

Green Knowledge Management zur Unterstützung ökologischer Nachhaltigkeit

DISSERTATION

zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Ingenieurwissenschaften

vorgelegt von

Dipl.-Inform. Mareike-Jessica Dornhöfer

eingereicht bei der Naturwissenschaftlich-Technischen Fakultät

der Universität Siegen

Siegen 2016

gedruckt auf alterungsbeständigem holz- und säurefreiem Papier

1. Gutachter: Prof. Dr.-Ing. Madjid Fathi

2. Gutachter: Prof. Dr. rer. nat. Christoph Ruland

Tag der mündlichen Prüfung: 24.01.2017

Danksagung

Zu Beginn dieser Arbeit möchte ich meinen Dank allen Menschen aussprechen, die mich im Rahmen der Entstehung dieser Dissertation über die Jahre mit Rat und Tat, aber auch immer wieder motivierenden Worten unterstützt haben.

Mein spezieller Dank gilt Prof. Dr.-Ing. Madjid Fathi, welcher mir die Möglichkeit gegeben hat, im Anschluss an mein Studium die vorliegende Arbeit am Institut für Wissensbasierte Systeme & Wissensmanagement der Universität Siegen zu erstellen. Auch wenn es sicherlich Zeitpunkte gab an denen der Fortschritt der Arbeit stockte, so haben Sie mich immer wieder mit motivierenden Worten und fachlichen Anmerkungen unterstützt die Arbeit erfolgreich zu beenden.

Mein zweiter Dank gilt Prof. Dr. rer. nat. Christoph Ruland für seine hilfreichen Hinweise und Kommentare zur Fertigstellung der Arbeit.

Ich möchte mich zudem bei meinen Kolleginnen und Kollegen am Institut für Wissensbasierte Systeme & Wissensmanagement der Universität Siegen bedanken, welche mir bei Fragen oder im Zuge von gemeinsamen Publikationen immer kooperativ und unterstützend zur Seite gestanden haben. Ebenso möchte ich mich bei den Studentinnen und Studenten bedanken, deren Studien-, Projekt- oder Abschlussarbeiten ich fachlich begleiten durfte. Hier möchte ich speziell deren Bereitschaft und Einsatz ansprechen, die ausgeschriebenen Themen zu bearbeiten, sich in neue Themenbereiche einzudenken und so einzelne Aspekte dieser Arbeit aus anderen Blickwinkeln zu betrachten.

Auch gilt mein Dank meinen externen Kolleginnen und Kollegen, welche mich seit meiner Ausbildungszeit begleiten und mich immer in meinen akademischen Zielen hinsichtlich des nachfolgenden Studiums und der anschließenden Dissertation ermutigt haben.

Abschließend danke ich meinen Eltern für ihre immerwährende emotionale Unterstützung und Motivation seit Beginn meiner Ausbildungs- und Studienzeit und ihr Verständnis für die zeitintensive Recherche und Verfassung dieser Arbeit.

Abstrakt

Nachhaltigkeit und damit verbundene Umweltmanagement- und Green Ansätze haben sich in den letzten 20-30 Jahren stetig zu einem Trendthema weiterentwickelt, welches nicht nur durch Forschungseinrichtungen, sondern auch durch öffentliche Organisationen, Behörden, aber auch Privatunternehmen aufgegriffen wird. Durch gesteigerten Energie- und Ressourcenverbrauch werden immer neue Möglichkeiten gesucht sowohl die ökonomischen, ökologischen als auch sozialen Belastungen und Auswirkungen der Büro- und Betriebsumgebungen auf Mensch und Umwelt zu reduzieren. Während der Ansatz des zertifizierten Umweltmanagements schon seit den 1990er Jahren etabliert ist, sind Green Ansätze erst in den letzten 10 Jahren entstanden. Heutige Entscheidungen bzgl. einer geeigneten Nachhaltigkeitsstrategie und die Unterstützung von Maßnahmen einer Organisation, bedürfen Wissen für die Entscheidungsträger. Ebenso ist es von entscheidender Bedeutung die Umweltwirkungen einer Organisation anhand von Daten und Informationen zu erfassen, diese in Kontext zu setzen und das enthaltene Wissen für zukünftige Änderungen abzuleiten.

Genau an dieser Problematik setzen die vorgelegte Arbeit und die damit verbundene Forschungsfrage an. Wie kann ein „klassisches“ Wissensmanagement hin zu einem „Grünen Wissensmanagement“ weiterentwickelt werden, so dass dieses gezielt die Themen Nachhaltigkeit, im Speziellen ökologische Nachhaltigkeit, Umweltmanagement und weitere Green Ansätze unterstützt? Die erarbeitete *Green Knowledge Management* Definition setzt sich dabei aus fünf Teilaspekten zusammen, welche in der Folge systematisch hergeleitet, konzeptuell ausgearbeitet und mit Hilfe von praktischen Beispielen dokumentiert werden.

Hierzu wird etwa eine Auswahl bestehender Wissensmanagementmodelle untersucht, um daraus abzuleiten wie die Wissensprozesse mit denen des Umweltmanagements und verschiedener Green Ansätze ineinandergreifen können. Auch werden Arten von Wissensmanagementsystemen und deren Einsatzmöglichkeiten untersucht. Ebenso wird ein Planungs- und Entscheidungsunterstützungsinstrument in Form eines Würfels, dem „Green Knowledge Management Cube“, konzeptuell vorgestellt und prototypisch implementiert. Ein weiterer Aspekt besteht in der intensiven Betrachtung von Umweltinformationssystemen und den Möglichkeiten zur Erweiterung hin zu Umweltwissenssystemen. Hierzu präsentiert die Arbeit ein Modell eines Umweltwissenssystems, kurz UmweltWiS, dessen Logik auf dem Einsatz von semantischen Technologien basiert, um so eine flexible Erweiterbarkeit und die Einbindung von öffentlich verfügbaren Linked Open Data-Quellen aus dem Umweltbereich zu ermöglichen. Das UmweltWiS-Konzept hat den Anspruch in verschiedenen Anwendungskontexten sowohl im öffentlichen wie auch privatwirtschaftlichen Bereich einsetzbar zu sein. Dies wird mit Hilfe von drei Anwendungsfällen im Bereich der Forstwirtschaft, der Materialkunde und moderner Industrie 4.0 Umgebungen prototypisch dargestellt. Zum Abschluss der Arbeit wird betrachtet, wie ein Green Knowledge Management die Faktoren Recycling und Reduktion von Wissen adressieren kann, um somit eine Wiederverwendung, Weiterverwendung oder Weiterverwertung von Wissen möglich zu machen. Der Faktor der Reduktion von Wissen ist dabei im Zuge der Vermeidung von redundanten Wissensfragmenten oder veraltetem Wissen von Relevanz.

Abstract

Sustainability, environmental management and green initiatives are topics which gradually developed into trends since the late 1980s, not only in research institutions, but also in public and private organizations. While the usage of energy and other resources are increasing, these organizations search for new possibilities to reduce the economic, ecologic and social burdens and consequences of office and production environments for employees and nature. While certified environmental management systems were established already in the 1990s, green approaches and technologies are only about 10 years old and steadily developing. Decisions about a fitting strategy and the support of suitable measures inside an organization always require knowledge provided for the decision makers. Furthermore it is of importance to record the environmental consequences of the operational business and to not only record data and information, but to create a context and deduce the knowledge for future activities.

Based on this situation, the work addresses the main research question of how „classical“ knowledge management might be further developed or transformed into *Green Knowledge Management* and how it addresses the goals of sustainability, especially ecological sustainability, environmental management and green approaches alike? The definition of Green Knowledge Management consists of five factors, which are discussed systematically, explored conceptually and documented with the help of practical examples.

Different knowledge management models and their respective building blocks are analyzed to deduce how knowledge processes might interact with environmental ones as well as green aspects. Also different types of knowledge management systems are analysed for their application possibilities. A planning and decision making tool in form of a three dimensional cube, the “Green Knowledge Management Cube” is introduced on a conceptual level and documented with the help of exemplary implementations. An additional aspect for the development of Green Knowledge Management bases on the intensive analysis of environmental information systems and the possibilities for extending these systems to environmental knowledge systems. The work presents a model of an environmental knowledge system called UmweltWiS. The logic of the system applies semantic technologies to provide a flexible and extensible structure to integrate public linked open data sources with an environmental background. The UmweltWiS concept is designed to be applicable in different application scenarios, in public and private context. This is documented with the help of three use case scenarios of forestry, material science and modern industry 4.0 production environments. At the end of the work it is discussed how Green Knowledge Management may address the recycling and reduction of knowledge to provide possibilities for reusability. The reduction of knowledge supports the prevention of redundant knowledge fragmentation or the usage of outdated knowledge.

