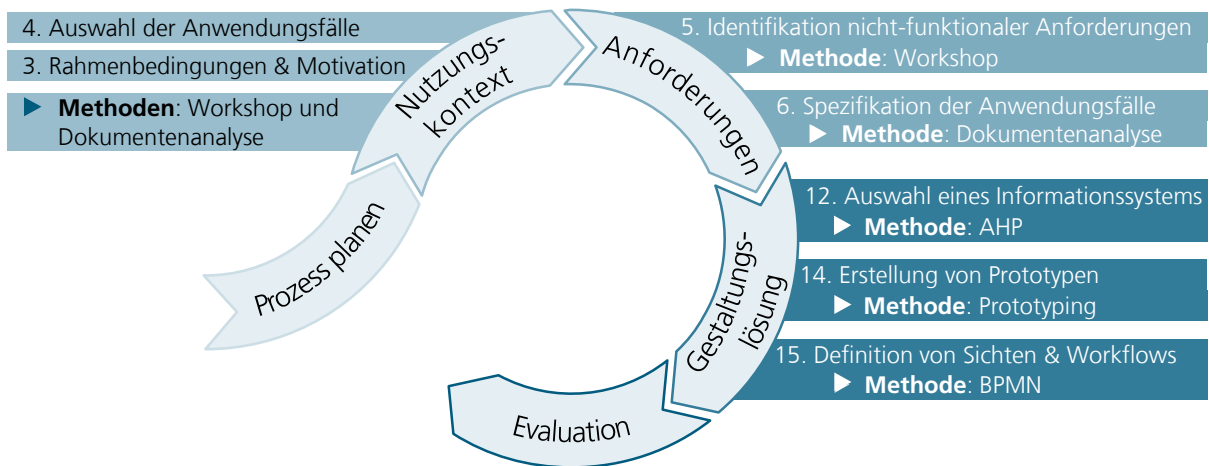


Abbildung 40: Übersicht über die verwendeten Methoden für die PNZ-Produkte GmbH

Identifikation der Stakeholder

In diesem Schritt wurden die Stakeholder für die Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems identifiziert. Anfangs wurden lediglich die Mitglieder des Projektteams als Stakeholder ausgewählt. Mithilfe einer Iteration nach der Auswahl der Anwendungsfälle wurden die Stakeholder vervollständigt und um interne Datenlieferanten, Sekundärnutzerinnen und -nutzer sowie interne und externe Adressatinnen und Adressaten ergänzt. Die internen und externen Adressatinnen und Adressaten stellen keine Nutzerinnen und Nutzer des zu gestaltenden Informationssystems dar, da sie mit diesem nicht interagieren werden. Insbesondere die Geschäftsführung, das Labor als Umwelt- und Qualitätsmanagementbeauftragter und die IT wurden für eine aktive Teilnahme im Projektteam benötigt. Da die IT des Unternehmens keine Erfahrung im Bereich des Umweltmanagements, also der Domäne, hat, wurde ihre aktive Einbindung ab der Definition der Gestaltungslösung, bei der verstärkt die technologische Komponente eine Rolle spielt, als sinnvoll erachtet. Die finale Übersicht

über die relevanten Stakeholder inklusive ihrer Rolle, Erfahrung, Priorität und Involvierung ist im Anhang zu finden.

6.2.2 Erarbeitung des Nutzungskontexts

Für den Nutzungskontext wurden innerhalb eines Workshops und mithilfe einer Dokumentenanalyse die Rahmenbedingungen und Motivation ermittelt sowie die Anwendungsfälle ausgewählt.

Ermittlung der Rahmenbedingungen und der Motivation

Durch das Vorgespräch konnten einige Rahmenbedingungen bezüglich des Umweltmanagements und für ein betriebliches Umweltinformationssystem bereits ermittelt werden. Durch die proaktive Ausrichtung des Umweltmanagements (*„Nachhaltigkeit ist in der DNA unseres Unternehmens verankert“*, Zitat Geschäftsführer) hat sich das Unternehmen folgende Umweltziele gesetzt:

- Umweltneutralität in Bezug auf Emissionen,
- Kreislaufführung der Produkte,
- technologischer Vorreiter, insbesondere hinsichtlich chemischer Grundstoffe aus CO₂,
- kontinuierliche Weiterentwicklung der Produkte für mehr Nachhaltigkeit,
- Erfüllung der B Corporation-Zertifizierung¹,
- Verbesserung hinsichtlich der SDGs.

¹ Zertifizierung für Unternehmen, die die nachhaltige Gesamtleistung eines Unternehmens anhand von Kennzahlen und einer speziellen Wirkungsabschätzung misst (<https://www.bcorporation.de/>)

Bei der Aufnahme der aktuellen Situation des Umweltmanagements wurden Herausforderungen identifiziert. Viele Daten werden für unterschiedliche Aufgaben, wie Nachhaltigkeitsberichtserstellung, ISO-Zertifizierung oder Kompensation von Treibhausgasen, mehrfach erhoben. Aufgrund der manuellen Erhebung der Daten entsteht somit ein erheblicher Mehraufwand und Verzögerungen. So müssen beispielsweise Rechnungen manuell herausgesucht werden:

„Falls die entsprechende Person (im Einkauf oder in der Produktion) krank ist oder Urlaub hat, können die Daten erstmal nicht erhoben werden.“ (Zitat Umweltmanagementbeauftragter)

Zukünftige Aufgaben des Umweltmanagements werden sich verstärkt auf die Lieferkette konzentrieren, um hier reale und keine durchschnittlichen Umweltauswirkungen der Rohstoffe durch den Lieferanten übermittelt zu bekommen und so auf eine bessere Datengrundlage für Verbesserungen zurückgreifen zu können.

Bei der Dokumentenanalyse wurde außerdem festgestellt, dass verschiedene Excel- und Worddokumente zum Monitoring der Umweltziele oder Erfüllung der ISO-Zertifizierung verwendet werden. Es wurden Unterlagen zu Umweltzielen, Gefahrstoffen, Abfallbilanzen, Lieferanten, Prüfberichten, Maschinenwartungen und ein Managementhandbuch untersucht. Es existiert keine einheitliche Datenhaltung und somit auch keine „Single Source of Truth“. Die hohe Variantenvielfalt der zu produzierenden Produkte erschwert die Datenerhebung zusätzlich. Als weitere Informationssysteme sind ein ERP-System sowie ein Content Management System, namentlich Plone, im Einsatz.

Als Rahmenbedingung für das betriebliche Umweltinformationssystem wurde genannt, dass es aus einer Open-Source-Lösung bestehen sollte, damit die eigene IT die Lösung entsprechend anpassen und warten kann.

Aus den Rahmenbedingungen können die Motivation und die Ziele für die Einführung eines betrieblichen Umweltinformationssystems abgeleitet werden. Im Workshop wurden daher folgende Punkte in Abbildung 41 genannt und zusammengefasst, die mithilfe eines solchen Informationssystems verbessert bzw. erreicht werden sollen.









Motivation 	Vereinfachung für ISO/Zertifizierungen etc.	Überblick über die tatsächlichen Verbräuche und Stoffströme	Alle Mitarbeitenden können Daten in ein System eingeben
	Verbesserungs- und Einsparpotentiale finden	Daten sollten elektronisch verfügbar sein	Häufigere Datenauswertung ermöglichen (> einmal jährlich)
	Mehrfache Datenerhebung vermeiden	Strukturierte Datenerfassung und -speicherung (derzeit: Daten verteilt und nicht auffindbar, wenn entsprechende Person abwesend)	

Abbildung 41: Motivation und Ziele für den Einsatz eines betrieblichen Umweltinformationssystems für die PNZ-Produkte GmbH

Auswahl der Anwendungsfälle

Nach Ermittlung der Motivation und Rahmenbedingungen wurden durch Fortsetzung des Workshops und der Dokumentenanalyse insgesamt sieben Anwendungsfälle für das Umweltcontrolling des Unternehmens identifiziert. Hier wurden die Dokumente aus dem vorherigen Schritt sowie zusätzlich der Nachhaltigkeitsbericht der PNZ-Produkte GmbH untersucht. Bei der Auswahl der Anwendungsfälle musste darauf geachtet werden, dass die Anwendungsfälle möglichst überschneidungsfrei definiert werden. Die finalen Anwendungsfälle können der Tabelle 9 entnommen werden. Analog Abbildung 28 wurden diese beschrieben und die zugrundeliegende Methode, Systemgrenze, Frequenz, Unternehmensfunktionen, Adressatinnen und Adressaten bestimmt. Alle Anwendungsfälle wurden als Muss-Anwendungsfälle priorisiert. Insbesondere der fünfte Anwendungsfall zur Erfassung der Umweltauswirkungen der Produkte über den gesamten Lebenszyklus stellt die zukünftige Entwicklung des Umweltmanagements dar. Für diesen Anwendungsfall sollen vermehrt Lieferantendaten eingebunden werden, um die realen Umweltauswirkungen zu messen und nicht rein auf Durchschnittswerte zurückgreifen zu müssen. Die hierfür erforderlichen Daten werden detailliert bei der Spezifizierung der Anwendungsfälle aufgenommen.

Tabelle 9: Identifizierte Anwendungsfälle für die PNZ-Produkte GmbH

Zielsetzung	Beschreibung	Methode (Standard/Norm)	Systemgrenze	Frequenz	Unternehmensfunktionen	Adressatinnen und Adressaten
 <p>1 Erfassung der THG-Emissionen</p>	<p>Als Umweltbeauftragter möchte ich die THG-Emissionen von PNZ erfassen, um die Anforderungen von SBTI zu erfüllen.</p>	GHG Protocol, SBTI	Unternehmen	Jahr	Geschäftsleitung, Einkauf, Labor, Personal	Beschäftigte, SBTI, Climate-neutral Group
 <p>2 B Corporation</p>	<p>Als Geschäftsleitung möchte ich die Kriterien von B Corp erfüllen, um eine Orientierungshilfe zu haben und als gläubwürdiger Partner für unsere Stakeholder wahrgenommen zu werden.</p>	BIA, SDG 17	Unternehmen	Jahr	Geschäftsleitung, Labor, Personal	Beschäftigte, Öffentlichkeit, Banken, Kunden, Region (Anwohner)
 <p>3 ISO 9001/14001 Zertifizierung</p>	<p>Als integrierter Managementbeauftragter möchte ich erfolgreich die ISO 9001 & 14001 Zertifizierung erfüllen, um Kundenanforderungen zu erfüllen, den Betrieb strukturiert zu verbessern und Mindeststandards einzuhalten.</p>	ISO 14001, 9001	Unternehmen	Jahr (intern+ externes Audit)	Management-beauftragter, Einkauf, Labor, Personal, Produktion, Marketing, IT, Verkauf, Verwaltung, Geschäftsleitung	Einkauf, Labor, IT, Verkauf, Produktion, Personal, Geschäftsleitung, Marketing, Öffentlichkeit, Kunden, Branchenverband
 <p>4 Produktionsmonitoring</p>	<p>Als Produktionsleitung möchte ich meine Inputs & Outputs kennen, um sicherzustellen die Umweltauswirkungen zu minimieren und Verbesserungen zu identifizieren.</p>		Produktion	Echtzeit bei Event + monatlich	Labor, Produktion	Geschäftsleitung, Labor, Produktion
 <p>5 Erfassung der Umweltauswirkungen der Produkte über Lebenszyklus</p>	<p>Als Produktentwicklerin möchte ich die Umweltauswirkungen der Rohstoffe und Produkte über den Lebenszyklus wissen und besser verstehen, um die Produkte, ihre Herstellung, Nutzung und Entsorgung hinsichtlich Nachhaltigkeit zu verbessern.</p>	GHG Protocol, Ökobilanzierung/ Sicherheitsdatenblätter (SD-Blätter)	Produkt	Event bei neuen Rohstoffen	Labor, Einkauf, Produktion, Verkauf	Geschäftsleitung, Labor, Produktion, Verkauf, Einkauf
 <p>6 Erfassung der Umweltauswirkungen der Produkte über Lebenszyklus</p>	<p>Als Produktentwicklerin möchte ich die Umweltauswirkungen der Rohstoffe und Produkte über den Lebenszyklus wissen und besser einzuhalten.</p>	Einstufung / Sicherheitsdatenblätter	Prozess	Event	Labor, Einkauf, Produktion, Verkauf	Produktion, Labor
 <p>7 Nachhaltigkeitsberichterstattung angelehnt an ISO 26000</p>	<p>Als Geschäftsleitung möchte ich einen Nachhaltigkeitsbericht angelehnt an ISO 26000 und UN Global Compact erstellen, um eine Orientierungshilfe für uns zu haben und als gläubwürdiger Partner für unsere Stakeholder wahrgenommen zu werden.</p>	Global Compact, ISO 26000, SDG	Unternehmen	Jahr	Geschäftsleitung, Einkauf, Labor, Personal, Produktion, Marketing, IT, Verkauf, Verwaltung	Beschäftigte, Öffentlichkeit, Banken, Kunden, Region (Anwohner), Branchenverband

Die Anwendungsfälle decken darüber hinaus die drei Perspektiven (Zielperspektive, Stakeholderperspektive und Ressourcenperspektive) ab, da diese nach der Sammlung der Anwendungsfälle gegengecheckt wurden. Einzig das Ziel „technologischer Vorreiter, insbesondere hinsichtlich chemischer Grundstoffe aus CO₂“ wird durch die Anwendungsfälle nicht adressiert, da es sich nicht primär um eine Aufgabe des Umweltcontrollings handelt, sondern um ein Forschungsprojekt. Ansonsten werden alle Ziele, Stakeholder und Ressourcen adressiert.

6.2.3 Definition der Anforderungen

In dieser Phase wurden ebenfalls in einen Workshop und anhand einer Dokumentenanalyse weitere Anforderungen erhoben sowie die Anwendungsfälle mit den benötigten Informationen und Daten spezifiziert.

Identifikation nicht-funktionaler Anforderungen

Da die nicht-funktionalen Anforderungen für das Projektteam zunächst unklar waren, wurden diese für ein betriebliches Umweltinformationssystem unter Verwendung des VOLERE-Templates identifiziert (vgl. Abbildung 29). Diese umfassen die Nutzungsfreundlichkeit in Form des Bedienkomforts und der Verständlichkeit. Die erforderlichen Informationen sollten einfach und übersichtlich zu finden und dargestellt werden. Die Eingabe von Daten sollte darüber hinaus ebenfalls einfach gestaltet werden, sodass auch Personen, die dieses Informationssystem selten benutzen, Daten eintragen können. Wartbarkeit und Support sowie möglichst eine Unabhängigkeit von externen Dienstleistern waren dem Unternehmen sehr wichtig. Dieses deckt sich mit der Rahmenbedingung der Open-Source-Lösung, damit die eigene IT die Lösung implementieren und warten kann. Sicherheit bezüglich der Datensicherung musste ebenfalls gegeben sein. Des Weiteren musste eine Anpassbarkeit der Anwendungsfälle, also der dahinterliegenden Informationen und Daten, gewährleistet werden, um den sich ändernden Anforderungen Rechnung zu tragen.

Spezifikation der Anwendungsfälle

Die sieben identifizierten Anwendungsfälle wurden in diesem Schritt mithilfe einer detaillierten Dokumentenanalyse spezifiziert. Hierfür wurde das in Abbildung 30 dargestellte Template verwendet. Es wurden die benötigten Funktionen und Aufgaben für ein betriebliches Umweltinformationssystem identifiziert sowie Erfüllungskriterien definiert. Beispielsweise ist ein Erfüllungskriterium für den Anwendungsfall 6, dass „alle neuen Rohstoffe systematisch und zuverlässig hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen überprüft werden können.“

Gleichzeitig wurden die benötigten Kennzahlen und Informationen identifiziert und aufgeschlüsselt, sodass die zugrundeliegenden Daten mit den Kontextinformationen und benötigten Dokumenten ermittelt werden konnten. Insgesamt wurden ca. 270 benötigte Datenpunkte identifiziert, wie Umsatz in €, Heizölverbrauch in l, anfallende Entsorgung in kg oder verbrauchtes Papier in kg.

Anforderungsdokumentation

In diesem Schritt wurden die funktionalen Anforderungen basierend auf den Anwendungsfällen sowie die nicht-funktionalen Anforderungen dokumentiert und zusammengefasst. Ein Überblick über die bisher identifizierten gewünschten Spezifikationen des betrieblichen Umweltinformationssystems und die Organisation des Umweltmanagements ist im morphologischen Kasten in Abbildung 42 festgehalten. Die Datenerhebungsfrequenz, Schnittstellen zu anderen Systemen und die Integration des Informationssystems werden erst durch die Gestaltungslösung in der nächsten Phase festgelegt und sind daher im morphologischen Kasten nicht dargestellt. Konflikte zwischen den Anforderungen sind nicht aufgetreten.

Merkmal		Ausprägung																		
		reaktiv				unterstützend				präventiv				proaktiv						
Organisation des Umweltmanagements	Reifegrad																			
	Unternehmensfunktionen	Management	Controlling	Rechnungswesen	Umweltmanagement	Arbeits-sicherheit	Qualitätsmanagement	Personal	Rechtsabteilung	F&E	Marketing	Einkauf	Produktion	Logistik	Vertrieb	Entsorgung & Recycling				
	Interne Adressaten	Management	Controlling	Rechnungswesen	Umweltmanagement	Arbeits-sicherheit	Qualitätsmanagement	Personal	Rechtsabteilung	F&E	Marketing	Einkauf	Produktion	Logistik	Vertrieb	Mitarbeiter/-innen				
	Externe Adressaten	Banken & Ver-sicherungen	Gesetzgeber & Behörden	Investierende	Kundschaft	Lieferanten	Medien	Öffentlichkeit	Standardisierung & Zertifizierung	Verbände & NGOs	Wettbewerber									
	Funktionen des Umwelt-controllings	Informationsversorgung				Planungs- und Kontrollfunktion				Koordinationsfunktion				Rationalitätssicherung						
BUIS Spezifikationen																				
Systemgrenze	Unternehmens-übergreifend	Konzern	Unternehmen	Fabrik/Standort	Unternehmens-funktion/ Kostenstelle	Produkt	Prozess	Maschine/ Anlage												
Aufgaben	Berichterstat-tung (extern)	Berichterstat-tung (intern)	Unterstützung Prozess-planung	Unterstützung Prozess-monitoring	Prozessunter-stützung/ Leitfaden	Informations-schnittstelle	Organisations-unterstützung	Umwelt-bilanzierung	Entscheidungs-unterstützung	Kosten-rechnung										
Funktionen / Services	Analyse	Modellierung	Simulation	Echtzeit-Monitoring	Dokumenten-management	Workflow-komponente	Report-generierung	Visualisierung	Daten-management											
Datenarten	Stoff- und Materialstammdaten		Strukturdaten		Prozessdaten		Stoff- und Energieflussdaten		Organisationsdaten		Kostendaten									
Datengenaugigkeit	Messdaten												Kalkulierte Daten				Definierte Daten			
		Relevante Aspekte für die PNZ-Produkte GmbH																		

Abbildung 42: Übersicht über die Organisation des Umweltmanagements sowie die Spezifikationen des betrieblichen Umweltinformationssystems der PNZ-Produkte GmbH in Form des morphologischen Kastens

6.2.4 Definition der Gestaltungslösung

In dieser Phase wurde mithilfe des Referenzdatenmodells und der Referenzarchitektur sowie durch die Methoden AHP und Prototyping die Gestaltungslösung definiert. Auch wurde ab diesem Zeitpunkt die IT in das Projektteam eingebunden.

Definition des Datenmodells

Das Datenmodell des Unternehmens wurde anhand der identifizierten Daten aus den Anwendungsfällen und dem Referenzdatenmodell entwickelt. Die Daten wurden zunächst über alle Anwendungsfälle hinweg konsolidiert und den Klassen des Referenzdatenmodells zugeordnet. In Abbildung 43 ist das finale Datenmodell abgebildet.

Für das Unternehmen waren aufgrund der Unternehmensgröße die Klassen Konzern, Standort und Kostenstellen nicht relevant. Daten der Klassen Betriebsstoffe, Koppelprodukte und weitere Umweltaspekte wurden durch das Unternehmen nicht betrachtet und zusätzlich war eine Unterscheidung zwischen Input und Output nicht notwendig. Daher entfallen diese Klassen. Weitere physikalische Inputs war Wasser, sodass hier eine Klasse Wasser definiert wurde. Die Klasse Material wurde zusätzlich in die Unterklassen Rohstoffe, Gebinde und Verpackungen eingeteilt. Darüber hinaus werden ebenfalls aufgrund der Größe des Unternehmens keine Zugriffsrechte benötigt, sodass dieses Attribut in der Klasse umweltrelevante Daten entfällt.

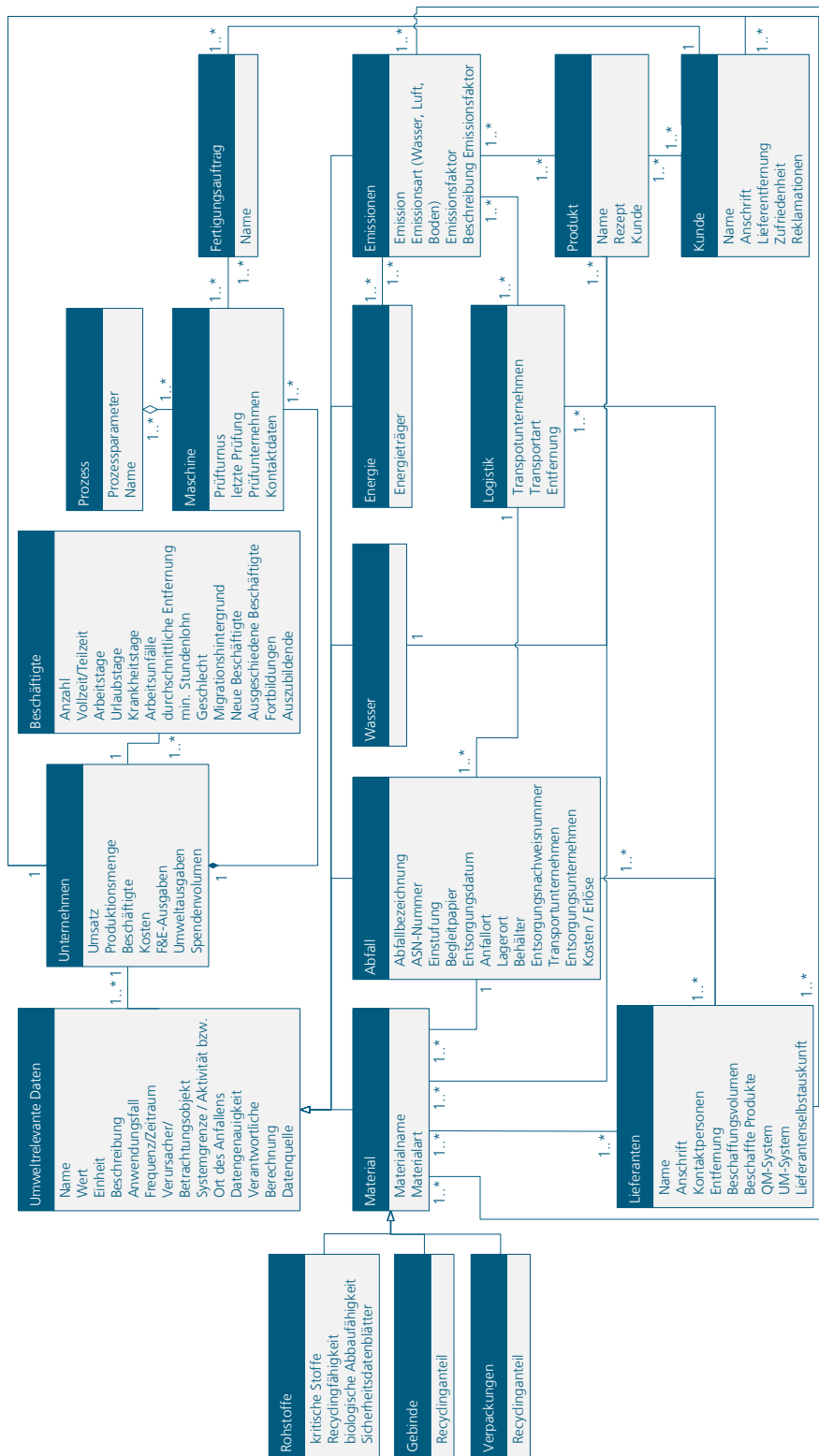


Abbildung 43: Datenmodell für das Umweltcontrolling für die PNZ-Produkte GmbH

Analyse der Informationssysteme

In diesem Schritt wurden anhand der konsolidierten Daten die bestehenden Informationssysteme analysiert und potentielle Datenquellen identifiziert (vgl. Abbildung 44). Zentrales Informationssystem des Unternehmens ist das Content Management System Plone. Dieses spiegelt die hohe Präferenz des Unternehmens für Open-Source-Software wider. Über dieses System werden die technischen Spezifikationen, also z.B. Rezepturen, Verpackungslayout, die benötigten Etikettierungen und weitere Produktinformationen verwaltet. Es bestehen außerdem Schnittstellen zum Onlineshop und zum Internetauftritt des Unternehmens. Hierdurch wird gewährleistet, dass die Produktinformationen immer auf dem aktuellsten Stand sind und eine „Single Source of Truth“ vorhanden ist. Zudem existiert ein älteres ERP-System, welches zukünftig ersetzt werden soll. Hier wird eine Überführung der Daten in Plone geplant und ist zum Zeitpunkt der Validierung bereits teilweise umgesetzt, sodass Daten zu Kundinnen und Kunden sowie Umsatzdaten bereits in Plone vorhanden sind.

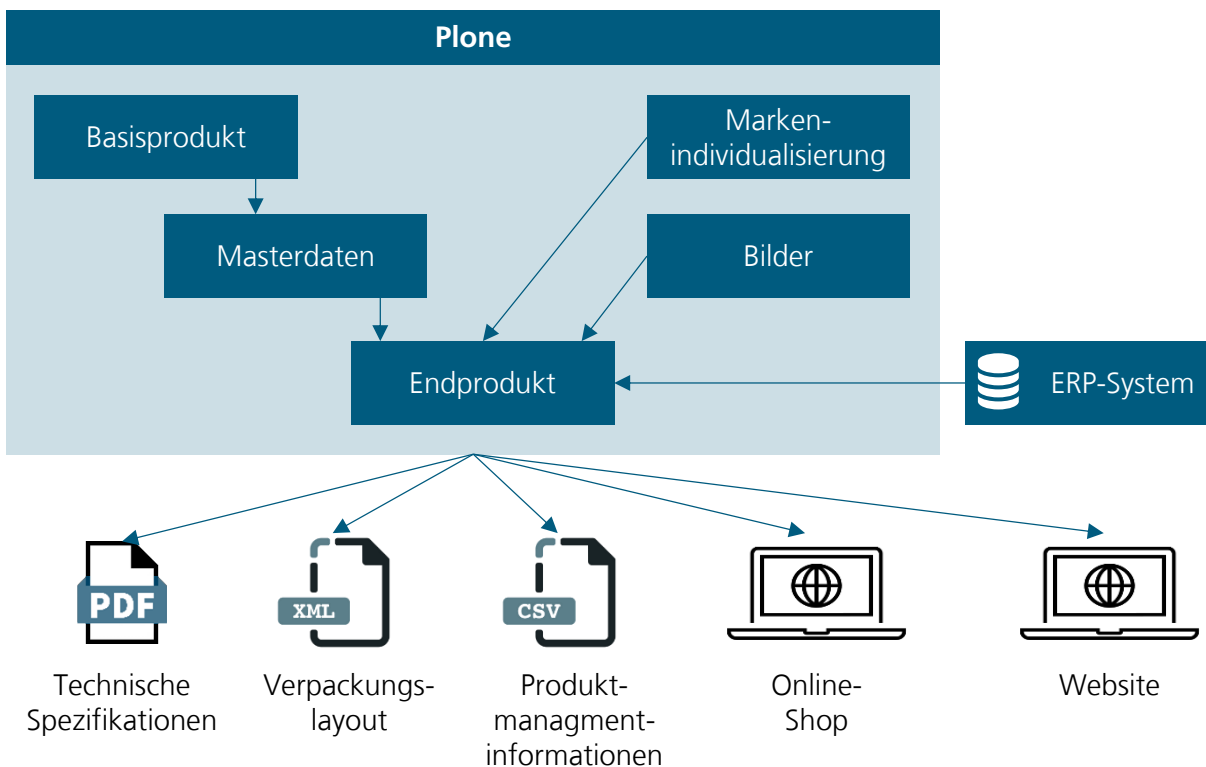


Abbildung 44: Informationssysteme der PNZ-Produkte GmbH

Weitere Software, die für das Umweltcontrolling und zur Ermittlung und Dokumentation der benötigten Daten genutzt wird, sind Word und Excel. Die Datenhoheit liegt hier bei der Geschäftsführung und dem Labor. Andere Unternehmensfunktionen besitzen keine Möglichkeit Daten einzutragen. Zusätzlich wird ein externes System zur Kompensation von Treibhausgasen verwendet, in das jährlich die Verbrauchswerte eingetragen werden. Im nächsten Schritt wurden die benötigten mit den vorhandenen Daten abgeglichen.

Abgleich der benötigten mit vorhandenen Umweltdaten

Dieser Schritt soll anhand der konsolidierten Daten der Anwendungsfälle und der identifizierten verfügbaren Daten aus den Informationssystemen mögliche Datenlücken aufdecken. Bei dem vorliegenden Unternehmen fehlten Daten für das Produktionsmonitoring (Anwendungsfall 4), da hier Daten für Abwasser und Abluft in Echtzeit aufgenommen werden sollen. Außerdem müssen einige Daten manuell durch verschiedene Unternehmensfunktionen übertragen werden, sodass ein Workflow-Management und eine Prozessdefinition zur Datenerhebung empfohlen wurden.

Datenerhebungskonzept

Bei dem Abgleich der benötigten mit den vorhandenen Daten ist aufgefallen, dass echtzeitfähige Daten für das Monitoring von Abluft und Abwasser fehlten. Daher wurde im Datenerhebungskonzept definiert, dass für diese beiden Kennzahlen Sensorik an den entsprechenden Stellen installiert und an Plone angebunden werden muss.

Auswahl eines Informationssystems

Die Anforderungen des Unternehmens konnten durch die vorherigen Schritte detailliert aufgenommen werden. Zur Auswahl eines Informationssystems wurden sie in diesem Schritt in Ausschluss- und Leistungskriterien unterteilt. Das Ausschlusskriterium stellt die vollständige Erfüllung der identifizierten Anwendungsfälle dar. Dieses bedeutet, dass ein betriebliches Umweltinformationssystem die benötigten Funktionen zur Verfügung stellen muss. Diese sind für das Unternehmen: Analyse, Echtzeit-Monitoring, Dokumentenmanagement, Workflowkomponente, Reportgenerierung, Visualisierung

und Datenmanagement. Leistungskriterien spiegeln die Präferenzen des Unternehmens wider. Hier werden die nicht-funktionalen Anforderungen des Unternehmens berücksichtigt: Übersichtlichkeit, einfache Dateneingabe, Open-Source-Lösung, Wartbarkeit und Support (am besten durch eigene IT), Anpassbarkeit bei einer Änderung der Anwendungsfälle.

Vor einer finalen Bewertung der zur Auswahl stehenden Informationssysteme wurden diese einer Machbarkeitsanalyse unterzogen. Hierzu wurden die aktuell auf dem Markt verfügbaren Informationssysteme, die mittels Marktrecherche identifiziert wurden (vgl. Anhang), zunächst nach den benötigten Funktionen gefiltert. Da auch Plone potentiell alle Funktionen erfüllen kann und diese Lösung bereits als Content Management System im Unternehmen eingesetzt wird, wurde Plone zusätzlich als mögliche Lösung aufgenommen. Für die so ausgewählten Informationssysteme wurde anschließend die mögliche Integration in die bestehenden Informationssysteme untersucht. Für alle in Tabelle 10 aufgelisteten Informationssysteme fiel die Machbarkeitsanalyse positiv aus, sodass diese über die angebotenen Schnittstellen integriert werden können und die benötigten Funktionen mitbringen. Aufgrund der großen Anzahl an Adressatinnen und Adressaten, benötigten Aufgaben und Funktionen besteht hier die Tendenz zu einer integrierten, individuellen Lösung (vgl. Kapitel 5.6.5).

Nach erfolgreicher Durchführung der Machbarkeitsanalyse wurden die Informationssysteme anhand der Leistungskriterien mithilfe AHP bewertet. Die Bewertung findet sich in Tabelle 10. Aufgrund der sehr guten Erfüllung der Kriterien wurde die Open-Source-Lösung Plone ausgewählt. Dieses bedeutet, dass eine individuelle Lösung ausgewählt wurde, die durch Eigenentwicklung realisiert werden soll. Die Integration ist durch Setzen auf die gleiche Technologie wie das Content Management System, welches das führende System im Unternehmen darstellt, gewährleistet.

Tabelle 10: Auswahl des betrieblichen Umweltinformationssystems

Kriterien		Gewichtung (AHP)	Plone	CSR Hub (Verso)	EHSQ (Enablon)	Optimiso Suit	Quentic
Leistungskriterien	Nutzungsfreundlich	23,5%	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
	Support durch interne IT	45,8%	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
	Open-Source-Lösung	13,1%	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein
	Anpassbarkeit und Erweiterung der erfassten Daten	17,5%	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

Definition der Informationssystemarchitektur

Auf Basis der Auswahl des Informationssystems wurde eine Informationssystemarchitektur entwickelt, die sich an der Referenzarchitektur aus Kapitel 5.6.6 orientiert. Diese ist in Abbildung 45 zu sehen. Sie bildet alle Funktionen und Anwendungsfälle für das Umweltcontrolling ab und zeigt die Datenquellen und -verwendung anhand von farbigen Datenwürfeln. Die unternehmensspezifische Architektur weicht leicht von der Referenzarchitektur ab, da Plone und kein Data Warehouse als zentrales Informationssystem gewählt wurde. Die Anwendungs- und Integrationsschicht lässt sich durch die Verwendung von Plone Addons nicht vollständig voneinander trennen. Dieses wirkt sich auch auf die Data-Marts aus, die durch anwendungsfallsspezifische Sichten ersetzt wurden. Die Architektur ist somit das zentrale Dokument, die eine Übersicht über das zu entwickelnde Informationssystem gibt.

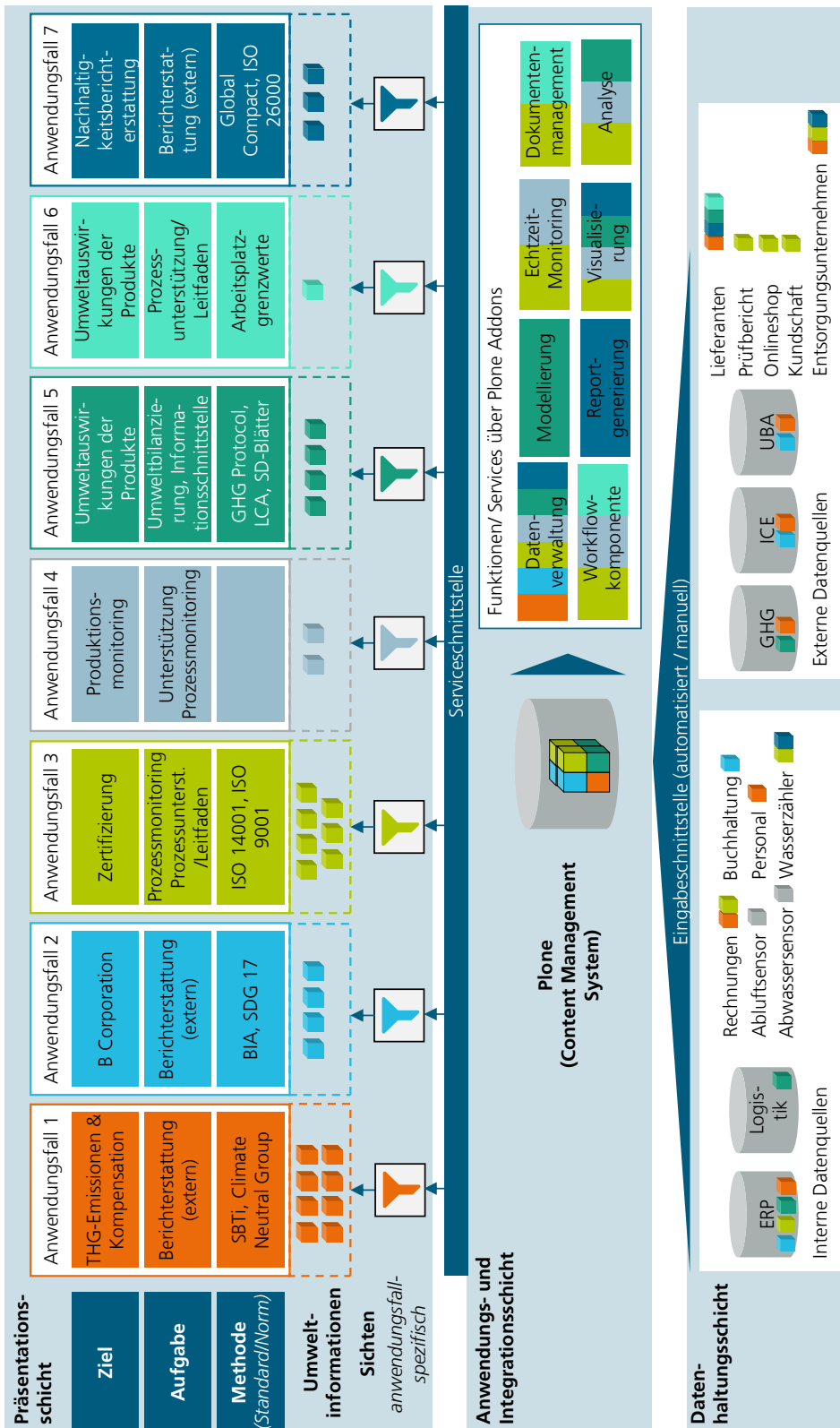


Abbildung 45: Informationssystemarchitektur für die PNZ-Produkte GmbH

Erstellung von Prototypen

In diesem Schritt wurde in mehreren Iterationen ein Prototyp in Form eines Klick-Dummies erstellt, der alle Anwendungsfälle abbildet. Im Anhang ist ein Ausschnitt des erstellten Prototyps, der mit dem Projektteam gemeinsam diskutiert und angepasst wurde. Dieser Prototyp hilft dem Unternehmen bei der letztendlichen Entwicklung, indem die benötigten Funktionen und Visualisierungsart vorab abgesegnet wurden.