Inhaltsverzeichnis

Danksagung	V
Abstrakt	VII
Abstract	IX
Abbildungsverzeichnis	XIV
Tabellenverzeichnis	XVIII
Formelverzeichnis	XIX
Abkürzungsverzeichnis	XX
1 Gegenstand und Zielsetzung der Arbeit	1
1.1 Motivation	1
1.2 Gegenstand der Arbeit	2
1.3 Aufbau der Arbeit	4
- Theoretische Vorbetrachtung -	6
2 Nachhaltigkeit & Umweltmanagement	7
2.1 Historische Entwicklung der ökologischen Nachhaltigkeit	7
2.2 Umweltmanagement	12
2.2.1 Betriebliches Umweltmanagement	12
2.2.2 Umweltmanagementsysteme	13
2.2.3 Umweltmanagementsysteme nach ISO 14000ff	14
2.2.4 Umweltmanagementsystem nach EU-Öko-Audit-Verordnung	16
2.3 Umweltinformationssysteme	17
2.4 Umweltcontrolling	21
2.4.1 Definition & Instrumente	21
2.4.2 Ökobilanz	23
2.4.3 Umweltkennzahlen und Umweltleistung	25
3 Green Knowledge Management – Zusammenführung von Green X Technologien, Wissensmanagement und Umweltmanagement	27
3.1 Überblick und Historische Entwicklung von Green X Technologien	27
3.1.1 Einstieg - Was bedeutet „Green“?	27
3.1.2 Green Building	30
3.1.3 Green ICT/IT	31
3.1.4 Green (Software) Engineering	35
3.1.5 Green Information System	37
3.1.6 Green BPM	39
3.1.7 Green Behavior	40
3.2 Wissensmanagementmodelle im Kontext von Umweltmanagementaufgaben	41
3.3 Wissensmanagementsysteme im Umweltmanagement?	52
3.3.1 Überblick	52
3.3.2 Architektur von WMS und Wissensbasierten Systemen (WBS)	55

3.4	„Grünes Wissensmanagement“	56
	- Konzeption & Implementation -	63
4 Green Knowledge Management Modell & Cube	65
4.1	Einbringung von ökologisch nachhaltigen Ansätzen in bestehende Wissensmanagementmodelle und –methoden.....	65
4.1.1	Green KM-Ziele	68
4.1.2	Green KM-Wissensanforderungen und -identifikation	68
4.1.3	Green KM-Wissenserwerb und Green KM-Wissensbewertung.....	69
4.1.4	Green KM-Wissensentwicklung, -generierung und -formalisierung	70
4.1.5	Green KM-Wissensspeicherung und -organisation	72
4.1.6	Green KM-Verteilung, -Nutzung und -Kontrolle.....	74
4.2	„Green Knowledge Management Cube“	76
4.2.1	Entwicklung Green Knowledge Management Cube	76
4.2.2	Green Knowledge Management Cube Implementationen.....	78
4.2.3	Resümee	85
5 UmweltWiS – Konzeption eines Umweltwissenssystems	86
5.1	Basiskonzept des Umweltwissenssystems (UmweltWiS)	86
5.2	Vorbetrachtungen und Referenzarchitekturen	88
5.2.1	Überblick Semantische Technologien	88
5.2.2	Referenzarchitekturen zur Umsetzung des UmweltWiS	92
5.3	UmweltWiS-Arbeitsschritte zur Einbindung des UmweltWiS in bestehende Organisationen.....	97
5.4	UmweltWiS-Import, -Datenhaltung & Semantische Repräsentation	99
5.4.1	UmweltWiS-Import.....	99
5.4.2	UmweltWiS-Datenquellen und Datenhaltung	104
5.4.3	Einbindung von bestehenden Ansätzen zur semantischen Repräsentation von Umweltinformationen und Umweltbegriffen	113
5.4.4	UmweltWiS-Vernetzungsschema.....	120
5.5	UmweltWiS-Inferenz und Analyse	145
5.5.1	SPARQL basierte Anfragen der UmweltWiS-Wissensbasis.....	147
5.5.2	Logische Abfragen der UmweltWiS-Wissensbasis.....	150
5.5.3	Regelbasierte Abfragen der UmweltWiS Wissensbasis	155
5.6	UmweltWiS-Export.....	160
5.7	UmweltWiS-Dialogschnittstellen.....	163
5.7.1	Anwender-Ansicht.....	164
5.7.2	Wissensingenieur-Ansicht	167
5.8	Zusammenfassung & Ausblick.....	170
6 Anwendungsfälle	171
6.1	Öffentlicher Anwendungsfall - Einsatz eines UmweltWiS in der Forstwirtschaft.....	171
6.1.1	Umsetzungsansatz mittels UmweltWiS.....	173

6.1.2	Praxisbeispiel: Alternativer Umsetzungsansatz	181
6.2	Betriebliche Anwendungsfälle	182
6.2.1	Einsatz eines UmweltWiS zur Unterstützung der Materialkunde.....	182
6.2.2	Einsatz eines UmweltWiS zur Unterstützung von Industrie 4.0 Produktionsumgebungen	197
6.3	Zusammenführung von Green KM Cube und Umweltwissenssystem	203
6.3.1	Integration von Green KM Cube und UmweltWiS.....	203
6.3.2	Green KM Cube Ontologie	204
6.3.3	Erweiterung Benutzeroberfläche.....	211
6.4	Resümee	216
7.....	Re-Usability, Recycling und Reduktion von Wissen	217
7.1	Definition von Re-use, Recycling und Reduktion von Wissen.....	217
7.2	Realisierung auf strategischer, operativer und technischer Ebene	219
8.....	Fazit & Ausblick.....	226
	Literaturverzeichnis	229
Anhang A:	Überblick ISO 14001 – Schema	251
Anhang B:	Überblick EMAS-Schema	252
Anhang C:	Eingesetzte Softwarelösung zur Umsetzung der UmweltWiS-Ontologie ..	253
Anhang D:	Tabellen Object Properties für die Green KM Cube Ontologie	255
Anhang E:	Eigene Publikationen.....	257

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Zielsetzung der Arbeit.....	3
Abbildung 2 - Aufbau der Arbeit.....	5
Abbildung 3 - Zeitleiste der Nachhaltigkeit, Zusammenfassung anhand Quellen in Kapitel 2.1	12
Abbildung 4 - Architektur Betriebliches Umweltinformationssystem, eigene Zusammenfassung nach (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, Handbuch Umweltcontrolling, 2001, S. 580, 587, 592), (Ministerium für Klima, Umwelt und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2011), (Rautenstrauch, 1999, S. 12-14), (Zsifkovits & Brunner, 2012, S. 233-239).....	20
Abbildung 5 - Ablauf des Umweltcontrollings, eigene Zusammenfassung nach (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001, S. 20), (Krivanek, Eifler, & Kramer, 2003, S. 448), (Colsman, 2013, S. 117), (Tschandl & Posch, 2012, S. 16), (Sommer P. , 2010, S. 328).....	23
Abbildung 6 - Wissenstransparenz, zusammengefasst nach (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. 65-89).....	43
Abbildung 7 - Abstand zwischen Wissensmanagement und Umweltmanagement	50
Abbildung 8 - Interaktion zwischen Wissensmanagement und Umweltmanagement	51
Abbildung 9 - WMS verwandte Technologien, eigene Darstellung nach (Maier, 2007, S. 7)	52
Abbildung 10 - Architektur eines WMS nach (Maier, 2007, S. 319)	55
Abbildung 11 - Architektur eines Wissensbasierten Systems nach (Beierle & Kern-Isberner, 2014, S. 18) und (Bodendorf, 2006, S. 154)	56
Abbildung 12 - Interaktion von Green Technologien.....	57
Abbildung 13 - „Klammerfunktion“ Green Knowledge Management	58
Abbildung 14 - Green Knowledge Management – Themenzusammenhänge.....	61
Abbildung 15 - Green KM – Wissensziele	68
Abbildung 16 - Green KM - Wissensanforderungen und –identifikation.....	69
Abbildung 17 - Green KM - Wissenserwerb und Wissensbewertung	70
Abbildung 18 - Green KM – Wissensentwicklung, -generierung, -formalisierung.....	71
Abbildung 19 - Green KM – Wissensspeicherung und –organisation.....	73
Abbildung 20 - Green KM – Wissensentwicklung, -generierung, -formalisierung.....	75
Abbildung 21 - Green Knowledge Management Cube, publiziert in (Dornhöfer & Fathi, 2016a)	76
Abbildung 22 - Green KM Cube – Beispiel „Änderung Heizstrategie“	77
Abbildung 23 - Green KM Cube – Tabellarische Umsetzung (1)	79
Abbildung 24 - Green KM Cube – Tabellarische Umsetzung (2)	79
Abbildung 25 - Green KM Cube – Tabellarische Umsetzung (3)	80
Abbildung 26 - Green KM Cube – Tabellarische Umsetzung (4)	80
Abbildung 27 - Green KM Cube – Tabellarische Umsetzung (5)	81
Abbildung 28 - Green KM Cube – Tabellarische Umsetzung (6)	82
Abbildung 29 - Green KM Cube – Relationale Datenbank – Datenbankschema	83
Abbildung 30 - Green KM Cube – Relationale Datenbank – Beispiel Green Building.....	83
Abbildung 31 - Green KM Cube – Relationale Datenbank – Startdialog.....	84
Abbildung 32 - Green KM Cube – Relationale Datenbank – Betrachtungsebene	84
Abbildung 33 - Green KM Cube – Relationale Datenbank – Ansicht Report nach Green Ebenen	85

Abbildung 34 - UmweltWiS - Konzeptbild, publiziert in (Dornhöfer & Fathi, 2015)	87
Abbildung 35 - Semantische Technologien, zusammengefasste Darstellung nach (Dengel, 2012), (Helbig, 2008, S. 4), (Geyer-Hayden, 2009, S. 127-146), (Hodge, 2000)	90
Abbildung 36 - Prozessschaubild – Integration des Umweltwissensprozess in DIN ISO 14001 Prozess	98
Abbildung 37 - Schematischer Ansatz UmweltWiS - Ontology Mapping	103
Abbildung 38 - Prozessschaubild - Einbindung neue Datenquellen in UmweltWiS	104
Abbildung 39 - Praxisbeispiel - SoMABiT Architektur, publiziert in (Bohlouli, Dalter, Dornhöfer, Zenkert, & Fathi, 2015)	113
Abbildung 40 - Beispiel Linked Open Data Graph, generiert mit LODLive (lodlive: Anfrage "Siegen", 2015)	117
Abbildung 41 - Elemente des Linked Open Data Stacks, (Davies, 2011)	118
Abbildung 42 - Gerichteter Graph – Schematisches Beispiel	122
Abbildung 43 - UmweltWiS - Vernetzungsschema (1), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)	124
Abbildung 44 - Verwendete Datasets – Ausschnitt Linked Open Data Cloud (Schmachtenberg, Bizer, Jentzsch, & Cyganiak, 2014)	125
Abbildung 45 - UmweltWiS – Vernetzungsschema – Integration der Domain-Ontologie FAO, Input basierend auf (FAO: Geopolitical Ontologie, 2016), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)	126
Abbildung 46 - UmweltWiS-Vernetzungsschema, Integration der Domain-Ontologie GeoNames (GeoNames, 2016), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)	127
Abbildung 47 - EnvO (EnvO: The Environment Ontology, 2016) - Aufbau am Beispiel "Forest", OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)	128
Abbildung 48 - DBPedia (DBPedia: Ontologie, 2015) – Teilontologie in UmweltWiS, OntoGraf- Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)	128
Abbildung 49 - Importierte Ontologie AGROVOC, Quelle: (AGROVOC:Aufbau, 2016), Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)	129
Abbildung 50 - Nutzung AGROVOC zur Begriffsdefinition, Beispiel "Forestry", (AGROVOC:Beispiel "Forestry", 2016)	130
Abbildung 51 - UmweltWiS-Vernetzungsschema - Fachinformation – Messwert, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016)	132
Abbildung 52 - UmweltWiS-Vernetzungsschema - Fachinformation – Umweltkennzahl (1), Input basierend auf (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001), (DIN EN ISO 14031:2013-12, 2013), (Weiß, Müller, & Lössl, 2013), Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016)	133
Abbildung 53 - UmweltWiS-Vernetzungsschema - Fachinformation – Umweltkennzahl (2), Input basierend auf (Weiß, Müller, & Lössl, 2013), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)	134
Abbildung 54 - UmweltWiS-Vernetzungsschema - Fachinformation – Umweltkennzahl (3), Input basierend auf (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001), Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016)	136
Abbildung 55 - UmweltWiS-Vernetzungsschema - Fachinformation – Umweltkennzahl (4), Input basierend auf (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001), (DIN EN ISO 14031:2013-12, 2013, S. 12), Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016)	137
Abbildung 56 - UmweltWiS-Vernetzungsschema - Klasse Qualitaet, Input basierend auf (Ansari, Dornhöfer, & Fathi, 2016), (Eppler, 2003), Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016)	138
Abbildung 57 - UmweltWiS-Vernetzungsschema – Umweltproblem, eigene UmweltWiS-Konzepte und (EnvO: The Environment Ontology, 2016), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)	139
Abbildung 58 - UmweltWiS-Vernetzungsschema – Umweltaktion, OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)	140

Abbildung 59 - UmweltWiS-Vernetzungsschema – Person, eigene UmweltWiS-Konzepte und (DBPedia: Ontologie, 2015), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)	142
Abbildung 60 - UmweltWiS – Vernetzungsschema – Medieninformation & Publikation, eigene UmweltWiS-Konzepte und (DBPedia: Ontologie, 2015), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)	143
Abbildung 61 - UmweltWiS-Vernetzungsschema - Suchergebnisse Beispielinanz Waldbestand_Siegen-Wittgenstein, Zahlen basierend auf (NRW, 2016), Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016)	144
Abbildung 62 - Prozessschaubild – Inferenz von Umweltwissen in UmweltWiS.....	146
Abbildung 63 - DL Beispielanfrage, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016)	155
Abbildung 64 - Aufbau SWRL - Auszug, eigene Darstellung basierend auf (W3C:SWRL, 2004)	157
Abbildung 65 - Regelbasierte Beispielabfrage - UmweltWiS Wissensbasis, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016)	159
Abbildung 66 - Prozessschaubild - Export von Umweltwissen aus UmweltWiS.....	162
Abbildung 67 - Mockup - Dialog - UmweltWiS – Startmenü, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)	163
Abbildung 68 - Mockup - Dialog - UmweltWiS - Abfrage Wissensbasis, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)	165
Abbildung 69 - Mockup - Dialog - UmweltWiS - Ergänzung Wissensbasis, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)	166
Abbildung 70 - Mockup - Dialog - UmweltWiS - Bewertung Wissensbasis, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)	167
Abbildung 71 - Mockup - Dialog - UmweltWiS - Verwaltung Datenquellen, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)	168
Abbildung 72 - Mockup - Dialog - UmweltWiS – Ergänzung Wissensbasis – WI, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)	169
Abbildung 73 - Mockup - Dialog - UmweltWiS – Export LED, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)	169
Abbildung 74 - Anwendungsfall (öffentlich) – Forstwirtschaft, publiziert in (Dornhöfer, Holland, & Fathi, 2016b).....	172
Abbildung 75 - Umweltwissenssystem - Anwendungsfall Forstwirtschaft, publiziert in (Dornhöfer, Holland, & Fathi, 2016b)	177
Abbildung 76 - Anwendungsfall "Forstwirtschaft" – Auszug LOD Klassen Environmental Ontology EnvO (EnvO: The Environment Ontology, 2016), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)	178
Abbildung 77 - Anwendungsfall "Forstwirtschaft" –UmweltWiS Klassen und Instanzen, teilweise verknüpft mit EnvO- (EnvO: The Environment Ontology, 2016), und FAO-Klassen (FAO: Geopolitical Ontologie, 2016), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)	179
Abbildung 78 - SPARQL Abfrageergebnis UmweltWiS – Forstwirtschaft, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016)	180
Abbildung 79 - Anwendungsfall (betrieblich) – MatProSQI Konzept, Materialkunde, publiziert in (Dornhöfer, Holland, & Fathi, 2015)	184
Abbildung 80 - Anwendungsfall (betrieblich) – Materialkunde, links UmweltWiS, publiziert in (Dornhöfer & Fathi, 2015), rechts MatProSQI, publiziert in (Dornhöfer, Holland, & Fathi, 2015).....	186
Abbildung 81 - Anwendungsfall Kunststoffproduktion – Ontologie von (Klein, 2016), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016).....	191
Abbildung 82 - Integration der wissensbasierten Materialinnovations-Methode in das wissensbasierte Innovations-Framework (1), publiziert in (Dornhöfer, Holland, & Fathi, 2012)	196
Abbildung 83 - Integration der wissensbasierten Materialinnovationsmethode in das wissensbasierte Innovations-Framework (2), publiziert in (Dornhöfer, Holland, & Fathi, 2012)	196

Abbildung 84 - Anwendungsfall (betrieblich) - Industrie 4.0 (1), publiziert in (Ansari, Dornhöfer, & Fathi, 2016).....	198
Abbildung 85 - Anwendungsfall (betrieblich) - Industrie 4.0 (2).....	199
Abbildung 86 - Anwendungsfall (betrieblich) - Industrie 4.0 (3), publiziert in (Ansari, Dornhöfer, & Fathi, 2016).....	200
Abbildung 87 - Umweltwissenssystem inkl. Green KM Cube.....	204
Abbildung 88 - Green KM Cube Ontologie, Eigene Entwicklung, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016), Übersicht Klassen, Object Properties und Data Properties.....	206
Abbildung 89 - Green KM Cube Ontologie, Eigene Entwicklung, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016), Ansicht Individuen.....	207
Abbildung 90 - Green KM Cube Ontologie, Eigene Entwicklung, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016), Ansicht Rules.....	208
Abbildung 91 - Green KM Cube Ontologie, Eigene Entwicklung, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016), Ansicht Rules.....	209
Abbildung 92 - Green KM Cube Ontologie, Eigene Entwicklung, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016), SPARQL-Abfragebeispiel (1).....	210
Abbildung 93 - Green KM Cube Ontologie, Eigene Entwicklung, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016), SPARQL-Abfragebeispiel (2).....	210
Abbildung 94 - Mockup Green KM in UmweltWiS – Bewertungsgegenstand auswählen, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016).....	211
Abbildung 95 - Mockup Green KM in UmweltWiS – Funktionsübersicht, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016).....	213
Abbildung 96 - Mockup Green KM in UmweltWiS – Auswahl Datenquellen, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016).....	214
Abbildung 97 - Mockup Green KM in UmweltWiS – Teilbewertungen anlagen, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016).....	215
Abbildung 98 - Mockup Green KM in UmweltWiS – Einzelreport, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016).....	215
Abbildung 99 - Re-use, Recycling und Reduktion von Wissen.....	218
Abbildung 100 - Zusammenfassender Überblick von Umweltcontrollinginstrumenten nach (Baumast & Pape, 2008, S. 107-111), (Tschandl & Posch, 2012, S. 19-20), (Sommer P. , 2010, S. 333-336), (Schaltegger, Herzig, Kleiber, Klinke, & Müller, 2007).....	222
Abbildung 101 - Teilgraphen der Wissensbasis.....	224
Abbildung 102 - Fazit Green KM.....	226
Abbildung 103: Zusammenfassender Überblick (DIN EN ISO 14001 - v2015, 2015).....	251
Abbildung 104: Überblick EMAS III Verordnung, (EMASIII, 2009).....	252
Abbildung 105 - Softwarelösung Protégé (Stanford University, 2016), eigenes Beispiel.....	254