Definition von Sichten und Workflows

Parallel zur Erstellung von Prototypen wurden die Sichten definiert. Die Sichten finden sich dann im Prototyp als Teile bzw. Seiten des Klick-Dummies wieder (vgl. Anhang).

Da viele der erforderlichen Daten manuell, z.B. aus Rechnungen, in das zu entwickelnde Informationssystem eingetragen werden müssen, müssen zur Qualitäts- und Aktualitätssicherung Workflows für diese Datenerhebungen erstellt werden. Daher wurden für Daten in Bezug zu Abfall, Emissionsfaktoren, Dienstreisen, Energie, Prüfberichte, Transport und Wartungsplan solche Workflows erstellt. Abbildung 46 zeigt ein Beispiel für die Definition eines solchen Workflows mithilfe BPMN. Die restlichen Workflows sind dem Anhang zu entnehmen.

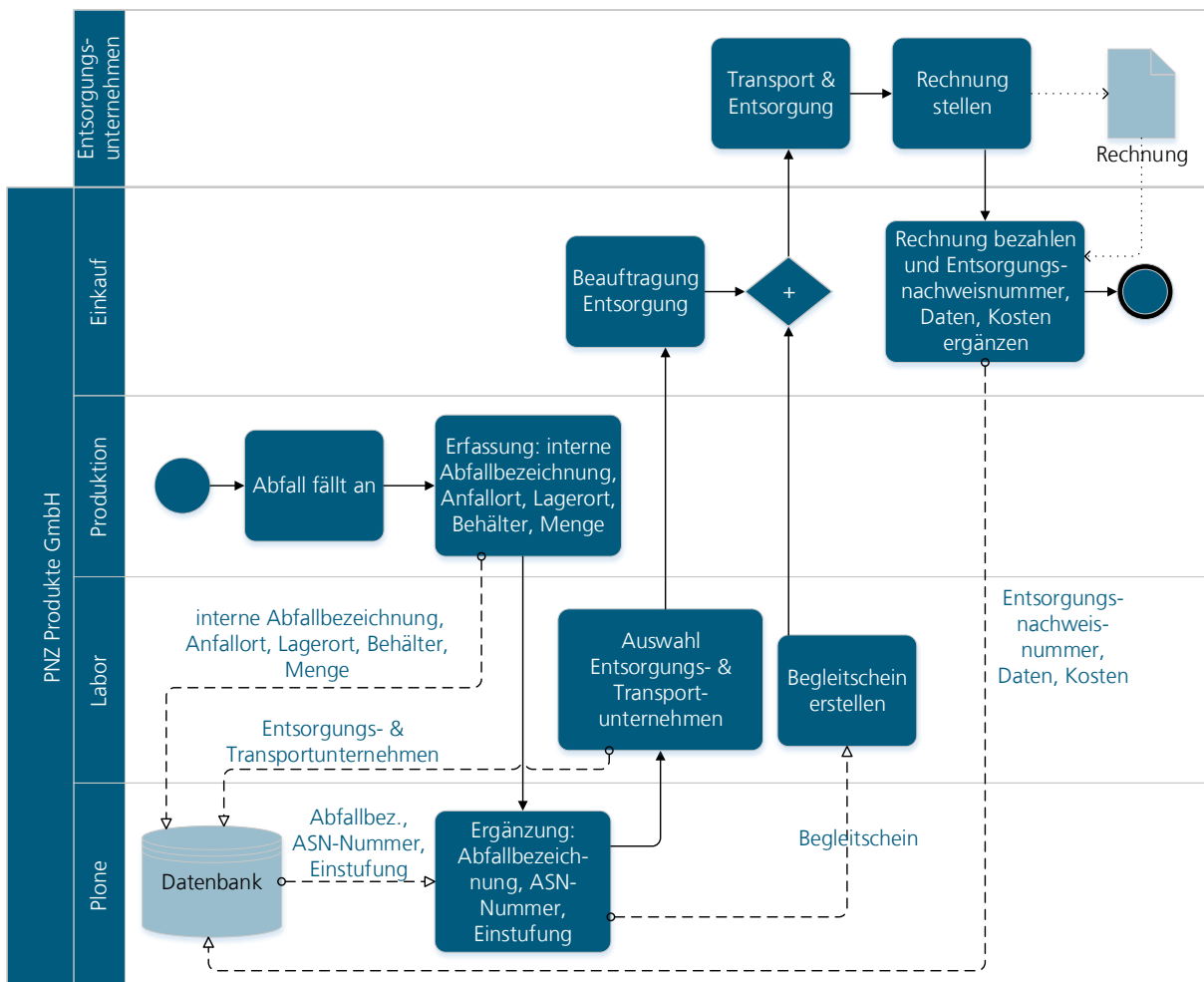


Abbildung 46: Beispiel eines definierten Prozesses zur Erhebung der Abfalldaten Dokumentation und Roadmap

In diesem Schritt wurden alle erstellten Dokumente zusammengefasst. Aufgrund begrenzter Kapazitäten der unternehmensinternen IT-Abteilung wurde außerdem eine Roadmap erstellt, die einen Zeitplan zur Umsetzung des betrieblichen Umweltinformationssystems definiert (vgl. Abbildung 47).

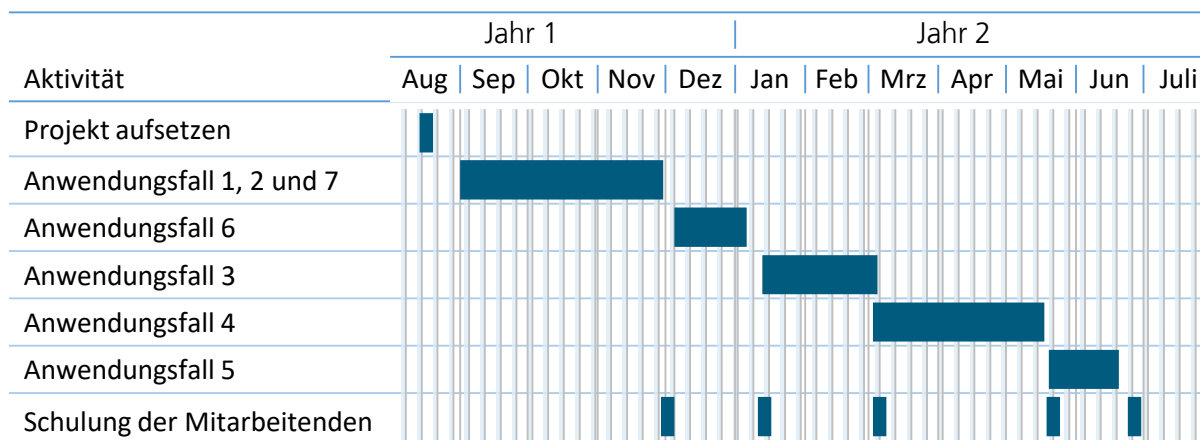


Abbildung 47: Roadmap für die Implementierung des betrieblichen Umweltinformationssystems für die PNZ-Produkte GmbH

Zunächst können die Anwendungsfälle 1, 2 und 7 umgesetzt werden, da hier bereits alle Daten im Unternehmen vorhanden und die Funktionen dieser Anwendungsfälle, Reportgenerierung und Datenverwaltung, sehr ähnlich sind. Diese Anwendungsfälle sind sozusagen „low-hanging fruits“. Im Anschluss ist geplant den Anwendungsfall 6 zu implementieren, da er die Funktionen des betrieblichen Umweltinformationssystems mit Dokumentenmanagement und einer Workflowkomponente leicht erweitert. Der Anwendungsfall 3 benötigt weitere Funktionen, Visualisierung und Analyse. Auch für diesen Anwendungsfall sind bereits alle Daten im Unternehmen vorhanden. Für den Anwendungsfall 4 muss zunächst Sensorik installiert und angebunden werden, daher wird dieser Anwendungsfall erst später angegangen. Der Anwendungsfall 5 ist sehr strategisch und auf die Zukunft ausgerichtet. Hier sollen im besten Fall Lieferantendaten eingebunden werden, die den realen CO₂-Fußabdruck der Produkte übermitteln. Lieferanten haben diese Daten bisher noch nicht vorliegen, weshalb dieser Anwendungsfall als letztes implementiert werden soll.

Diese Roadmap gibt dem Unternehmen einen Anhaltspunkt, wann welche Funktionen und somit Anwendungsfälle umgesetzt werden sollen, und wurde mit dem Projektteam erarbeitet, um eine Reihenfolge und Priorisierung der Anwendungsfälle zu erreichen. Bei Start der Umsetzung des betrieblichen Umweltinformationssystems muss diese Roadmap detailliert werden, sodass ein konkreter Projektplan entsteht.

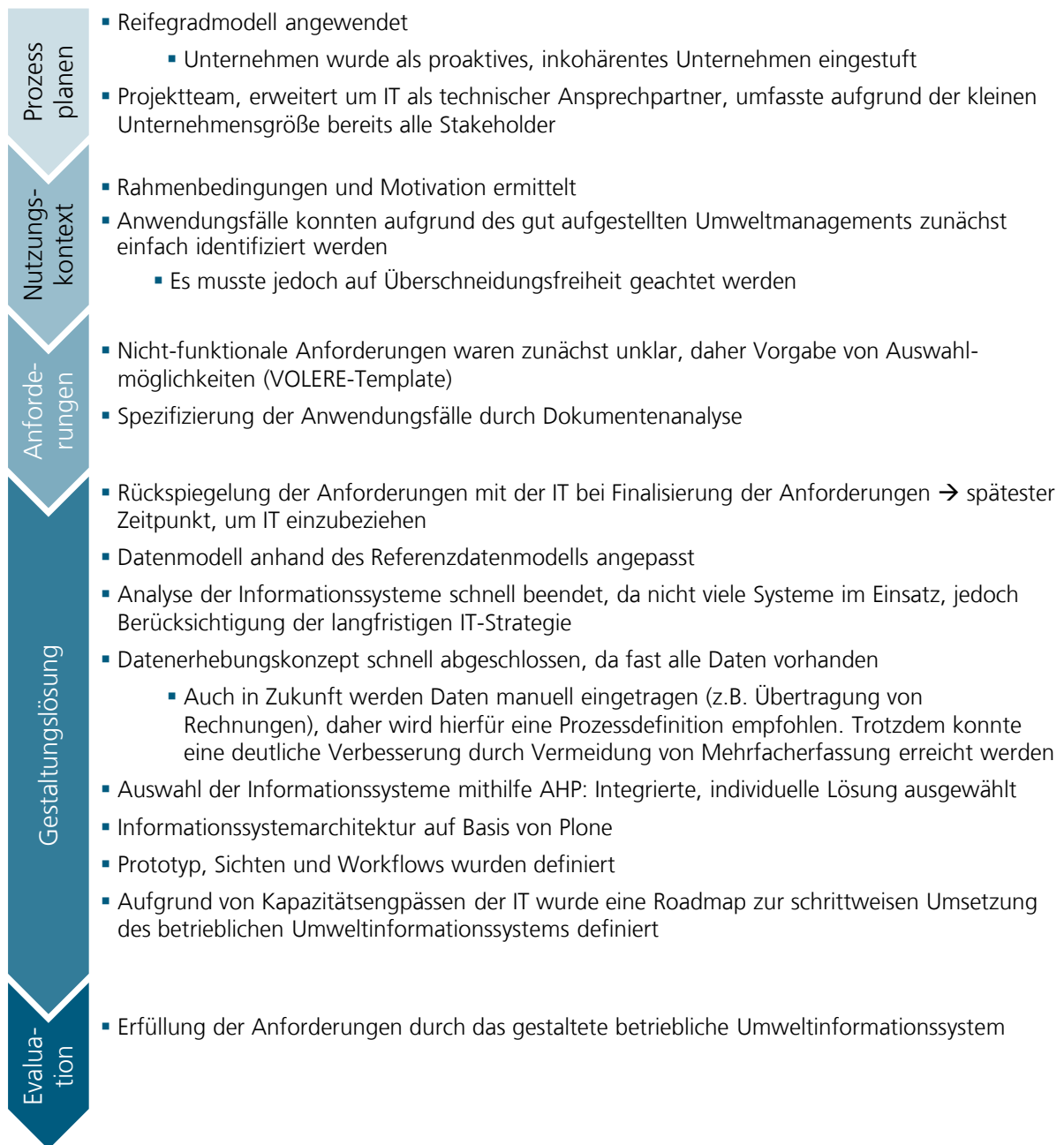
6.2.5 Evaluation

Evaluation der Gestaltungslösung

Im abschließenden Schritt wurde die erarbeitete Gestaltungslösung anhand der Anforderungen des Unternehmens evaluiert. Die benötigten Funktionen werden durch das betriebliche Umweltinformationssystem erfüllt, dieses wurde bereits im Schritt Auswahl der Informationssysteme durch die Auswahl und Machbarkeitsstudie sichergestellt. Die nicht-funktionalen Anforderungen wurden nun nochmals detaillierter evaluiert, da eine Informationssystemarchitektur sowie ein Prototyp und Workflows erstellt wurden. Die Übersichtlichkeit und einfache Dateneingabe wird durch die Anwendungsfälle, den abgestimmten Prototypen und die definierten Workflows gewährleistet. Da Plone als Open-Source-Lösung die Technologie der Wahl des Unternehmens war und hier Kompetenzen zur Anpassung und Implementierung vorhanden sind, sind auch die Anpassbarkeit bei einer Änderung der Anwendungsfälle sowie die unternehmensinterne Wartung und Support sichergestellt. Die Anforderungen an die Gestaltungslösung wurden somit erfüllt.

6.2.6 Fazit: Validierung mit der PNZ-Produkte GmbH

Das Kapitel 6.2 hat die Validierung der Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems anhand eines Fallbeispiels mit der PNZ-Produkte GmbH beschrieben. In den fünf Phasen der Methode wurden die in Kapitel 5 definierten Schritte durchlaufen. Abbildung 48 zeigt eine Zusammenfassung der durchgeführten Validierung anhand dieses Fallbeispiels mit den aufgefallenen Besonderheiten in den jeweiligen Schritten.



Fazit: „Die Methode hat uns sehr geholfen und das betriebliche Umweltinformationssystem wird durch die Anwendungsfälle gut strukturiert.“
(Marcel Pietsch, Geschäftsführer PNZ)

Abbildung 48: Fazit der Validierung mit der PNZ-Produkte GmbH als Fallbeispiel

Durch die Anwendung der Methode und Gestaltung des betrieblichen Umweltinformationssystems konnten für die PNZ-Produkte GmbH die anfänglichen Ziele ebenfalls adressiert werden (vgl. Abbildung 41). Eine *Vereinfachung für Zertifizierungen* und ein *Überblick über die tatsächlichen Verbräuche und Stoffströme* werden durch die Anwendungsfälle und das so strukturierte Informationssystem ermöglicht. Stoffströme werden allerdings nur als Inputs und Outputs des Unternehmens berücksichtigt, da eine detaillierte Betrachtung, z.B. auf Prozessebene, für die Anwendungsfälle als nicht relevant eingeschätzt wurde. Das Ziel *Verbesserungs- und Einsparpotentiale zu finden* wird vor allem durch die Übersicht über die eingesetzten Rohstoffe erreicht, sodass hier Rohstoffe mit minimalen Umwelteinwirkungen eingesetzt werden können. Durch die Definition von Workflows und Prozessen zur Datenerhebung und der Verwendung von Plone sind die *Daten elektronisch verfügbar*, werden *strukturiert erfasst und gespeichert* und können *von allen zuständigen Beschäftigten eingegeben* werden. Darüber hinaus werden *mehrfache Datenerhebungen vermieden* und die Daten können *häufiger ausgewertet* werden, da sie *regelmäßig in das System eingepflegt* werden.

6.3 Validierung mit der Schaeffler AG

Die Schaeffler AG ist eine Unternehmensgruppe mit Zentrale in Herzogenaurach, die global als Automobil- und Industrielieferer tätig ist. Insgesamt hat die Schaeffler AG rund 87.700 Beschäftigte und 170 Standorte. Für das vorliegende Fallbeispiel wird der Standort Bußmatten mit 1.900 Beschäftigten betrachtet, an dem eine neue Fertigungslinie für E-Motoren aufgebaut werden soll. Der Standort ist nach EMAS, ISO 9001, ISO 14001, ISO 45001, ISO 50001 sowie OHSAS 18001 zertifiziert. Der Fokus dieses Fallbeispiels liegt somit auf dem Standort eines Großunternehmens und der Fertigung eines komplexen Produkts.

6.3.1 Planung des Prozesses

In dieser Phase wurden zunächst der Projektplan mithilfe des Reifegradmodells definiert sowie die benötigten Stakeholder identifiziert.

Definition eines Projektplans mithilfe des Reifegradmodells

In einem Vorgespräch wurde das Unternehmen in das Reifegradmodell eingeordnet. Hierbei musste darauf geachtet werden, dass die Systemgrenze, der Standort Bußmatten, eingehalten wurde. Der Standort möchte seine Öko-Effizienz erhöhen und passt bestehende Produkte an, um die Umweltwirkungen zu minimieren. Das Umweltmanagement ist jedoch nicht in alle Unternehmensfunktionen integriert und die Umweltleistung wird meist durch spezifische Projekte, wie das Umrüsten einer Anlage zur Reduktion des Energieverbrauchs, verbessert. Daher handelt es sich gemäß Reifegradmodell um ein *präventives* Umweltmanagement. Darüber hinaus konnte der Digitalisierungsgrad bestimmt werden. Es wurde intensiv daran gearbeitet, dass die IT-Struktur durch einen Message Broker integriert und die Daten zusammengeführt werden können. Es waren bereits viele Prozesse digitalisiert und Digitalisierung wurde als ein strategisches Schlüsselthema identifiziert. Während die noch fragmentierte IT-Struktur auf den Reifegrad inkohärent schließen lässt, deuten die Bestrebungen am Standort bezüglich der Integration der Informationssysteme und Daten auf den Reifegrad integriert hin.

Daher wird der Standort zwar als *inkohärent* eingeordnet, jedoch mit starken Tendenzen zum Reifegrad *integriert*. Es werden also neben dem Schwerpunkt auf die Schritte 3, 4, 12 und 13, die bei einem Präventiven, Digitalen Novizen relevant sind, auch die Schritte 8 bis 10 intensiver betrachtet, um die Integration des betrieblichen Umweltinformationssystems in die zukünftig beabsichtigte homogene Informationssystemarchitektur gewährleisten zu können (vgl. Abbildung 49).

		Reifegrad der Digitalisierung	
		inkohärent	integriert
Reifegrad des Umweltmanagements	reaktiv	<ul style="list-style-type: none"> Kein bzw. isoliertes Umweltmanagementsystem Betriebliche Umweltinformationssysteme nur, falls vorhanden, für die Einhaltung von Regularien Fragmentierte Informationssystemarchitektur 	<ul style="list-style-type: none"> Kein bzw. isoliertes Umweltmanagementsystem Betriebliche Umweltinformationssysteme nur, falls vorhanden, für die Einhaltung von Regularien Homogene Informationssystemarchitektur; Digitalisierung von Prozessen & Datenflüssen
	präventiv	<ul style="list-style-type: none"> Isoliertes Umweltmanagementsystem fragmentierte Informationssystemarchitektur 	<ul style="list-style-type: none"> Isoliertes Umweltmanagementsystem Homogene Informationssystemarchitektur; Digitalisierung von Prozessen und Datenflüssen
	proaktiv	<ul style="list-style-type: none"> Integriertes Umweltmanagementsystem Fragmentierte Informationssystemarchitektur 	<ul style="list-style-type: none"> Integriertes Umweltmanagementsystem Homogene Informationssystemarchitektur; Digitalisierung von Prozessen und Datenflüssen

Aufgrund Digitalisierungsbestrebungen

Abbildung 49: Einordnung von der Schaeffler AG, Standort Bußmatten in den Reifegrad

Mithilfe der Bestimmung der Schwerpunkte der Methode konnte ein Projektplan erstellt werden. Hierbei wurde für die Schritte 8 bis 10 mehr Zeit eingeplant als im ersten Fallbeispiel. Das Projektteam bestand zunächst aus dem Leiter des Umweltmanagements des Standorts und der Zentrale. Aufgrund der Größe des Unternehmens und der

abgegrenzten Unternehmensfunktionen wurden im Gegensatz zum ersten Fallbeispiel Iterationen benötigt, um das Projektteam zusammenzustellen. Dieses bestand final aus:

- den Leitern des Umweltmanagements am Standort und in der Zentrale,
- den Beschäftigten des Umweltmanagements am Standort und in der Zentrale,
- den Beschäftigten des Energiemanagements am Standort sowie in der Zentrale,
- der Verantwortlichen für die CO₂-Bilanzierung von Produkten,
- dem Projektmanager Digitalisierung am Standort und
- dem Experten digitale Fabrik am Standort.

Die Erfahrung mit den jeweiligen Methoden wurde vom Projektteam als mittel eingestuft. Aufgrund der Heterogenität des Projektteams wurde die Erfahrung in der Domäne ebenfalls als mittel eingeordnet. Insgesamt bestand im Projekt eine mittlere Zeitbegrenzung. Wie in Kapitel 5.3.1 beschrieben, unterscheidet sich die Art der Informationen. In frühen Phasen der Methode werden eher strategische Informationen, in späteren Phasen operative Informationen erhoben. Tabelle 11 verdeutlicht mit den beschriebenen Voraussetzungen die Eignung der Methoden. Hervorgehoben sind die Methoden, die die größte Eignung für die Anwendung bei strategischen sowie bei operativen Informationen aufweisen.

Tabelle 11: Eignung der Methoden für die Validierung bei der Schaeffler AG, Standort Bußmatten

	Erfahrung Methode	Erfahrung Domäne	Zeitbegrenzung	Art der zu erhebenden Informationen		Eignung Methode bei strategischen Informationen	Eignung Methode bei operativen Informationen
	mittel	mittel	mittel	strategisch	operativ		
Workshops	●	●	◐	●	○	3,5	-
Fokusgruppen	●	●	○	●	◐	-	-
Szenarien	●	◐	●	◐	◐	3	3
Fragebogen	●	◐	◐	◐	●	2,5	3
Beobachtung von Aufgaben / Prozessanalyse	●	●	◐	◐	●	3	3,5
Beobachtung von Personen	●	●	◐	●	●	3,5	3,5
Card Sorting	●	◐	●	○	◐	-	3
Repertory Grid	●	◐	◐	○	◐	-	2,5
Nominalgruppen-Technik	●	◐	◐	●	○	3	-
Prototyping	●	◐	●	◐	●	3	3,5
Dokumentenanalyse	●	●	●	●	●	4	4

● anwendbar ◐ indifferent; kann zu guten Ergebnissen führen ○ nicht anwendbar

Die strategischen Informationen in den Schritten 2 bis 5 werden mithilfe der ausgewählten Methoden in Form von Workshops, einer Beobachtung von Personen sowie einer Dokumentenanalyse aufgenommen. Für die Erhebung der operativen Informationen in den Schritten 6 bis 17 wurden als Methoden die Beobachtung von Personen, eine Prozessanalyse, eine Dokumentenanalyse sowie das Prototyping ausgewählt. Abbildung 50 zeigt die Phasenübersicht inklusive der ausgewählten Methoden je Phase.

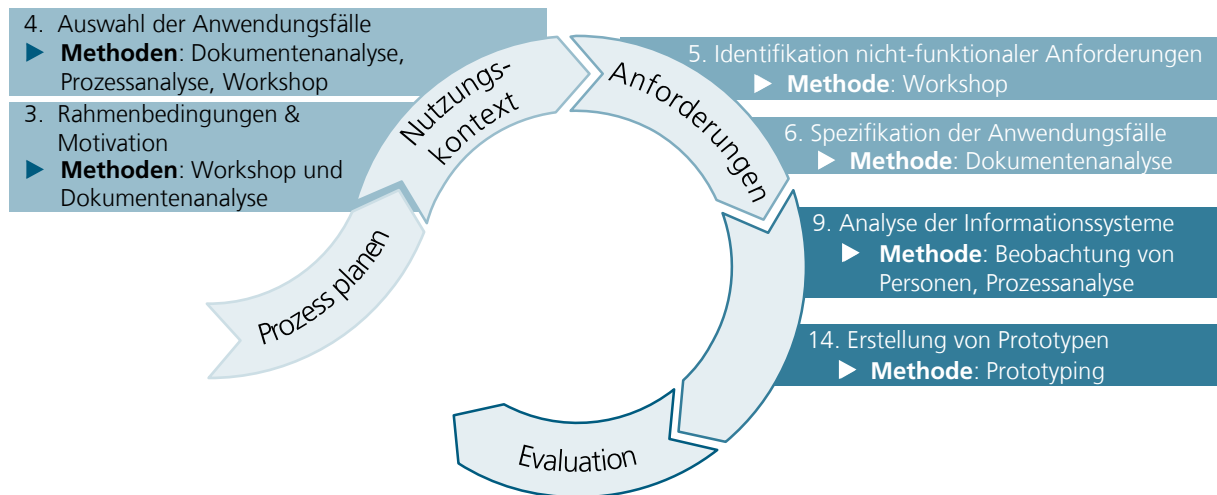


Abbildung 50: Übersicht über die verwendeten Methoden zur Anforderungserhebung für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten

Identifikation der Stakeholder

Wie bereits im vorherigen Schritt beschrieben, mussten mehrere Iterationen durchgeführt werden, um das Projektteam und auch die weiteren Stakeholder zu bestimmen. Insbesondere durch die Auswahl der Anwendungsfälle wurden weitere Stakeholder ermittelt und die Charakterisierung und Involvierung der bereits identifizierten Stakeholder angepasst. Aufgrund der starken Vernetzung des Umweltmanagements am Standort und in der Zentrale wurde die Zentrale trotz der Systemgrenze Standort einbezogen. Die finale Übersicht über die relevanten Stakeholder inklusive ihrer Rolle, Erfahrung, Priorität und Involvierung ist im Anhang zu finden.

6.3.2 Erarbeitung des Nutzungskontexts

Den Nutzungskontext wurde mithilfe eines Workshops, einer Prozessanalyse und einer Dokumentenanalyse erarbeitet. Hierbei wurden die Rahmenbedingungen, die Motivation sowie die Anwendungsfälle definiert.

Ermittlung der Rahmenbedingungen und der Motivation

Zur Ermittlung der Rahmenbedingungen wurden im Workshop die Umweltziele des Unternehmens erfasst. Da diese Ziele nicht komplett auf die Standorte heruntergebrochen

wurden, wurden die Umweltziele innerhalb des Workshops auf ihre Auswirkungen und Anforderungen an den Standort analysiert und nur die relevanten aufgenommen (Schaeffler AG 2022):

- Klimaneutrales Unternehmen bis 2040: Dieses bezieht auch die Treibhausgasemissionen des Scopes 3 – upstream mit ein.
 - o Klimaneutrale Produktion bis 2030: Ein Zwischenziel ist, dass die Treibhausgasemissionen des Scopes 2 aller Standorte bis 2024 auf 0 gesenkt werden sollen. Dieses wird durch die Umstellung auf erneuerbare Energien erreicht.

Eine weitere Rahmenbedingung betrifft den Standort selbst. Das zu entwickelnde betriebliche Umweltinformationssystem soll insbesondere für die neue Fertigungslinie eingesetzt werden und hier umweltrelevante Daten überwachen. Da die neue Fertigungslinie zum Zeitpunkt der Durchführung der Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems und der Workshops noch in Planung war, waren insbesondere die benötigten Kennzahlen volatil. Der Einbezug in die frühe Phase der Planung des Fertigungssystems ermöglicht jedoch auch, dass die Datenerhebung von vornherein eingeplant wird und beispielsweise Sensorik direkt vorgesehen wird, welches meist günstiger ist als eine spätere Erweiterung.

Da am Standort zum Zeitpunkt der Validierung die Integration der produktionsnahen Informationssysteme im Fokus stand, sollte sich ein betriebliches Umweltinformationssystem den bestehenden Aktivitäten in diesem Bereich möglichst anschließen können. Weitere technische Rahmenbedingungen wurden nicht genannt.

Bei der Erfassung der aktuellen Herausforderungen im Bereich des Umweltmanagements wurden insbesondere Aspekte zur Datenqualität und -erfassung, zur Aufbereitung der Informationen und Nutzung von Synergien zwischen Unternehmensfunktionen sowie zur Optimierung der Produktion genannt. Die einzelnen Aspekte sind in Abbildung 51 dargestellt.









Abbildung 51: Motivation und Ziele für den Einsatz eines betrieblichen Umweltinformationssystems für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten

Auswahl der Anwendungsfälle

Durch eine Dokumentenanalyse sowie durch die Beobachtung der Aufgaben einer Mitarbeiterin des Umweltmanagements wurden zunächst neun relevante Anwendungsfälle zur Aufgabenerfüllung des Umweltmanagements identifiziert. Hierbei wurden der Nachhaltigkeitsbericht, die Strategieroadmap 2025 des Gesamtunternehmens und die EMAS Umwelterklärung des Standorts analysiert. Im Rahmen von Iterationen in einem Workshop und durch die Beachtung der Systemgrenzen sind die Anwendungsfälle Nachhaltigkeitsbericht, Lösemittelbilanz und Wasserverbrauch pro Produkt als nicht relevant eingestuft worden. Der Nachhaltigkeitsbericht enthält hauptsächlich Daten des Gesamtunternehmens und ist daher für den Standort Bußmatten vernachlässigbar. Bezüglich Lösemittel und Wasser wurden Planänderungen der Fertigungslinie vorgenommen, sodass die Prozesse bzw. Anlagen keine Verbräuche dieser Medien mehr aufwiesen. Die verbliebenen sechs Anwendungsfälle wurden als Muss-

Anwendungsfälle priorisiert und sind inklusive Beschreibung, der zugrundeliegenden Methode, Systemgrenze, Frequenz, Unternehmensfunktionen sowie Adressatinnen und Adressaten der Tabelle 12 zu entnehmen. Der fünfte Anwendungsfall ist hierbei auf die zukünftige Entwicklung der Aufgaben des Umweltmanagements und auf das Umweltziel der Klimaneutralität ausgerichtet, da die Kundschaft vermehrt einen CO₂-Fußabdruck der Produkte fordert. Die Schaeffler AG möchte diesen Forderungen gerecht werden und den realen CO₂-Fußabdruck anstatt eines durchschnittlichen CO₂-Fußabdrucks berechnen können. Es wurde darüber hinaus überprüft, ob die Anwendungsfälle die drei Perspektiven (Zielperspektive, Stakeholderperspektive und Ressourcenperspektive) abdecken (vgl. Abbildung 28).

Tabelle 12: Identifizierte Anwendungsfälle für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten

Zielsetzung	Beschreibung	Methode (Standard/Norm)	System- grenze	Frequenz	Unternehmens- funktionen	Adressatinnen und Adressaten
 <p>1 Segment- vorstellung</p>	Als Segmentleitung möchte ich eine Segmentvorstellung, um die Kontrollfunktion durch einen Ist-Soll-Abgleich der Kennzahlen erfüllen zu können.		Segmente	monatlich	Umweltmanagement am Standort Bußmatten	Segmentleitung
 <p>2 Awareness- Aushang</p>	Als Mitarbeiter oder Mitarbeiterin möchte ich zu ausgewählten Kennzahlen informiert werden, um den aktuellen Stand im Segment/Shop Floor einschätzen zu können.		Segmente	quartalsweise	Umweltmanagement am Standort Bußmatten	Mitarbeitende
 <p>3 EMAS Umwelt- erklärung</p>	Als Umweltmanagement möchte ich relevante Daten in die bestehende EMAS Erklärung für den Standort Bußmatten integrieren, um die EMAS Zertifizierung zu erreichen.	EMAS	Standort	Jahr	Umweltmanagement am Standort Bußmatten	Mitarbeitende, Öffentlichkeit, EMAS
 <p>4 Standort- auswertungen</p>	Als Standortleitung möchte ich einen Überblick haben, um ggf. Maßnahmen abzuleiten.		Standort	Energie: Echtzeit; Material: monatlich	Umweltmanagement am Standort Bußmatten	Standortleitung, Segmentleitung
 <p>5 Realer CO₂- Footprint des Produkts</p>	Als Umweltmanagement und Vertrieb möchte ich den CO ₂ -Footprint des Produkts (Scope 1-3, Cradle to Gate) kennen, um diese an meine Stakeholder kommunizieren zu können.	GHG Protocol	Produkt pro Station	Echtzeit	Umweltmanagement in der Zentrale	Vertrieb, Kunden
 <p>6 Material- verbräuche/ Produkt</p>	Als Einkauf, Vertrieb und Segmentleitung möchte ich die Materialverbräuche pro Produkt vorliegen haben, um diese durch entsprechende Maßnahmen verbessern zu können.		Anlage/Station und Produkt	monatlich	Fertigung	Segmentleitung, Einkauf, Vertrieb

6.3.3 Definition der Anforderungen

In dieser Phase wurden für die nicht-funktionalen Anforderungen und zur Spezifikation der Anwendungsfälle ein Workshop sowie eine Dokumentenanalyse verwendet.

Identifikation nicht-funktionaler Anforderungen

Die nicht-funktionalen Anforderungen vonseiten des Projektteams betrafen hauptsächlich die Integrationsfähigkeit des betrieblichen Umweltinformationssystems, um manuelle Erfassungen und Ablesefehler zu vermeiden und die Erfassungssysteme zu vereinheitlichen. Außerdem sollte eine gute Visualisierung zur Informationsaufbereitung möglich sein. Weitere nicht-funktionale Anforderungen wurden nicht identifiziert.

Spezifikation der Anwendungsfälle

Mithilfe der Dokumentenanalyse und der Aspekte aus Abbildung 30 wurden die Anwendungsfälle spezifiziert, indem die benötigten Funktionen, Aufgaben eines betrieblichen Umweltinformationssystem und die Erfüllungskriterien definiert wurden (vgl. Abbildung 52). Durch die Dokumentenanalyse konnten die erforderlichen Kennzahlen, Informationen und Daten mit den Kontextinformationen ermittelt werden. Relevante Dokumente waren die EMAS Umwelterklärung, der Awareness-Aushang, die Segment- sowie Standortauswertung. Hierbei wurde bereits festgestellt, dass der Anwendungsfall für die Erstellung eines realen CO₂-Footprints aufgrund der benötigten Daten in Kombination mit der Erhebungsfrequenz die höchsten Datenanforderungen besitzt.

Anforderungsdokumentation

Abbildung 52 fasst die bisher identifizierten Spezifikationen eines betrieblichen Umweltinformationssystems und die Organisation des Umweltmanagements in Form des morphologischen Kastens zusammen. Zudem wurden in diesem Schritt alle funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen in einem Dokument erfasst. Konflikte zwischen den Anforderungen sind nicht identifiziert worden. Die Anforderungserhebung ist mit diesem Schritt beendet und es folgt die Definition der Gestaltungslösung.