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 - Spiegelung Wissensfunktion – WMS – Unterstützung Umweltmanagement	54
Tabelle 2 - Interaktion und Ausprägung von Green X Technologien – Zusammenführung bisheriger Analysen aus → <i>Kapitel 3.1-3.3</i>	60
Tabelle 3 - Vergleich WM-Modelle, Details der Modelle in <i>Kapitel 3.2</i>	67
Tabelle 4 - UmweltWiS-Bausteine	88
Tabelle 5 - Vergleich Linked Data Referenzprozesse	101
Tabelle 6 - UmweltWiS-Mögliche LOD Datenquellen	110
Tabelle 7 - Ausgabe SPARQL Beispielanfrage der UmweltWiS-Wissensbasis	150
Tabelle 8 - Alternativer Umsetzungsansatz UmweltWiS - Datenquellen.....	181
Tabelle 9 - Anwendungsf. Kunststoffprod. - SPARQL-Abfrage (1) der Ontologie von (Klein, 2016).....	192
Tabelle 10 - Anwendungsf. Kunststoffprod. - SPARQL-Abfrage (2) der Ontologie von (Klein, 2016).....	193
Tabelle 11 - Anwendungsf. Kunststoffprod. - SPARQL-Abfrage (3) der Ontologie von (Klein, 2016).....	193
Tabelle 12 - Anwendungsf. Kunststoffprod. - Regel (1) der Ontologie von (Klein, 2016)	194
Tabelle 13 - Anwendungsf. Kunststoffprod. - SPARQL-Abfrage (4) der Ontologie von (Klein, 2016).....	194
Tabelle 14 - Anwendungsf. Kunststoffprod. - Regel (2) der Ontologie von (Klein, 2016)	195
Tabelle 15 - Anwendungsf. Kunststoffprod. - Regel (3) der Ontologie von (Klein, 2016)	195
Tabelle 16 - Ontology Engineering –Object Properties für die Green KM Cube Ontologie (Auszug)	205
Tabelle 17 - Ontology Engineering – Ermittlung Object Properties für die Green KM Cube Ontologie (1-3).....	256

Formelverzeichnis

Formel 1 - DBPedia Beispielabfrage „Orkan Kyrill“, z.B. mittels (VIRTUOSO, 2016)	111
Formel 2 - Definition Graphentheorie	121
Formel 3 - OWL Ausschnitt UmweltWiS-Vernetzungsschema - EMAS Kernindikatoren.....	134
Formel 4 - UmweltWiS - Vernetzungsschema - Verknüpfung Umweltproblem und Umweltaktion	140
Formel 5 - UmweltWiS - Vernetzungsschema - Beispiel Verknüpfung Präventivmaßnahmen und Umweltproblem	141
Formel 6 - UmweltWiS - Vernetzungsschema – Beispiel Annotation Properties	144
Formel 7 - Beispiel UmweltWiS-SPARQL-Abfrage	147
Formel 8 - SPARQL Beispielanfrage der UmweltWiS-Wissensbasis.....	149
Formel 9 - Description Logic, ALC, TBox (1), auszugsweise übersetzt nach (Sattler, 2007, S. 156).....	151
Formel 10 - Description Logic, ALC, TBox (2), nach (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 167).....	152
Formel 11 - Description Logic, ALC, TBox (3), übersetzt nach (Sattler, 2007, S. 158), (Rudolph, 2011, S. 85).....	152
Formel 12 - Description Logic, ALC, ABox, übersetzt nach (Sattler, 2007, S. 160)	152
Formel 13 - Description Logic, SHOIN(D) und SROIQ(D), nach (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 171-172), (Rudolph, 2011), (Horrocks, Kutz, & Sattler, 2006), (Krötzsch, Rudolph, & Hitzler, 2013, S. 2:5)	153
Formel 14 - Description Logic, Erweiterung Rollen-Axiome, Zusammenfassung und teilweise übersetzt nach (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 171-172), (Rudolph, 2011, S. 82-86), (Horrocks, Kutz, & Sattler, 2006, S. 8).....	154
Formel 15 - Auszug Wissensbasis UmweltWiS - DL Syntax	155
Formel 16 - IF-THEN-Regel, z.B. (Drabent, Eiter, Ianni, Krennwallner, Lukasiewicz, & Małuszyński, 2009).....	156
Formel 17 - Modus Ponens und Modus Tollens, (Beierle & Kern-Isberner, 2014, S. 72-79).....	156
Formel 18 - Beispiel SWRL Regel “Sturm” (1), angelehnt an Beispiele unter (W3C:SWRL, 2004).....	158
Formel 19 - Beispiel SWRL Regel “Sturm” (2).....	158
Formel 20 - Formaler Aufbau SWRL Regeln, (W3C:SWRL, 2004)	159
Formel 21 - Beispiel Übersetzung OWL zu Rules, nach (Krisnathi, Maier, & Hitzler, 2011, S. 384).....	160
Formel 22 - LOD – Auszug Environmental Ontology (EnvO) Konzepte basierend auf (EnvO: The Environment Ontology, 2016)	175
Formel 23 - UmweltWiS – Forstwirtschaft – SPARQL-Abfrage – Beispiel.....	180
Formel 24 - Green KM Cube Ontologie, Regeln zur Initialisierung (Beispiel)	208
Formel 25 - Green KM Cube Ontologie, SPARQL Abfrage (1).....	209
Formel 26 - Green KM Cube Ontologie, SPARQL Abfrage (2).....	210

Abkürzungsverzeichnis

Folgende Abkürzungen werden innerhalb der Arbeit angewendet:

Abkürzung	Bedeutung
ASD	Agile Software Development
BPM	Business Process Management
BUIS	Betriebliches Umweltinformationssystem
CMS	Content Management System
DNK	Deutscher Nachhaltigkeitskodex
DWH	Data-Warehouse
EEA	European Environment Agency
EMAS	Environment Management Audit Scheme
EMIS	Environmental Management Information System
EnvThes	Environmental Thesaurus
FAO	Food and Agriculture Organisation
GEMET	GEneral Multilingual Environmental Thesaurus
ICT	Information Communication Technology / Informations- und Kommunikationstechnologie
IT	Information Technology / Informationstechnologie
JSON	Java Script Object Notation
KM	Knowledge Management
KPI	Key Performance Indicator
LED	Linked Environment Data
LGD	Linked Geo Data
LOD	Linked Open Data
NoSQL	No/Non Structured Query Language (Datenbank)
OGD	Open Government Data
OWL	Web Ontology Language

Abkürzung	Bedeutung
RDBMS	Relationales Datenbank Management System
RDF	Ressource Description Framework
RDFS	Ressource Description Framework Schema
SEIS	Shared Environmental Information System
SNS	Semantic Network Service
SPARQL	Structured Protocol And RDF Query Language
SWRL	Semantic Web Rule Language, W3C URL einfügen
UIG	Umweltinformationsgesetz
UIS	Umweltinformationssystem
UMTHES	Umweltthesaurus
UMS	Umweltmanagementsystem
UmweltWiS	Umweltwissenssystem
URI	Uniform Ressource Identifier
WA	Wissensanwendung
WB	Wissensbewertung
WBS	Wissensbasierte(s) System(e)
WE	Wissenserfassung
Web-UIS	Web-Umweltinformationssysteme
WM	Wissensmanagement
WMS	Wissensmanagementsystem
WT	Wissenstransfer
XML	Extensible Markup Language

1 Gegenstand und Zielsetzung der Arbeit

1.1 Motivation

Das Wissen um Nachhaltigkeit und die Entwicklung von ökologisch zukunftsorientierten Strategien gehören zu den Kernthemen aktueller weltweiter Problemstellungen. Hierbei bestehen verschiedenartige Strategien wie Öffentlichkeit und privatwirtschaftliche Institutionen diesen Herausforderungen begegnen und den Umweltschutz und die Nachhaltigkeit der erbrachten Dienstleistungen oder produzierten Gewerke adressieren. Green X-Ansätze, wie etwa Green IT oder Green Building, sind dabei in aller Munde und fokussieren nicht nur bestimmte Branchen, sondern lassen sich je nach Thema auch im Privatsektor umsetzen. Zudem laufen Programme zu Umweltmanagement wie ISO 14001, EMAS oder die Bereitstellungen von öffentlichen und betrieblichen Umweltinformationssystemen, welche einen aktiven Umweltschutz motivieren und z.B. im täglichen Unternehmensalltag durch Informationsbereitstellung unterstützen.