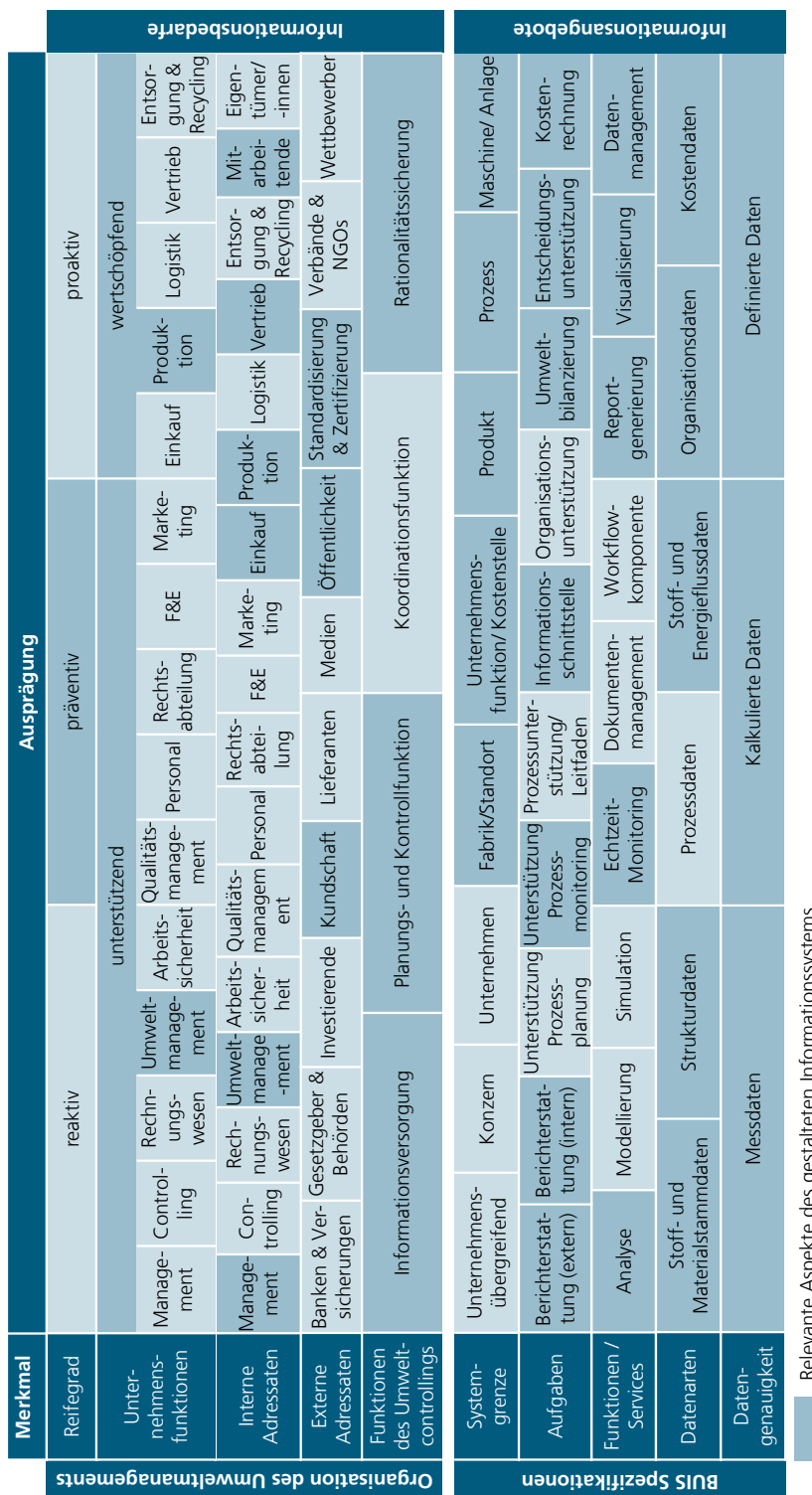


Abbildung 52: Übersicht über die Organisation des Umweltmanagements sowie die Spezifikationen eines betrieblichen Umweltinformationssystems der Schaeffler AG, Standort Bußmatten in Form des morphologischen Kastens

6.3.4 Definition der Gestaltungslösung

Die Gestaltungslösung wurde in dieser Phase mithilfe des Referenzdatenmodells und der Referenzarchitektur sowie durch die Methoden Beobachtung von Personen und Aufgaben, einer Prozessanalyse und Prototyping definiert.

Definition des Datenmodells

In diesem Schritt wird das Datenmodell für die Gestaltung des betrieblichen Umweltinformationssystems mithilfe des Referenzdatenmodells und der konsolidierten Daten aller Anwendungsfälle erstellt. Abbildung 53 stellt das finale Datenmodell dar.

Es ist zu sehen, dass im Gegensatz zum Referenzdatenmodell nicht zwischen In- und Outputs unterschieden wurde. Die Klasse Produktgruppe wurde hinzugefügt, um eine Zuordnung der umweltrelevanten Daten nicht nur zum Produkt, sondern auch zu Produktgruppen zu ermöglichen. Diese Änderung der Zuordnung wurde durch Iterationen zwischen diesem Schritt und dem Datenerhebungskonzept erarbeitet, da teilweise eine Zuordnung zum Produkt in Form von Losgröße 1 oder zu einem Fertigungsauftrag durch technische Beschränkungen oder einem großen damit verbundenen Aufwand nicht möglich war. Eine Annäherung über die Produktgruppe und den dazugehörigen Arbeitsplan wurde jedoch als umsetzbar eingeschätzt. Eine Produktgruppe stellt in diesem Fall E-Motoren des gleichen Typs dar. Weitere Details zur Änderung der Zuordnung finden sich im Schritt des Datenerhebungskonzepts.

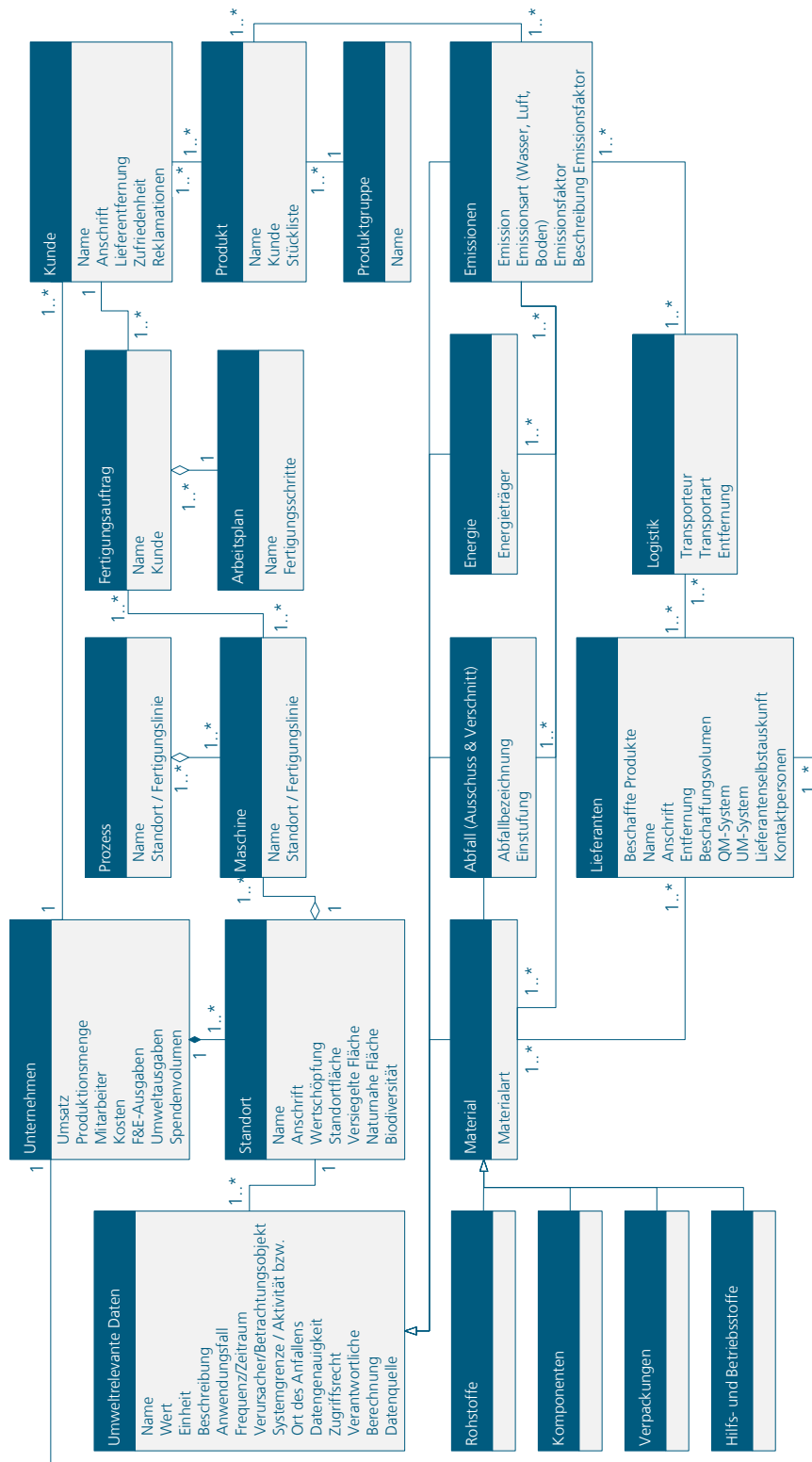


Abbildung 53: Datenmodell für das Umweltcontrolling für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten

Analyse der Informationssysteme

Mithilfe der Beobachtung von Personen und einer Prozessanalyse wurden die vorhandenen Informationssysteme erfasst und analysiert. Hierzu wurde eine Beschäftigte des Umweltmanagements am Standort erneut begleitet und eine Übersicht über die verwendeten Informationssysteme inklusive der Daten erstellt. Abbildung 54 zeigt diese Übersicht.

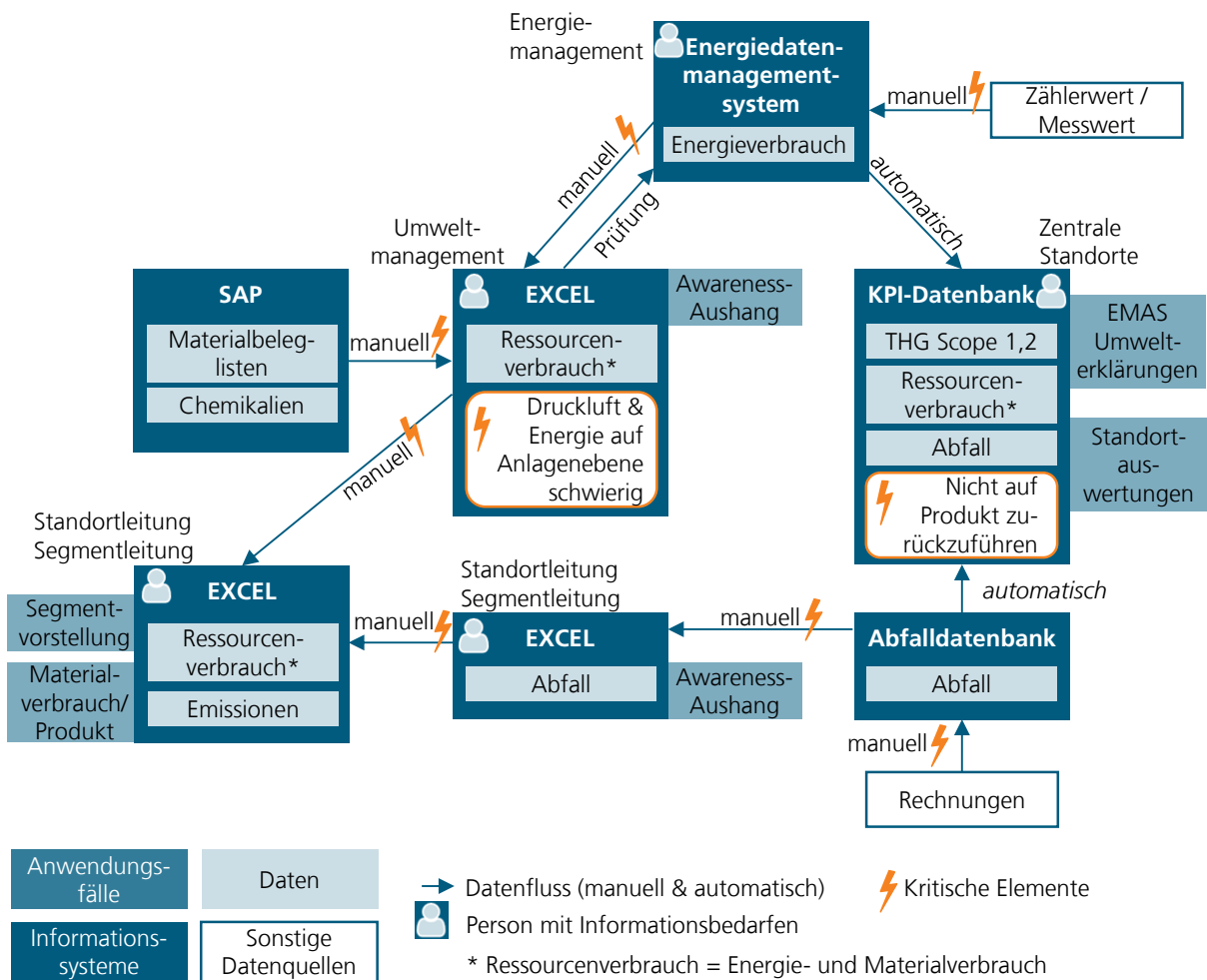


Abbildung 54: Übersicht über die verwendeten Informationssysteme des Umweltmanagements der Schaeffler AG, Standort Bußmatten

Es fällt auf, dass zwischen den Systemen viele Medienbrüche mit manuellen Datenübertragungen vorhanden sind und dass Excel am Standort als primäres Auswertungstool verwendet wird. Die KPI-Datenbank bildet die Schnittstelle zwischen

Umweltmanagement am Standort und in der Zentrale und wird für Standortauswertungen und die EMAS Umwelterklärung verwendet. Neben den manuellen Übertragungen fiel zudem auf, dass die Daten der KPI-Datenbank nicht auf ein Produkt zurückzuführen sind sowie die Aufnahme der Energieverbräuche auf Anlagenebene derzeit nicht möglich ist.

Da der Standort nicht für die CO₂-Bilanzierung des Produkts zuständig ist, fehlt dieser Anwendungsfall in der Übersicht. Daher wurde die CO₂-Bilanzierung separat betrachtet. Hierbei wurden weitere Informationssysteme, die zur Bestimmung des CO₂-Fußabdrucks benötigt werden, identifiziert. Diese umfassen Software zur Bilanzierung, zur Produktkostenkalkulation, für reale CO₂-Emissionen von Lieferanten und zu CO₂-Emissionen für den Transport.

Darüber hinaus wurden die Produktionsinformationssysteme analysiert. Hierbei fiel auf, dass eine IT-Strategie zur Integration der produktionsnahen Informationssysteme besteht. Über einen Message Broker sollen in den nächsten Jahren alle relevanten Informationssysteme angebunden und „Smart Data Integration Services“ angeboten werden, die sich auf Auswertungen zur Produktrückverfolgung und zur Qualität fokussieren. Somit wird im Unternehmen eine „Single Source of Truth“ für produktionsnahe Daten geschaffen. Abbildung 55 zeigt die Architektur dieses Vorhabens.

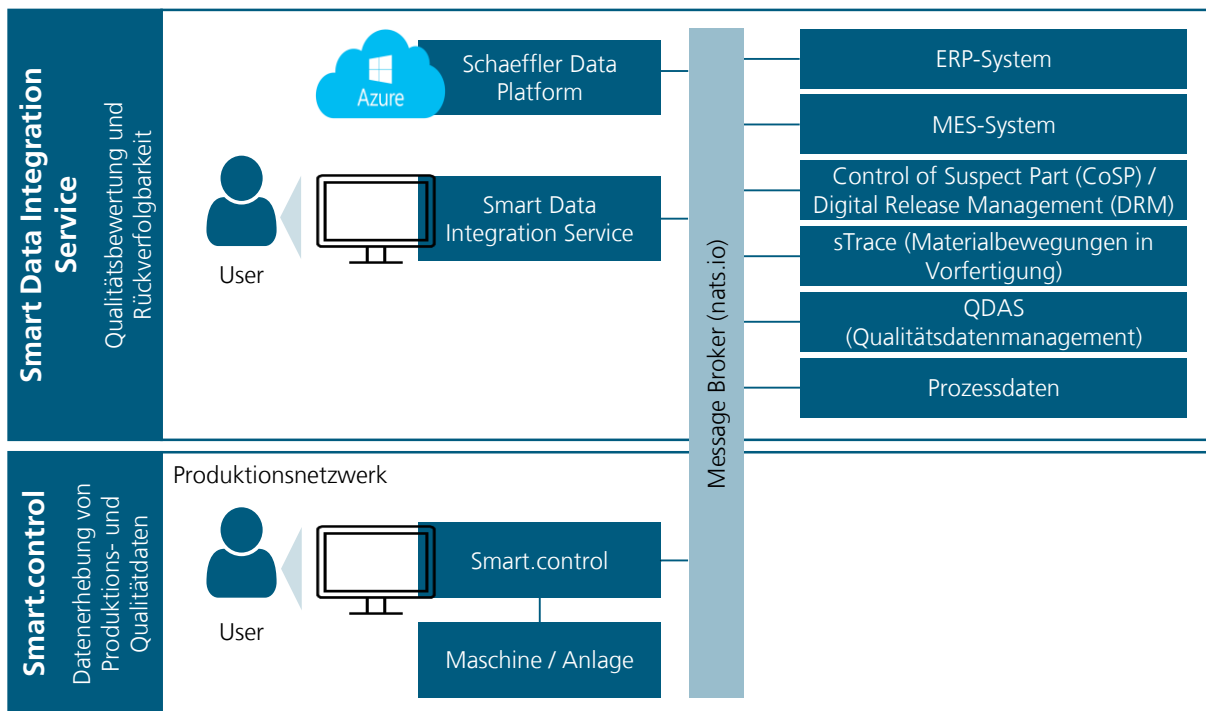


Abbildung 55: Geplante Informationssystemarchitektur zur Integration der produktionsnahen Informationssysteme der Schaeffler AG, Standort Bußmatten

Für einige der Informationssysteme, in denen benötigte Daten vorhanden waren, war eine Integration bereits geplant oder exemplarisch umgesetzt. Hierzu zählten das ERP-System und MES sowie das Energiedatenmanagementsystem. Die weiteren Informationssysteme wurden bislang nicht in Betracht gezogen. Abbildung 56 gibt eine Übersicht über die verschiedenen Informationssysteme mit ihren verfügbaren Daten.

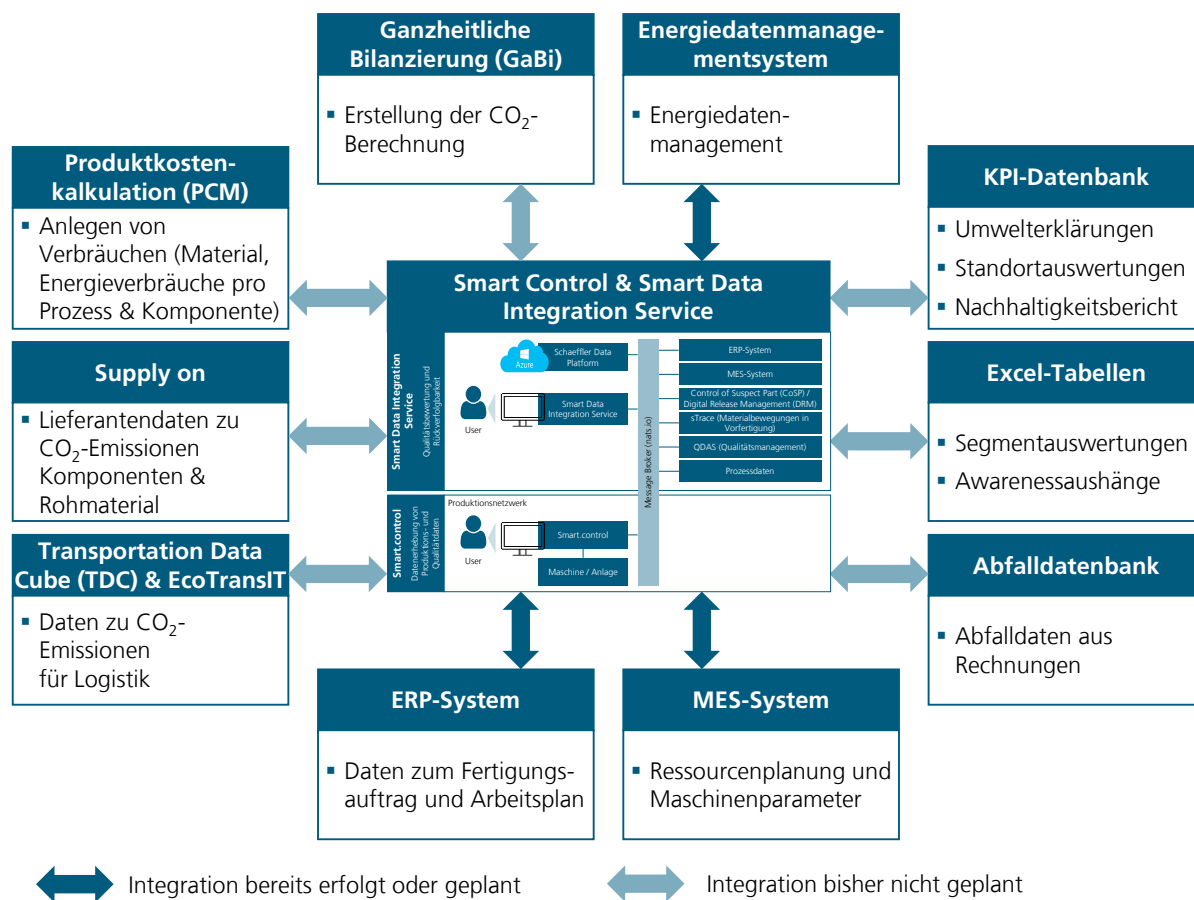


Abbildung 56: Übersicht über die verwendeten Informationssysteme mit den verfügbaren Daten der Schaeffler AG, Standort Bußmatten

Abgleich der benötigten mit vorhandenen Daten

Dieser Schritt erfolgt nach der Analyse der Informationssysteme und soll anhand der konsolidierten Daten der Anwendungsfälle und der identifizierten verfügbaren Daten aus den Informationssystemen mögliche Datenlücken aufdecken. Beim Abgleich der benötigten mit den vorhandenen Daten fiel auf, dass zum einen genauere Energiedaten benötigt werden und zum anderen der Materialverbrauch pro Produkt, also Losgröße 1, nicht realisiert werden kann. Diese Daten werden insbesondere für die Anwendungsfälle 5 und 6, CO₂-Footprint des Produkts und Materialverbräuche pro Produkt, benötigt. Außerdem war unklar, ob die hinterlegten Transportdaten im ERP-System für eine Berechnung der CO₂-Emissionen durch den Transport ausreichend waren. Abbildung 57 zeigt die identifizierten Datenlücken bei der ersten Durchführung des Schritts in

Abhängigkeit der Produktionsschritte, da je Produktionsschritt unterschiedliche Daten benötigt und verfügbar waren. Die hellblauen Kästen zeigen jeweils die benötigten Datenanforderungen mit Betrachtungsobjekt, Systemgrenze, Frequenz und Datengenauigkeit.

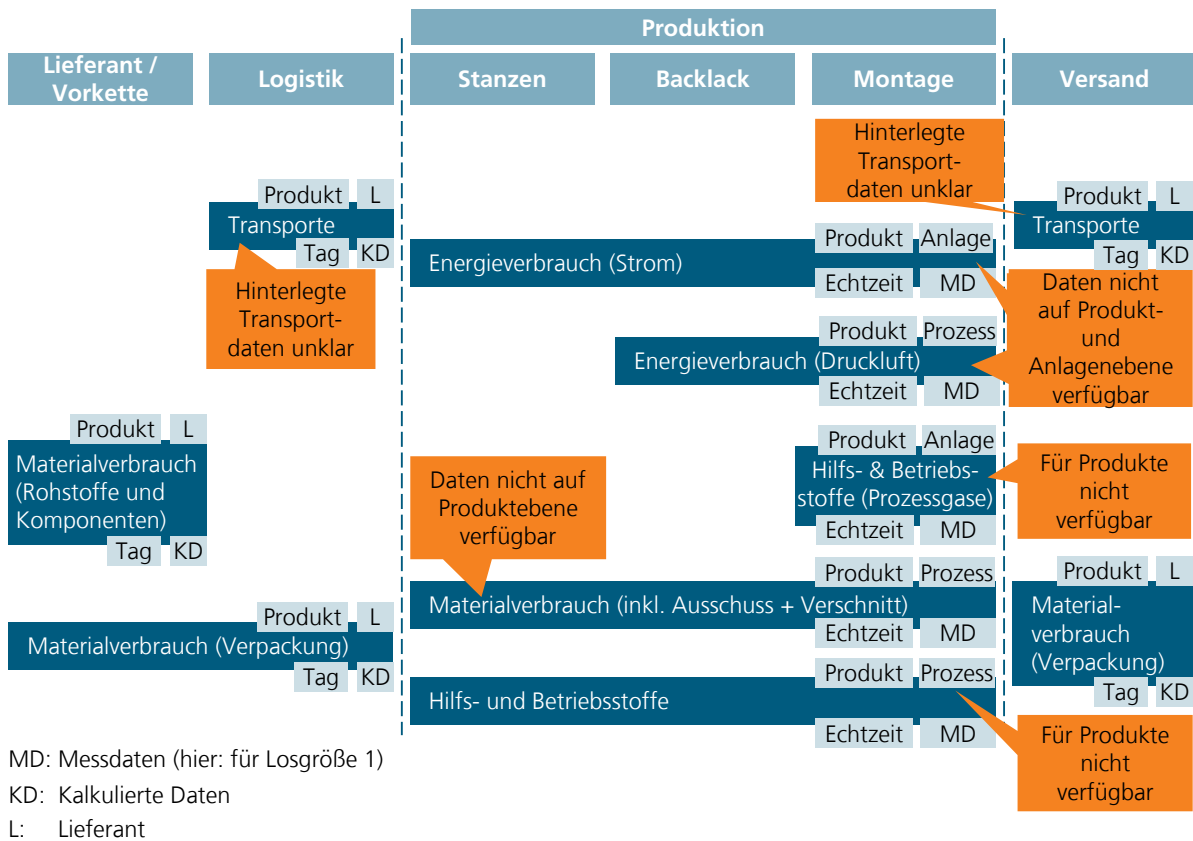


Abbildung 57: Identifizierte Datenlücken je Prozessschritt für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten

Datenerhebungskonzept

Da der Abgleich der vorhandenen mit den benötigten Daten eine Datenlücke aufdeckte, musste ein Datenerhebungskonzept erstellt werden. Die Anwendungsfälle an sich wurden weiterhin alle als relevant eingestuft. Da bei näherer Untersuchung die Schließung der Datenlücken für die Material- und Energieverbräuche für die Losgröße 1 als zu aufwendig bzw. technisch nicht umsetzbar bewertet wurde, mussten folglich die Datenanforderungen gesenkt werden. Der bestimmte Aufwand setzte sich vor allem aus

dem Datenhandling bzw. den entstehenden Datenmengen sowie dem entstehenden Aufwand in der Produktion zusammen. So hätten beispielsweise Komponenten, die normalerweise in Form von Behältern mit einer Stückzahl 500 getrackt werden, vereinzelt werden müssen. Zur Senkung der Datenanforderungen wurden im Kapitel 5.6.3 unterschiedliche Möglichkeiten zur Senkung der Datengenauigkeit für das Betrachtungsobjekt Produkt definiert (vgl. Abbildung 35).

Bisher wurde für Material- oder Energieverbräuche pro Produkt eine einmalige Referenzerhebung durchgeführt, die dann als Durchschnittswert für alle Produkte der Produktgruppe galt. Die nicht-verfügbaren Daten wurden anhand der unterschiedlichen Datengenauigkeiten durchgegangen und die jeweilige Mindestanforderung definiert. Für die Material- und Energieverbräuche wurden die Datenanforderungen bezüglich des Betrachtungsobjekts somit von Losgröße 1 auf Fertigungsauftragsebene gesenkt. Hilfs- und Betriebsstoffe mussten auf Produktgruppenebene verfügbar sein. Die benötigten Daten hierfür waren bereits im MES-System (Start und Ende der Produktionszeit), sowie im ERP-System (Materialnummer, Materialstammdaten, Recyclingart) und im „smart.control“ (Rückverfolgbarkeit der Komponenten bis Lieferant) vorhanden.

Nach einer erneuten Analyse des ERP-Systems konnten auch hier die benötigten Transportdaten zu Transportart, Transporteur und Transportlänge ermittelt werden. Die Mengen der Hilfs- und Betriebsstoffe konnten ebenfalls aus dem ERP-System ermittelt und mithilfe des Arbeitsplans den Produktgruppen zugeordnet werden. Hier wurde eine monatliche Auswertung der Daten als ausreichend definiert.

Auswahl eines Informationssystems

Aufgrund der Präferenzen des Projektteams, der IT-Strategie zur Integration aller produktionsnahen Informationssysteme sowie der Systemgrenze Standort wurde beschlossen nur unternehmensinterne Informationssysteme und im besten Fall bereits im Einsatz befindliche Informationssysteme auszuwählen. Eine Änderung oder Anpassung der Informationssysteme auf Konzern- bzw. Unternehmensebene stand somit nicht im Fokus dieses Fallbeispiels. Aufgrund der Unternehmenscharakteristika bezüglich der

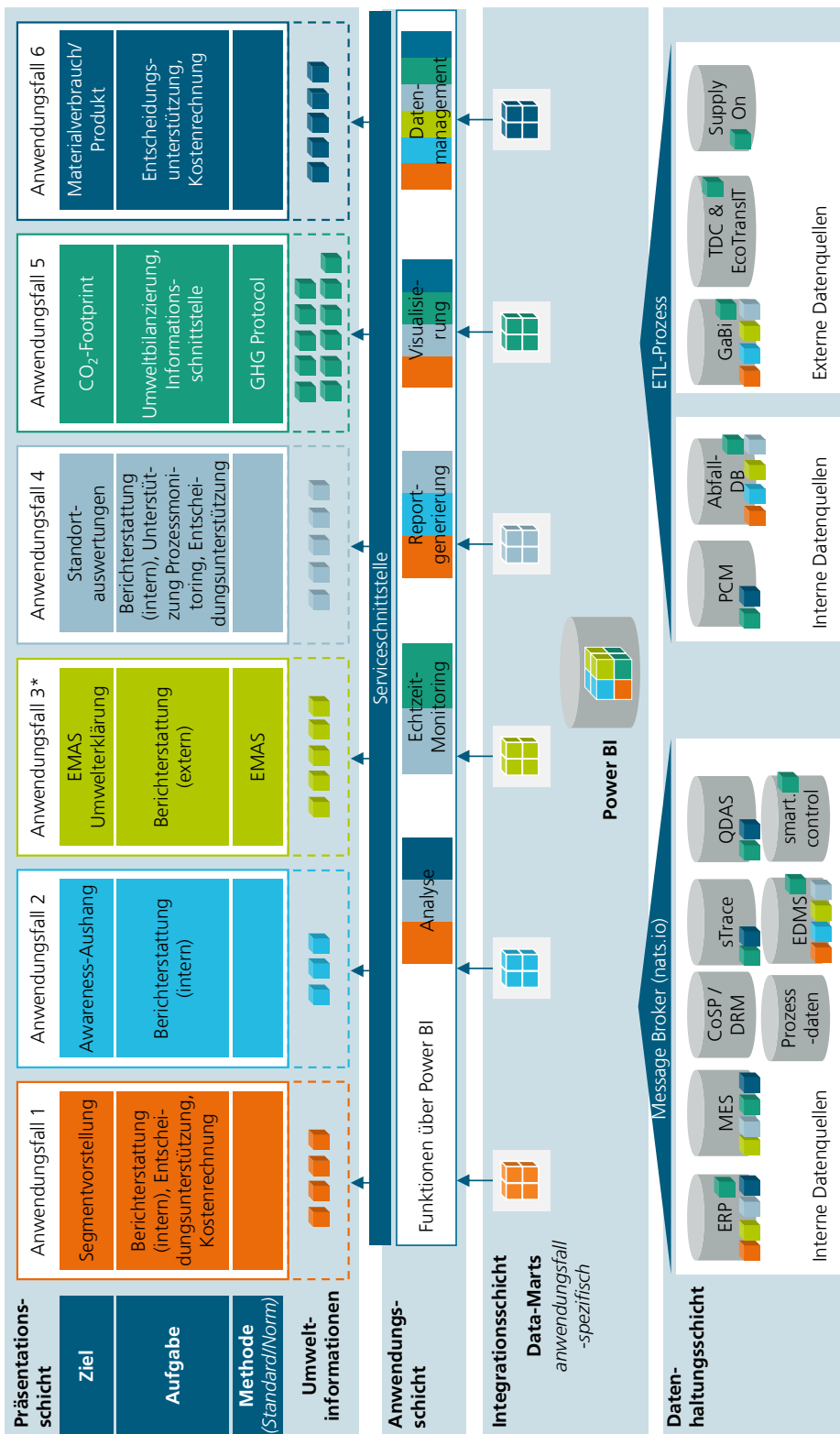
Anzahl der Datenquelle und der Datenfrequenz besteht ebenfalls eine Tendenz zu einem integrierten Informationssystem. Durch die recht hohe Anzahl an zu erfüllenden unterschiedlichen Aufgaben und Funktionen für das betriebliche Umweltinformationssystem besteht außerdem eine Tendenz für ein individuelles System, sodass die Wahl des Projektteams hierdurch unterstützt wird (vgl. Kapitel 5.6.5).

Aufgrund der Präferenzen wurden somit Lösungsalternativen erstellt, die auf die „Smart Data Integration Services“ aufbauen. Die erste Lösungsalternative stellte eine komplette Integration der Informationssysteme des Umweltmanagements dar, sodass diese über den Message Broker angebunden werden sollen (vgl. Abbildung 55). Aufgrund des Fokus der IT-Strategie und der Einführung des Message Brokers auf produktionsnahe Informationssysteme sowie den hohen Kosten für eine vollständige Integration wurde diese Lösung abgelehnt. Sie wird jedoch als Ausblick für eine mögliche Integration nach 2025 in der Hinterhand behalten. Als zweite Lösungsalternative wurde eine Lösung definiert, die zwar auf den Message Broker zurückgreift, jedoch zusätzlich eine BI-Software verwendet, um fehlende Datenbanken und Informationssysteme einfach zu integrieren. Diese Lösung wurde vom Projektteam als passend bewertet. Im nächsten Schritt wurde die entsprechende Informationssystemarchitektur definiert.

Definition der Informationssystemarchitektur

Basierend auf der Auswahl des Informationssystems und der Referenzarchitektur wurde eine Informationssystemarchitektur definiert (vgl. Abbildung 58). Wie bei der Auswahl der Informationssysteme beschrieben, sollen die Informationssysteme des Umweltmanagements nicht über den Message Broker angebunden werden, sondern es wird eine BI-Software in der Integrationsschicht verwendet, die gleichzeitig Auswerte- und Visualisierungsmöglichkeiten bietet. Hierdurch können die Informationssysteme für Lieferantendaten, Transportdaten, Recyclingdaten, Bilanzierungssoftware und die Produktkalkulationssoftware angebunden werden. Die BI-Software kann die Daten bereitstellen und die Anwendungsfälle auswerten und visualisieren. Die benötigten Funktionen Analyse, Echtzeit-Monitoring, Reportgenerierung, Visualisierung und

Datenmanagement können von der BI-Software bereitgestellt werden. Da eine Anbindung der unternehmensweiten KPI-Datenbank nicht vorgesehen ist, müssen die Daten für den Anwendungsfall der EMAS Umwelterklärung trotzdem manuell übertragen werden. Jedoch können die Daten entsprechend aufbereitet und zusammengestellt werden, sodass kein Suchen der Daten vonnöten ist und eine schnelle und einfache Übertragung sichergestellt wird.



* Manuelle Übertragung an das Informationssystem der Zentrale

Abbildung 58: Informationssystemarchitektur für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten

Die Architektur baut auf den Vorhaben aus der IT-Strategie „smart.control“ und „Smart Data Integration Services“ auf und entwickelt diese weiter. Um dem Unternehmen zusätzlich eine Übersicht über die benötigten Erweiterungen der bisherigen Informationssystemarchitektur zu geben, werden diese in Abbildung 59 dargestellt. Zur Datenerhebung müssen außerdem Energiemessgeräte und Druckluftmessgeräte an den einzelnen Maschinen vorgesehen werden, die in der Planung der neuen Fertigungslinie bereits berücksichtigt wurden. In Abbildung 59 sind zudem die bereitgestellten Daten der einzelnen Informationssysteme zur Erfüllung der Anwendungsfälle zu finden.

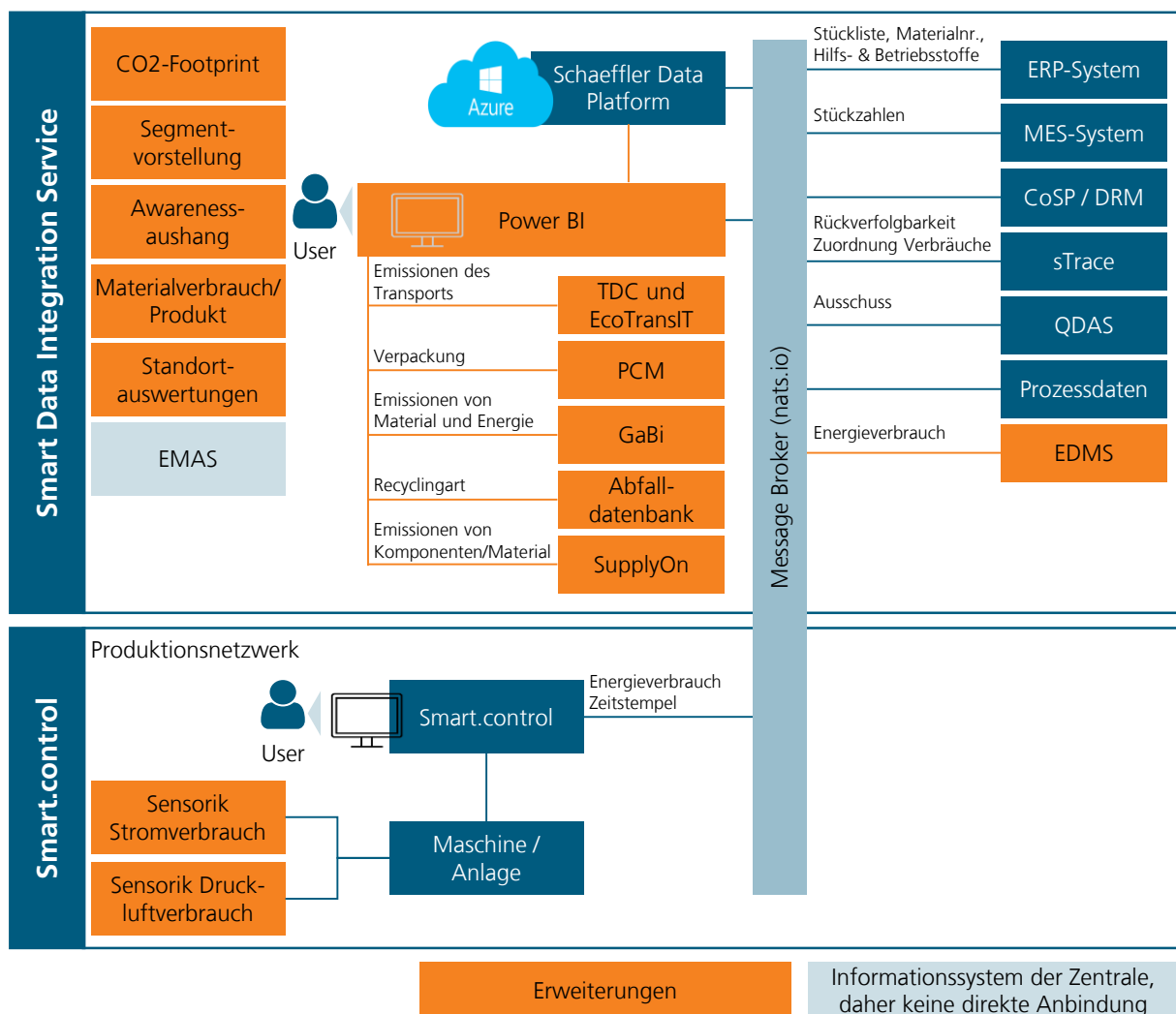


Abbildung 59: Erweiterung der bisherigen Informationssystemarchitektur für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten inklusive der bereitgestellten Daten

Erstellung von Prototypen

Auch für dieses Fallbeispiel wurde ein Prototyp in Form eines Klick-Dummies erstellt, der alle Anwendungsfälle abbildet. Im Anhang wird ein Ausschnitt des erstellten Prototyps gezeigt. In diesem Fall ist der Klick-Dummy ein erster Ausgangspunkt für die Visualisierung, da diese mit einer BI-Software einfach anpassbar ist.