Stimmen zum Thema Nachhaltigkeit: „... *haben wir als Industrieländer eine besondere Verantwortung, allen voran auch die Bundesrepublik Deutschland, Technologien zu entwickeln, Beispiele zu zeigen, wie man nachhaltig wirtschaften kann, damit andere von uns dann auch etwas mitnehmen können. Denn wir haben durch unsere Industrialisierung den Klimawandel schon so weit vorangetrieben, dass wir jetzt auch eine Bringschuld haben, zu zeigen, wie man **Wachstum, Wohlstand und Nachhaltigkeit** zusammenbringen kann.*“
Angela Merkel auf dem Evangelischen Kirchentag 2013, (Merkel, 2013)

Für die Politik in Deutschland ist somit eine Nachhaltigkeit im ökologischen Sinne eng mit dem Wohlbefinden der Gesellschaft und dem ökonomischen Wachstum des Landes verbunden. Dieser Ansatz wird auch von Unternehmen verfolgt, wobei diese häufig durch die Ressourcenknappheit oder den kostspieligen Bezug von Ressourcen auf nachhaltigere Ansätze umstellen wollen. Ein Beispiel hierfür ist Green Computing oder Green IT, welches den Stromverbrauch von IT-Infrastruktur oder Rechenzentren effizienter gestalten soll, um sowohl die Umwelt zu schonen aber vor allem auch um Kosten zu sparen. Nach SOMMER ist somit eine zentrale Forschungsfrage im Bereich der Nachhaltigkeit für Unternehmen: „*How can established companies successfully manage a fundamental transformation of their business model(s) based on green value propositions and value creation, thereby improving or sustaining economic performance.*“ (Sommer A. , 2012, S. 12). Dabei wird jedoch aktuell noch eine Lücke in der Schnittstelle zwischen ökologischer Nachhaltigkeit und den Businessstrategien der Organisation sowie den Faktoren zur Veränderung der Prozesse und der Innovationsansätze gesehen (Sommer A. , 2012, S. 12).

Zu einer Entscheidung hin zu Nachhaltigkeitsstrategien und zur Veränderung der Prozesslandschaft und der Arbeitsabläufe eines Unternehmens, sind immer verschiedene Entscheidungen vorausgehend. Diese basieren auf vorliegenden Informationen, im Idealfall auf vorliegendem Wissen. An dieser Stelle empfehlen sich Wissensmanagementstrategien welche die

notwendigen Informationen verknüpfen, aufbereiten, visualisieren und zur Entscheidungsunterstützung motivieren. Auf Seiten der Regierungen hat sich zudem der Gedanke einer offenen Informationspolitik etabliert, nach welcher *Open Government Data* wie etwa Umweltdaten öffentlich bereitgestellt werden. Diese offenen Daten sind im Idealfall als *Linked Open Data* miteinander verknüpft und erlauben eine direkte Einbindung in eine Wissensbasis mittels semantischer Technologien. Auf diese Weise ist eine nachhaltige Nutzung von bestehenden Daten und eine weitergehende Auswertung zu situationsbezogenem Umweltwissen denkbar. Die zentrale Motivation dieser Arbeit liegt somit darin ein nachhaltiges „*Grünes Wissensmanagement*“ zu definieren und dabei im Speziellen die bislang bestehenden Green Technologien ganzheitlich zu betrachten und den ökologischen Aspekt der Nachhaltigkeit zu unterstützen. Darauf aufbauend bildet ein Umweltwissenssystem ein Element des Green Knowledge Managements ab und wird als Erweiterung zu bestehenden Umweltinformationssystemen konzipiert und spezifiziert.

1.2 Gegenstand der Arbeit

Der Gegenstand der Arbeit besteht in der Konzeption und beispielhaften Umsetzung eines Green Knowledge Managements, also einer grünen Variante der traditionellen Wissensmanagementansätze. Hierzu werden initial die Themen Nachhaltigkeit, Umweltmanagement und bestehende Green Ansätze analysiert und ein Vergleich bestehender Wissensmanagementmodelle durchgeführt. Green Knowledge Management setzt sich in der Folge aus verschiedenen Aspekten zusammen von denen ein zentraler Punkt die Konzeption und Entwicklung eines „Umweltwissenssystems“ darstellt. Aus Literatur und Praxis sind Umweltinformationssysteme (UIS) eine etablierte Technologie zur Sammlung und Veröffentlichung von Umweltinformationen bzw. zum (internen) Monitoring von Umweltauswirkungen in Öffentlichkeit und Unternehmen. Dementsprechend werden UIS in die Kategorien öffentlich und betrieblich eingeteilt. Eine Schwachstelle, welche sich aus dem Begriff eines Informationssystems ergibt, ist das es zur Bereitstellung von Informationssammlungen ausgelegt ist, jedoch weniger zur Etablierung von Wissenszusammenhängen. An dieser Stelle setzt die vorgelegte Arbeit an, um so einen Mehrwert an Zusammenhängen und Erkenntnissen aus den vorhandenen Umweltinformationen abzuleiten und gleichzeitig ein grünes Wissensmanagement als zukünftiger Entwicklungsschritt und zur Unterstützung bestehender Green Technologien und speziell von bestehendem Umweltmanagement zu realisieren.

Eine Herstellung von Wissenszusammenhängen und Ableitung von Wissen mit Hilfe von Inferenztechniken setzt eine vorhergehende Repräsentation von Wissen voraus. Eine derartige Repräsentation kann auf unterschiedliche Weise erfolgen, z.B. in Form von Logik, Regeln oder als fallbasierte Beschreibungen. In der vorgelegten Arbeit wird der Einsatz von semantischen Technologien zur Repräsentation und Vernetzung von Umweltinformationen eingesetzt. Da es speziell bei öffentlichen Umweltinformationen bereits Ansätze gibt nach denen die Informationen mit Hilfe von Thesauren abgebildet oder als XML- bzw. RDF-Strukturen abgelegt werden, bietet sich eine Verfolgung und Ausweitung dieses Ansatzes an. Die Ableitung von Wissen erfolgt darauf aufbauend durch den Einsatz von semantischen Abfragesprachen oder –regeln und durch die Vernetzung der vorliegenden Umweltdaten und -informationen.

Neben der Integration von semantischen Ansätzen wird das Themengebiet der „Green Technologies“ zur Unterstützung von ökologischer Nachhaltigkeit und zur Integration in das UmweltWiS Konzept beleuchtet. Hierzu wird im ersten Schritt der „Green Knowledge Management Cube“ zur ganzheitlichen Betrachtung der Green Themen erarbeitet. Dabei handelt es sich um einen dreidimensionalen Würfel, welcher die Nachhaltigkeitsebenen, unterschiedliche Green Technologien und die Wissensmanagementphasen in einem Modell zusammenführt. Der Green KM Cube hat das Ziel als Bewertungs- und Entscheidungsunterstützungsinstrument für organisatorische Nachhaltigkeitsmaßnahmen zu dienen.

Aus Sicht des Wissensmanagements ergibt sich inhärent eine Schnittstelle zum Umweltmanagement, indem die Frage gestellt wird wie bestehendes Wissen recycelt und redundantes oder veraltetes Wissen reduziert werden kann? Hierzu werden verschiedene Methoden des Umwelt- und Wissenscontrollings beleuchtet und abgeleitet wie Wissen wiederverwendet, weiterverwendet und weiterverwertet werden kann.

Zusammenfassend werden die verschiedenen Aspekte des Green Knowledge Managements zusammengeführt und z.B. aufgezeigt wie der Green Knowledge Management Cube als Bestandteil des Umweltwissenssystem eingesetzt werden kann.

Folgende Abbildung zeigt einen Überblick der adressierten Themen und deren Interaktion und Abhängigkeiten:

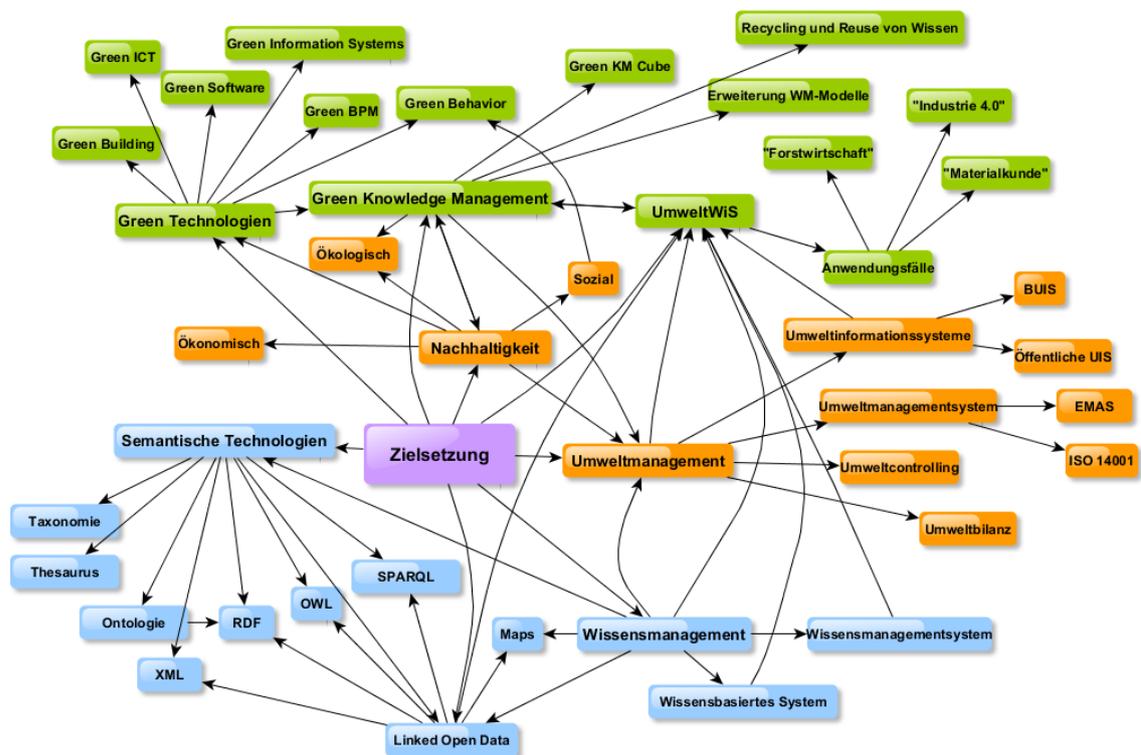


Abbildung 1 - Zielsetzung der Arbeit

1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorgelegte Arbeit teilt sich in acht Kapitel. Zu Beginn leitet eine Einleitung und Motivation die betrachtete Forschungsfrage eines „Grünen Wissensmanagements“ ein. *Kapitel 2* legt den Grundstein der theoretischen Vorbetrachtung von Nachhaltigkeits- und Umweltmanagementthemen, sowie des Aufbaus von Umweltinformationssystemen, welche im späteren Verlauf der Arbeit wieder aufgegriffen werden. Ebenso werden Methoden aus dem Bereich des Umweltcontrollings vorgestellt, welche im späteren Verlauf der Arbeit in *Kapitel 7* zur Bewertung von Wissen wieder Anwendung finden werden.

Kapitel 3 beginnt mit einer Analyse bestehender Green Technologien und deren Interaktion im organisationalen Kontext. Daran anschließend wird das Thema Wissensmanagement vorgestellt und wie dieses, im speziellen vorhandene Wissensmanagementmodelle und deren Bausteine, ein Umweltmanagement in der Organisation unterstützen können. Ebenso wird betrachtet, wie Wissensmanagementsysteme aufgebaut sind und wie deren Funktionalität ein Umweltmanagement unterstützen kann. Hierzu wird u.a. die Architektur eines Wissensbasierten Systems analysiert, welche im späteren Verlauf der Arbeit im Rahmen der Konzeption des Umweltwissenssystems wieder aufgegriffen wird. Abschließend wird anhand der vorherigen Analysen aus *Kapitel 2 und 3* die Definition des Green Knowledge Managements, also der grünen Erweiterung oder Variante des Wissensmanagements vorgestellt. Diese Definition besteht aus fünf Aspekten, welche im weiteren Verlauf der Arbeit einzeln beleuchtet werden.

Beginnend in *Kapitel 4* wird die Konzeption und Implementation des „Green Knowledge Managements“ durch die Einbringung von ökologisch nachhaltigen Ansätzen in Wissensmanagementmodelle und die Entwicklung eines „Green Knowledge Management Cubes“ als Instrument zur ganzheitlichen, wissensunterstützten Planung von Green Maßnahmen innerhalb einer Organisation erarbeitet und vorgestellt. Der Green KM Cube greift Bausteine der Wissensmanagementmodelle wieder auf und setzt die Betrachtung in Kontext mit den drei Säulen der Nachhaltigkeit sowie den unterschiedlichen Green Technologien, wobei diese beliebig erweitert werden können.

Ein zweiter Schwerpunkt ist die Konzeption eines Umweltwissenssystems in *Kapitel 5*, dessen Basis semantische Technologien im Sinne Ontologien und von Linked Open Data bilden. Das Umweltwissenssystem wird hierzu zu Beginn in seiner Gesamtarchitektur vorgestellt, um anschließend die einzelnen Ebenen der Architektur und deren Umsetzungsmöglichkeiten im Detail zu beleuchten. Die Umsetzung eines Umweltwissenssystems wird in der Konsequenz in *Kapitel 6* an öffentlichen und betrieblichen Anwendungsfällen gespiegelt. Hierzu werden die drei Anwendungsfälle „Forstwirtschaft“, „Materialkunde“ und „Industrie 4.0 Produktionsumgebungen“ aufgegriffen.

Als letzter Aspekt von Green Knowledge Management wird in *Kapitel 7* das Themengebiet des Recyclings und der Reduzierung von Wissen hin zu einer effektiveren und nachhaltigeren Nutzung der Wissensbasis betrachtet, bevor *Kapitel 8* mit einem Fazit und Ausblick die Arbeit beschließt.