Definition von Sichten und Workflows

Parallel zur Erstellung des Prototyps wurden die Sichten definiert. Die Sichten finden sich im Prototyp als Seiten des Klick-Dummies wieder. In diesem Fallbeispiel entsprechen die Sichten den Anwendungsfällen, nur die Anwendungsfälle Standortauswertung und EMAS wurden zusammengefasst, da beide in die KPI-Datenbank der Zentrale übertragen werden müssen. Workflows werden nicht benötigt, da die Datenerhebung weitestgehend automatisch und nur die Übertragung von Daten in die KPI-Datenbank manuell erfolgt.

Dokumentation und Roadmap

Zunächst wurden alle erstellten Dokumente zusammengeführt. Darüber hinaus wurde eine Roadmap erstellt, die die Umsetzung des gestalteten betrieblichen Umweltinformationssystems beschreibt. Diese orientiert sich an der Umsetzung der Integration der produktionsnahen Informationssysteme und der Roadmap der IT-Strategie und ist in Abbildung 60 dargestellt. Es handelt sich daher um ein langfristiges Projekt.

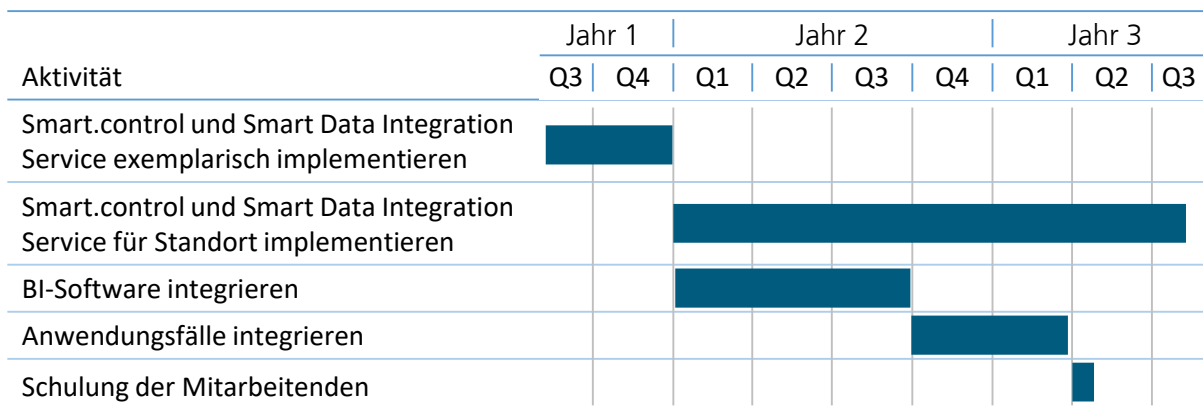


Abbildung 60: Roadmap für die Implementierung des betrieblichen Umweltinformationssystems für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten

Da die Anwendungsfälle auf dieselben Datenquellen zurückgreifen und über die BI-Software angebunden werden sollen, können diese auch im Gegensatz zum ersten Fallbeispiel gemeinsam implementiert werden.

6.3.5 Evaluation

Evaluation der Gestaltungslösung

Die Gestaltungslösung muss anhand der definierten funktionalen und nicht-funktionalen Anforderungen validiert werden. Hierzu wurde untersucht, ob das gestaltete betriebliche Umweltinformationssystem die Anwendungsfälle erfüllt sowie die Integration in die vorhandenen Informationssysteme und eine gute Visualisierung ermöglicht. Durch das Datenerhebungskonzept konnte sichergestellt werden, dass alle Daten für die Anwendungsfälle vorhanden sind. Des Weiteren konnte durch die Berücksichtigung der IT-Strategie eine Lösungsalternative zur Integration des betrieblichen Umweltinformationssystems erarbeitet werden. Die Verwendung einer BI-Software ermöglicht darüber hinaus die Erfüllung der benötigten Funktionen und eine gute Visualisierung, da dieses Tool für diesen Zweck ausgelegt ist. Es kann also festgehalten werden, dass die erarbeitete Gestaltungslösung die Anforderungen erfüllt.

6.3.6 Fazit: Validierung mit der Schaeffler AG

Im Kapitel 6.3 wurde die Methode anhand des Fallbeispiels mit dem Standort Bußmatten der Schaeffler AG validiert. Hierbei wurden die fünf Phasen der Methode durchlaufen. Abbildung 61 fasst die durchgeführte Validierung mit dem Standort Bußmatten der Schaeffler AG zusammen und zeigt Besonderheiten auf, die während der Validierung aufgefallen sind.

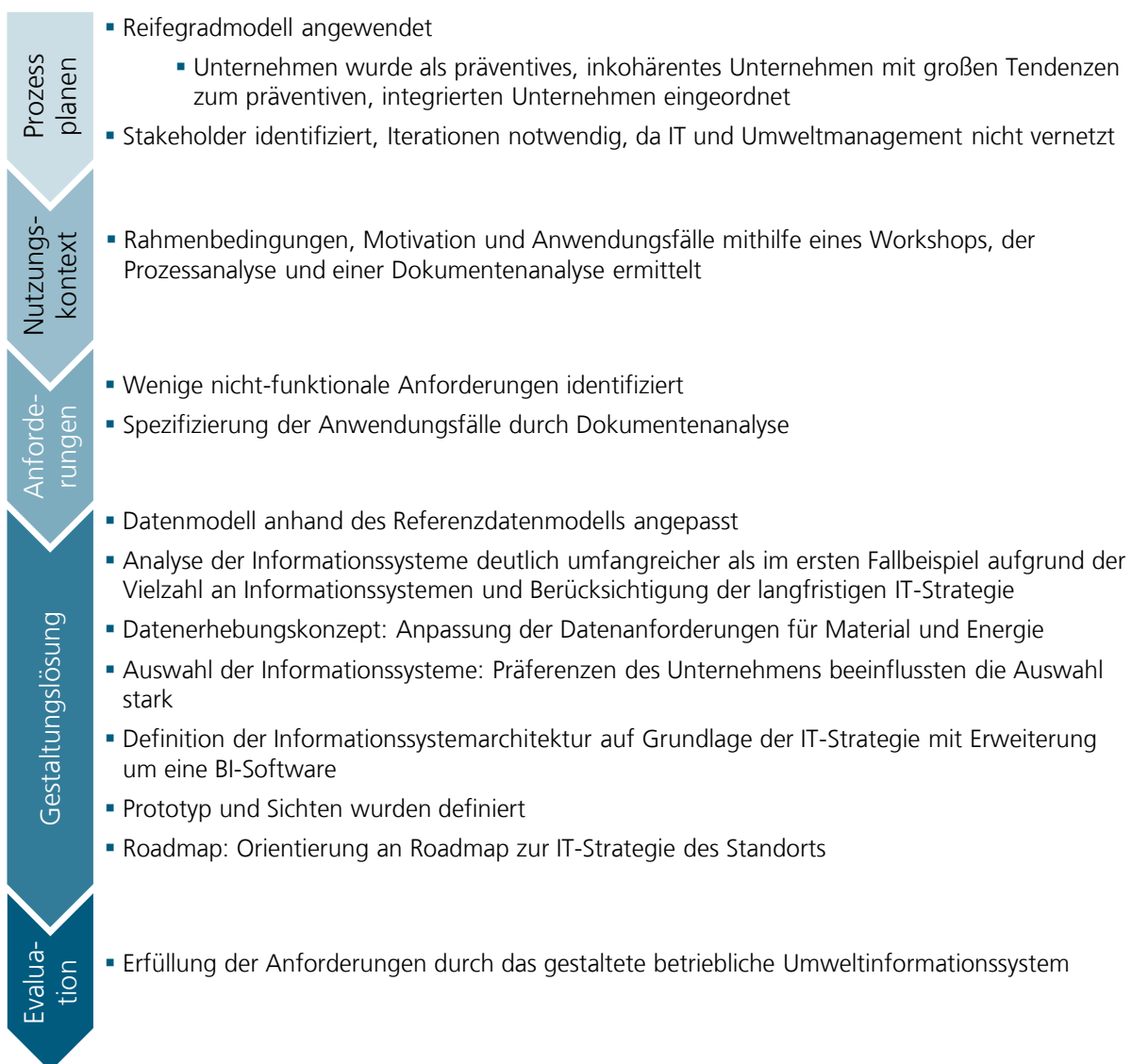


Abbildung 61: Fazit der Validierung mit dem Standort Bußmatten der Schaeffler AG als Fallbeispiel

Die ursprüngliche Motivation und Ziele des Projektteams zur Einführung eines betrieblichen Umweltinformationssystems konnten größtenteils adressiert und mit der vorliegenden Gestaltungslösung erfüllt werden (vgl. Abbildung 51). Lediglich das Schaffen eines Best-Practices für die Datenerhebung sowie Anforderungen an zukünftige Beschaffungsprojekte konnten nur bedingt erfüllt werden, da die Datenanforderungen und somit auch die Datenerhebung je nach Verwendungszweck deutlich variieren. Darüber hinaus ist ein „Adhoc Reporting“ nicht für alle Daten, sondern nur für den CO₂-Fußabdruck und den Materialverbrauch vorgesehen. Dieses spiegelt die erhobenen Informationsbedarfe des Umweltmanagements wider, sodass ein „Adhoc Reporting“ in allen Bereichen nicht erforderlich ist. Trotz BI-Software und „smart.control“ ist eine manuelle Übertragung in die KPI-Datenbank weiterhin notwendig. Die Medienbrüche und manuellen Erhebungen konnten allerdings deutlich reduziert werden.

6.4 Zwischenfazit

Im zurückliegenden Kapitel wurde die entwickelte Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems anhand von zwei Fallbeispielen mit Unternehmen validiert. Somit konnte die Teilforschungsfrage „Wie kann eine Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems validiert werden?“ beantwortet werden.

Durch die zwei Fallbeispiele wurden alle Schritte der Methode abgedeckt und konnten validiert werden. Hierbei hatte die PNZ-Produkte GmbH eher einen Schwerpunkt auf die Produkt(weiter)entwicklung, während sich der Standort Bußmatten der Schaeffler AG auf das Produktionsmonitoring und den CO₂-Fußabdruck eines Produkts fokussiert hat. Es wurde sowohl ein ganzes Unternehmen als auch ein einzelner Standort betrachtet. Aufgrund der Abhängigkeiten zu anderen Standorten oder der Zentrale ist jedoch die Betrachtung eines gesamten Unternehmens vorzuziehen. In diesem Fall können alle Informationssysteme einbezogen und eine einheitliche Informationssystemarchitektur erarbeitet werden. Die Methode unterstützt somit Unternehmen darin, ihre Informationssysteme zu vereinheitlichen und entsprechend ihren Informationsbedarfen

auszurichten. Hierdurch wird die Informationsgrundlage für ökologische Verbesserungen gelegt. Auch konnte die Methode für eine bestehende und eine in Planung befindliche Fertigung angewendet werden.

Das Reifegradmodell ist gut für eine erste Abschätzung des Aufwands und der einzuplanenden Zeit geeignet. Jedoch spielen weitere Faktoren, wie z.B. die Unternehmensgröße und die konkreten Unternehmensstrukturen, eine Rolle. Darüber hinaus ist der Aufwand der Methode auch stark davon abhängig, inwiefern ein Datenerhebungskonzept benötigt wird. Da dieses von den benötigten und verfügbaren Daten abhängig ist, ist der Aufwand für diesen Schritt vorher nicht abschätzbar.

Die Domänenerfahrung im Bereich Umweltmanagement und die technologische Erfahrung für Informationssysteme lagen innerhalb unterschiedlicher Unternehmensfunktionen und somit bei unterschiedlichen Personen, die nicht miteinander im Austausch standen. Interdisziplinarität ist in diesem Zusammenhang wichtig, um ein anforderungsgerechtes betriebliches Umweltinformationssystem gestalten zu können. Hierbei unterstützt die entwickelte Methode und fördert den Austausch und die Zusammenarbeit dieser Unternehmensfunktionen.

Zudem ist der Support des Managements wichtig, um eine Integration von Umweltthemen vorantreiben zu können.

7 Reflexion

Nach der Entwicklung der Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems in Kapitel 5 und deren Validierung anhand von zwei Fallbeispielen in Kapitel 6 folgt in diesem Kapitel die Reflexion. Hierfür wird untersucht, inwiefern die identifizierten Anforderungen aus Kapitel 4.1 erfüllt und ob die zentrale Forschungsfrage aus Kapitel 1.3 beantwortet wurde.

7.1 Bewertung der Erfüllung der Anforderungen

Die in Kapitel 4.1 definierten Anforderungen wurden in drei Anforderungsklassen eingeteilt: Anforderungen an den Objektbereich, an die Eigenschaften der Methode und an die Eigenschaften des resultierenden Informationssystems. Im Folgenden wird geprüft, ob die Anforderungen durch die entwickelte Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems erfüllt werden. Abbildung 62 zeigt hierzu eine Übersicht, die in den folgenden Unterkapiteln weiter erläutert wird.

Anforderungen		Eigene Methode	Begründung (Schritt / Aspekt, der Anforderung erfüllt)	PNZ Produkte GmbH	Schaeffler AG
Objektbereich	Betriebliche Umweltinformationssysteme	●	Methode zur Gestaltung von betrieblichen Umweltinformationssystemen	☑	☑
	Software- und Systementwicklung	●	Orientierung am User Centered Design	☑	☑
Eigenschaften der Methode	Berücksichtigung von unterschiedlichem Vorwissen	●	Anforderungserhebungsmethoden für untersch. Erfahrungslevel geeignet	☑	☑
	Verwendung von Iterationen	●	Iterationen berücksichtigt	☑	☑
	Vollständigkeit – Unternehmensfunktionen	●	Stakeholder explizit in Schritt 1 berücksichtigt; Template für Stakeholder	☑	☑
	Vollständigkeit – Umweltdaten und -informationen	●	Über Anwendungsfälle und Datenerhebungskonzept sichergestellt	☑	☑
Eigenschaften des Informationssystems	Berücksichtigung unternehmensindividueller Parameter	●	Reifegradmodell, Rahmenbedingungen & Motivation, Anwendungsfälle, Analyse und Auswahl der Informationssysteme	☑	☑
	Zielgruppen- & aufgabengerechte Informationsbereitstellung und -aufbereitung	●	Identifikation und Spezifizierung der Anwendungsfälle und Definition von Data Marts/Sichten und Prototypen	☑	☑
	Ermöglichung einer Zuordnung der Daten	●	Datenmodell und Spezifizierung der Anwendungsfälle	☑	☑
	Nachvollziehbarkeit und Überprüfbarkeit der Informationen	●	Definition von Datenquellen, Verantwortlichen, Datenflüssen, Workflows für Datenerhebung und ggf. Anbindung von Informationssystemen	☑	☑
	Einbindung unterschiedlicher Datenquellen	●	Auswahl der Informationssysteme inkl. Schnittstellendefinition, Referenzarchitektur	☑	☑
	Anpassbarkeit des Informationssystems	●	Definition von Anwendungsfällen mit Funktionen und Definition der Informationssystemarchitektur inkl. Referenzarchitektur	☑	☑

● Anforderung durch Methode erfüllt
☑ Eigenschaft der Methode/Lösung von Validierungspartner bestätigt

Abbildung 62: Übersicht über die Erfüllung der Anforderungen durch die entwickelte Methode

7.1.1 Anforderungen an den Objektbereich

Für den Objektbereich der Methode ist es relevant, dass *betriebliche Umweltinformationssysteme* im Fokus stehen und so das Umweltmanagement und -controlling in produzierenden Unternehmen unterstützen (vgl. Kapitel 2.4.1). Die Methode wurde explizit für betriebliche Umweltinformationssysteme entwickelt und auch die identifizierten Anwendungsfälle in Kapitel 5.4.2 beziehen sich auf das Umweltmanagement und -controlling. Diese Anforderung wird somit erfüllt.

Da in dieser Arbeit die Gestaltung eines Informationssystems eine zentrale Rolle spielt, ist es notwendig, dass auch die *Software- und Systementwicklung* als Objektbereich betrachtet wird (vgl. Kapitel 2.3.4). Diese Anforderung umfasst aufgrund des Fokus auf die Gestaltung die Anforderungen, das Design und die Architektur. Da das User Centered Design, welches diese Phasen der Softwareentwicklung abdeckt, als Grundlage für die entwickelte Methode dient, gilt diese Anforderung ebenfalls als erfüllt.

Die Validierung anhand der Fallbeispiele konnte die Eignung der Methode im Objektbereich bestätigen, da das Umweltcontrolling produzierender Unternehmen durch die Methode unterstützt wurde und ein betriebliches Umweltinformationssystem gestaltet werden konnte.

7.1.2 Anforderungen an die Eigenschaften der Methode

Die Anforderungen an die Eigenschaften der Methode stellen sicher, dass die Methode anwendbar und das resultierende Informationssystem vollständig ist (vgl. Kapitel 4.1.2).

Durch eine Auswahl der Methoden zur Anforderungserhebung während der Erstellung des Projektplans und der Bereitstellung von Templates wird auf das *Vorwissen der anwendenden Personen* eingegangen, sodass diese für unterschiedliche Erfahrungslevel von Novizen und Novizinnen bis Experten und Expertinnen geeignet ist. Diese Anforderung wird somit erfüllt.

Des Weiteren sind *Iterationen* vorgesehen, die einen geringeren Aufwand durch schrittweise Detailierung eines Informationssystems aufweisen.

Die *Vollständigkeit in Bezug auf die Unternehmensfunktionen* ist Grundlage für die vollständige Erhebung der Aufgaben des Umweltcontrollings. Durch die Methode wird gewährleistet, dass die Stakeholder innerhalb des zweiten Schritts explizit berücksichtigt werden. Hierbei wird zwischen Unternehmensfunktionen sowie Adressatinnen und Adressaten unterschieden. Diese Anforderung kann daher als erfüllt bewertet werden.

Darüber hinaus muss die *Vollständigkeit bezüglich der Daten* sichergestellt werden. Hierfür müssen Vorgaben für eine Datenerfassung vorliegen. Durch die Systematisierung der benötigten Daten über Anwendungsfälle sowie ein Datenerhebungskonzept wird diese Anforderung ebenfalls erfüllt.

Die *Berücksichtigung unternehmensindividueller Parameter* bei der Anwendung der Methode stellt sicher, dass ein Informationssystem entsprechend den Anforderungen des Unternehmens gestaltet wird. Über das Reifegradmodell, die Aufnahme der Motivation und Rahmenbedingungen, die Anwendungsfälle, die Analyse und Auswahl der Informationssysteme werden die unternehmensspezifischen Charakteristika des Umweltcontrollings und der IT-Umgebung eines Unternehmens berücksichtigt. Diese Anforderung kann somit als erfüllt bewertet werden.

Die Fallbeispiele der Validierung bestätigten die Erfüllung der Anforderungen an die Methode ebenfalls. So waren die Projektteams aus Stakeholdern mit unterschiedlichen Erfahrungen und Domänenwissen zusammengesetzt und es konnte gemeinsam ein betriebliches Umweltinformationssystem gestaltet werden. Der Aufwand wurde als angemessen bewertet und die berücksichtigten Unternehmensfunktionen sowie Daten wurden als vollständig eingeschätzt.

7.1.3 Anforderungen an die Eigenschaften des resultierenden Informationssystems

Die Anforderungen an die Eigenschaften des resultierenden Informationssystems spiegeln grundlegende Funktionen und Aufgaben wider, die ein betriebliches Umweltinformationssystem adressieren muss (vgl. Kapitel 4.1.3).

Um die Informationsbedarfe der Nutzerinnen und Nutzer zu erfüllen, müssen *Informationen zielgruppen- und aufgabengerecht bereitgestellt und aufbereitet* werden. Hierbei müssen die Aktualität, die Adressatinnen und Adressaten, die Daten- und Informationsqualität, die Aggregationsstufe, das Betrachtungsobjekt und der Zweck bzw. die Darstellungsform berücksichtigt werden. Da die Daten und Informationen mithilfe der Anwendungsfälle ausgewählt und spezifiziert sowie Sichten definiert werden, wird diese Anforderung adressiert. Prototypen bieten zusätzlich die Möglichkeit die Informationsbereitstellung und -aufbereitung zu gestalten und zu testen. Das Template zur Spezifizierung der Anwendungsfälle und der benötigten Daten adressiert außerdem die abgeleiteten Anforderungen bezüglich des Informationswerts (vgl. Abbildung 30). Die Anforderung wird daher erfüllt.

Um die Aufgaben des Umweltcontrollings zu erfüllen, müssen die *Daten und Informationen verursachungsgerecht zugeordnet* werden können. Durch die definierten Kontextinformationen, die für die Spezifikation der Anwendungsfälle notwendig sind, können die Daten ihren Verursachern zugeordnet werden. Es können also Kosten, Verbräuche, Umweltauswirkungen, die Systemgrenze, der Zeitraum bzw. Zeitpunkt und der oder die Verantwortliche für die Information selbst aufgenommen und entsprechend zugeordnet werden. Das Referenzdatenmodell gibt Unternehmen hierbei einen Anhaltspunkt, wie die Kontextinformationen mit den Daten zusammenhängen, um dieses nach ihren Bedarfen anzupassen. Die Anforderung gilt somit als erfüllt.

Nachvollziehbarkeit und Überprüfbarkeit der Informationen sind eine Grundvoraussetzung für die intrinsische Informationsqualität nach Krcmar. Durch die Angabe der Datenquelle, der Definition eines oder einer Verantwortlichen, die Definition von Datenflüssen und Workflows für die Datenerhebung sowie ggf. einer direkten Anbindung von Informationssystemen können Informationen und ihre Datenquellen nachvollzogen und überprüft werden. Die Anforderung wird erfüllt.

Da Umweltinformationen in Unternehmen meist dezentral vorhanden sind, muss sichergestellt werden, dass *unterschiedliche Datenquellen angebunden* werden können. Die Anbindung der identifizierten Datenquellen wird je nach

Unternehmensanforderungen in der Informationssystemarchitektur definiert. Zusätzlich gibt die Referenzarchitektur einen Anhaltspunkt, wie eine solche Architektur aufgebaut werden könnte. Somit wird diese Anforderung erfüllt.

Die Anforderungen an das Umweltcontrolling sind ständigen Änderungen unterworfen. Daher muss eine Anpassbarkeit in Form von *Modularität bzw. Erweiterbarkeit* eines Informationssystems sichergestellt werden. Dieses wird über die Definition von Anwendungsfällen und ihren Funktionen sowie über die Referenzarchitektur adressiert. Die Anforderung gilt somit als erfüllt.

Anhand der beiden Fallbeispiele konnte die Erfüllung der Anforderungen an die Eigenschaften des resultierenden Informationssystems bestätigt werden. Die zwei gestalteten betrieblichen Umweltinformationssysteme ermöglichen durch die Verwendung von Plone mit seiner Vielzahl an verfügbaren Funktionen und der BI-Software eine zielgruppen- und aufgabengerechte Informationsbereitstellung und -aufbereitung. Zudem können die Daten und Informationen den Verursachern zugeordnet und durch Workflows, Verantwortliche und direkte Anbindung an weitere Informationssysteme nachvollzogen werden. Die beiden Informationssysteme sind außerdem in der Lage unterschiedliche Datenquellen, wie ERP-Systeme, MES oder weitere Systeme, anzubinden und sind modular bzw. erweiterbar.

7.2 Beantwortung der Forschungsfragen

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Methode zur unternehmensspezifischen Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems. Hierfür wurde die zentrale Forschungsfrage formuliert, die durch diese Arbeit beantwortet werden sollte:

Wie kann ein betriebliches Umweltinformationssystem
unternehmensspezifisch gestaltet werden?

Daher wird in diesem Kapitel untersucht, inwiefern die zentrale Forschungsfrage auch abschließend beantwortet wurde. Ausgehend von der zentralen Forschungsfrage wurden fünf Teilforschungsfragen abgeleitet. Diese Teilforschungsfragen werden im Folgenden

erneut aufgegriffen und die Beantwortung dieser durch die vorherigen Kapitel zusammengefasst:

1. Welche Aufgaben im Unternehmen sollten durch betriebliche Umweltinformationssysteme unterstützt werden?

Im Kapitel 2 konnten die Grundlagen für die Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems erarbeitet werden. Die Aufgaben, die durch ein solches Informationssystem unterstützt werden sollten, sind hierbei die Aufgaben des Umweltmanagements und -controllings. Sie beziehen sich auf die Informations-, Planungs- und Kontrollfunktion, Koordinationsfunktion sowie auf die Rationalitätssicherung der Geschäftsführung in Bezug auf die ökologische Leistung eines Unternehmens. Eine Konkretisierung der Aufgaben wurde durch die identifizierten Anwendungsfälle in der entwickelten Methode erreicht (vgl. Anhang). Eine weitere Klassifizierung der bisher übernommenen Aufgaben eines betrieblichen Umweltinformationssystems konnte zudem über den morphologischen Kasten aufgezeigt werden (vgl. Abbildung 27).

2. Welche Anforderungen sollten an die Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems gestellt werden?

Im Kapitel 4 wurden die Anforderungen an die Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems definiert. Diese gliedern sich in Anforderungen an den Objektbereich, an die Eigenschaften der Methode selbst und an die Eigenschaften des resultierenden Informationssystems.

3. Wie kann eine Methode zur unternehmensspezifischen Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems aufgebaut sein?

Aufgrund des identifizierten Handlungsbedarfs wurde im Kapitel 4 die Methode zur unternehmensspezifischen Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems entwickelt. Diese orientiert sich an den Phasen des User Centered Design und berücksichtigt so die ersten drei Phasen des Softwareentwicklungsprozesses nach SWEBOK, die die Anforderungen, das Design und die Architektur betreffen. Insgesamt besteht die Methode aus 17

Schritten, die sich in folgende Phasen einordnen: Planung des Prozesses, Erarbeitung des Nutzungskontexts, Definition der Anforderungen, Definition der Gestaltungslösung, Evaluation.

4. Wie können ein Referenzdatenmodell und eine Referenzarchitektur eines betrieblichen Umweltinformationssystems aufgebaut sein?

In den Kapiteln 5.6.1 und 5.6.6 wurden ein Referenzdatenmodell und eine Referenzarchitektur erarbeitet, die für Unternehmen eine Basis und einen Ausgangspunkt für die unternehmensspezifische Gestaltung ihres betrieblichen Umweltinformationssystems darstellt.

5. Wie kann eine Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems validiert werden?

Im Kapitel 6 wurde die entwickelte Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems anhand von zwei Fallbeispielen validiert. Aufgrund der Variation der Charakteristika dieser Fallbeispiele konnte gezeigt werden, dass die Methode sowohl für unterschiedliche Unternehmensgrößen als auch für Unternehmen mit unterschiedlichen Reifegraden in Bezug auf das Umweltmanagement und auf ihren Digitalisierungsgrad geeignet ist.

In der vorliegenden Arbeit wurde eine Methode entwickelt, die Unternehmen in die Lage versetzt, anhand ihrer individuellen Anforderungen des Umweltcontrollings ein betriebliches Umweltinformationssystem zu gestalten. Die Methode konnte außerdem anhand von zwei Fallbeispielen erfolgreich validiert werden. Aus der Beantwortung der Teilforschungsfragen ergibt sich abschließend die Antwort auf die zentrale Forschungsfrage, sodass das Ziel der Arbeit somit als erfüllt gewertet werden kann. Es konnte gezeigt werden, wie ein betriebliches Umweltinformationssystem unternehmensspezifisch mithilfe der entwickelten Methode gestaltet werden kann.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Aufgrund diverser ökologischer Krisen, wie Klimawandel und Biodiversitätsverlust, und des damit verbundenen gesellschaftlichen und regulatorischen Drucks hin zu einem ökologischen Wirtschaften wird das Umweltmanagement und -controlling für Unternehmen immer wichtiger. Um die steigenden Anforderungen zu erfüllen und ausreichende Transparenz über umweltrelevante Kennzahlen zu erlangen, wird eine informationstechnische Unterstützung, zum Beispiel in Form von betrieblichen Umweltinformationssystemen, benötigt. Bislang sind solche Systeme in Unternehmen jedoch nicht ausreichend im Einsatz und können Unternehmen daher nicht im benötigten Umfang unterstützen. Häufig besteht zudem Unwissenheit darüber, welche Funktionen solche Informationssysteme zur Unterstützung des Umweltmanagements und -controllings bereitstellen können und sollen.

In diesem Kontext war das Ziel dieser Arbeit eine Methode zur unternehmensspezifischen Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems zu entwickeln, um anhand systematisch aufgenommener Anforderungen eine Gestaltungslösung zu definieren. Diese Gestaltungslösung beinhaltet Anwendungsfälle, ein Datenmodell, ein Datenerhebungskonzept sowie eine Informationssystemarchitektur inklusive Prototypen, Workflows und Sichten. Hierfür wurde ein bestehender Softwareentwicklungsprozess als Rahmen herangezogen und detailliert, um speziell für betriebliche Umweltinformationssysteme geeignet zu sein und auf die unternehmensindividuellen Charakteristika eingehen zu können.

Zunächst wurden dazu die Grundlagen zu Nachhaltigkeit, Umweltmanagement und -controlling, Informationssystemen, betrieblichen Umweltinformationssystemen und Reifegradmodellen analysiert und aufgearbeitet. Für die zentralen Begriffe dieser Arbeit, wie Umweltcontrolling und betriebliche Umweltinformationssysteme, wurden die Definitionen erarbeitet und zusammengefasst. Aufbauend auf den Grundlagen wurde der Stand der Forschung und Technik aus den Bereichen Vorgehensmodelle zur Einführung

von betrieblichen Umweltinformationssystemen, Architekturen und Datenmodelle von betrieblichen Umweltinformationssystemen, Umweltinformationsmanagement und Requirement Engineering dargelegt. Die Ansätze wurden darüber hinaus anhand der identifizierten Anforderungen detailliert analysiert. Hierbei wurde deutlich, dass bisherige Ansätze die Anforderungen nicht erfüllen, da sie meist nur Teilaspekte berücksichtigen oder auf eine technologische Lösung, wie ein ERP-System, fokussiert sind. Um diese identifizierte Forschungslücke zu schließen, wurde anschließend die Methode zur Gestaltung eines betrieblichen Umweltinformationssystems auf Grundlage des User Centered Design entwickelt. Die Methode ermöglicht durch das Herunterbrechen der zu erfüllenden Aufgaben in Anwendungsfälle eine detaillierte Analyse der benötigten Funktionen und die unternehmensspezifische Auswahl und Definition einer Gestaltungslösung für betriebliche Umweltinformationssysteme. Die Methode wurde anschließend anhand von zwei Fallbeispielen mit produzierenden Unternehmen validiert. Die zentrale Forschungsfrage „Wie kann ein betriebliches Umweltinformationssystem unternehmensspezifisch gestaltet werden?“ konnte somit abschließend beantwortet werden.

Die entwickelte Methode ermöglicht also betriebliche Umweltinformationssysteme unternehmensspezifisch und anforderungsgerecht zu gestalten. Sie bietet daher für Unternehmen enormes Potential, um den steigenden Anforderungen an das Umweltmanagement und -controlling überhaupt gerecht werden zu können. Durch die Methode wird es Unternehmen ermöglicht ihr Umweltmanagement und -controlling durch informationstechnische Unterstützung effizienter und zielgruppengerecht auszurichten. Zusätzlich können Umweltdaten und -informationen anhand einer validen und nachvollziehbaren Datenbasis ermittelt werden, welches die Grundlage für Verbesserungen der ökologischen Leistung eines Unternehmens bildet.

8.1 Grenzen der Methode

Die so entwickelte Methode zur Gestaltung betrieblicher Umweltinformationssysteme weist jedoch auch Grenzen auf. Unternehmen sollten bereits ein erstes Verständnis von ihrem Umweltmanagement und den damit verbundenen Aufgaben haben, um die

Methode anwenden zu können. Ansonsten ist es schwierig, die Anforderungen an ein entsprechendes Informationssystem und an die benötigten Daten ableiten zu können. Über die Anwendungsfälle stellt die Methode jedoch eine Hilfestellung bereit, welche Aufgaben im Umweltmanagement und -controlling anfallen können. Darüber hinaus war es das Ziel dieser Arbeit eine unternehmensspezifische Gestaltungslösung zu ermöglichen. Dieses bedeutet, dass sie von den Präferenzen eines Unternehmens abhängig ist und anhand dieser Präferenzen die passende Lösung erarbeitet wird. Diese Einschränkung im Lösungsraum muss beachtet werden. Um die Präferenzen jedoch objektiver und vollständig erheben zu können, wurden allgemeingültige Kriterien, wie für die Auswahl der Informationssysteme oder des Datenerhebungskonzepts, ermittelt.

Die Bestimmung des Daten- und Informationswerts mithilfe eines Analytical Hierarchy Process oder einer Nutzwertanalyse wurde innerhalb der Fallbeispiele nicht angewandt, da die einfache technische Umsetzbarkeit – und nicht der Wert einer Information – das ausschlaggebende Kriterium für die betrachteten Unternehmen war. Generell besteht im Kontext des Daten- und Informationswerts für das Umweltmanagement noch Forschungsbedarf, um diesen adäquat bestimmen zu können. Diese Arbeit hat hierfür eine erste Basis geschaffen, indem zu berücksichtigende Aspekte dargelegt wurden (vgl. Kapitel 5.6.3). Zudem können auch Synergien zu anderen Unternehmensfunktionen, wie Qualitätsmanagement oder Instandhaltung, eine Rolle spielen und so den Daten- und Informationswert erhöhen. Dieser Aspekt wurde jedoch in dieser Arbeit aufgrund des Schwerpunkts auf das Umweltmanagement und -controlling nicht betrachtet.

Zudem fokussiert sich diese Methode auf Unternehmen und betrachtet somit keine Wertschöpfungsnetzwerke. Das bedeutet auch, dass unternehmensübergreifende rechtliche Anforderungen, wie das Lieferkettensorgfaltspflichtengesetz, nur indirekt über die zu erhebenden Informationen in einem Unternehmen berücksichtigt werden. Somit werden auch Schnittstellen zu anderen Unternehmen nur am Rande betrachtet, wobei eine Erweiterung der Methode auf Wertschöpfungsnetzwerke denkbar ist.

Der Markt von betrieblichen Umweltinformationssysteme ist starken Veränderungen unterlegen und somit sehr volatil, sodass es fast unmöglich ist, den aktuellen Stand der

potentiellen Softwareangebote zu erfassen. Daher bildet die Liste der betrieblichen Umweltinformationssysteme im Anhang nur einen zeitlich und auf Europa begrenzten Ausschnitt ab. Durch die Anwendungsfälle mit Funktionsbeschreibung werden die Anforderungen jedoch klar abgegrenzt und es ist für Unternehmen möglich für diese speziellen Anwendungen Lösungen am Softwaremarkt zu suchen.

Die Umsetzung eines betrieblichen Umweltinformationssystems kann zudem langwierig sein und muss strategisch geplant werden. Da die Umsetzung und Umsetzungsbegleitung nicht innerhalb des Objektbereichs der Arbeit lag, besteht hier weiterer Forschungsbedarf zur Bestimmung der Besonderheiten bei der Implementierung von betrieblichen Umweltinformationssystemen.

8.2 Ausblick

Durch die Beantwortung der zentralen Forschungsfragen wurden darüber hinaus relevante Erkenntnisse erlangt, die Ansatzpunkte für weitere Forschungsarbeiten bieten können.

Zum einen besteht eine unzureichende Standardisierung der zu erhebenden umweltrelevanten Daten, welche zu Unklarheiten und Inkonsistenzen in den Daten führt (Gotsch et al. 2020, S.79). Insbesondere bei der Weitergabe der Daten über Wertschöpfungsketten hinweg müssen das Datenformat, die entsprechenden Messungen, die Datenqualität und die Schnittstellen zur Weitergabe standardisiert sein. Auch könnten bei einer ausreichenden Standardisierung Softwareanbieter verstärkt standardisierte Lösungen entwickeln und anbieten. So wäre ein automatisierter Product Carbon Footprint, der reale Daten über die Wertschöpfungskette erhebt, oder allgemeiner gefasst ein Produktpass mit umweltrelevanten Daten denkbar. Erste Ansätze für eine Standardisierung bestehen bereits, wie zum Beispiel mit der Norm ISO 20140-5. Diese Bestrebungen sollten jedoch sowohl auf Forschungs- als auch auf Standardisierungsseite intensiviert werden.

Zum anderen besteht, wie im Kapitel 8.1 erläutert, Forschungsbedarf bei der Bewertung des Daten- und Informationswerts. Hier sollte untersucht werden, inwiefern Synergien

und Mehrwerte zu anderen Unternehmensfunktionen, wie dem Qualitäts- oder Instandhaltungsmanagement, in Form von vorhandenen Daten oder weiteren Informationsbedarfen und Möglichkeiten zur Entscheidungsunterstützung genutzt werden können.

Informationssysteme sollten in der Regel in eine Unternehmensarchitektur eingebettet sein, welches als Grundlage für eine IT-Strategie genutzt werden kann, um Konsistenz innerhalb eines Unternehmens zu gewährleisten. Es sollten daher Unternehmensarchitekturen entwickelt werden, die explizit Nachhaltigkeit einbeziehen und betriebliche Umweltinformationssysteme integrieren.

In den Fallbeispielen konnte dargelegt werden, wie wichtig eine IT-Strategie und die Integration von Informationssystemen in diese Strategie ist. Die entwickelte Methode ermöglicht eine Integration von betrieblichen Umweltinformationssystemen in eine solche IT-Strategie, die Entwicklung und Anpassung unter Beachtung von Umweltaspekten ist jedoch außerhalb des Objektbereichs dieser Arbeit. Dieses könnte in Zukunft untersucht werden.

Ein Softwareatlas oder Marktspiegel, der einen Überblick über aktuell verfügbare betriebliche Umweltinformationssysteme mit ihren Funktionen gibt, z.B. über eine Einordnung in den morphologischen Kasten, könnte Unternehmen bei der Auswahl des richtigen Informationssystems unterstützen und ggf. Angebotslücken aufdecken. Hierbei könnte der Marktspiegel für ERP-Systeme als Referenz herangezogen werden (Hardjosuwito et al. 2022). Bisher fehlt eine solche Marktübersicht im Kontext der betrieblichen Umweltinformationssysteme.

Die Umsetzung und Implementierung von betrieblichen Umweltinformationssystemen ist darüber hinaus noch unzureichend erforscht. Hier könnten Hemmnisse und Enabler ermittelt werden. Zudem könnte die entwickelte Methode erweitert werden und die Phase der Umsetzung inklusive eines Change- oder Transitionmanagements einbezogen werden. Da mit der Einführung eines betrieblichen Umweltinformationssystems meist auch Änderungen von organisatorischen Prozessen oder Verantwortlichkeiten einhergehen, wird ein solches Changemanagement benötigt.

Literaturverzeichnis

Adams & Frost 2008

Adams, Carol A. & Frost, Geoffrey R., 2008.
Integrating sustainability reporting into management practices.
Accounting Forum **32** (4), S. 288–302
DOI: 10.1016/j.accfor.2008.05.002

Alewine et al. 2016

Alewine, Hank C; Allport, Christopher D; Shen, Wei-Cheng Milton, 2016.
How measurement framing and accounting information system evaluation mode influence environmental performance judgments.
International Journal of Accounting Information Systems **23**, S. 28–44
DOI: 10.1016/j.accinf.2016.10.002

Amel-Zadeh & Serafeim 2018

Amel-Zadeh, Amir & Serafeim, George, 2018.
Why and How Investors Use ESG Information: Evidence from a Global Survey.
Financial Analysts Journal **74** (3), S. 87–103
DOI: 10.2469/faj.v74.n3.2

Angelov et al. 2009

Angelov, Samuil; Grefen, Paul; Greefhorst, Danny, 2009.

A classification of software reference architectures: Analyzing their success and effectiveness: *2009 joint Working IEEE/IFIP Conference on Software Architecture & European Conference on Software Architecture: (WICSA 2009/ECSA 2009)*; Cambridge, United Kingdom, 14 - 17 September 2009, Cambridge, United Kingdom, 14.09.2009 - 17.09.2009. Piscataway, NJ: IEEE, S. 141-150.

ISBN: 978-1-4244-4984-2

DOI: 10.1109/WICSA.2009.5290800

Arndt 1993 Arndt, Hans-Knud, 1993.

Umweltinformationssysteme für Unternehmen. Berlin. Schriftenreihe des IÖW 69.

ISBN: 3-926930-64-0

Arndt 1997 Arndt, Hans-Knud, 1997.

Betriebliche Umweltinformationssysteme: Gestaltung und Implementierung eines BUIS-Kernsystems.

Wiesbaden: Gabler Verlag. Neue betriebswirtschaftliche Forschung.

ISBN: 9783409128353.

DOI: 10.1007/978-3-322-89231-7

Ascani et al. 2021

Ascani, Ilenia; Ciccola, Roberta; Chiucchi, Maria Serena, 2021.

A Structured Literature Review about the Role of Management Accountants in Sustainability Accounting and Reporting.

Sustainability **13** (4), S. 2357

DOI: 10.3390/su13042357

ASTM E3012-16

ASTM E3012-16:2016.

Standard Guide for Characterizing Environmental Aspects of Manufacturing Processes.

Baringhorst et al. 2017

Baringhorst, Simon; Lefèvre, Jörg; Menz, Verena, 2017.

Digitalisierung und Nachhaltigkeit in mittelständischen Unternehmen: Studie. Osnabrück.

DOI: 10.24359/dbu004

Barni et al. 2018

Barni, Andrea; Fontana, Alessandro; Menato, Silvia; Sorlini, Marzio; Canetta, Luca, 2018.

Exploiting the Digital Twin in the Assessment and Optimization of Sustainability Performances. In: Jardim-Gonçalves, Ricardo (Hrsg.): *Proceedings of 9th International Conference on Intelligent Systems 2018 (IS '18)*. Piscataway, NJ: IEEE, S. 706-713.

ISBN: 9781538670972

DOI: 10.1109/IS.2018.8710554

- Bayerisches Landesamt für Umwelt 2016** Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2016.
Software für Umweltmanagement und betrieblichen Umweltschutz – eine "offene Link-Liste".
Verfügbar unter: <https://www.umweltpakt.bayern.de/management/fachwissen/329/software-umweltmanagement-betrieblichen-umweltschutz-eine-offene-link-liste>
Zugriff am: 22.12.2021
- Behrendt et al. 2018** Behrendt, Siegfried; Göll, Edgar; Korte, Friederike, 2018.
Effizienz, Konsistenz, Suffizienz: Strategieanalytische Betrachtung für eine Green Economy. Berlin: IZT - Institut für Zukunftsstudien und Technologiebewertung gemeinnützige GmbH. IZT-Text 2018, 1.
ISBN: 978-3-941374-35-5
- Beier et al. 2020** Beier, Grischa; Reißig, Malte; Niehoff, Silke; Ullrich, André, 2020.
Betriebliches Nachhaltigkeitsmanagement 4.0.
Industrie 4.0 Management 2020 (2), S. 57–60
DOI: 10.30844/I40M_20-1_S57-60

Bernstein et al. 2019

Bernstein, William Z; Tamayo, Cesar D; Lechevalier, David; Brundage, Michael P., 2019.
Incorporating unit manufacturing process models into life cycle assessment workflows. In: Sutherland, John W; Skerlos, Steven J; Zhao, Fu (Hrsg.): *26th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference*, Purdue University, West Lafayette, USA, May 7-9, 2019, S. 364-369
DOI: 10.1016/j.procir.2019.01.019

Bernus & Schmidt 1998

Bernus, Peter & Schmidt, Günter, 1998.
Architectures of Information Systems.
In: Bernus, Péter; Mertins, Kai; Schmidt, Günter (Hrsg.): *Handbook on architectures of information systems*.
International handbooks on information systems.
Berlin, New York: Springer, S. 1-9.
ISBN: 978-3-662-03528-3
DOI: 10.1007/978-3-662-03526-9_1

Beucker et al. 2003

Beucker, Severin; Härty, Alexander; Heubach, Daniel; Jung, Hans-Joachim; Keil, Michael; Lang, Claus; Loew, Thomas; Mannhardt, Jörg; Reckziegel, Christian; Steinfeldt, Michael, 2003.
Umweltcontrolling in produzierenden Unternehmen: Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt INTUS.
Verfügbar unter: https://www.ioew.de/uploads/tx_ukioewdb/INTUS-End.pdf
Zugriff am: 22.02.2020

Bischof & Winkler 2012

Bischof, Christian & Winkler, Herwig, 2012.
Zeitgemäßes Umweltcontrolling mit SAP.
In: Tschandl, Martin; Posch, Alfred (Hrsg.): *Integriertes Umweltcontrolling*. Wiesbaden: Gabler Verlag, S. 207-230.
ISBN: 978-3-8349-3031-6
DOI: 10.1007/978-3-8349-6844-9_11

Blume et al. 2018

Blume, Stefan; Kurle, Denis; Herrmann, Christoph; Thiede, Sebastian, 2018.
Toolbox zur Steigerung der Ressourceneffizienz im metallverarbeitenden Gewerbe.
In: Arndt, Hans-Knud et al. (Hrsg.): *Nachhaltige Betriebliche Umweltinformationssysteme*. Research. Wiesbaden: Springer Gabler, S. 235-251.
ISBN: 9783658203795
DOI: 10.1007/978-3-658-20380-1_21

BMWK 2022 Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022.

Deutsche Klimaschutzpolitik.
Verfügbar unter: <https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-deutsche-klimaschutzpolitik.html>
Zugriff am: 22.09.2022

Bodendorf 2003

Bodendorf, Freimut, 2003.

Daten und Wissen.

In: Bodendorf, Freimut (Hrsg.): *Daten- und Wissensmanagement*. Springer-Lehrbuch. Berlin, Heidelberg: Springer, S. 1-5.

ISBN: 978-3-540-00102-7

DOI: 10.1007/978-3-662-06494-8_1

Boltena et al. 2014

Boltena, Abiot Sinamo; Rapp, Barbara; Solsbach, Andreas; Gómez, Jorge Marx, 2014.

Towards Green ERP Systems: The selection driven perspective: *Information and communication technology for energy efficiency: Conference proceedings ; EnviroInfo 2014 - 28th International Conference on Informatics for Environmental Protection ; 10th - 12th September, 2014, Oldenburg, Germany*. Oldenburg: BIS-Verl. der Carl-von-Ossietzky-Univ, S. 421-428.

ISBN: 978-3-8142-2317-9

Brauweiler 2010a

Brauweiler, Jana, 2010.

Umweltmanagementsysteme nach EMAS und ISO 14001.

In: Kramer, Matthias (Hrsg.): *Integratives Umweltmanagement*. Wiesbaden: Gabler, S. 279-301.

ISBN: 978-3-8349-8602-3

Brauweiler 2010b

Brauweiler, Jana, 2010.
Nachhaltigkeit auf Unternehmensebene.
In: Kramer, Matthias (Hrsg.): *Integratives
Umweltmanagement*. Wiesbaden: Gabler, S. 63-77.
ISBN: 978-3-8349-8602-3
DOI: 10.1007/978-3-8349-8602-3_3

Brendel et al. 2018

Brendel, Alfred Benedik; Zapadka, Patryk; Kolbe, Lutz
M., 2018.
Design Science Research in Green IS - Analyzing the
Past to Guide Future Research. In: Bednar, Peter M;
Frank, Ulrich; Kautz, Karlheinz (Hrsg.): *26th European
Conference on Information Systems: Beyond
Digitization - Facets of Socio-Technical Change*,
Portsmouth, UK, June 23-28, 2018, S. 1-18

Brown et al. 2005

Brown, Darell; Dillard, Jesse. F; Marshall, R. Scott,
2005.
Strategically Informed, Environmentally Concious
Information Requirements for Accounting Systems.
Journal of Information Systems **19** (2), S. 79–103

Brundtland 1987

Brundtland, Gro Harlem, 1987.
*Our Common Future: Report of the World Commission
on Environment and Development*.
Verfügbar unter: <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>
Zugriff am: 29.11.2020

- Brzozowska et al. 2015** Brzozowska, Anna; Bubel, Dagmara; Pabian, Aleksander, 2015.
Implementation of Technical and Information Systems in Environmental Management.
Procedia - Social and Behavioral Sciences **213**, S. 992–999
DOI: 10.1016/j.sbspro.2015.11.516
- Bullinger & Fähnrich 1997** Bullinger, Hans-Jörg & Fähnrich, Klaus-Peter, 1997.
Betriebliche Informationssysteme: Grundlagen und Werkzeuge der methodischen Softwareentwicklung.
Berlin, Heidelberg: Springer.
ISBN: 978-3-642-63890-9.
DOI: 10.1007/978-3-642-59194-5
- Burritt & Christ 2016** Burritt, Roger & Christ, Katherine, 2016.
Industry 4.0 and environmental accounting: a new revolution?
Asian Journal of Sustainability and Social Responsibility **1** (1), S. 23–38
DOI: 10.1186/s41180-016-0007-y
- Burritt & Schaltegger 2010** Burritt, Roger L. & Schaltegger, Stefan, 2010.
Sustainability accounting and reporting: fad or trend?
Accounting, Auditing & Accountability Journal **23** (7), S. 829–846
DOI: 10.1108/09513571011080144

Burritt et al. 2002

Burritt, Roger; Hahn, Tobias; Schaltegger, Stefan, 2002.

Towards a Comprehensive Framework for Environmental Management Accounting — Links Between Business Actors and Environmental Management Accounting Tools.

Australian Accounting Review **12** (2), S. 39–50

Burritt et al. 2019

Burritt, Roger Leonard; Herzig, Christian; Schaltegger, Stefan; Viere, Tobias, 2019.

Diffusion of environmental management accounting for cleaner production: Evidence from some case studies.

Journal of Cleaner Production **224**, S. 479–491

DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.03.227

Burton et al. 2021

Burton, Keith; O'Raghallaigh, Paidi; Nagle, Tadhg, 2021.

Developing a Green IS to support the move to eco-effective packaging: A Design Science Research study.

In: Bui, Tung (Hrsg.): *Hawaii International Conference on System Sciences 2021*, January 4-8, 2021.

Honolulu, HI: University of Hawai'i at Manoa Hamilton Library, S. 896-905.

ISBN: 978-0-9981331-4-0

- Canetta et al. 2018** Canetta, Luca; Barni, Andrea; Montini, Elias, 2018.
Development of a Digitalization Maturity Model for the Manufacturing Sector. In: Mare, Stefan c. (Hrsg.): *2018 International Conference on Development and Application Systems (DAS): 14th edition, May 24-26, 2018, Suceava, Romania : conference proceedings*, Suceava, Romania, 17.06.2018 - 20.06.2018.
Piscataway, NJ: IEEE, S. 1-7.
ISBN: 978-1-5386-1469-3
DOI: 10.1109/ICE.2018.8436292
- Capgemini Consulting & MIT 2011** Capgemini Consulting & MIT, 2011.
Digital Transformation: A Roadmap for Billion-Dollar Organizations.
Verfügbar unter: https://www.capgemini.com/wp-content/uploads/2017/07/Digital_Transformation__A_Road-Map_for_Billion-Dollar_Organizations.pdf
Zugriff am: 30.03.2022
- Carlson & Pålsson 2001** Carlson, Raul & Pålsson, Ann-Christin, 2001.
Industrial environmental information management for technical systems.
Journal of Cleaner Production **9** (5), S. 429–435
DOI: 10.1016/S0959-6526(01)00002-6
- Carlson 2005** Carlson, Raul, 2005.
Establishing Common Primary Data for Environmental overview of Product Life Cycles. Stockholm, Schweden: Swedish Environmental Protection Agency.
ISBN: 91-620-5523-2

Carlson 2010 Carlson, Raul, 2010.

Structuring Information for Industrial Environmental Management.

In: Teuteberg, Frank; Gomez, Jorge M. (Hrsg.):

Corporate environmental management information

systems. Hershey, Pa: IGI Global (701 E. Chocolate

Avenue Hershey Pennsylvania 17033 USA), S. 180-197.

ISBN: 9781615209811

DOI: 10.4018/978-1-61520-981-1.ch012

Carlson et al. 2006

Carlson, Raul; Erixon, Maria; Erlandsson, Markus;

Flemström, Karolina; Häggström, Sandra; Tiviander,

Johan; Palsson, Ann-Christin, 2006.

Final report from the IMPRESS project: Implementation of integrated environmental information systems.

Verfügbar unter: https://www.lifecyclecenter.se/wp-content/uploads/2006_18.pdf

Zugriff am: 14.03.2021

Carrizo et al. 2014

Carrizo, Dante; Dieste, Oscar; Juristo, Natalia, 2014.

Systematizing requirements elicitation technique selection.

Information and Software Technology **56** (6), S. 644–669

DOI: 10.1016/j.infsof.2014.01.009

Chen et al. 2008

Chen, Adela J.W; Boudreau, Marie-Claude; Watson, Richard T., 2008.
Information systems and ecological sustainability.
Journal of Systems and Information Technology **10** (3),
S. 186–201
DOI: 10.1108/13287260810916907

Chofreh et al. 2016

Chofreh, Abdoulmohammad Gholamzadeh; Goni, Feybi Ariani; Ismail, Syuhaida; Mohamed Shaharoun, Awaluddin; Klemeš, Jiří Jaromír; Zeinalnezhad, Masoomah, 2016.
A master plan for the implementation of sustainable enterprise resource planning systems (part I): concept and methodology.
Journal of Cleaner Production **136**, S. 176–182
DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.05.140

Chofreh et al. 2018a

Chofreh, Abdoulmohammad Gholamzadeh; Goni, Feybi Ariani; Klemeš, Jiří Jaromír, 2018.
A roadmap for Sustainable Enterprise Resource Planning systems implementation (part III).
Journal of Cleaner Production **174**, S. 1325–1337
DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.10.285

Chofreh et al. 2018b

Chofreh, Abdoulmohammad Gholamzadeh; Goni, Feybi Ariani; Klemeš, Jiří Jaromír, 2018.
Evaluation of a framework for sustainable Enterprise Resource Planning systems implementation.
Journal of Cleaner Production **190**, S. 778–786
DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.04.182

Chofreh et al. 2018c

Chofreh, Abdoulmohammad Gholamzadeh; Goni, F. A.; Klemeš, J. J., 2018.

Steps Towards the Implementation of Sustainable Enterprise Resource Planning Systems.

Chemical Engineering Transactions **70**, S. 283–288

DOI: 10.3303/CET1870048

Conrad 2014 Conrad, Christian, 2014.

ERP for ESG: Nachhaltigkeitsmanagement mit Software-Systemen.

In: Schulz, Thomas; Bergius, Susanne (Hrsg.): *CSR und Finance*. Management-Reihe Corporate Social Responsibility. Berlin: Springer Gabler, S. 193-206.

ISBN: 978-3-642-54882-6

DOI: 10.1007/978-3-642-54882-6_13

Costanza et al. 1997

Costanza, Robert; d'Arge, Ralph; Groot, Rudolf de; Farber, Stephen; Grasso, Monica; Hannon, Bruce; Limburg, Karin; Naeem, Shahid; O'Neill, Robert V; Paruelo, Jose; Raskin, Robert G; Sutton, Paul; van den Belt, Marjan, 1997.

The value of the world's ecosystem services and natural capital.

Nature **387** (6630), S. 253–260

DOI: 10.1038/387253a0

- Dagiliene & Šutiene 2019** Dagiliene, Lina & Šutiene, Kristina, 2019.
Corporate sustainability accounting information systems: a contingency-based approach.
Sustainability Accounting, Management and Policy Journal **10** (2), S. 260–289
DOI: 10.1108/SAMPJ-07-2018-0200
- Davenport & Prusak 1998** Davenport, Thomas H. & Prusak, Laurence, 1998.
Working knowledge: How organizations manage what they know. Boston, Mass.: Harvard Business School Press.
ISBN: 978-0-875-84655-2
- Davis 1982** Davis, G. B., 1982.
Strategies for information requirements determination.
IBM Systems Journal **21** (1), S. 4–30
DOI: 10.1147/sj.211.0004
- DIN EN ISO 14001** DIN EN ISO 14001:2015-11.
Umweltmanagementsysteme: Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung
- DIN EN ISO 14031** DIN EN ISO 14031:2013-12.
Umweltmanagement – Umweltleistungsbewertung – Leitlinien (ISO 14031:2013); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14031:2013.
- DIN EN ISO 14044** DIN EN ISO 14044:2021-02.
Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen.

-
- DIN EN ISO 9241-210** DIN EN ISO 9241-210:2019-03.
*Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210:
Menschzentrierte Gestaltung interaktiver Systeme: ISO
9241-210:2019*
- Dornhöfer 2017** Dornhöfer, Mareike, 2017.
*Green Knowledge Management zur Unterstützung
ökologischer Nachhaltigkeit.*
Siegen, Universität Siegen, Dissertation,
urn:nbn:de:hbz:467-11143
- Dyckhoff 2000** Dyckhoff, Harald, 2000.
*Umweltmanagement: Zehn Lektionen in
umweltorientierter Unternehmensführung ; mit 13
Tabellen.* Berlin, Heidelberg: Springer.
ISBN: 3-540-66966-3
- Efe 2016** Efe, Burak, 2016.
An integrated fuzzy multi criteria group decision
making approach for ERP system selection.
Applied Soft Computing **38**, S. 106–117
DOI: 10.1016/j.asoc.2015.09.037

(EG) Nr. 1221/2009

Verordnung (EG) Nr. 1221/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. November 2009 über die freiwillige Teilnahme von Organisationen an einem Gemeinschaftssystem für Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung und zur Aufhebung der Verordnung (EG) Nr. 761/2001, sowie der Beschlüsse der Kommission 2001/681/EG und 2006/193/EG.

Verfügbar unter: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:342:0001:0045:DE:PDF>
Zugriff am: 08.12.2021

Eisner et al. 2022

Eisner, Eduard; Hsien, Cadence; Mennenga, Mark; Khoo, Zi-Yu; Dönmez, Jasmin; Herrmann, Christoph; Low, Jonathan Sze Choong, 2022.
Self-Assessment Framework for Corporate Environmental Sustainability in the Era of Digitalization. *Sustainability* **14** (4), S. 2293
DOI: 10.3390/su14042293

El-Gayar & Fritz 2006

El-Gayar, Omar & Fritz, Brian D., 2006.
Environmental Management Information Systems (EMIS) for Sustainable Development: A Conceptual Overview.
Communications of the Association for Information Systems **17**, S. 756–784
DOI: 10.17705/1CAIS.01734

-
- Elkington 2004** Elkington, John, 2004.
Enter the Triple Bottom Line.
In: Henriques, Adrian; Richardson, Julie (Hrsg.): *The Triple Bottom Line*. Hoboken: Earthscan, S. 23-38.
ISBN: 9781849773348
- Engemann et al. 2007** Engemann, Kirstin; Kestler, Florian; Scheunemann, Wolfgang; Hutter, Claus-Peter (Hrsg.), 2007.
Corporate Social Responsibility (CSR): Wege zur Nachhaltigkeit ; ein Praxisleitfaden. Beiträge der Akademie für Natur- und Umweltschutz Baden-Württemberg 44. Stuttgart: Wiss. Verl.-Ges.
ISBN: 9783804723887
- Erixon et al. 2006** Erixon, Maria; Tiviander, Johan; Palsson, Ann-Christin; Carlson, Raul, 2006.
General method for integration of industrial environmental information systems: Deliverable from the IMPRESS project.
Verfügbar unter: https://research.chalmers.se/publication/23913/file/23913_Fulltext.pdf
Zugriff am: 12.08.2021
- Erlandsson & Tillman 2009** Erlandsson, Johan & Tillman, Anne-Marie, 2009.
Analysing influencing factors of corporate environmental information collection, management and communication.
Journal of Cleaner Production **17** (9), S. 800–810
DOI: 10.1016/j.jclepro.2008.11.021

Europäische Kommission 2022 Europäische Kommission, 2022.

Umsetzung des europäischen Grünen Deals.

Verfügbar unter: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_de

Zugriff am: 30.09.2022

Ferrari et al. 2021

Ferrari, Anna Maria; Volpi, Lucrezia; Settembre-Blundo, Davide; García-Muiña, Fernando E., 2021.

Dynamic life cycle assessment (LCA) integrating life cycle inventory (LCI) and Enterprise resource planning (ERP) in an industry 4.0 environment.

Journal of Cleaner Production **286**, S. 125314

DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125314

Förtsch & Meinholz 2018

Förtsch, Gabi & Meinholz, Heinz, 2018.

Handbuch betriebliches Umweltmanagement. 3.

Auflage. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Vieweg.

ISBN: 978-3-658-19150-4.

DOI: 10.1007/978-3-658-19151-1

Zugriff am: 31.01.2021

Frysinger 2001

Frysinger, Steven P., 2001.

An integrated environmental information system IEIS for corporate environmental management.

Advances in Environmental Research **5**, S. 361–367

-
- Gangadharan & Swami 2004** Gangadharan, G. R. & Swami, Sundaravalli N., 2004. Business intelligence systems: design and implementation strategies - Information Technology Interfaces, 2004. 26th International Conference on: *Proceedings of the 26th International Conference on Information Technology Interfaces*, Cavtat, Croatia, June 7-10, 2004: SRCE University Computing Centre University of Zagreb, S. 139-144
- Gast et al. 2017** Gast, Johanna; Gundolf, Katherine; Cesinger, Beate, 2017. Doing business in a green way: A systematic review of the ecological sustainability entrepreneurship literature and future research directions. *Journal of Cleaner Production* **147**, S. 44–56
DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.01.065
- Ghobakhloo 2020** Ghobakhloo, Morteza, 2020. Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of Cleaner Production* **252**, S. 119869
DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.119869

Giesen 2014 Giesen, Nils, 2014.

ICT-based Sustainability Planning and Management Support for SME: *Information and communication technology for energy efficiency: Conference proceedings ; EnviroInfo 2014 - 28th International Conference on Informatics for Environmental Protection ; 10th - 12th September, 2014, Oldenburg, Germany*. Oldenburg: BIS-Verl. der Carl-von-Ossietzky-Univ, S. 25-32.

ISBN: 978-3-8142-2317-9

Giesen et al. 2009

Giesen, Nils; Farzad, Tabassom; Gómez, Jorge Marx, 2009.

A component based approach for overall Environmental Management Information Systems (EMIS) integration and implementation. In: Wohlgemuth, Volker; Page, Bernd; Voigt, Kristina (Hrsg.): *Environmental informatics and industrial environmental protection: concepts, methods and tools: EnviroInfo 2009 ; 23rd International Conference on Informatics for Environmental Protection ; proceedings of the 23rd International Conference Environmental Informatics - Informatics for environmental protection, sustainable development and risk management, September 09 - 11, 2009, HTW Berlin, University of Applied Sciences, Germany*.

Aachen: Shaker, S. 145-150.

ISBN: 978-3-8322-8397-1

Gloger 2010 Gloger, Boris, 2010.

Scrum.

Informatik-Spektrum **33** (2), S. 195–200

DOI: 10.1007/s00287-010-0426-6

Goeken 2006 Goeken, Matthias, 2006.

Entwicklung von Data-Warehouse-Systemen. 1. Aufl.

Wiesbaden: DUV Deutscher Universitäts-Verlag.

Marburg, Universität, Dissertation, 2005.

ISBN: 3835003259

Goericke et al. 2015

Goericke, D; Lichtblau, K; Stich, V., 2015.

Industrie 4.0-Readiness Online-Selbst-Check für Unternehmen.

Verfügbar unter: <https://www.industrie40-readiness.de/>

Zugriff am: 30.03.2022

Gómez & Teuteberg 2015

Gómez, Jorge Marx & Teuteberg, Frank, 2015.

Toward the Next Generation of Corporate Environmental Management Information Systems: What is Still Missing?

In: Hilty, Lorenz M; Aebischer, Bernard (Hrsg.): *ICT Innovations for Sustainability*. Advances in Intelligent Systems and Computing, 310. Cham: Springer

International Publishing; Imprint; Springer, S. 313-332.

ISBN: 978-3-319-09227-0

DOI: 10.1007/978-3-319-09228-7_19

Gómez 2009

Gómez, Jorge Marx, 2009.
Corporate Environmental Management Information Systems – CEMIS 2.0. In: Davcev, Danco; Gómez, Jorge M. (Hrsg.): *Proceedings of the ICT Innovations Conference 09, Ohrid, Macedonia, Ohrid, Macedonia, 28-30 September, 2009*, S. 1-4
DOI: 10.1007/978-3-642-10781-8_1

Gotsch et al. 2020

Gotsch, Matthias; Erdmann, Lorenz; Eberling, Elisabeth, 2020.
Abschlussbericht "Digitalisierung ökologisch nachhaltig nutzbar machen": Entwicklung von Handlungsempfehlungen zu den wichtigsten umweltpolitischen Maßnahmen in ausgewählten Trendthemen der Digitalisierung mittels der Durchführung von Stakeholderdialogen.
Verfügbar unter: <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/digitalisierung-oekologisch-nachhaltig-nutzbar>
Zugriff am: 10.09.2022

Gräuler et al. 2012

Gräuler, Matthias; Teuteberg, Frank; Mahmoud, Tariq; Marx Gómez, Jorge, 2012.
Anforderungspriorisierung und Designempfehlungen für Betriebliche Umweltinformationssysteme der nächsten Generation – Ergebnisse einer explorativen Studie. In: Mattfeld, Dirk C; Robra-Bissantz, Susanne (Hrsg.): *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2012 : Tagungsband der MKWI 2012*, 29. Februar - 3. März 2012: Institut für Wirtschaftsinformatik, Gito, S. 1531-1544

Gräuler et al. 2013

Gräuler, Matthias; Teuteberg, Frank; Mahmoud, Tariq; Gómez, Jorge Marx, 2013.

Requirements Prioritization and Design Considerations for the Next Generation of Corporate Environmental Management Information Systems.

International Journal of Information Technologies and Systems Approach **6** (1), S. 98–116

DOI: 10.4018/jitsa.2013010106

Gunarathne & Lee 2019a

Gunarathne, Nuwan & Lee, Ki-Hoon, 2019.

Institutional pressures and corporate environmental management maturity.

Management of Environmental Quality: An International Journal **30** (1), S. 157–175

DOI: 10.1108/MEQ-02-2018-0041

Gunarathne & Lee 2019b

Gunarathne, A. NuwanD. & Lee, Ki-Hoon, 2019.

Environmental and managerial information for cleaner production strategies: An environmental management development perspective.

Journal of Cleaner Production **237**, S. 117849

DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117849

Gunarathne et al. 2021

Gunarathne, A. NuwanD; Lee, Ki-Hoon; Hitigala Kaluarachchilage, Pubudu K., 2021.

Institutional pressures, environmental management strategy, and organizational performance: The role of environmental management accounting.

Business Strategy and the Environment **30** (2), S. 825–839

DOI: 10.1002/bse.2656

- Günther et al. 2004** Günther, S; Gomez, Jorge Marx; Rautenstrauch, Claus, 2004.
Modeling of a data warehouse system for environmental information: *Proceedings / World Automation Congress, 2004: 28 June - 1 July 2004, [Seville, Spain. Albuquerque, NM: TSI Press, S. 327-334.*
ISBN: 1889335215
- Hall 2011** Hall, James A., 2011.
Accounting information systems. 7th ed. Mason OH: South-Western Cengage Learning.
ISBN: 978-1-4390-7857-0
- Hansen 1992** Hansen, Hans Robert, 1992.
Wirtschaftsinformatik I. 6. Auflage. Stuttgart: Lucius & Lucius. UTB für Wissenschaft Uni-Taschenbücher 802.
ISBN: 3825208028
- Hardjosuwito et al. 2022** Hardjosuwito, Dino; Külschbach, Andreas; Rahn, Jessica; Schröer, Tobias; Sontow, Karten; Treutlein, Peter; Voswinckel, Themo, 2022.
Marktspiegel Business Software – ERP/PPS 2021/2022.
Verfügbar unter: <https://www.trovarit.com/studien/marktspiegel/erppps/>
- Hemke & Wohlgemuth 2017** Hemke, Felix & Wohlgemuth, Volker, 2017.
Integration von Usability-Methoden in Vorgehensmodelle der Softwareentwicklung im Kontext betrieblicher Umweltinformationssysteme.
INFORMATIK, S. 1985-1983
DOI: 10.18420/IN2017_198

-
- Heubach & Lang-Koetz 2006** Heubach, Daniel & Lang-Koetz, Claus, 2006.
Intebis - Integration von Umweltinformationen in betriebliche Informationssysteme.
Verfügbar unter: https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/54800-Intebis_-_Integration_von_Umweltinformationen_in_betriebliche_Informationssysteme.pdf
Zugriff am: 19.07.2020
- Hevner 2007** Hevner, Alan, 2007.
A Three Cycle View of Design Science Research.
Scandinavian Journal of Information Systems, S. 87–92
- Hevner et al. 2004** Hevner; March; Park; Ram, 2004.
Design Science in Information Systems Research.
MIS Quarterly **28** (1), S. 75
DOI: 10.2307/25148625
- Heyen et al. 2013** Heyen, Dirk Arne; Fischer, Corinna; Barth, Regine; Brunn, Christoph; Griebhammer, Rainer; Keimeyer, Friedhelm; Wolff, Franziska, 2013.
Mehr als nur weniger Suffizienz: Notwendigkeit und Optionen politischer Gestaltung.
Verfügbar unter: <https://www.oeko.de/publikationen/p-details/mehr-als-nur-weniger-suffizienz-begriff-begrueundung-und-potenziale>
Zugriff am: 08.12.2021

- Hildebrandt & Landhäußer 2017** Hildebrandt, Alexandra & Landhäußer, Werner (Hrsg.), 2017.
CSR und Digitalisierung: Der digitale Wandel als Chance und Herausforderung für Wirtschaft und Gesellschaft. Management-Reihe Corporate Social Responsibility. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler.
ISBN: 978-3-662-53201-0
DOI: 10.1007/978-3-662-53202-7
- Hilpert et al. 2014** Hilpert, Hendrik; Kranz, Johann; Schumann, Matthias, 2014.
An Information System Design Theory for Green Information Systems for Sustainability Reporting - Integrating Theory with Evidence from Multiple Case Studies. In: Avital, Michel; Leimeister, Jan M; Schultze, Ulrike (Hrsg.): *Proceedings of the European Conference on Information Systems (ECIS) 2014*, Tel Aviv, Israel, June 9-11, 2014. AIS Electronic Library.
ISBN: 978-0-9915567-0-0
- Hilty & Rautenstrauch 1997** Hilty, Lorenz M. & Rautenstrauch, Claus, 1997.
Betriebliche Umweltinformationssysteme (BUIS) - eine Literaturanalyse.
Informatik-Spektrum **20** (3), S. 159–167
DOI: 10.1007/s002870050064

Hoang et al. 2016

Hoang, Giang; Molla, Alemayehu; Poon, Pak-Lok, 2016.

How do environmental enterprise systems contribute to sustainability value? A practitioner-oriented framework.

Australasian Conference on Information Systems, S. 1–12

Horváth & Schulze 2012

Horváth, Péter & Schulze, Mike, 2012.

Experteninterview "Green Controlling:

Herausforderung der Integration ökologischer Aspekte in das Controlling".

In: Gleich, Ronald (Hrsg.): *Nachhaltigkeitscontrolling*.

Haufe Fachbuch - Band 01493. 1. Aufl. s.l.: Haufe Verlag.

ISBN: 9783648032190

Horváth 2003

Horváth, Péter, 2003.

Controlling. 9., vollst. überarb. Aufl. München: Vahlen.

Vahlens Handbücher der Wirtschafts- und Sozialwissenschaften.

ISBN: 3800629925

Horváth 2018

Horváth, Peter, 2018.

„Green“ Controlling - Umweltorientierung in der Unternehmenssteuerung.

In: Velte, Patrick et al. (Hrsg.): *Rechnungslegung, Steuern, Corporate Governance, Wirtschaftsprüfung und Controlling*. Wiesbaden: Springer Fachmedien

Wiesbaden, S. 611-622.

ISBN: 978-3-658-21633-7

IDC 2022

IDC, 2022.

Volumen der jährlich generierten/replizierten digitalen Datenmenge weltweit in den Jahren 2012 und 2020 und Prognose für 2025.

Verfügbar unter: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/267974/umfrage/prognose-zum-weltweit-generierten-datenvolumen/>

Zugriff am: 22.09.2022

IEEE 1471

IEEE 1471:2000.

IEEE Recommended Practice for Architectural Description for Software-Intensive Systems

DOI: 10.1109/IEEESTD.2000.91944

IEEE Computer Society 2014

IEEE Computer Society, 2014.

Guide to the software engineering body of knowledge.

Version 3.0. (updated version). [Los Alamitos, CA]:

IEEE Computer Society.

ISBN: 978-0-7695-5166-1

Zugriff am: 09.08.2020

Institut der deutschen Wirtschaft et al. 2021 Institut der deutschen Wirtschaft; IW

Consult; WIK-Consult, 2021.

Digitalisierung als Enabler für Ressourceneffizienz in Unternehmen.

Verfügbar unter: [https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Gutachten/PDF/2021/](https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Gutachten/PDF/2021/Ressourceneffizienz_4.0_Hauptbericht_final.pdf)

[Ressourceneffizienz_4.0_Hauptbericht_final.pdf](https://www.iwkoeln.de/fileadmin/user_upload/Studien/Gutachten/PDF/2021/Ressourceneffizienz_4.0_Hauptbericht_final.pdf)

Zugriff am: 02.03.2021

Isenmann 2008

Isenmann, Ralf, 2008.

Environmental Management Information Systems – Illustrations from Online Communication and Sustainability Reporting: *4th International Congress on Environmental Modelling and Software*, Barcelona, Catalonia, Spain, 7.-10.07.2008, S. 1636-1644

Isensee 2011

Isensee, Johannes, 2011.

Green Controlling - eine (neue) Herausforderung für den Controller?: Relevanz und Herausforderungen der Integration ökologischer Aspekte in das Controlling aus Sicht der Controllingpraxis.