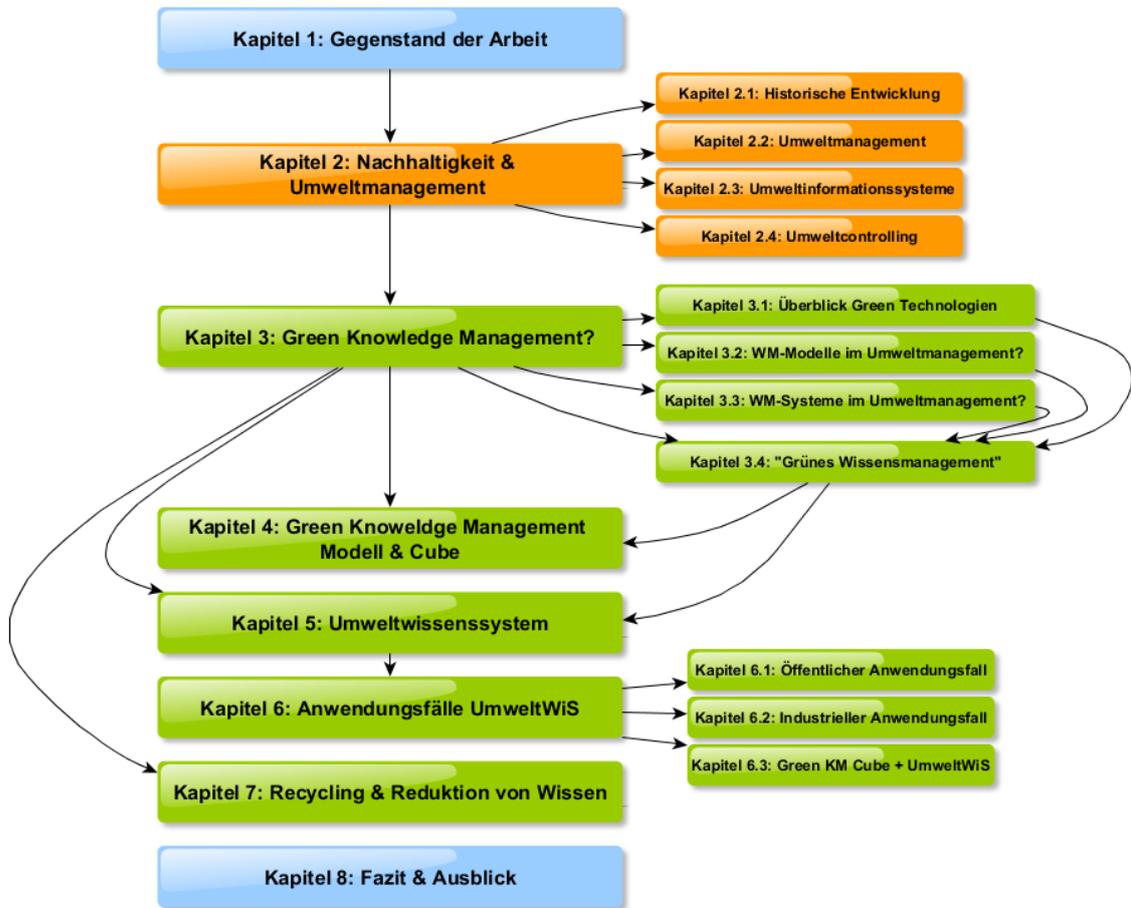


Abbildung 2 - Aufbau der Arbeit

- THEORETISCHE VORBETRACHTUNG -

2 Nachhaltigkeit & Umweltmanagement

2.1 Historische Entwicklung der ökologischen Nachhaltigkeit

Teilweise hat es den Eindruck der Begriff Nachhaltigkeit würde in letzter Zeit inflationär häufig in Literatur (vgl. z.B. (Colsman, 2013, S. 9+11)), Werbung, Politik und Wirtschaft verwendet, um so Image und Umsätze zu steigern und gegenüber Wählern oder Kunden ein positives Bild mit Zukunftsorientierung aufzuzeigen. „*Es scheint so, als sei Nachhaltigkeit ein Zauberwort, welches jede Aussage unangreifbar und relevant macht.*“ (Colsman, 2013, S. 11) Der Begriff Nachhaltigkeit an sich bzw. das dahinterliegende Prinzip ist jedoch nicht neu, sondern lediglich mehr in den Fokus gerückt. Nach GÜNTHER (Günther, 2008, S. 42-51) beginnt ~ 1750 die „Nachhaltigkeit erster Generation“ im Bereich der Forstwirtschaft, nach COLSMAN (Colsman, 2013, S. 11) bereits 1713. Die „Nachhaltigkeit zweiter Generation“ wird 1987 mit der Veröffentlichung des Berichtes „Our Common Future“ (WCED, 1987) terminiert (Günther, 2008, S. 42-51). Diese zweite Generation geht über den Umfang der ersten Generation hinaus und wird 1992 im Rahmen der stattfindenden UN-Umweltkonferenz¹ in Rio de Janeiro unter dem Begriff „Sustainable Development“ zu einer Zielsetzung für das kommende Jahrhundert (Möller, 2010, S. 41), (Lexikon der Nachhaltigkeit: Abkommen seit 1992, 2015). Mit dieser fällt auch der Startpunkt für die „Agenda 21“ (Möller, 2010, S. 56), (Agenda 21, 1992). In den darauf folgenden Jahren wurden in Deutschland Enquete-Kommissionen gebildet, welche sich mit dieser Thematik auseinandersetzten (Lexikon der Nachhaltigkeit: Enquete1992, 2015), (Lexikon der Nachhaltigkeit: Enquete1995, 2015). In beiden Kommissionen wurden die Umwelt und der Mensch in den Fokus gestellt. Nachhaltigkeit betrifft also nicht mehr nur einen Industriesektor wie etwa die Landwirtschaft, Regierungen oder Privatpersonen, welche sich für Umweltschutz einsetzen, sondern wird als globales Ziel definiert welches durch alle zuvor genannten Zielgruppen auf unterschiedlichen Ebenen unterstützt werden muss. Der Deutsche Rat für Nachhaltigkeit, welcher 2001 ins Leben gerufen wurde (Möller, 2010, S. 51), definiert das globale Ziel der Nachhaltigkeit folgendermaßen: „*Der Klimawandel und die sichere Energieversorgung, die knapper werdenden Ressourcen und die damit verbundenen Preissteigerungen, der Erhalt der natürlichen Artenvielfalt und der demografische Wandel sind Herausforderungen für Politik, Wirtschaft und Zivilgesellschaft gleichermaßen.*“ (Rat für Nachhaltige Entwicklung: Kodex, 2012) Die Relevanz von Nachhaltigkeit für Öffentlichkeit und Wirtschaft wird auch durch RECKER aufgegriffen, der resümiert: „*[p]ublic and private organizations alike push towards “sustainable” solutions and practices*“ (Recker, 2011, S. 1).

Wenngleich das im Jahr 2005 beschlossene Kyoto-Protokoll zur Reduzierung von Treibhausgasen noch nicht von allen Ländern umgesetzt, sogar teilweise boykottiert wurde (Engelfried, 2011, S. 11), so hat sich die Haltung in den letzten Jahren geändert und es wird mehr die Notwendigkeit der Erreichung und Einhaltung globaler Ziele zur Reduzierung von Treibhausgasen gesehen. Auf Basis dieser Einschätzung hat z.B. US Präsident BARACK OBAMA im Juni 2013 ein Paper herausgegeben, in welchem er einen *Climate Change Action Plan* für

¹ Die UN-Umweltkonferenzen finden in einem 10 Jahres Rhythmus seit 1972 statt.

Amerika beschreibt, welcher das Ziel haben soll klimaschädliche Gase zu reduzieren, die USA auf die Auswirkungen des Klimawandels vorzubereiten und gleichzeitig eine international führende Rolle bei dem Entgegenwirken des Klimawandels anzustreben (Obama, 2013)². In 2014 wurde ein umfangreiches National Climate Assessment durchgeführt, welches die Veränderungen und Konsequenzen des Klimawandels in den USA aufdeckte (Melillo, Richmond, & Yohe, 2014). Die Änderung der Strategie der USA orientiert sich hierbei an wirtschaftlichen Vorteilen, welches durch WALTHER als so genannter „*practical environmentalism*“ bezeichnet wird, entgegen dem in Europa weit verbreiteten „*emotional environmentalism*“ (Walther, 2009, S. 57).

Fokussiert man die Thematik in Deutschland, so bestehen bereits seit mehr als 20 Jahren Umweltinitiativen und -programme welche speziell nach der Atomkatastrophe von Tschernobyl 1986 verstärkt wurden und mit der Atomkatastrophe von Fukushima in 2011 „neuen Wind“ erhalten haben. Auf Basis der 1992 in Rio de Janeiro definierten und bereits angesprochenen AGENDA 21 wurde eine Nachhaltigkeitsstrategie entwickelt, welche 2002 durch die BUNDESREGIERUNG vor der UN-Konferenz in Johannesburg veröffentlicht wurde und seit dieser Zeit kontinuierlich überwacht und erweitert wird (Bundesregierung: Perspektiven, 2002), (Rat für Nachhaltige Entwicklung: Bilanz, 2012), (Möller, 2010, S. 51; 56-57). „*Die Bundesregierung beschreibt in der Strategie insgesamt 38 Ziele, die in der Summe wirtschaftlichen Wohlstand, eine soziale Balance und einen achtsamen Umgang mit Natur und Umwelt in Einklang bringen sollen.*“ (Rat für Nachhaltige Entwicklung: Bilanz, 2012). Nach 12 Jahren wurde in 2014 die fünfte Auswertung der erreichten Ziele für eine nachhaltige Entwicklung vorgenommen und in einem Indikatorbericht veröffentlicht (Statistisches Bundesamt: Indikatorenbericht, 2014) ebenso wie im aktuellen Jahr ein Bericht zu „Umweltökonomischen Gesamtrechnungen“ (Statistisches Bundesamt: Umweltökonomische Gesamtrechnungen, 2016) herausgegeben wurde. Hierbei werden Zielsetzungen im Bezug auf Ressourcen- und Energieverbrauch, Klimaschutz, Erneuerbare Energien, Flächeninanspruchnahme, Artenvielfalt, Mobilität, Bildung, Innovation, Wirtschaftliche Zukunftsvorsorge, Reduktion der Staatsverschuldung, Landbewirtschaftung, Luft, Gesundheit, Ernährung, Gleichstellung, Integration, Familie, Kriminalität, Beschäftigung, Entwicklung und Märkte überwacht (Statistisches Bundesamt: Indikatorenbericht, 2014). Vor allem die Förderung erneuerbarer Energien (z.B. Windkraft oder Solarenergie) als Ersatz für Atomkraft oder fossile Brennstoffe sowie die Reduktion von Treibhausgasen sind zentrale Themen der ökologischen Nachhaltigkeit. „*Clean Energy*“ und „*Climate Action*“ sind so z.B. zwei der 17 *Sustainable Development Goals*, welche 2015 durch die Vereinten Nationen als globale Nachhaltigkeitsziele bis 2030 beschlossen wurden. (United Nations, 2015) Es wurde sich im Sinne von „*Climate Action*“ auf der 21. UN-Klimakonferenz in Paris auf ein gemeinsames Klimaabkommen geeinigt nach welchem die Erderwärmung bis 2050 auf 1,5°C beschränkt

² Der angesprochene Plan beschreibt Themen wie den Einsatz von erneuerbaren Energien, die Verbesserung der Transporttechnologien, eine grundlegende Reduktion des Energieverbrauchs in Privathaushalten und Firmen und damit auch eine Reduktion von Treibhausgasen. Hierbei werden auch die Aspekte von Umweltkatastrophen wie Hurrikans, Überflutungen, Trockenheit und Waldbränden angesprochen. Die Maßnahmen sollen dabei nicht auf die USA begrenzt bleiben, sondern es soll eine Zusammenarbeit mit anderen Ländern angestrebt werden. Ein schlagendes Argument, welches die Bevölkerung überzeugen soll ist dabei das dieser Schritt die Wirtschaft nicht schwächt, sondern es Potentiale für neue Arbeitsplätze und eine Reduktion der Kosten für Energie geben wird (Obama, 2013).

werden soll. Zudem soll die Welt bis 2050 „treibhausgasneutral werden“. (Bundesumweltministerium:2050, 2015), (United Nations, 2015). Auf nationaler Ebene ist für Ende 2016 der Beschluss einer Nachfolgeversion der nationalen Nachhaltigkeitsstrategie aus 2002 vorgesehen, welche die strategische Ausrichtung auf den Zeithorizont 2030 ausrichtet und die angesprochenen *Sustainable Development Goals* berücksichtigt. (Bundesregierung: Nachhaltigkeitsstrategie, 2016) In diesem Zusammenhang von entscheidender Bedeutung sind die sogenannten „20-20-20“ Ziele der Europäischen Kommission aus 2009 welche bis 2020 die drei Themen: (1) Reduktion der Treibhausgase in der EU um 20% gegenüber 1990, (2) eine Steigerung der Abdeckung des Energieverbrauchs in der EU auf 20% sowie (3) eine Verbesserung der Energieeffizienz innerhalb der EU um ebenfalls 20% umfassen. (Europäische Kommission:2020, 2016) Im Herbst 2014 haben sich die 27 EU Staaten zudem darauf geeinigt, dass der Treibhausgasausstoß bis 2030 im Vergleich zu 1990 um 30% gesenkt und der Anteil der erneuerbaren Energien auf 27% gesteigert werden soll (Europäische Kommission:2030, 2014). Bis 2050 ist eine Senkung von schädlichen Emissionen um 80% im Bezug zu 1990 vorgesehen (Europäische Kommission:2050, 2011). Ebenso ist in 2016 der Beschluss eines *Klimaschutzplans 2050* angestrebt (Bundesumweltministerium:2050, 2015). Im Kontext der Nachhaltigkeit hat sich zudem in den letzten Jahren der Green „X“ Gedanke als Leitbild verbreitet, wobei das X etwa für IT (→ *Kapitel 3.1.3*), Computing, Health, Marketing, Building (→ *Kapitel 3.1.2*) oder weitere Green Ansätze stehen kann, welche die ökologische Nachhaltigkeit in einem Themenfeld verfolgen. So war etwa das Thema Green Economy ein zentraler Aspekt der UN-Konferenz in Rio de Janeiro in 2012 (BUND - Friends of the Earth Germany, 2012).