Verfügbar unter: https://www.icv-controlling.com/fileadmin/Assets/Content/AK/Green%20Controlling/ICV11_Studienbericht_Green_Controlling_final.pdf
Zugriff am: 20.01.2020

ISO 20140-5

ISO 20140-5:2017-04.

Automation systems and integration — Evaluating energy efficiency and other factors of manufacturing systems that influence the environment: Part 5: Environmental performance evaluation data

Jabbour & Santos 2006

Jabbour, Charbel José Chiappetta & Santos, Fernando César Almada, 2006.

The evolution of environmental management within organizations: Toward a common taxonomy.

Environmental Quality Management **16** (2), S. 43–59
DOI: 10.1002/tqem.20120

- Jacob 2019** Jacob, Michael, 2019.
Digitalisierung & Nachhaltigkeit: Eine unternehmerische Perspektive. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Vieweg.
ISBN: 978-3-658-26216-7
Zugriff am: 28.12.2019
- Jamous et al.** Jamous, Naoum; Alwafaie, Rami; Dahma, Miguel.
Corporate Environmental Management Information Systems (CEMIS) - Sustainability Reporting Tools for SMEs.
In: *EnviroInfo 2012*, S. 1-8
- Johnson et al. 2016** Johnson, Matthew; Halberstadt, Jantje; Schaltegger, Stefan; Viere, Tobias, 2016.
Software and Web-Based Tools for Sustainability Management in Micro-, Small- and Medium-Sized Enterprises.
In: Marx Gómez, Jorge C. et al. (Hrsg.): *Advances and new trends in environmental and energy informatics*. Progress in IS. Cham, Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer, S. 259-274.
ISBN: 978-3-319-23454-0
DOI: 10.1007/978-3-319-23455-7_14
- Junker & Farzad 2015** Junker, Horst & Farzad, Tabassom, 2015.
Towards Sustainability Information Systems.
Procedia Computer Science **64**, S. 1130–1139
DOI: 10.1016/j.procs.2015.08.587

Junker 2013

Junker, Horst, 2013.

BUIS für den produktionsintegrierten Umwelt-schutz –
Wunsch oder Wirklichkeit?

In: Gómez, Jorge M; Lang, Corinna; Wohlgemuth,

Volker (Hrsg.): *IT-gestütztes Ressourcen- und*

Energiemanagement. Berlin: Springer Vieweg, S. 243-
255.

ISBN: 978-3-642-35029-0

DOI: 10.1007/978-3-642-35030-6_23

Keens et al. 2021

Keens, Nadine; Waltersmann, Lara; Mieke, Robert;

Sauer, Alexander, 2021.

Developing an architectural design for an
environmental management information systems
(CEMIS).

In: Wohlgemuth, Volker et al. (Hrsg.): *Environmental
Informatics – A bogeyman or saviour to achieve the UN
Sustainable Development Goals?* Aachen: Shaker

Verlag, S. 128-135

Kemmler et al. 2017

Kemmler, Andreas; Straßburg, Samuel; Seefeldt, Friedrich; Anders, Natalia; Rohde, Clemens; Fleiter, Tobias; Aydemir, Ali; Kleeberger, Heinrich; Hardj, Lukas; Geiger, Bernd, 2017.

Datenbasis zur Bewertung von Energieeffizienzmaßnahmen in der Zeitreihe 2005 – 2014.

Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1968/publikationen/2017-01-09_cc_01-2017_endbericht-datenbasis-energieeffizienz.pdf

Zugriff am: 22.09.2022

Kilic et al. 2015

Kilic, Huseyin Selcuk; Zaim, Selim; Delen, Dursun, 2015.

Selecting “The Best” ERP system for SMEs using a combination of ANP and PROMETHEE methods.

Expert Systems with Applications **42** (5), S. 2343–2352

DOI: 10.1016/j.eswa.2014.10.034

Kontonya & Sommerville 1996 Kontonya, Gerald & Sommerville, Ian, 1996.

Requirements engineering with viewpoints.

Software Engineering Journal **11** (1), S. 5–18

Kornmeier 2007

Kornmeier, Martin, 2007.

Wissenschaftstheorie und wissenschaftliches Arbeiten: Eine Einführung für Wirtschaftswissenschaftler.

Heidelberg: Physica-Verlag HD. BA KOMPAKT.

ISBN: 9783790819199.

Verfügbar unter: <http://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:bsz:31-epflicht-1541616DOI>

DOI: Martin

KPMG AG 2020

KPMG AG, 2020.

Digitalisierung im Rechnungswesen 2020.

Verfügbar unter: <https://hub.kpmg.de/studie-de-digitalisierung-im-rechnungswesen-2020>

Zugriff am: 31.01.2021

KPMG AG 2021

KPMG AG, 2021.

Digitalisierung im Rechnungswesen 2021.

Verfügbar unter: https://hub.kpmg.de/studie-de-digitalisierung-im-rechnungswesen-2021?utm_campaign=AUDIT%20-%20Studie%20-%20Digitalisierung%20im%20Rechnungswesen%20021%20&utm_source=AEM&__hstc=214917896.fd10809a1526123e564a7bca2352812b.1670776405726.1670776405726.1670776405726.1&__hssc=214917896.1.1670776405726&__hsfp=2267395877

Zugriff am: 14.11.2021

Krcmar 2015

Krcmar, Helmut, 2015.

Informationsmanagement. 6., überarbeitete Auflage.

Berlin, Heidelberg: Springer Gabler.

ISBN: 978-3-662-45862-4.

DOI: 10.1007/978-3-662-45863-1

Zugriff am: 22.03.2021

Krcmar et al. 2000

Krcmar, Helmut; Dold, Georg; Fischer, Hartmut;
Strobel, Markus; Seifert, Eberhard K., 2000.
*Informationssysteme für das Umweltmanagement: Das
Referenzmodell ECO-Integral*. Berlin/Boston: Walter de
Gruyter GmbH. Lehr- und Handbücher der
ökologischen Unternehmensführung und
Umweltökonomie Ser.
ISBN: 9783486254204.
Verfügbar unter: [https://ebookcentral.proquest.com/
lib/gbv/detail.action?docID=5117640](https://ebookcentral.proquest.com/lib/gbv/detail.action?docID=5117640)

KSG

Bundes-Klimaschutzgesetz.
Verfügbar unter: [http://www.gesetze-im-internet.de/
ksg/KSG.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/ksg/KSG.pdf) DOI: 10.2307/j.ctt5hjn8b.11
Zugriff am: 24.09.2022

Lackes 2018a

Lackes, Richard, 2018.
Datenmodell.
Verfügbar unter: [https://wirtschaftslexikon.gabler.de/
definition/datenmodell-28093/version-251730](https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/datenmodell-28093/version-251730)
Zugriff am: 20.12.2021

Lackes 2018b

Lackes, Richard, 2018.
konzeptionelles Datenmodell.
Verfügbar unter: [https://wirtschaftslexikon.gabler.de/
definition/konzeptionelles-datenmodell-40932/version-
264306](https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/konzeptionelles-datenmodell-40932/version-264306)

Lang & Heubach 2004

Lang, Claus & Heubach, Daniel, 2004.

Operationalisierung von Instrumenten des Umweltcontrollings durch den effektiven Einsatz von Betrieblichen Umweltinformationssystemen: Ein Phasenmodell zur Umsetzung einer informationstechnischen Unterstützung von Instrumenten des Umweltcontrollings.

Verfügbar unter: https://www.ioew.de/projekt/operationalisierung_von_instrumenten_des_umweltcontrollings_durch_den_effektiven_einsatz_von_betrie

Zugriff am: 19.07.2020

Lang 2007

Lang, Corinna V., 2007.

Modeling of a Corporate Environmental Management Information System (CEMIS) for Production Processes. In: Gómez, Jorge M. et al. (Hrsg.): *Information Technologies in Environmental Engineering*.

Environmental Science and Engineering, Environmental Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, S. 231-240.

ISBN: 978-3-540-71334-0

DOI: 10.1007/978-3-540-71335-7_24

Lang et al. 2004

Lang, Claus; Steinfeldt, Michael; Loew, Thomas; Beucker, Severin; Heubach, Daniel; Keil, Michael, 2004. *Endbericht: Operationalisierung von Instrumenten des Umweltcontrolling durch den effektiven Einsatz von Betrieblichen Umweltinformationssystemen: Konzepte zur Einführung und Anwendung von Umweltcontrollinginstrumenten in Unternehmen.* Verfügbar unter: https://www.ioew.de/projekt/operationalisierung_von_instrumenten_des_umweltcontrollings_durch_den_effektiven_einsatz_von_betrie
Zugriff am: 19.07.2020

Lang-Koetz & Heubach 2004

Lang-Koetz, Claus & Heubach, Daniel, 2004. *Integration von Umweltinformationen in betriebliche Informationssysteme: Stand des Umweltcontrolling und dessen Softwareunterstützung in der Industrie: Ergebnisse einer Umfrage unter produzierenden Unternehmen in Baden-Württemberg.* Verfügbar unter: <https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/54800>
Zugriff am: 21.02.2020

Lang-Koetz & Heubach 2007

Lang-Koetz, Claus & Heubach, Daniel, 2007. *Umweltcontrolling umsetzen – Erstellung von Kennzahlen für Stoff- und Energieströme und deren Integration in die betriebliche IT: Ein Leitfaden für produzierende Unternehmen.* ISBN: 978-3-8167-7278-1
Zugriff am: 01.11.2020

Lang-Koetz 2006

Lang-Koetz, Claus, 2006.

Ein Vorgehensmodell zur Einführung eines integrativen Umweltcontrollings auf Basis eines ERP-Systems, Zugl.: Stuttgart, Univ., Diss., 2006. Stuttgart, Heimsheim: Univ; Jost-Jetter. [IPA-IAO-Forschung und -Praxis] 440
Zugriff am: 09.02.2020

Leiden et al. 2021

Leiden, Alexander; Herrmann, Christoph; Thiede, Sebastian, 2021.

Cyber-physical production system approach for energy and resource efficient planning and operation of plating process chains.

Journal of Cleaner Production **280**, S. 125160

DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125160

León-Soriano et al. 2010

León-Soriano, Raúl; Jesús Muñoz-Torres, María; Chalmeta-Rosaleñ, Ricardo, 2010.

Methodology for sustainability strategic planning and management.

Industrial Management & Data Systems **110** (2), S. 249–268

DOI: 10.1108/02635571011020331

Littig & Griessler 2005

Littig, Beate & Griessler, Erich, 2005.

Social sustainability: a catchword between political pragmatism and social theory.

International Journal of Sustainable Development **8** (1/2), S. 65

DOI: 10.1504/IJSD.2005.007375

Löchelt 2000

Löchelt, Heiko, 2000.

Computergestütztes betriebliches

Umweltinformationssystem: Konzeption und

Realisierung. Wiesbaden, s.l.: Deutscher

Universitätsverlag. DUV Wirtschaftsinformatik.

ISBN: 9783824421350.

Verfügbar unter: [http://dx.doi.org/10.1007/978-3-322-](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-322-89624-7)

89624-7DOI: 10.1007/978-3-322-89624-7

Löser 2015

Löser, Fabian, 2015.

Strategic information systems management for

environmental sustainability: Enhancing firm

competitiveness with Green IS, Zugl.: Berlin, Techn.

Univ., Diss., 2015. Berlin: Universitätsverlag der TU

Berlin. Schriftenreihe Informations- und

Kommunikationsmanagement der Technischen

Universität Berlin 6.

ISBN: 9783798327702.

DOI: 65987

Zugriff am: 30.03.2020

Lucey 2005

Lucey, Terry, 2005.

Management information systems. 9th ed. London:

Thomson Learning.

ISBN: 9781844801268

Mayring 2008

Mayring, Philipp, 2008.

Einführung in die qualitative Sozialforschung: Eine

Anleitung zu qualitativem Denken. 5. Aufl. Weinheim,

Basel: Beltz. Beltz Studium.

ISBN: 9783407252524

Meadows et al. 1972

Meadows, Donella H; Meadows, Dennis L; Randers, Jorgen; Behrens, William W., 1972.

The limits to growth: A report for the Club of Rome's project on the predicament of mankind. 4. print. New York, NY: Universe Books. A Potomac Associates book. ISBN: 0-87663-165-0

Zugriff am: 05.12.2021

Melville & Whisnant 2012

Melville, Nigel P. & Whisnant, Ryan, 2012.

Environmental Sustainability 2.0: Empirical Analysis of Environmental ERP Implementation, Ross School of Business Working Paper, S. 1-40.

Verfügbar unter: https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/91283/1175_Melville.pdf?sequence=4 DOI: 10.2139/ssrn.2070243

Zugriff am: 08.04.2021

Melville 2010

Melville, Nigel, 2010.

Information Systems Innovation For Environmental Sustainability.

MIS Quarterly **1** (34), S. 1–21

Mertens et al. 2017

Mertens, Peter; Bodendorf, Freimut; König, Wolfgang; Schumann, Matthias; Hess, Thomas; Buxmann, Peter, 2017.

Grundzüge der Wirtschaftsinformatik. 12. Aufl. 2017. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler. SpringerLink Bücher.

ISBN: 9783662533628.

DOI: 10.1007/978-3-662-53362-8

Miehe et al. 2021

Miehe, Robert; Waltersmann, Lara; Sauer, Alexander; Bauernhansl, Thomas, 2021.

Sustainable production and the role of digital twins–
Basic reflections and perspectives.

Journal of Advanced Manufacturing and Processing **3**
(2), S. 1–21

DOI: 10.1002/amp2.10078

Moallemi et al. 2021

Moallemi, E. A; Haan, F. J. de; Hadjikakou, M; Khatami, S; Malekpour, S; Smajgl, A; Smith, M. Stafford; Voinov, A; Bandari, R; Lamichhane, P; Miller, K. K; Nicholson, E; Novalia, W; Ritchie, E. G; Rojas, A. M; Shaikh, M. A; Szetey, K; Bryan, B. A., 2021.

Evaluating Participatory Modeling Methods for Co-creating Pathways to Sustainability.

Earth's Future **9** (3), S. 1–19

DOI: 10.1029/2020EF001843

Moher et al. 2011

Moher, D; Liberati, A; Tetzlaff, J; Altman, D., 2011.

Bevorzugte Report Items für systematische Übersichten und Meta-Analysen: Das PRISMA-Statement.

DMW - Deutsche Medizinische Wochenschrift **136**
(15), S. e9-e25

DOI: 10.1055/s-0031-1272982

-
- Möller & Schaltegger 2012** Möller, Andreas & Schaltegger, Stefan, 2012.
Die Sustainability Balanced Scorecard als
Integrationsrahmen für BUIS.
In: Tschandl, Martin; Posch, Alfred (Hrsg.): *Integriertes
Umweltcontrolling*. Wiesbaden: Gabler Verlag, S. 293-
317.
ISBN: 978-3-8349-3031-6
DOI: 10.1007/978-3-8349-6844-9_15
- Molloy 2007** Molloy, Ian, 2007.
Environmental Management Systems and Information
Management — Strategic-Systematical Integration of
Green Value Added.
In: Gómez, Jorge M. et al. (Hrsg.): *Information
Technologies in Environmental Engineering*.
Environmental Science and Engineering, Environmental
Engineering. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin
Heidelberg, S. 251-260.
ISBN: 978-3-540-71334-0
DOI: 10.1007/978-3-540-71335-7_26
- Moore 2002** Moore, Margery A., 2002.
A Strategic, Systems Approach to Understanding
Environmental Management Information Systems.
Environmental Quality Management **11** (4), S. 65–73
DOI: 10.1002/tqem.10042

Morelli 2011

Morelli, John, 2011.
Environmental Sustainability: A Definition for
Environmental Professionals.
Journal of Environmental Sustainability **1** (1), S. 1–10
DOI: 10.14448/jes.01.0002

Muntean 2018

Muntean, Mihaela, 2018.
Business Intelligence Issues for Sustainability Projects.
Sustainability **10** (2), S. 335
DOI: 10.3390/su10020335

Naana 2014

Naana, Miada, 2014.
*Data-Warehouse-basierte Konzeption eines
strategischen Öko-Controlling-Systems*, Oldenburg,
Univ., Diss., 2014. Aachen: Shaker. Oldenburger
Schriften zur Wirtschaftsinformatik 15.
ISBN: 9783844032154

O'Faoláin de Bhróithe et al. 2018

O'Faoláin de Bhróithe, Anna; Fuchs-Kittowski,
Frank; Freiheit, Jörn; Hüttemann, Detlef; Voigt, Stefan;
Dinkel, Thomas, 2018 - 2018.
A Concept for Comprehensive IT Support for
Environmental and Energy Management in SMEs:
*Proceedings of the 20th International Conference on
Enterprise Information Systems*, Funchal, Madeira,
Portugal, 21.03.2018 - 24.03.2018: SCITEPRESS -
Science and Technology Publications, S. 187-194.
ISBN: 978-989-758-298-1
DOI: 10.5220/0006660501870194

-
- Ormazabal et al. 2017** Ormazabal, Marta; Sarriegi, Jose M; Viles, Elisabeth, 2017.
Environmental management maturity model for industrial companies.
Management of Environmental Quality: An International Journal **28** (5), S. 632–650
DOI: 10.1108/MEQ-01-2016-0004
- Ortner & Etlinger 2012** Ortner, Wolfgang & Etlinger, Manfred, 2012.
Datenmanagement für stoffstromorientierte betriebliche Umweltinformationssysteme (BUIS).
In: Tschandl, Martin; Posch, Alfred (Hrsg.): *Integriertes Umweltcontrolling*. Wiesbaden: Gabler Verlag, S. 255-274.
ISBN: 978-3-8349-3031-6
DOI: 10.1007/978-3-8349-6844-9_13
- Ott & Döring 2011** Ott, Konrad & Döring, Ralf, 2011.
Theorie und Praxis starker Nachhaltigkeit. 3. Aufl.
Marburg: Metropolis-Verl. Beiträge zur Theorie und Praxis starker Nachhaltigkeit 1.
ISBN: 9783895186950
- Pacheco et al. 2018** Pacheco, Carla; García, Ivan; Reyes, Miryam, 2018.
Requirements elicitation techniques: a systematic literature review based on the maturity of the techniques.
IET Software **12** (4), S. 365–378
DOI: 10.1049/iet-sen.2017.0144

Perego 2005

Perego, Paolo Maria, 2005.

Environmental management control: An empirical study on the use of environmental performance measures in management control systems. Nijmegen: Radboud Universiteit Nijmegen.

ISBN: 90-6464-265-6

Zugriff am: 19.07.2020

Perl 2006

Perl, Elke, 2006.

Implementierung von Umweltinformationssystemen. 1. Aufl. s.l.: DUV Deutscher Universitäts-Verlag.

ISBN: 3835002562.

Verfügbar unter: <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=750630>

Perl-Vorbach 2010

Perl-Vorbach, Elke, 2010.

Communicating Environmental Information on a Company and Inter-Organizational Level.

In: Hallin, Anette; Gustavsson, Tina K. (Hrsg.):

Organizational communication and sustainable development. Hershey, Pa: IGI Global (701 E.

Chocolate Avenue Hershey Pennsylvania 17033 USA), S. 115-133.

ISBN: 9781605668222

DOI: 10.4018/978-1-60566-822-2.ch007

Persson et al. 2022

Persson, Linn; Carney Almroth, Bethanie M; Collins, Christopher D; Cornell, Sarah; Wit, Cynthia A. de; Diamond, Miriam L; Fantke, Peter; Hassellöv, Martin; MacLeod, Matthew; Ryberg, Morten W; Søgaaard Jørgensen, Peter; Villarrubia-Gómez, Patricia; Wang, Zhanyun; Hauschild, Michael Zwicky, 2022.

Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities.

Environmental science & technology **56** (3), S. 1510–1521

DOI: 10.1021/acs.est.1c04158

Peverali & Ullrich 2021

Peverali, François & Ullrich, André, 2021.

Umweltorientiertes Prozessmanagement: Integration von Standards des Umweltmanagements und der Nachhaltigkeitsberichterstattung in eine betriebliche Prozessarchitektur.

HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik **58** (1), S. 181–196

DOI: 10.1365/s40702-020-00698-5

Pflaum et al. 1997

Pflaum, Hartmut; Guderian, Joachim; Kümmel, Rolf, 1997.

Betriebliche Umweltinformationssysteme (BUIS)
Anforderungen und struktureller Aufbau.

UWSF- Z. Umweltchem. Okotox. **9** (5), S. 291–299

- PNZ-Produkte GmbH** PNZ-Produkte GmbH.
50 Jahre PNZ: Aus der Garage zur Nachhaltigkeits-Manufaktur.
Verfügbar unter: <https://www.pnz.de/de/manufaktur/vom-garagenstartup-zur-nachhaltigkeit>
- Popelka et al. 2013** Popelka, Ondřej; Hodinka, Michal; Hřebíček, Jiří; Trenz, Oldřich, 2013.
Information system for corporate performance assessment and reporting.
Proceedings of the 2013 International Conference on Systems, Control, Signal Processing and Informatics, S. 247–253
- Pöppelbuß & Röglinger 2011** Pöppelbuß, Jens & Röglinger, Maximilian, 2011.
What Aakes a Useful Maturity Model? A Framework of General Design Principles for MAaturity Models and its Demonstration in Business Process Management.
ECIS 2011 Proceedings (28), S. 1–12
- Porter 1985** Porter, Michael, 1985.
Competitive Advantage. New York: Free Press
Zugriff am: 08.07.2022
- PricewaterhouseCoopers 2021** PricewaterhouseCoopers, 2021.
Industry 4.0 - Enabling Digital Operations: Self Assessment.
Verfügbar unter: <https://i40-self-assessment.pwc.de/i40/landing/>
Zugriff am: 30.03.2022

Rapp et al. 2011

Rapp, Barbara; Solsbach, Andreas; Ammar Memari, Tariq Mahmoud; Bremer, Jörg, 2011.
IT-for-Green: Next Generation CEMIS for Environmental, Energy and Resource Management. In: Pillmann, Werner; Schade, Sven; Smits, Paul (Hrsg.): *Innovations in sharing environmental observations and information: EnviroInfo Ispra 2011 ; proceedings of the 25th International Conference EnviroInfo, October 5-7, 2011, Joint Research Centre Ispra Institute for Environment and Sustainability*. Aachen: Shaker

Rautenstrauch 1999

Rautenstrauch, Claus, 1999.
Betriebliche Umweltinformationssysteme. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
ISBN: 978-3-540-66183-2.
DOI: 10.1007/978-3-642-58494-7

Rehäuser & Krcmar 2021

Rehäuser, Jakob & Krcmar, Helmut, 2021.
Wissensmanagement im Unternehmen.
In: Conrad, Peter; Schreyögg, Georg (Hrsg.): *Wissensmanagement*. Managementforschung, 6. Reprint 2021. Berlin, Boston: De Gruyter, S. 1-40.
ISBN: 9783112421840
DOI: 10.1515/9783112421840-003

Rey et al. 2003

Rey, Uwe; Heubach, Daniel; Mauz, Elvira, 2003.
MESA: Entwicklung von Methoden zur Einführung eines betrieblichen Stoffstrommanagements in Automobilzulieferbetrieben.
Verfügbar unter: https://pudi.lubw.de/detailseite/-/publication/86282-MESA__Entwicklung_von_Methoden_zur_Einf%C3%BChrung_eines_betrieblichen_Stoffstrommanagements_in_Automobil.pdf
Zugriff am: 24.03.2021

Rezgui & Naana 2010

Rezgui, Abdelkerim & Naana, Miada, 2010.
Improving of environmental management accounting system for support the environmental information management.
In: Greve, Klaus; Cremers, Armin B. (Hrsg.): *Integration of environmental information in Europe*. Aachen: Shaker-Verl., S. 187-196.
ISBN: 978-3-8322-9458-8

Ríkhardsson et al. 2005

Ríkhardsson, Páll M; Bennet, Martin; Bouma, Jan Jaap; Schaltegger, Stefan (Hrsg.), 2005.
Implementing environmental management accounting: Status and challenges. Eco-efficiency in industry and science 18. Dordrecht: Springer.
ISBN: 10 1-4020-3373-7

Robertson & Robertson 2020

Robertson, James & Robertson, Suzanne, 2020.
Volere Requirements Specification Template Edition 20—2020

Rogall et al. 2022

Rogall, Christopher; Mennenga, Mark; Herrmann, Christoph; Thiede, Sebastian, 2022.
Systematic Development of Sustainability-Oriented Cyber-Physical Production Systems.
Sustainability **14** (4), S. 2080
DOI: 10.3390/su14042080

Röhl et al. 2021

Röhl, Klaus-Heiner; Bolwin, Lennart; Hüttl, Paula, 2021.
Datenwirtschaft in Deutschland: Wo stehen die Unternehmen in der Datennutzung und was sind ihre größten Hemmnisse?
Verfügbar unter: <https://bdi.eu/publikation/news/datenwirtschaft-in-deutschland/>
Zugriff am: 22.09.2022

Rosati & Faria 2019

Rosati, Francesco & Faria, Lourenço Galvão Diniz, 2019.
Business contribution to the Sustainable Development Agenda: Organizational factors related to early adoption of SDG reporting.
Corporate Social Responsibility and Environmental Management **26** (3), S. 588–597
DOI: 10.1002/csr.1705

- Rosemann & Bruin 2005** Rosemann, Michael & Bruin, Tonia de, 2005.
Towards a Business Process Management Maturity Model. In: Bartmann, Dieter; Rajola, Federico; Kallinikos, Jannis; Avison, David E; Winter, Robert; Eindor, Phillip; Becker, Jörg; Bodendorf, Freimut; Weinhardt, Christof (Hrsg.): *Proceedings of the 13th European Conference on Information Systems, Information Systems in a Rapidly Changing Economy*, Regensburg, Germany, May 26-28, 2005, S. 1-12
- Royce 1987** Royce, Winston W., 1987.
Managing the development of large software systems: concepts and techniques: *Proceedings: 9th International Conference on Software Engineering*. Washington, D.C.: Computer Soc. Pr. of the IEEE, S. 328-338.
ISBN: 978-0-89791-216-7
- Saloojee et al. 2007** Saloojee, R; Groenewald, D; Du Toit, A.S.A., 2007.
Investigating the business value of information management.
SA Journal of Information Management **9** (1), S. 1–19
DOI: 10.4102/sajim.v9i1.17
- Sarkis et al. 2013** Sarkis, Joseph; Koo, Chulmo; Watson, Richard T., 2013.
Green information systems & technologies – this generation and beyond: Introduction to the special issue.
Information Systems Frontiers **15** (5), S. 695–704
DOI: 10.1007/s10796-013-9454-5

-
- Schaeffler AG 2022** Schaeffler AG, 2022.
Nachhaltigkeitsbericht 2021 - Im Fokus.
Verfügbar unter: <https://www.schaeffler-nachhaltigkeitsbericht.de/2021/im-fokus.html>
- Schaltegger & Burritt 2017** Schaltegger, Stefan & Burritt, Roger, 2017.
Contemporary environmental accounting: Issues, concepts and practice. Sheffield: Greenleaf.
ISBN: 9781874719359.
Verfügbar unter: <http://gbv.ebib.com/patron/FullRecord.aspx?p=1741620>
- Schaltegger & Zvezdov 2012** Schaltegger, Stefan & Zvezdov, Dimitar, 2012.
Strategisch fundiertes Nachhaltigkeitscontrolling.
Konzeption und Umsetzung in der Praxis.
In: Gleich, Ronald (Hrsg.): *Nachhaltigkeitscontrolling: Konzeption und Umsetzung in der Praxis.* Haufe Fachbuch - Band 01493. 1. Aufl. s.l.: Haufe Verlag, S. 46-64.
ISBN: 9783648032190
- Schaltegger et al. 2007** Schaltegger, Stefan; Herzig, Christian; Kleiber, Oliver; Klinke, Torsten; Müller, Jan Dietrich, 2007.
Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen: Von der Idee zur Praxis: Managementansätze zur Umsetzung von Corporate Social Responsibility und Corporate Sustainability. Lüneburg: CSM
Zugriff am: 09.02.2020

Schaltegger et al. 2008

Schaltegger, Stefan; Bennett, Martin; Burritt, Roger L; Jasch, Christine (Hrsg.), 2008.

Environmental Management Accounting for Cleaner Production. Eco-efficiency in industry and science 24.

Dordrecht: Springer Netherlands

DOI: 10.1007/978-1-4020-8913-8

Schebek et al. 2017

Schebek, Liselotte; Kannengießer, Jan; Campitelli, Alessio; Fischer, Julia; Abele, Eberhard; Bauerdick, Christoph; Anderl, Reiner; Haag, Sebastian; Sauer, Alexander; Mandel, Jörg; Lucke, Dominik; Bogdanov, Ivan; Nuffer, Anne-Kathrin; Steinhilper, Rolf; Böhner, Johannes; Lothes, Gerald; Schock, Christoph; Zühlke, Detlef; Plociennik, Christiane; Bergweiler, Simon, 2017. *Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 - Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes*.

Verfügbar unter: https://www.ressource-deutschland.de/fileadmin/user_upload/1_Themen/h_Publikationen/Studien/Studie_Ressourceneffizienz_durch_Industrie_4.0.pdf

Zugriff am: 15.11.2020

Scholtz et al. 2018

Scholtz, Brenda; Calitz, Andre; Haupt, Ross, 2018. A business intelligence framework for sustainability information management in higher education.

International Journal of Sustainability in Higher Education **19** (2), S. 266–290

DOI: 10.1108/IJSHE-06-2016-0118

Schrack 2015

Schrack, Daniela, 2015.

Ausgewählte umweltwirkungs- und kostenbezogene Bilanzierungs- und Bewertungsmethoden des Umweltcontrollings.

In: Schrack, Daniela (Hrsg.): *Nachhaltigkeitsorientierte Materialflusskostenrechnung; Dissertation*. 1. Auflage. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 127-148.

ISBN: 978-3-658-11301-8

DOI: 10.1007/978-3-658-11302-5_4

Schrader & Vollmar 2013

Schrader, Christina & Vollmar, Bernhard H., 2013.

Green Controlling: ein wesentlicher Schritt auf dem Weg zur nachhaltig orientierten Unternehmensführung.

Verfügbar unter: https://www.pfh.de/sites/default/files/2021-10/green_controlling_ein_wesentlicher_schritt_auf_dem_weg_zur_nachhaltig_orientierten_unternehmensfuehrung__schrader_Vollmar_fp_2013_04.pdf

Zugriff am: 24.03.2021

Schuh et al. 2020

Schuh, Günther; Kozielski, Stefan; Weber, Wolfgang; Gützlaff, Andreas; Sauermann, Frederick; Wlecke, Shari; Maetschke, Jan, 2020.

Digital Lean Lighthouse Factory – Nachhaltig effiziente Produktion.

ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb **115** (3), S. 175–177

DOI: 10.3139/104.112251

- Schumacher et al. 2016** Schumacher, Andreas; Erol, Selim; Sihm, Wilfried, 2016. A Maturity Model for Assessing Industry 4.0 Readiness and Maturity of Manufacturing Enterprises. *Procedia CIRP* **52**, S. 161–166
DOI: 10.1016/j.procir.2016.07.040
- Seethamraju & Frost 2016** Seethamraju, Ravi & Frost, Geoffrey, 2016. Information Systems for Sustainability Reporting - A State of Practice: *Proceedings - 22nd Americas Conference on Information Systems (AMCIS 2016)*, San Diego, California, USA, 11-14 August 2016: Association for Information Systems, S. 1-10
- Seidel et al. 2013** Seidel, Stefan; Recker, Jan; Vom Brocke, Jan, 2013. Sensemaking and Sustainable Practicing: Functional Affordances of Information Systems in Green Transformations. *MIS Quarterly* **37** (4), S. 1275–1299
- Seidel et al. 2018** Seidel, Stefan; Chandra Kruse, Leona; Székely, Nadine; Gau, Michael; Stieger, Daniel, 2018. Design principles for sensemaking support systems in environmental sustainability transformations. *European Journal of Information Systems* **27** (2), S. 221–247
DOI: 10.1057/s41303-017-0039-0

-
- Shakir 2010** Shakir, Maha, 2010.
A Framework for the Implementation of Eco--Efficient
Business Systems.
In: Teuteberg, Frank; Gomez, Jorge M. (Hrsg.):
*Corporate environmental management information
systems*. Hershey, Pa: IGI Global (701 E. Chocolate
Avenue Hershey Pennsylvania 17033 USA).
ISBN: 9781615209811
- Siedersleben & Denert 2000** Siedersleben, J. & Denert, E., 2000.
Wie baut man Informationssysteme?
Informatik-Spektrum **23** (4), S. 247–257
DOI: 10.1007/s002870000110
- Simon 1996** Simon, Herbert A., 1996.
The sciences of the artificial. 3rd ed. Cambridge, Mass.:
MIT Press.
ISBN: 9780585360102
Zugriff am: 25.09.2022
- Sommer & Brauweiler 2010** Sommer, Peggy & Brauweiler, Jana, 2010.
Umweltschutz in den betrieblichen Funktions- und
Querschnittsbereichen.
In: Kramer, Matthias (Hrsg.): *Integratives
Umweltmanagement*. Wiesbaden: Gabler, S. 387-454.
ISBN: 978-3-8349-8602-3
DOI: 10.1007/978-3-8349-8602-3_15

- Sommer 2010** Sommer, Peggy, 2010.
Instrumente des Umweltmanagements.
In: Kramer, Matthias (Hrsg.): *Integratives Umweltmanagement*. Wiesbaden: Gabler, S. 321-383.
ISBN: 978-3-8349-8602-3
- Sommerville 2011** Sommerville, Ian, 2011.
Software engineering. 9. ed. Boston, MA: Addison-Wesley.
ISBN: 978-0-13-703515-1
Zugriff am: 20.12.2021
- Sonnemann & Margni 2015** Sonnemann, Guido & Margni, Manuele, 2015.
Life cycle management. Dordrecht, Heidelberg, New York, London: Springer Open. LCA compendium - The complete world of life cycle assessment.
ISBN: 978-94-017-7221-1.
DOI: 10.1007/978-94-017-7221-1
Zugriff am: 24.03.2021
- Spangenberg 2005** Spangenberg, Joachim, 2005.
Economic sustainability of the economy: concepts and indicators.
International Journal of Sustainable Development **8** (1), S. 47–64

Steffen et al. 2015

Steffen, Will; Richardson, Katherine; Rockström, Johan; Cornell, Sarah E; Fetzer, Ingo; Bennett, Elena M; Biggs, Reinette; Carpenter, Stephen R; Vries, Wim de; Wit, Cynthia A. de; Folke, Carl; Gerten, Dieter; Heinke, Jens; Mace, Georgina M; Persson, Linn M; Ramanathan, Veerabhadran; Reyers, Belinda; Sörlin, Sverker, 2015. Sustainability. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. *Science (New York, N.Y.)* **347** (6223), S. 1259855
DOI: 10.1126/science.1259855

Steinfeldt & Lang 2004

Steinfeldt, Michael & Lang, Claus, 2004.
Konzept zur Implementierung und Institutionalisierung von Instrumenten des Umweltcontrollings.
Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/profile/Claus-Lang-Koetz/publication/242231104_Operationalisierung_von_Instrumenten_des_Umweltcontrolling_durch_den_effektiven_Einsatz_von_Betrieblichen_Umweltinformations/links/0046353ac39846afc7000000/Operationalisierung-von-Instrumenten-des-Umweltcontrolling-durch-den-effektiven-Einsatz-von-Betrieblichen-Umweltinformations.pdf
Zugriff am: 18.07.2021

Stindt et al. 2014

Stindt, Dennis; Nuss, Christian; Bensch, Stefan; Dirr, Martin; Tuma, Axel, 2014.
An Environmental Management Information System for Closing Knowledge Gaps in Corporate Sustainable Decision-Making. In: Myers, Michael D; Straub, Detmar W. (Hrsg.): *Proceedings of the International Conference on Information Systems: Building a Better World through Information Systems*, Auckland, New Zealand, December 14-17, 2014, S. 1-18

Strauch & Winter 2002

Strauch, Bernhard & Winter, Robert, 2002.
Vorgehensmodell für die Informationsbedarfsanalyse im Data Warehousing.
In: Maur, Eitel (Hrsg.): *Vom Data Warehouse zum Corporate Knowledge Center*. Heidelberg: Physica-Verlag HD, S. 359-378.
ISBN: 978-3-642-63276-1
DOI: 10.1007/978-3-642-57491-7_21

Sunyaev 2020a

Sunyaev, Ali, 2020.
Internet computing: Principles of distributed systems and emerging Internet-based technologies. Cham, Switzerland: Springer.
ISBN: 9783030349578.
Verfügbar unter: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6114502>

Sunyaev 2020b

Sunyaev, Ali (Hrsg.), 2020.

Internet computing: Principles of distributed systems and emerging internet-based technologies. Cham:

Springer International Publishing.

ISBN: 978-3-030-34956-1

DOI: 10.1007/978-3-030-34957-8

Tegtmeier et al. 2009

Tegtmeier, Nils; Gehra, Bernhard; Möllenkamp, Heinz; Künne, Christoph, 2009.

Serviceorientierte IT-Architekturen – Kritische Bestandsaufnahme und Herausforderungen für das Controlling.

Controlling & Management **53** (S3), S. 5–13

DOI: 10.1365/s12176-012-0250-8

Teuteberg & Gomez 2010

Teuteberg, Frank & Gomez, Jorge Marx (Hrsg.), 2010.

Corporate environmental management information systems: Advancements and trends. Hershey, Pa: IGI

Global (701 E. Chocolate Avenue Hershey Pennsylvania 17033 USA).

ISBN: 9781615209811

DOI: 10.4018/978-1-61520-981-1

Teuteberg & Gómez 2010

Teuteberg, Frank & Gómez, Jorge Marx, 2010.

Green Computing & Sustainability.

HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik **47** (4), S. 6–17

DOI: 10.1007/BF03340488

Tiviander et al. 2006

Tiviander, Johan; Erixon, Maria; Carlson, Raul; Palsson, Ann-Christin, 2006.

IMPRESS integrated data format.

Verfügbar unter: https://www.lifecyclecenter.se/wp-content/uploads/2006_15.pdf

Zugriff am: 07.04.2021

Tiwari et al. 2012

Tiwari, Saurabh; Rathore, Santosh Singh; Gupta, Atul, 2012.

Selecting requirement elicitation techniques for software projects. In: Staff, IEEE (Hrsg.): *2012 CSI Sixth International Conference on Software Engineering (CONSEG)*, Indore, Madhay Pradesh, India, 05.09.2012 - 07.09.2012. [Place of publication not identified]: IEEE, S. 1-10.

ISBN: 978-1-4673-2177-8

DOI: 10.1109/CONSEG.2012.6349486

Tschandl 2012

Tschandl, Martin, 2012.

Perspektiven der Integration im Umweltcontrolling.

In: Tschandl, Martin; Posch, Alfred (Hrsg.): *Integriertes Umweltcontrolling*. Wiesbaden: Gabler Verlag, S. 11-39.

ISBN: 978-3-8349-3031-6

DOI: 10.1007/978-3-8349-6844-9_1

Ulrich & Hill 1976

Ulrich, Peter & Hill, Wilhelm, 1976.

Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre.

Wirtschaftswissenschaftliches Studium (7), S. 304–309

-
- Ulrich 1982** Ulrich, Peter, 1982.
Anwendungsorientierte Wissenschaft.
Die Unternehmung **36** (1), S. 1–10
- Umweltbundesamt & Volk 2001** Umweltbundesamt & Volk, Renate, 2001.
Handbuch Umweltcontrolling. 2., völlig überarbeitete
und erweiterte Auflage. München: Verlag Franz
Vahlen.
ISBN: 9783800625369.
DOI: 10.15358/9783800650743
- Umweltbundesamt 2022** Umweltbundesamt, 2022.
Treibhausgasminderungsziele Deutschlands.
Verfügbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/
daten/klima/treibhausgasminderungsziele-deutschlands
#undefined](https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/treibhausgasminderungsziele-deutschlands#undefined)
Zugriff am: 22.09.2022
- UNDP 2021** UNDP, 2021.
The Sustainable Development Goals.
Verfügbar unter: [https://www.undp.org/sustainable-
development-goals](https://www.undp.org/sustainable-development-goals)
- United Nations 2001** United Nations, 2001.
*Environmental Management Accounting Procedures
and Principles*, 2001.
Verfügbar unter: [https://www.un.org/esa/sustdev/
publications/proceduresandprinciples.pdf](https://www.un.org/esa/sustdev/publications/proceduresandprinciples.pdf)
Zugriff am: 19.07.2020

- United Nations 2015** United Nations, 2015.
Paris Agreement.
Verfügbar unter: https://unfccc.int/sites/default/files/english_paris_agreement.pdf
Zugriff am: 24.09.2022
- Utting & O'Neill 2020** Utting, Peter & O'Neill, Kelly, 2020.
Corporate Sustainability Accounting: WHAT CAN AND SHOULD CORPORATIONS BE DOING?
ISBN: 978-92-9085-113-4
Zugriff am: 31.01.2021
- Vaishnavi & Kuechler 2015** Vaishnavi, Vijay & Kuechler, William, 2015.
Design science research methods and patterns: Innovating information and communication technology. Second edition. Boca Raton: CRC Press.
ISBN: 9781498715263.
Verfügbar unter: <https://learning.oreilly.com/library/view/-/9781498715256/?arDOI: Vijay>
- van Lamsweerde 2000** van Lamsweerde, Axel, 2000.
Requirements engineering in the year 00. In: Ghezzi, Carlo (Hrsg.): *Proceedings of the 22nd international conference on Software engineering*, Limerick, Ireland, 04.06.2000 - 11.06.2000. New York, NY: ACM, S. 5-19.
ISBN: 1581132069
DOI: 10.1145/337180.337184

-
- Vasconcelos et al. 2003** Vasconcelos, André; Sousa, Pedro; Tribolet, José, 2003. Information System Architectures: Representation, Planning and Evaluation. *SYSTEMICS, CYBERNETICS AND INFORMATICS* **1** (1), S. 78–84
- Voß & Gutenschwager 2001** Voß, Stefan & Gutenschwager, Kai, 2001. *Informationsmanagement*. Berlin, Heidelberg, s.l.: Springer Berlin Heidelberg. Springer eBook Collection Business and Economics. ISBN: 9783642568787. DOI: 10.1007/978-3-642-56878-7
- Wang-Erlandsson et al. 2022** Wang-Erlandsson, Lan; Tobian, Arne; van der Ent, Ruud J; Fetzer, Ingo; te Wierik, Sofie; Porkka, Miina; Staal, Arie; Jaramillo, Fernando; Dahlmann, Heindriken; Singh, Chandrakant; Greve, Peter; Gerten, Dieter; Keys, Patrick W; Gleeson, Tom; Cornell, Sarah E; Steffen, Will; Bai, Xuemei; Rockström, Johan, 2022. A planetary boundary for green water. *Nature Reviews Earth & Environment* **3** (6), S. 380–392 DOI: 10.1038/s43017-022-00287-8
- Watson et al. 2010** Watson; Boudreau; Chen, 2010. Information Systems and Environmentally Sustainable Development: Energy Informatics and New Directions for the IS Community. *MIS Quarterly* **34** (1), S. 23 DOI: 10.2307/20721413

Wecus et al. 2017

Wecus, Axel von; Weber, Manuel; Willeke, Katja, 2017.

VDI ZRE Studie: Managementsysteme und das Management natürlicher Ressourcen.

Verfügbar unter: <https://www.ressource-deutschland.de/service/publikationen/detailseite/studie-managementsysteme/>

Zugriff am: 10.04.2023

Wellbrock et al. 2020

Wellbrock, Wanja; Ludin, Daniela; Krauter, Sina, 2020.

Nachhaltigkeitscontrolling: Instrumente und Kennzahlen für die strategische und operative Unternehmensführung. 1st ed. 2020. Wiesbaden:

Springer Fachmedien Wiesbaden; Imprint: Springer Gabler. essentials.

ISBN: 9783658307004.

DOI: 10.1007/978-3-658-30700-4

Wilmshurst & Frost 2001

Wilmshurst, Trevor D. & Frost, Geoffrey R., 2001.

The role of accounting and the accountant in the environmental management system.

Business Strategy and the Environment **10** (3), S. 135–147

DOI: 10.1002/bse.283

Winroth et al. 2016

Winroth, Mats; Almström, Peter; Andersson, Carin, 2016.

Sustainable production indicators at factory level.

Journal of Manufacturing Technology Management **27** (6), S. 842–873

DOI: 10.1108/JMTM-04-2016-0054

Winter & Strauch 2003

Winter, R. & Strauch, B., 2003.
A method for demand-driven information requirements analysis in data warehousing projects. In: Sprague, Ralph H. (Hrsg.): *Proceedings of the 36th Annual Hawaii International Conference on System Sciences: Abstracts and CD-ROM of full papers : 6-9 January, 2003, Big Island, Hawaii*, Big Island, HI, USA, 09.01.2003 - 09.01.2003. Los Alamitos, Calif: IEEE Computer Society Press, S. 9 pp.
ISBN: 0-7695-1874-5
DOI: 10.1109/HICSS.2003.1174602

Wittmann 1959

Wittmann, Waldemar, 1959.
Unternehmung und Unvollkommene Information: Unternehmerische Voraussicht - Ungewißheit und Planung. Wiesbaden, s.l.: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
ISBN: 9783322989383.
DOI: 10.1007/978-3-322-98938-3

Wohlgemuth 2015

Wohlgemuth, Volker, 2015.
Ein Überblick über Einsatzbereiche von betrieblichen Umweltinformationssystemen (BUIS) in der Praxis.
INFORMATIK 2015, S. 223–237

- Wohlgemuth et al. 2009** Wohlgemuth, Volker; Schnackenbeck, Tobias; Mäusbacher, Matthias; Panic, Dominik, 2009. Conceptual Design and Implementation of a Toolkit Platform for the development of EMIS based on the Open Source Plugin-Framework Empinia. In: Wohlgemuth, Volker; Page, Bernd; Voigt, Kristina (Hrsg.): *Environmental informatics and industrial environmental protection: concepts, methods and tools: EnviroInfo 2009 ; 23rd International Conference on Informatics for Environmental Protection ; proceedings of the 23rd International Conference Environmental Informatics - Informatics for environmental protection, sustainable development and risk management, September 09 - 11, 2009, HTW Berlin, University of Applied Sciences, Germany.* Aachen: Shaker. ISBN: 978-3-8322-8397-1
- Wong et al. 2017** Wong, L. R; Maurico, D. S; Rodriguez, G. D., 2017. A Systemtic Literature Review about Software Requirements Elicitation. *Journal of Engineering Science and Technology* **12** (2), S. 296–317
- World Economic Forum 2020** World Economic Forum, 2020. *Nature Risk Rising: Why the Crisis Engulfing Nature Matters for Business and the Economy*, 2020. Verfügbar unter: <https://www.weforum.org/reports/nature-risk-rising-why-the-crisis-engulfing-nature-matters-for-business-and-the-economy/> Zugriff am: 11.12.2022

Zsifkovits & Brunner 2012

Zsifkovits, Helmut & Brunner, Uwe, 2012.

Konzeption und Planung von
Umweltinformationssystemen.

In: Tschandl, Martin; Posch, Alfred (Hrsg.): *Integriertes
Umweltcontrolling*. Wiesbaden: Gabler Verlag, S. 231-
253.

ISBN: 978-3-8349-3031-6

DOI: 10.1007/978-3-8349-6844-9_12

Zvezdov 2012

Zvezdov, Dimitar, 2012.

Rolling out Corporate Sustainability Accounting: A Set
of Challenges.

Journal of Environmental Sustainability **2** (1), S. 1–11

DOI: 10.14448/jes.02.0003

Anhang

A.	Betreute Studienarbeiten der Autorin	283
B.	Thematisch bezogene Veröffentlichungen der Autorin	284
C.	Verwendeter Suchstring für den Stand der Forschung und Technik.....	285
D.	Reifegradmodell nach PricewaterhouseCoopers	287
E.	Identifizierte Anwendungsfälle im Bereich des Umweltmanagements und -controllings	289
F.	Liste betrieblicher Umweltinformationssysteme mit Aufgaben und Funktionen	297
G.	Zusätzliche Informationen zur Validierung mit der PNZ-Produkte GmbH	301
a.	Stakeholder für die PNZ-Produkte GmbH	301
b.	Workflows	303
c.	Screenshots des Klick-Dummies	307
H.	Zusätzliche Informationen zur Validierung mit der Schaeffler AG, Standort Bußmatten	308
a.	Stakeholder für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten	308
b.	Screenshot des Klick-Dummies	310

A. Betreute Studienarbeiten der Autorin

Im Rahmen dieser Dissertation wurden unter wissenschaftlicher Anleitung der Autorin studentische Arbeiten angefertigt. Im Folgenden sind die betreuten studentischen Arbeiten in alphabetischer Reihenfolge des Nachnamens der Autorinnen und Autoren aufgeführt:

Nadine Keens: Entwicklung eines Architekturentwurfs für betriebliche Umweltinformationssysteme, Hochschule Reutlingen, 2021

Angelika Leber: Anwendungsfälle betrieblicher Umweltinformationssysteme des Umweltcontrollings in Unternehmen, Hochschule Pforzheim, 2021

Johanna Lettgen: Ausarbeitung eines Kennzahlensystems zur Messung von Ultraeffizienz in Unternehmen der Maschinenbaubranche, Universität Ulm, 2018

Rauf Mekhtiev: Nachhaltigkeitsberichterstattung unter ökologischen Aspekten des GRI-Standards – Entwicklung eines Datenmodells, Hochschule Albstadt-Sigmaringen, 2021

Dieu My Nguyen: Anforderungsanalyse für betriebliche Umweltinformationssysteme (BUIS), Hochschule Esslingen, 2021

Jan Steinerstauch: Analyse und Bewertung von Umweltkennzahlen und deren zugrundeliegenden Methoden im Maschinenbau, Universität Stuttgart, 2018

Thilo von Glan: Utilizing an administration shell to enable Life Cycle Assessment, Universität Oldenburg, 2021

B. Thematisch bezogene Veröffentlichungen der Autorin

von Geibler, Justus; Brandt, Julia; Waltersmann, Lara; Miehe, Robert; Tesch, Ralf. 2022. Digitales Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen: Ein serviceorientierter Ansatz zur Entwicklung einer Plattform für datengestütztes Nachhaltigkeitsdatenmanagement. *Industrie 4.0 Management: Gegenwart und Zukunft industrieller Geschäftsprozesse*. 38(1), S. 45-47

Waltersmann, Lara; Kiemel, Steffen; Stuhlsatz, Julian; Sauer, Alexander; Miehe, Robert. 2021. Artificial Intelligence Applications for Increasing Resource Efficiency in Manufacturing Companies - A Comprehensive Review. *Sustainability* 13(12), 26 S.

Miehe, Robert; Waltersmann, Lara; Sauer, Alexander; Bauernhansl, Thomas. 2021. Sustainable production and the role of digital twins - Basic reflections and perspectives. *Journal of Advanced Manufacturing and Processing*, 21 S.

Al Assadi, Anwar; Waltersmann, Lara; Miehe, Robert; Fechter, Manuel; Sauer, Alexander. 2021. Automated Environmental Impact Assessment (EIA) via Asset Administration Shell. In: Weißgraeber, Philipp (Ed.) u.a.: *Advances in Automotive Production Technology - Theory and Application: Stuttgart Conference on Automotive Production (SCAP 2020)*. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2021, S. 45-52

Waltersmann, Lara; Luckert, Michael; Görzig, David; Siegert, Jörg; Bauernhansl, Thomas. 2019. Aligning Academic Knowledge and Industrial Needs to Enable Efficient Research Transfer in the Context of Digitization. In: *2019 IEEE 11th International Conference on Engineering Education: November 2019, Kanazawa, Japan*. IEEE Press, 2019, S. 164-169

Waltersmann, Lara; Kiemel, Steffen; Bogdanov, Ivan; Lettgen, Johanna; Miehe, Robert; Sauer, Alexander; Mandel, Jörg. 2019. Benchmarking holistic optimization potentials in the manufacturing industry – A concept to derive specific sustainability recommendations for companies. *Procedia Manufacturing* 39, S. 685-694

Waltersmann, Lara; Kiemel, Steffen; Amann, Yvonne; Sauer, Alexander. 2019. Defining sector-specific guiding principles for initiating sustainability within companies. *Procedia CIRP* 81, S. 1142-1147

C. Verwendeter Suchstring für den Stand der Forschung und Technik

Scopus Suchstring:

TITLE-ABS-KEY(((betrieblich OR Unternehmen OR corporate OR company OR enterprise OR business) AND (Umweltinformationssysteme OR (environmental AND management AND information AND systems) OR cemis OR buis)) AND (Gestaltung OR Design OR Entwurf OR Methode OR method OR initiation OR introduction OR (requirement AND engineering) OR (requirement AND management) OR (requirement AND elicitation) OR Anforderungserhebung OR Anforderungsmanagement OR Datenmodell OR (data AND model) OR Referenzmodell OR (reference AND model) OR Architektur OR architecture))

Web of Science Suchstring:

((TI=(betrieblich OR Unternehmen OR corporate OR company OR enterprise OR business)) AND TI=(Umweltinformationssysteme OR (environmental AND management AND information AND systems) OR cemis OR buis)) AND TI=(Gestaltung OR Design OR Entwurf OR Methode OR method OR initiation OR introduction OR (requirement AND engineering) OR (requirement AND management) OR (requirement AND elicitation) OR Anforderungserhebung OR Anforderungsmanagement OR Datenmodell OR (data AND model) OR Referenzmodell OR (reference AND model) OR Architektur OR architecture)

OR

((AB=(betrieblich OR Unternehmen OR corporate OR company OR enterprise OR business)) AND AB=(Umweltinformationssysteme OR (environmental AND management AND information AND systems) OR cemis OR buis)) AND AB=(Gestaltung OR Design OR Entwurf OR Methode OR method OR initiation OR introduction OR (requirement AND engineering) OR (requirement AND management) OR (requirement AND elicitation) OR Anforderungserhebung OR Anforderungsmanagement OR Datenmodell OR (data AND model) OR Referenzmodell OR (reference AND model) OR Architektur OR architecture)

OR

((AK=(betrieblich OR Unternehmen OR corporate OR company OR enterprise OR business)) AND AK=(Umweltinformationssysteme OR (environmental AND management AND information AND systems) OR cemis OR buis)) AND AK=(Gestaltung OR Design OR Entwurf OR Methode OR method OR initiation OR introduction OR (requirement AND engineering) OR (requirement AND management) OR (requirement AND elicitation) OR Anforderungserhebung OR Anforderungsmanagement OR Datenmodell OR (data AND model) OR Referenzmodell OR (reference AND model) OR Architektur OR architecture)

D. Reifegradmodell nach PricewaterhouseCoopers

PwC hat ein Reifegradmodell zur Selbsteinschätzung des Digitalisierungsgrads eines Unternehmens entwickelt. Durch einen Online-Fragebogen kann ein Unternehmen somit seinen Digitalisierungsgrad selbst bestimmen. In der folgenden Tabelle 13 sind die vier Reifegradstufen inklusive der Beschreibungen ihrer Ausprägungen in den sechs Kategorien aufgezeigt. Der *Digitale Novize* hat erste isolierte digitale Anwendungen, Teilprozesse und somit eine fragmentierte IT-Architektur. Der Fokus liegt vielmehr auf den Funktionen und nicht auf einer Integration von digitalen Anwendungen. Wie der Name schon impliziert, legt der *Vertikale Integrator* den Fokus verstärkt auf die Integration von Prozessen, Datenflüssen und auf eine homogene IT-Architektur. Außerdem wird der interdisziplinäre und funktionsübergreifende Austausch im Unternehmen durch die Digitalisierung gefördert. Während die beiden ersten Reifegrade, *Digitaler Novize* und *Vertikaler Integrator*, auf die Strukturen innerhalb des Unternehmens eingehen, erweitern die beiden Reifegrade *Horizontaler Kollaborateur* und *Digitaler Champion* ihren Fokus auf die Interaktion mit Lieferanten, Kundschaft und weiteren Akteuren und Akteurinnen in der gesamten Wertschöpfungskette. Der *Horizontale Kollaborateur* und *Digitale Champion* bauen die Digitalisierung und den Datenaustausch über ihre eigenen Systemgrenzen immer weiter aus, sodass im Endeffekt ein digitales Wertschöpfungsnetz entsteht. (PricewaterhouseCoopers 2021)

Tabelle 13: Digitalisierungsgrade eines Unternehmens nach PwC (PricewaterhouseCoopers 2021)

	Digitaler Novize	Vertikaler Integrator	Horizontaler Kollaborateur	Digitaler Champion
Geschäftsmodelle, Produkt- und Service-portfolio	Erste digitale Lösungen und isolierte Lösungen	Digitales Produkt- und Dienstleistungsportfolio mit Software, Netzwerk (M2M) und Daten als wesentliches Unterscheidungsmerkmal	Integrierte Lösungen für Kunden und Kundinnen über Lieferkettengrenzen hinweg, Zusammenarbeit mit externen Partnerorganisationen	Entwicklung neuer disruptiver Geschäftsmodelle mit innovativem Produkt- und Serviceportfolio, Losgröße 1
Marktzugang	Online-Präsenz wird von Offline-Kanälen getrennt, Produktfokus statt Fokus auf Kunden und Kundinnen	Multi-Channel-Vertrieb mit integrierter Nutzung von Online- und Offline-Kanälen; Eingesetzte Datenanalysen, z. B. zur Personalisierung	Individuelle Ansprache der Kunden und Kundinnen und Interaktion mit Partnerorganisationen der Wertschöpfungskette	Integriertes Customer Journey Management über alle digitalen Marketing- und Vertriebskanäle mit Empathie für Kunden und Kundinnen und CRM
Wertschöpfungsketten & Prozesse	Digitalisierte und automatisierte Teilprozesse	Vertikale Digitalisierung und Integration von Prozess- und Datenflüssen im Unternehmen	Horizontale Integration von Prozessen und Datenflüssen mit Kunden und Kundinnen und externen Partnerorganisationen, intensive Datennutzung	Vollständig integriertes Ökosystem mit Partnerorganisationen und mit selbst-optimierten, virtualisierten Prozessen und dezentraler Autonomie
IT Architektur	Fragmentierte IT-Architektur im eigenen Haus	Homogene IT-Architektur im eigenen Haus	Gemeinsame IT-Architekturen im Netzwerk der Partnerorganisationen	Service Bus mit Partnerorganisationen und sicherer Datenaustausch
Compliance, Recht, Risiko, Sicherheit & Steuern	Traditionelle Strukturen, Digitalisierung nicht im Fokus	Digitale Herausforderungen erkannt, aber nicht umfassend angegangen	Rechtliche Risiken werden konsequent mit Partnerorganisationen adressiert	Optimierung des Wertschöpfungsnetzwerks für Recht, Compliance, Sicherheit und Steuern
Organisation & Kultur	Funktionaler Fokus in „Silos“	Funktionsübergreifende Zusammenarbeit, aber nicht strukturiert und konsequent durchgeführt	Zusammenarbeit über Unternehmensgrenzen hinweg, Kultur und Förderung des Teilens	Zusammenarbeit als zentraler Werttreiber

E. Identifizierte Anwendungsfälle im Bereich des Umweltmanagements und -controllings

Anwendungsfall	mögliche Methoden	Quelle
Überblick über Umweltleistung des Unternehmens	Umweltkennzahlen	Lang-Koetz 2006, S.34
Strategische Planung in Bezug auf ökologische Dimension der Nachhaltigkeit, Ausrichtung des Geschäftsmodells auf ökologische Vereinbarkeit / Wettbewerbsfähigkeit sichern	Relevanzbeurteilung, Portfolio- und Szenariotechniken, Sustainability Balanced Scorecard, Wesentlichkeitsmatrix, Standortplanung	Burritt et al. 2002, S. 45–46; Sommer & Brauweiler 2010, S. 390–394; Schrader & Vollmar 2013, S.15
Risikoidentifizierung	SWOT	Burritt et al. 2002, S. 45–46
Nachhaltige Verantwortung sicherstellen (Umweltziele setzen)	Umweltziele, Wesentlichkeitsmatrix, Stakeholderdialoge	United Nations 2001, S.9; Isensee 2011, S.23
Überwachung strategischer Ziele des Umweltcontrollings (Kennzahlen festlegen)	Umweltkennzahlen, Sustainability Balanced Scorecard	Lang-Koetz 2006, S.34; Jacob 2019, S.79
Einführung und Weiterentwicklung grüner Geschäftsprozesse, Organisation und Systeme	Green Business Porcess Management	Schrader & Vollmar 2013, S.15
Monitoring der Umweltleistung (auch Energie- und Materialflüsse)	Umweltkennzahlen, Früherkennung, Benchmarking, Energiewertstrom, MFCA, Ökologische Kostenanalyse	United Nations 2001, S.9; Lang 2007, S.236; Sarkis et al. 2013, S.697; Gunarathne & Lee 2019b, S.3

Grüner Forecast	Umweltkennzahlen	Sarkis et al. 2013, S.697; Schrader & Vollmar 2013, S.15
Entscheidungsunterstützung für Investitionsentscheidung	Kosten-Leistungsrechnung, Umweltkennzahlen, Ökobilanzierung, TCO, LCC	United Nations 2001, S.9; Schrader & Vollmar 2013, S.15; Gunarathne & Lee 2019b, S.3
Entscheidungsunterstützung für Produktportfolio	ABC-Analyse, Portfolio-Analyse	Schrader & Vollmar 2013, S.15
Entscheidungsunterstützung für Produktionsplanung	Kosten-Leistungsrechnung, Umweltkennzahlen, Ökobilanzierung	Schrader & Vollmar 2013, S.15
Entscheidungsunterstützung für Produktentwicklung	Kosten-Leistungsrechnung, Umweltkennzahlen, Ökobilanzierung	Burritt et al. 2002, S. 45–46; Schrader & Vollmar 2013, S.15
Monitoring und Kontrolle (Umwelt-)Maßnahmen	Umweltkennzahlen	Isensee 2011, S.23
Risikomonitoring/ Risikomanagement	Umweltkennzahlen, Checklisten	Sonnemann & Margni 2015, S.14
Investitionsrechnung	"Grüner" Kapitalwert, TCO, LCC	United Nations 2001, S.9; Burritt et al. 2002, S. 45–46
Grüne operative Planung & Budgetierung	Budgetierung	Schrader & Vollmar 2013, S.15; Gunarathne & Lee 2019b, S.3

Grüne Kosten-, Leistungs- und Ergebnisrechnung	Prozesskostenrechnung, Flusskostenrechnung, Target Costing, MFCA	Burritt et al. 2002, S.45; Schrader & Vollmar 2013, S.15; Gunarathne & Lee 2019b, S.3
Grünes Managementreporting / Aufbereitung Umweltinformationen für Top Management	Umweltkennzahlen	Schrader & Vollmar 2013, S.15; Gunarathne & Lee 2019b, S.3
Grünes Projekt- und Investitionscontrolling	Kosten-Leistungsrechnung, Umweltkennzahlen, Ökobilanzierung, TCO, LCC, Prozess-kostenrechnung	United Nations 2001, S.9; Schrader & Vollmar 2013, S.15
Grünes Funktionscontrolling		Schrader & Vollmar 2013, S.15
Finanzierung sichern / günstige Kredite/Förderungen sichern	ESG-Kriterien	Burritt et al. 2002, S.45
Nachhaltigkeitsberichterstattung	CSR-Richtlinie, GRI, EMAS, DNK, UN Global Compact, OECD-Leitsätze	United Nations 2001, S.9; Carlson 2010, S. 181–183; Gunarathne & Lee 2019b, S.3
Dokumentation von Umweltleistung	Umweltkennzahlen, Checklisten, LCA, PCF, CCF	Burritt et al. 2002, S. 45–46; DIN EN ISO 14031
Identifikation von ökologischen Verbesserungspotentialen	Umweltkennzahlen, LCA, PCF, CCF	United Nations 2001, S.9; Burritt et al. 2002, S. 45–46; Carlson 2010, S. 181–183; Jacob 2019, S.79

Überprüfung einer Einhaltung von Umweltgesetzen	Checkliste, Umweltdaten	Wohlgemuth 2015, S. 232–233; Leiden et al. 2021, S.2
Umweltsicherheit - Gefahrstoffmanagement	Checkliste	Wohlgemuth 2015, S. 232–233; Leiden et al. 2021, S.2
Identifizierung gefährliche Abfälle & Emissionen	Checkliste, Umweltkennzahlen	Lang-Koetz 2006, S.34
Interne und externe Standards einhalten	ISO 14001, EMAS	Gunarathne & Lee 2019b, S.3
Sicherheit und Gesundheit der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter sicherstellen	Checkliste	Burritt et al. 2002, S. 45–46; Sarkis et al. 2013, S.697; Wohlgemuth 2015, S. 232–233
(Ökologische) Produktqualität sicherstellen	LCA, Total Quality Environmental Management, Quality Function Deployment for Environment	Burritt et al. 2002, S.45
Positionierung auf Arbeitsmarkt	Umweltziele, Umweltkennzahlen, CSR-Richtlinie, GRI, EMAS, DNK, UN Global Compact, OECD-Leitsätze	Lang-Koetz 2006, S.34
Weiterbildung Umweltschutz		Horváth 2018, S.617
Legitimitätssicherung	Checklisten	Burritt et al. 2002, S. 45–46

Umweltfreundliche Produktentwicklung/-gestaltung (Neu)	Öko-Design, Ökobilanz, Environmental Criticality of Raw Materials, Design for Environment, Quality Function Deployment for Environment, Umwelt-FMEA	Burritt et al. 2002, S.45; Lang 2007, S.236; Carlson 2010, S. 181–183; Sommer & Brauweiler 2010, S.394; Gunarathne & Lee 2019b, S.3
Umweltfreundliche Produktentwicklung/-gestaltung (Bestehend)	Öko-Design, Ökobilanz, Environmental Criticality of Raw Materials, Design for Environment, Quality Function Deployment for Environment, Umwelt-FMEA	Carlson 2010, S. 181– 183; Sommer & Brauweiler 2010, S.394; Gunarathne & Lee 2019b, S.3
Umweltfreundliche Verpackungsentwicklung	Öko-Design, Ökobilanz, Environmental Criticality of Raw Materials	Sommer & Brauweiler 2010, S.412; Gunarathne & Lee 2019b, S.3
Gestaltung der Unternehmensmarke hinsichtlich grünem Image	Umweltziele, Umweltkennzahlen, CSR- Richtlinie, GRI, EMAS, DNK, UN Global Compact, OECD- Leitsätze	Burritt et al. 2002, S.46
Identifikation neuer Märkte		Lang-Koetz 2006, S.34; Gunarathne & Lee 2019b, S.3
Gesellschaftliche Akzeptanz sichern	Umweltziele, Umweltkennzahlen, CSR- Richtlinie, GRI, EMAS, DNK, UN Global Compact, OECD- Leitsätze	Burritt et al. 2002, S.46

ökologisches Produkt-Label / Information zu ökologischen Produktmerkmalen	EU-Energie-Label, Blaue Engel	Lang 2007, S. 238– 239
Anforderungen der Kundinnen und Kunden erfüllen	Umweltkennzahlen, LCA, Carbon Footprint	Isensee 2011, S.23
Rücknahme von Produkten und Verpackung		Lang 2007, S. 238– 239
Steigerung Materialeffizienz (Identifikation und Umsetzung von Verbesserungspotentialen)	Umweltkennzahlen, MFCA	Burritt et al. 2002, S.45; Lang 2007, S.236; Lang-Koetz & Heubach 2007, S.15; Sommer & Brauweiler 2010, S.408; Gunarathne & Lee 2019b, S.3
Steigerung Energieeffizienz (Identifikation und Umsetzung von Verbesserungspotentialen)	Umweltkennzahlen, Energiewertstrom	Burritt et al. 2002, S.45; Lang 2007, S. 237–238; Lang-Koetz & Heubach 2007, S.15; Gunarathne & Lee 2019b, S.3
Verringerung Schadstoffausstoß (Identifikation und Umsetzung von Verbesserungspotentialen)	Umweltkennzahlen	Burritt et al. 2002, S.45; Lang 2007, S.236; Lang-Koetz & Heubach 2007, S.15
Verringerung CO ₂ -Äquivalente (Identifikation und Umsetzung von Verbesserungspotentialen)	Umweltkennzahlen, Carbon Accounting	Burritt et al. 2002, S.45; Lang-Koetz & Heubach 2007, S.15
Verringerung Umwelteinwirkungen (Identifikation und Umsetzung von	Umweltkennzahlen, LCA	Burritt et al. 2002, S.45; Lang-Koetz &

Verbesserungspotentialen – Sekundärmaterialien, Öko-Strom, Kreislaufführung)		Heubach 2007, S.15; Sommer & Brauweiler 2010, S.408
Umstellung der Prozesse auf umweltfreundliche Materialien	LCA, Environmental Criticality of Raw Materials, Umweltkennzahlen	Burritt et al. 2002, S.45
Umstellung der Prozesse auf regenerative Energie	Umweltkennzahlen	Burritt et al. 2002, S.45
ökologische Materialien, Komponenten & Produkte einkaufen	Umweltkennzahlen, Umweltverträglich- keitsprüfung	Burritt et al. 2002, S.46; Lang 2007, S.236; Förtsch & Meinholz 2018, S. 474–475
Bedarfsermittlung	ABC-Analyse	Sommer & Brauweiler 2010, S.405
Green Supply Chain Management (Lieferanten nach ökologischen Kriterien auswählen sowie Kooperationen für Rücknahmen)	Umweltkennzahlen	United Nations 2001, S.9; Burritt et al. 2002, S.46; Lang 2007, S.236; Sommer & Brauweiler 2010, S. 402–404; Sarkis et al. 2013, S.697
Verringerung CO ₂ -Äquivalente bei internen Transportprozessen	Umweltkennzahlen, Carbon Accounting	Burritt et al. 2002, S.46; Sommer & Brauweiler 2010, S. 416–419
Verringerung internen Transporte	Optimierung	Burritt et al. 2002, S.46; Sommer & Brauweiler 2010, S. 416–419

Steigerung Energieeffizienz	Umweltkennzahlen, Energiewertstrom	Burritt et al. 2002, S.46; Sommer & Brauweiler 2010, S. 416–419
Verringerung CO ₂ -Äquivalente bei externen Transportprozessen	Umweltkennzahlen, Carbon Accounting	Burritt et al. 2002, S.46; Sommer & Brauweiler 2010, S. 416–419
Verringerung der externen Transporte	Optimierung	Burritt et al. 2002, S.46; Sommer & Brauweiler 2010, S. 416–419
Steigerung Energieeffizienz bei Transporten	Umweltkennzahlen, Energiewertstrom	Burritt et al. 2002, S.46; Sommer & Brauweiler 2010, S. 416–419
Kreislaufwirtschaft fördern	Umweltkennzahlen, LCA, Öko-Design	Burritt et al. 2002, S.46
Abfallminimierung	Umweltkennzahlen, LCA, Öko-Design	Burritt et al. 2002, S.46
Effiziente Entsorgung und Recycling	Checkliste	Burritt et al. 2002, S.46
Einstufung von Abfällen sowie Nachweisführung	Checkliste	Sommer & Brauweiler 2010, S.424

F. Liste betrieblicher Umweltinformationssysteme mit Aufgaben und Funktionen

Die Liste betrieblicher Umweltinformationssysteme wurde im Januar 2022 erstellt. Die Einschätzung der abgedeckten Aufgaben und Funktionen wurde anhand frei zugänglicher Informationen vorgenommen. Aufgrund der hohen Marktdynamik und der Vielfalt der Angebote erhebt diese Liste keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern soll Unternehmen einen ersten Überblick und eine Orientierung über die am Markt verfügbaren betrieblichen Umweltinformationssysteme geben.

Software	Anbieter	Aufgaben										Funktionen								
		Berichterstattung (extern)	Berichterstattung (intern)	Unterstützung Prozessplanung	Unterstützung Prozessmonitoring	Prozessunterstützung/Leitfaden	Informationsschnittstelle	Entscheidungsunterstützung	Kostenrechnung	Organisationsunterstützung	Umwelbilanzierung	Datenmanagement	Analyse	Modellierung	Simulation	Echtzeit-Monitoring	Dokumentenmanagement	Workflowkomponente	Reportgenerierung	Visualisierung
Planetly	Planetly	x	x	x	x					x	x	x			x		x	x	x	
360 Sustainability Essentials	UL LLC		x	x	x	x				x	x	x					x	x	x	
Accuvio Software (Englisch)	Accuvio	x	x		x		x			x	x	x	x						x	x
Benchmark ESG (Englisch)	Gensuite	x	x			x				x	x	x	x	x		x			x	x
Beteiligungsmanagement Software	Diligent	x	x			x		x				x				x		x	x	x
carbon accounting engine	Normative					x				x	x	x	x	x				x		
Carbon+Alt+Delete	Carbon+Alt+Delete		x	x							x	x	x	x				x		x
Climate Accounting	FigBytes		x	x	x					x	x	x	x	x	x	x		x	x	x
Corporate Sustainability Software (Englisch)	Sphera Solutions	x	x	x			x				x	x	x	x		x		x	x	x
CRedit 360 (Englisch)	cr360 Ltd.	x	x			x		x			x	x	x			x		x	x	x
CR-Kompass	WeSustain GmbH	x	x	x		x						x	x						x	x
CSR Hub	Verso		x	x	x	x	x				x	x	x	x		x	x	x	x	x

csr-manager	macondo publishing GmbH	x	x		x	x	x	x		x
DataCross	tec4U-Solutions GmbH	x	x	x			x		x	
Datamaran	Datamaran			x	x	x		x		x
diginexESG	diginex	x	x	x	x		x			x
Digital ESG Workspace	myconsole	x	x	x	x		x	x	x	x
e!Sankey	ifu Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH						x		x	x
e3EMIS (Englisch)	VelocityEHS	x	x	x	x		x	x	x	x
Eco-cockpit	Effizienz-Agentur NRW	x	x				x			x
EcoVadis Sustainable Procurement Solution	EcoVadis SAS				x	x		x		x
Efficio	Berg GmbH	x	x	x	x		x			x
EHS & ESG Software	Emex	x	x		x	x		x		x
EHS Insight	StarTex Software LLC.	x	x	x	x		x	x	x	x
EHS Management Software	Perillon	x	x	x		x		x		x
EHS Software	iPoint-systems gmbh	x	x	x	x		x		x	x
EHSQ & Sustainability (Englisch)	Enablon	x	x		x	x	x		x	x
EMAS-Kompass	Bayerisches Landesamt für Umwelt				x		x	x		x
Enablon SD	Wolters Kluwer N.V.	x	x		x	x		x		x
EnergyElephant	EnergyElephant	x	x		x	x	x		x	x
ENIT Agent	ENIT Energie IT Systems GmbH				x	x	x	x	x	x
Enterprise EHS Software (Englisch)	Sphera Solutions	x	x	x		x	x		x	x
Enterprise Sustainability Management	WeSustain GmbH	x	x	x	x		x			x
Environmental Management Software	Intelix	x	x	x	x		x	x	x	x

Environmental Software Cloud	Cority	x	x	x	x	x			x	x	x		x		x	x
Envis – Environmental System	mkv-consulting UG		x	x			x		x	x			x	x	x	x
Epic	senecaESG	x	x		x	x			x	x	x		x		x	x
EPM Kompas	Technische Universität Dresden		x			x		x	x							x
ESG Data	novisto	x	x	x	x	x		x	x				x	x	x	x
ESG GreenLight	ethixbase		x	x	x								x	x		x
ESG Reporting solutions	Envizi	x	x		x	x			x				x	x	x	x
eSight (Englisch)	eSight Energy Ltd.	x	x		x	x		x	x	x			x			x
eWaste	Axians eWaste GmbH	x	x	x	x	x		x	x	x			x	x	x	x
FabriqOS	Fabriq	x	x	x	x		x		x				x	x		x
Fjol-digital	Fjol-digital GmbH		x	x	x	x							x	x		x
GaBi ts	Sphera Solutions	x	x				x		x	x	x				x	x
GreenKPI sustainability management software	GreenKPI		x	x	x	x	x		x	x			x	x		x
gutwin	Gutwinski Management Gesellschaft m.b.H.			x	x	x	x	x		x			x	x	x	x
HR- Environment, Health and Safety software	Logic Manager	x	x		x		x						x	x		x
ID-Report	abat		x			x	x		x	x			x	x	x	x
Impact	Impact Reporting	x	x		x	x		x					x	x		x
Impact Investment and ESG Rating	Eco-os	x	x	x	x	x			x	x			x	x		x
Impact Management	WeSustain GmbH	x	x	x	x			x					x	x		
IngSoft InterWatt	IngSoft GmbH	x	x		x		x	x	x				x	x	x	
IntegrityNext	Integrity Next	x	x		x	x	x	x					x		x	x
iSystain (Englisch)	Systar		x	x	x	x			x	x			x	x		x
IUWA- Abfallmanager	IUWA GmbH	x	x	x		x		x	x	x			x			x
LCA Software	SimaPro	x	x		x			x					x			x
Locus ESG & Sustainability	Locus Technologies		x		x	x			x				x	x	x	x
Measurable - nur Gebäude	Measurabl		x	x	x	x		x					x	x	x	x
Metrio Sustainability Reporting	Metrio		x	x	x				x				x	x	x	x

Onyen	Onyen ESG Reporting Software	x	x	x		x		x	x		x	x	x	x	x
openLCA (Englisch)	GreenDelta GmbH					x	x	x	x				x		x
Optimiso Suit Software	Optimiso Group			x	x			x			x	x	x	x	x
Oracle Sustainability Solutions (Englisch)	Oracle Corporation		x	x		x	x			x			x	x	x
PAUL	QUMsult GmbH & Co. KG	x	x	x									x		
ProActivity Suite	Dakota Software	x	x		x	x	x				x	x		x	x
QSEC	WMC Wüpper Management Consulting GmbH		x	x	x	x				x			x	x	x
Quentic	Quentic GmbH	x	x		x	x	x			x	x	x	x	x	x
QUMcheck	QUMsult GmbH & Co. KG		x	x		x				x					x
Sam EHS-Basissystem - nur Unterweisungssystem	Secova					x				x					
signal - nur für Logistik	signal	x		x	x						x	x	x		x
SmartHead	SmartHead Co.	x	x		x	x	x			x	x		x	x	x
Software Suite +	KeyGreenSolutions			x						x				x	x
Staarsoft	Tavares groupe	x	x		x	x									x
SuPM	SAP	x	x			x	x			x					x
Sustainability management	warldfavor	x		x	x	x				x	x		x	x	x
Sustainability Reporting Software	ecometrica	x	x		x	x				x			x	x	x
Sustainability Software	Sustain.life	x	x		x	x				x			x	x	x
Sustainion	Turnkey	x	x		x	x	x	x			x		x	x	x
SustainLab Studio	SustainLab	x	x		x	x	x			x				x	x
Umberto	ifu Institut für Umweltinformatik Hamburg GmbH					x				x			x		x
Umweltdaten-tool - ESG Cockpit	akaryon GmbH	x	x							x					

G. Zusätzliche Informationen zur Validierung mit der PNZ-Produkte GmbH

a. Stakeholder für die PNZ-Produkte GmbH

Tabelle 14: Identifikation und Beschreibung der Stakeholder für die PNZ-Produkte GmbH

Name	Rolle	Priorität	Involvierung	Domänen- erfahrung	Technologische Erfahrung
Geschäftsführung / Umweltmanagement- beauftragter / Controlling & Rechnungswesen	zuständig für Nachhaltigkeits- bericht & Kompensation, Adressat	Primär	Aktive Teilnahme/ Projektteam	Ja	Ja
Labor / F&E / Umweltmanagement- beauftragter / Arbeitssicherheit / Qualitätsmanagement	zuständig für Zertifizierung und Produktentwicklung, Adressaten und Adressatinnen	Primär	Aktive Teilnahme/ Projektteam	Ja	Nein
IT	spätere Einbindung zur Umsetzung/ Beurteilung der Umsetzbarkeit, Adressaten und Adressatinnen	Primär	Aktive Teilnahme/ Projektteam	Nein	Ja
Einkauf	Datenlieferanten und -lieferantinnen, Adressaten und Adressatinnen	Sekundär	Berücksichtigung für Dateneingabe und der Informationsbedarfe	Nein	Nein
Verkauf	Datenlieferanten und -lieferantinnen, Adressaten und Adressatinnen	Sekundär	Berücksichtigung für Dateneingabe und der Informationsbedarfe	Nein	Nein

Produktion	Datenlieferanten und -lieferantinnen, Adressaten und Adressatinnen	Sekundär	Berücksichtigung für Dateneingabe und der Informationsbedarfe	Nein	Nein
Personal	Datenlieferanten und -lieferantinnen, Adressaten und Adressatinnen	Sekundär	Berücksichtigung für Dateneingabe und der Informationsbedarfe	Nein	Nein
Marketing	Datenlieferanten und -lieferantinnen, Adressaten und Adressatinnen	Sekundär	Berücksichtigung für Dateneingabe und der Informationsbedarfe	Nein	Nein
Verwaltung	Datenlieferanten und -lieferantinnen, Adressaten und Adressatinnen	Sekundär	Berücksichtigung für Dateneingabe und der Informationsbedarfe	Nein	Nein
Mitarbeitende	Adressaten und Adressatinnen	-	Berücksichtigung der Informationsbedarfe	-	-
Science Based Target Initiative	Adressat	-	Berücksichtigung der Informationsbedarfe	-	-
Öffentlichkeit	Adressaten und Adressatinnen	-	Berücksichtigung der Informationsbedarfe	-	-
Banken	Adressaten	-	Berücksichtigung der Informationsbedarfe	-	-
Kundschaft	Adressaten und Adressatinnen	-	Berücksichtigung der Informationsbedarfe	-	-
Anwohner und Anwohnerinnen	Adressaten und Adressatinnen	-	Berücksichtigung der Informationsbedarfe	-	-
Branchenverband	Adressat	-	Berücksichtigung der Informationsbedarfe	-	-
Zertifizierungsstelle	Adressat	-	Berücksichtigung der Informationsbedarfe	-	-

b. Workflows

Im Folgenden sind die weiteren definierten Prozesse zur Datenerhebung für das Fallbeispiel der PNZ-Produkte GmbH dargestellt.

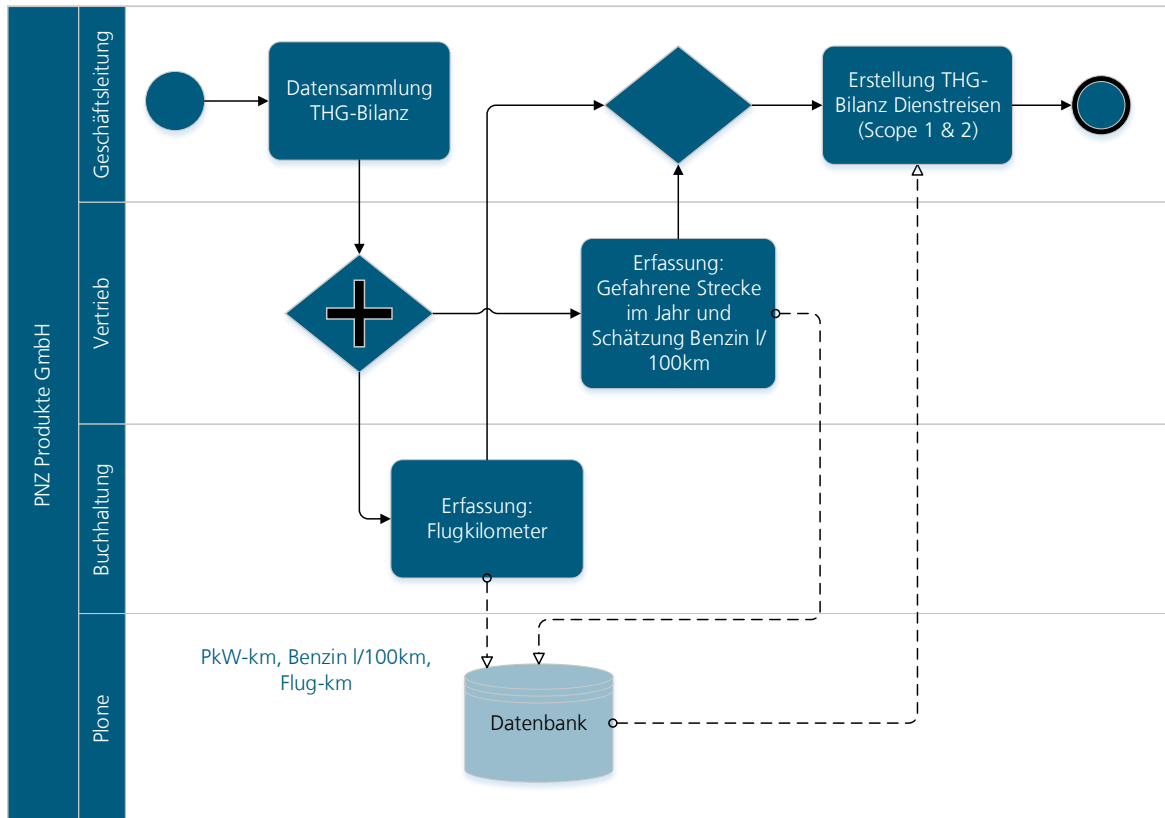


Abbildung 63: Prozess zur Erhebung der Treibhausgasemissionen für Scope 1 und 2 (THG-Emissionen)

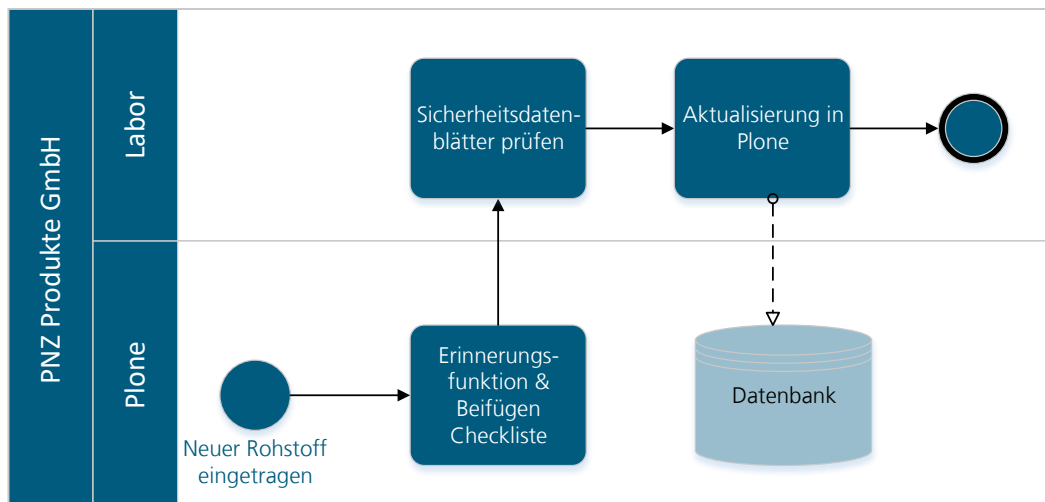


Abbildung 64: Prozess zur Aktualisierung der Sicherheitsdatenblätter

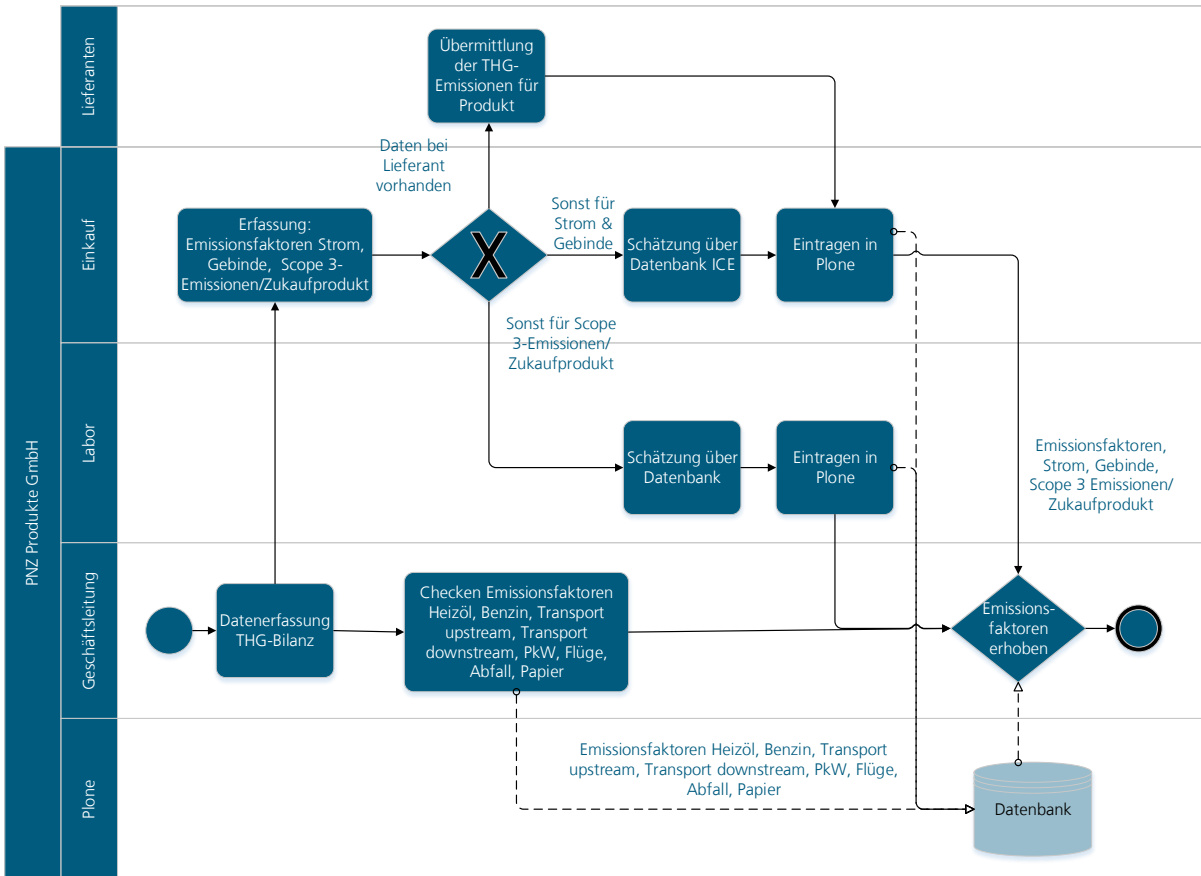


Abbildung 65: Prozess zur Aktualisierung der Emissionsfaktoren

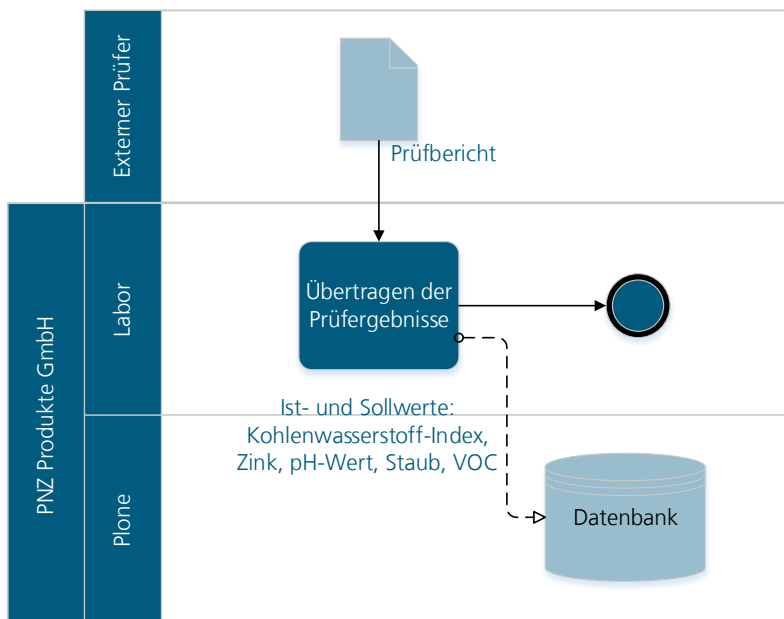


Abbildung 66: Prozess zur Aktualisierung der Prüfergebnisse

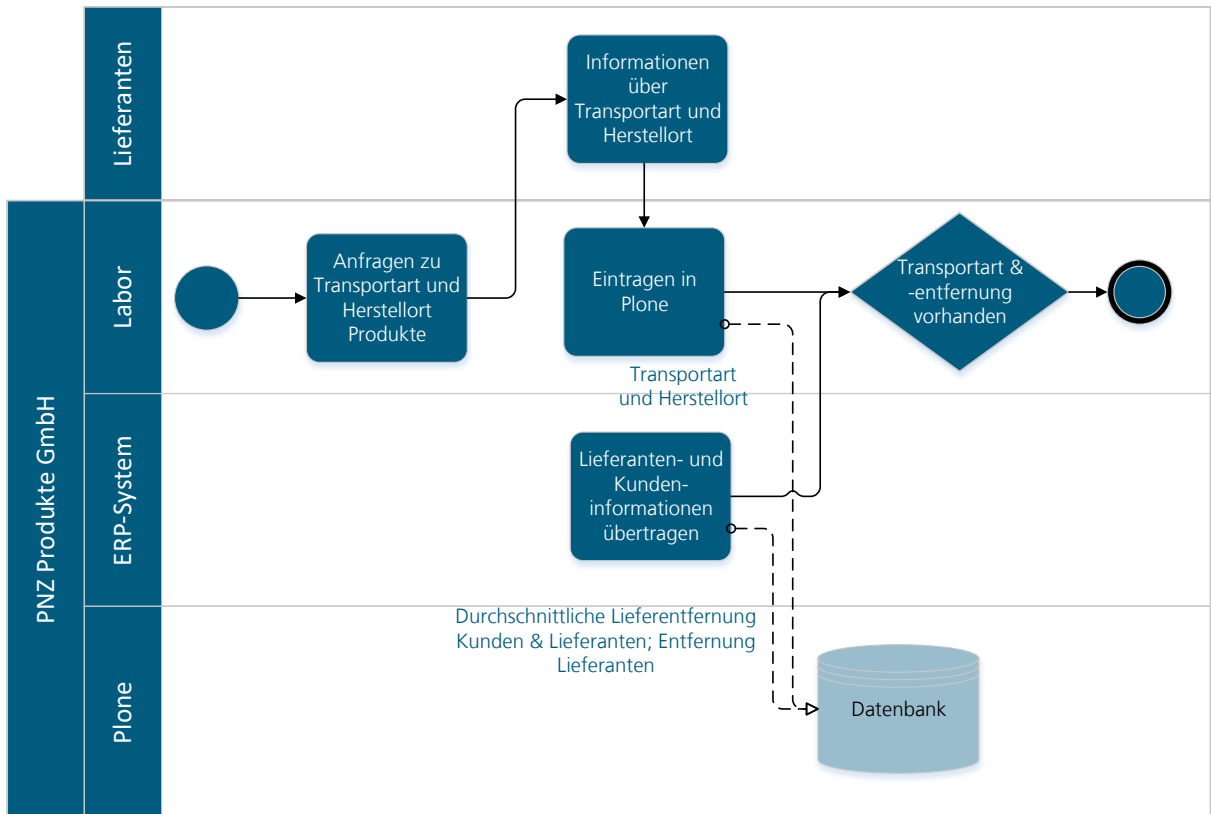


Abbildung 67: Prozess zur Erhebung der Transportart und -entfernung

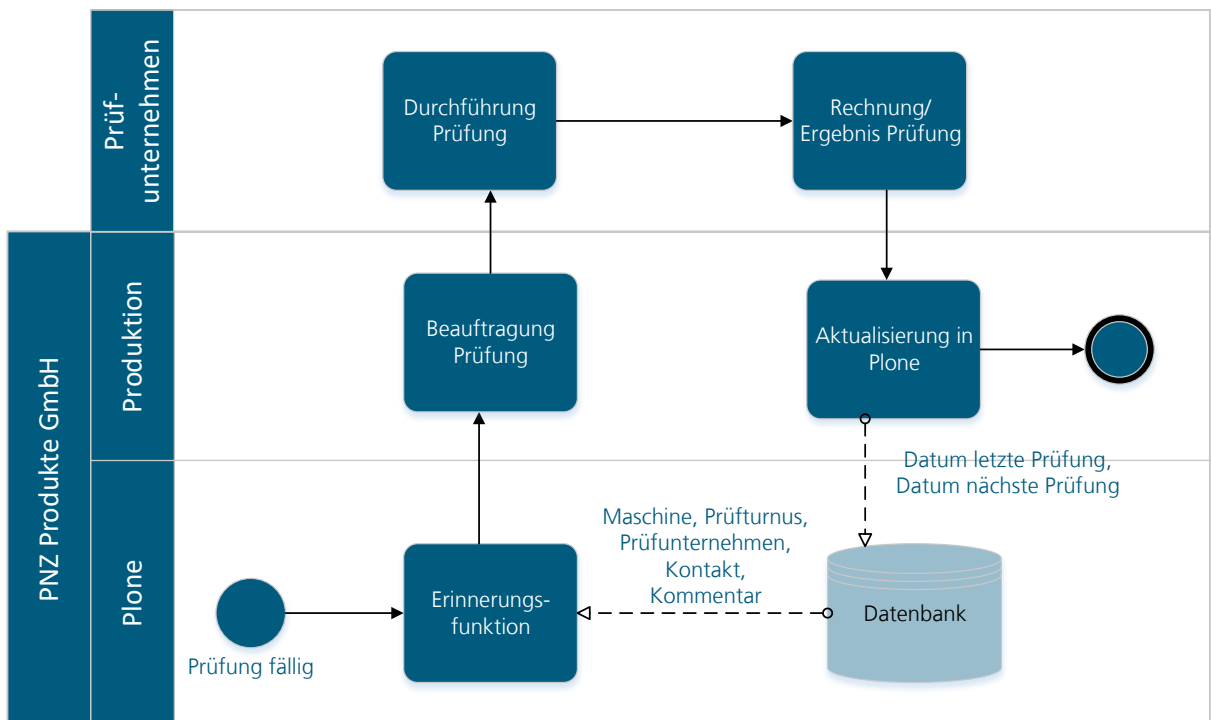


Abbildung 68: Prozess zur Einhaltung des Wartungsplans

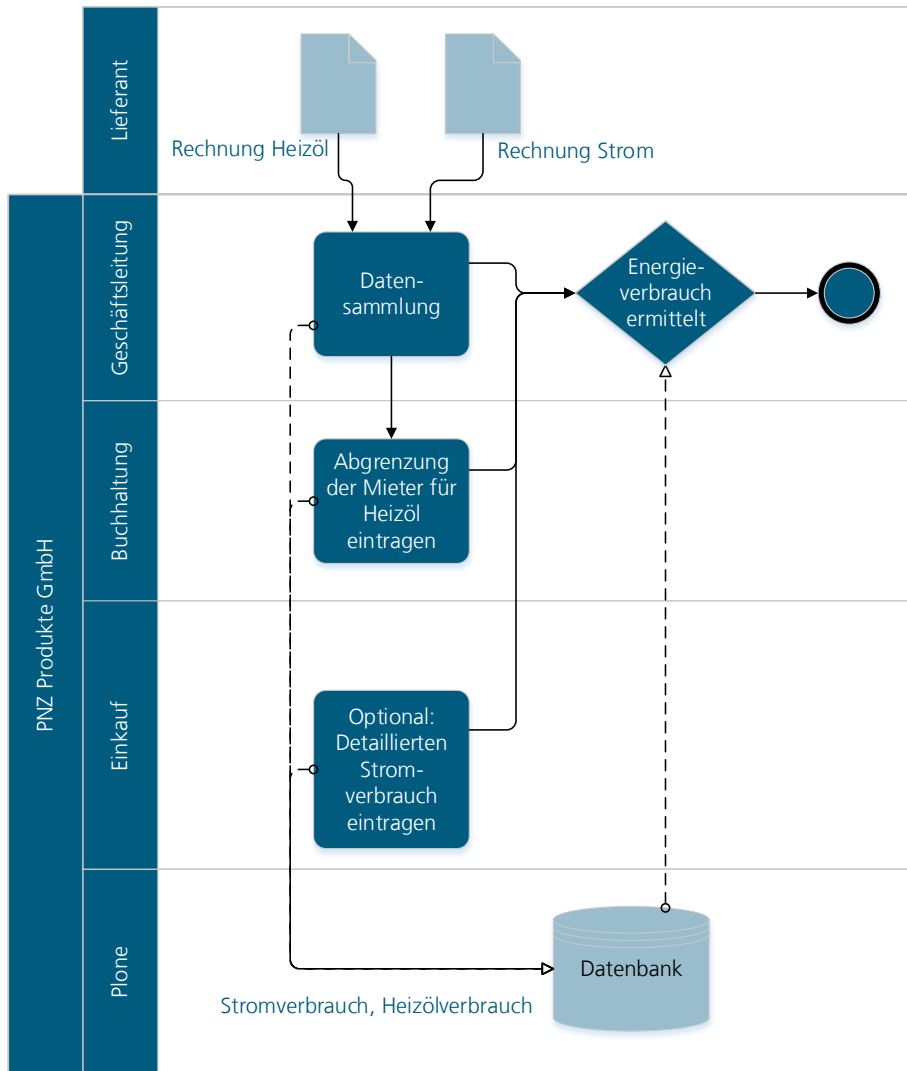


Abbildung 69: Prozess zur Ermittlung des Energieverbrauchs

c. Screenshots des Klick-Dummies

Im Folgenden sind Screenshots des Klick-Dummies für den Anwendungsfall zur Erhebung und Kompensation der THG-Emissionen sowie zur Erfüllung der Zertifizierung nach ISO 9001 und ISO 14001 dargestellt. Die gezeigten Werte und Verbräuche entsprechen nicht den realen Werten, sondern dienen der reinen Veranschaulichung.

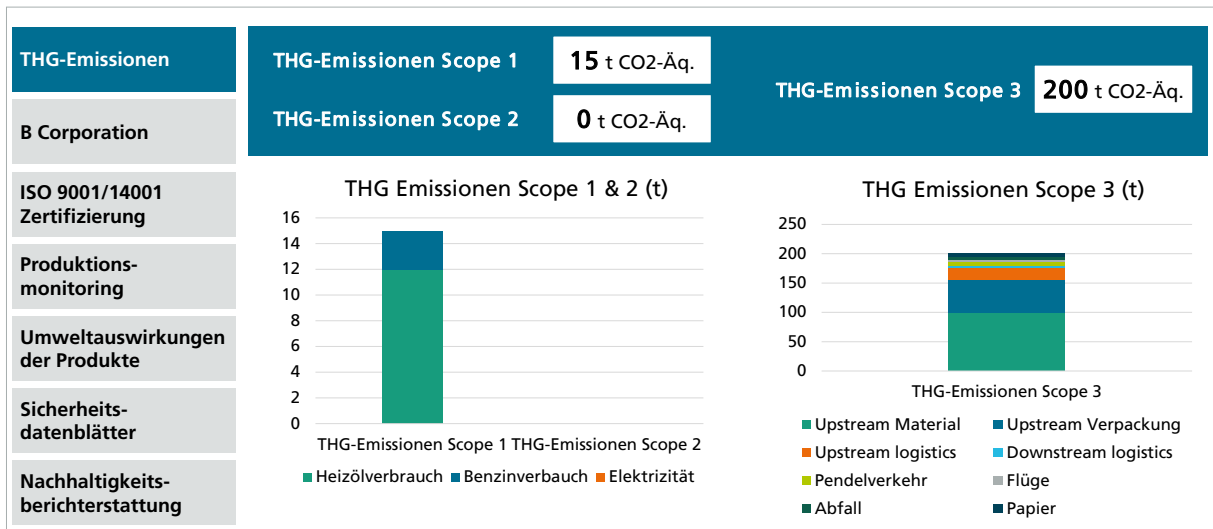


Abbildung 70: Screenshot des Klick-Dummies für die Erhebung und Kompensation der THG-Emissionen

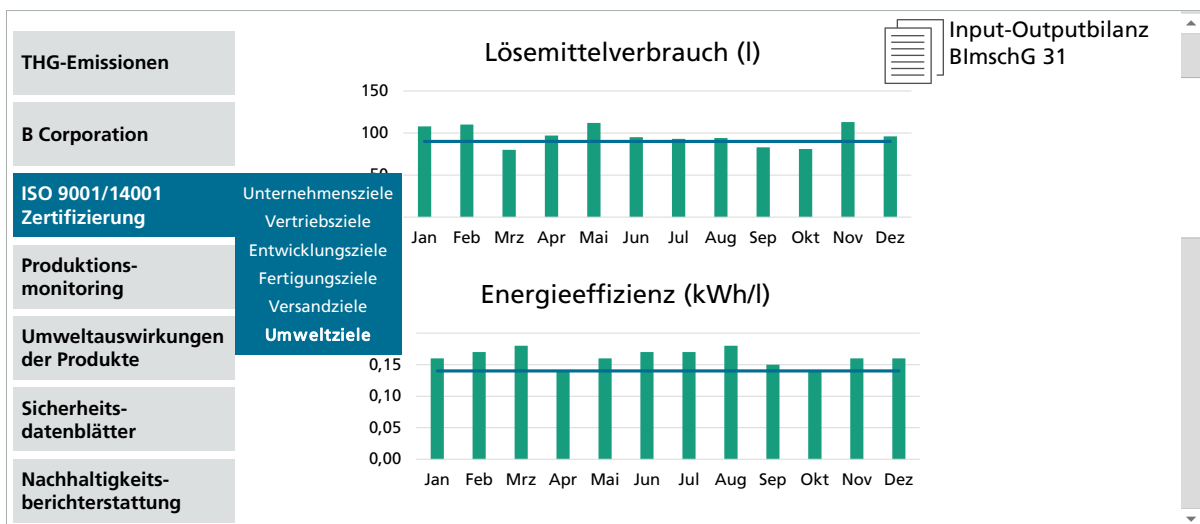


Abbildung 71: Screenshot des Klick-Dummies für die Erfüllung der Zertifizierung nach ISO 9001 und ISO 14001

H. Zusätzliche Informationen zur Validierung mit der Schaeffler AG,
Standort Bußmatten

a. Stakeholder für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten

Tabelle 15: Identifikation und Beschreibung der Stakeholder für die Schaeffler AG, Standort Bußmatten

Name	Rolle	Priorität	Involvierung	Domänen- erfahrung	Technologische Erfahrung
Umweltmanagement Standort (Leiter & Mitarbeiterinnen)	Zuständig für die EMAS-Berichterstattung und Monitoring der umweltrelevanten Daten am Standort	Primär	Aktive Teilnahme/ Projektteam	Ja	Nein
Umweltmanagement Zentrale (Leiter & Mitarbeiter)	Zuständig für Nachhaltigkeitsberichterstattung und Monitoring der umweltrelevanten Daten für alle Standorte	Primär	Aktive Teilnahme/ Projektteam	Ja	Nein
Verantwortliche CO ₂ -Bilanzierung	Zuständig für die CO ₂ -Bilanzierung und Ökobilanzierung der Produkte	Primär	Aktive Teilnahme/ Projektteam	Ja	Nein
Energiemanagement Standort	Zuständig für das Energiemanagement am Standort	Primär	Aktive Teilnahme/ Projektteam	Ja	Ja
Projektmanager Digitalisierung Standort	Zuständig für das Integrationsprojekt der Produktions-Informationssysteme am Standort	Primär	Aktive Teilnahme/ Projektteam	Nein	Ja

Experte Digitale Fabrik Standort	Zuständig für Digitalisierungsprojekte am Standort	Primär	Aktive Teilnahme/Projektteam	Nein	Ja
Produktion	Datenlieferant	Sekundär	Berücksichtigung für Dateneingabe	Nein	Nein
Standortleitung	Adressaten und Adressatinnen	-	Berücksichtigung der Informationsbedarfe	-	-
Segmentleitung Produktion	Adressaten und Adressatinnen	-	Berücksichtigung der Informationsbedarfe	-	-
Vertrieb	Adressaten und Adressatinnen	-	Berücksichtigung der Informationsbedarfe	-	-
Einkauf	Adressaten und Adressatinnen	-	Berücksichtigung der Informationsbedarfe	-	-
Mitarbeitende	Adressaten und Adressatinnen	-	Berücksichtigung der Informationsbedarfe	-	-
Kundschaft	Adressaten und Adressatinnen	-	Berücksichtigung der Informationsbedarfe	-	-
Öffentlichkeit	Adressaten und Adressatinnen	-	Berücksichtigung der Informationsbedarfe	-	-
Zertifizierungsstellen	Adressaten und Adressatinnen	-	Berücksichtigung der Informationsbedarfe	-	-

b. Screenshot des Klick-Dummies

Im Folgenden ist ein Screenshot des Klick-Dummies für den Anwendungsfall Segmentvorstellung dargestellt. Die gezeigten Werte und Verbräuche entsprechen nicht den realen Werten, sondern dienen der reinen Veranschaulichung.

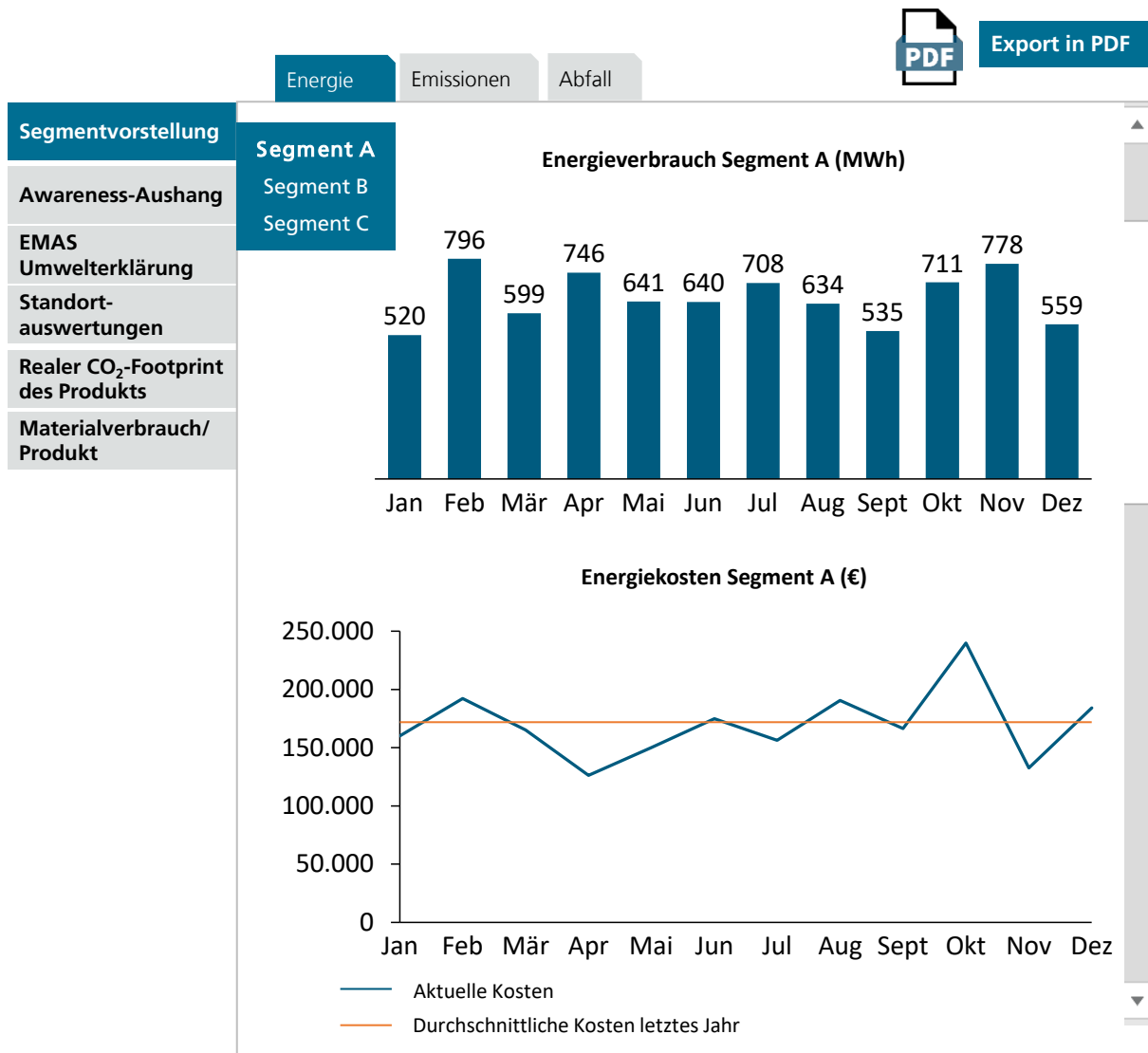


Abbildung 72: Screenshot des Klick-Dummies für den Anwendungsfall Segmentvorstellung