Eine Frage welche bislang nur angedeutet wurde, ist wieso Nachhaltigkeit in den letzten 25 Jahren überhaupt zu einem solchen globalen Thema geworden ist? Die Antwort ist vielschichtig und kann auf verschiedenen Ebenen betrachtet und realisiert werden. Nachhaltigkeit wird in der Literatur über die drei Teilaspekte ökonomisch, ökologisch und sozial definiert (Meyer & Teuteburg, 2012, S. 6), welche häufig als Dreieck dargestellt werden (Lexikon der Nachhaltigkeit: Nachhaltigkeitsdreieck, 2015), (Spindler, 2016), (Schaltegger, Herzig, Kleiber, Klinke, & Müller, 2007, S. 14) aber auch als Dimensionen (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001, S. 121-128) oder Säulen bezeichnet werden (Möller, 2010, S. 43). „*Eine nachhaltige Entwicklung berücksichtigt, dass Umwelt- und Entwicklungsziele nur erreichbar sind, wenn ökologische, soziale und wirtschaftliche Zusammenhänge gleichwertig beachtet werden (3 Säulen-Modell der Nachhaltigkeit)*“ (Möller, 2010, S. 43). Die Kategorisierung in diese drei Säulen basiert auf den Ergebnissen der bereits erwähnten BRUNDTLAND-KOMMISSION (WCED, 1987) und wurde in verschiedenen Literaturquellen immer wieder aufgegriffen (vgl. u.a. (Institut der deutschen Wirtschaft Köln (Hrsg.), 2012, S. 10), (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, Handbuch Umweltcontrolling, 2001, S. 121), (Haubach, 2013, S. 1)). Im Zuge dieser Arbeit steht im speziellen die ökologische Nachhaltigkeit im Fokus. Dieser Zweig der Nachhaltigkeit wiederum geht eng mit den Entwicklungen des Umweltmanagements einher, welches in den folgenden Kapiteln beleuchtet wird. Speziell Unternehmen sollen dazu angehalten werden die indirekten und direkten ökologischen Auswirkungen ihres Handelns zu betrachten und zu reduzieren (Schaltegger, Herzig, Kleiber, Klinke, & Müller, 2007, S. 11). Die Öffentlichkeit ist aber ebenso in das Themenfeld der ökologischen Nachhaltigkeit involviert.

Definition Ökologische Nachhaltigkeit: „Kriterien ökologischer Nachhaltigkeit sind: Abbau erschöpfbarer Rohstoffe nur so weit, wie sie zukünftig durch andere ersetzt werden können, Nutzung erneuerbarer Ressourcen nur bis zu ihrer Regenerationsrate, Emissionen nur unterhalb der Aufnahmekapazität der Natur“ (Dyckhoff, 2000, S. 12)

Bei der Analyse dieser Definition leitet sich aus dem ersten Punkt ab, dass eine überdachte Handhabung und Verbrauch von begrenzten Rohstoffen (z.B. Öl) angestrebt werden muss, um diese auch zukünftig nutzen zu können. Der zweite Punkt beleuchtet die Nutzung erneuerbarer Ressourcen, wie etwa Holz. Während die beiden Aspekte zuvor die Nutzung der Umwelt betrachten, werden im letzten Punkt der Definition die Abfallprodukte wie Emissionen, Treibhausgase, Sondermüll, Atommüll, etc. angesprochen. Obgleich die Natur ein regeneratives System ist, besteht für gewisse Emissionen oder Schadstoffe eine lange Abbaudauer und Konsequenzen wie der Treibhauseffekt oder die Vermüllung der Meere setzen ein. Hinsichtlich der Abfallmengen³ folgert BRETZ: „Wertvolle Ressourcen werden in großen Mengen in immer größerer Geschwindigkeit der Natur entnommen. Aus den verbrauchten Produkten entstehen wieder enorme Abfallmengen. Globalisierung zeigt sich auch in riesigen Müllbergen.“ (Bretz, 2008, S. 1) Im Sinne der ökologischen Nachhaltigkeit sollten diese Nebeneffekte verhindert werden, um so zu vermeiden das ganze Ökosysteme aus dem Gleichgewicht geraten (Schaltegger, Herzig, Kleiber, Klinke, & Müller, 2007, S. 11). Die Definition des GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKONS unterstützt diese schon 17 Jahre alte Definition von DYCKHOFF: „Die ökologische Nachhaltigkeit bezieht sich allgemein auf das Überleben und den Gesundheitszustand von Ökosystemen. [...] Eine Vernachlässigung der ökologischen Nachhaltigkeit führt dazu, dass bestimmte Ressourcen unwiderruflich zerstört oder unbrauchbar gemacht werden und damit die Chancen für jegliche weitere Entwicklungen vernichten werden.“ (Gabler Wirtschaftslexikon: Ökologische Nachhaltigkeit, 2016). Mit dem gesteigerten Verbrauch von Ressourcen, steigt nicht nur die Produktion von Abfällen, sondern auch die Kosten für den Bezug dieser Ressourcen (Spath, Bauer, & Rief, 2010, S. Vorwort). Die Umsetzung von Nachhaltigkeit oder nachhaltiger Entwicklung ist dementsprechend nicht allein von ideologischen Gesichtspunkten und Umweltbewusstsein getrieben, sondern wird in großem Maße auch durch ökonomische Auswirkungen der Globalisierung beeinflusst (Bauer, Rief, & Jurecic, 2010, S. 15-16). Nach COLSMAN bleiben jedoch aktuell „Nachhaltigkeit und Kerngeschäft [...] getrennte Säulen“, was zeigt das die Etablierung des Nachhaltigkeitsgedankens in den Kernprozessen eines Unternehmens noch nicht zwingend gegeben ist (Colsman, 2013, S. 9). Mit Blick auf die Weltwirtschaft hat aber im Bezug auf die ökologische Nachhaltigkeit des Wirtschaftens ein Umdenken eingesetzt, wie einleitend in diesem Kapitel beschrieben.

³ Deutschland hat in 2011 bspw. 386,7 Mio. Tonnen Abfälle verschiedener Kategorien erzeugt (Statistisches Bundesamt: Umweltnutzung und Wirtschaft, 2013, S. 74), wobei ein kommunales Abfallaufkommen von 597 kg pro Kopf ermittelt wurde. In einem EU Vergleich liegt Deutschland in 2014 mit gestiegenen 618 kg pro Person auf dem 2. Platz (Statistia - Kommunales Abfallaufkommen, 2014)

Das Thema Nachhaltigkeit wird auf Bundesebene auch für Unternehmen verfolgt. Hierzu wurde 2011 der Deutsche Nachhaltigkeitskodex (DNK) durch den RAT FÜR NACHHALTIGE ENTWICKLUNG herausgegeben. Der Nachhaltigkeitskodex basiert auf 20 Bewertungskriterien, welche sich in vier strategische, sechs prozessbezogene, drei umwelt- bzw. ressourcenbezogene und sieben gesellschaftliche Kriterien aufteilen (Rat für Nachhaltige Entwicklung: Kodex, 2015). Der Kodex adressiert entsprechend alle drei Aspekte der Nachhaltigkeit. Das Ziel ist hierbei, dass Unternehmen auf freiwilliger Basis Informationen zu ihrer Nachhaltigkeitsstrategie veröffentlichen und so Einblick in die gewählten Strategien und Maßnahmen geben. Der DNK wird als ein Standard für Nachhaltigkeitsmanagementsysteme in Deutschland eingeordnet (Colsman, 2013, S. 21). Der Nachhaltigkeitskodex selbst wurde in 2015 in einer überarbeiteten Version veröffentlicht. Zur Einsicht der einzelnen Kriterien wird an dieser Stelle auf die initiale Fassung (Rat für Nachhaltige Entwicklung: Kodex, 2012) und die überarbeitete Version verwiesen (Rat für Nachhaltige Entwicklung: Kodex, 2015). Zur Auswertung der 20 genannten Punkte ist es zwingend notwendig entsprechende Strukturen und Leitlinien aufzusetzen. Auf diese Weise hat eine Organisation die Möglichkeit in regelmäßigen Zyklen Auswertungen und Reports zu erstellen und als Teil der Nachhaltigkeitsstrategie zu veröffentlichen. Das Nachhaltigkeitsmanagement, oder Nachhaltigkeitscontrolling allgemein, ist eine Form des betrieblichen Managements, welches die Planung, Überwachung, Auswertung und ggf. Anpassung der Nachhaltigkeitsstrategien in den Dimensionen Ökonomie, Ökologie und Soziales miteinander verbindet. Eine detaillierte wissenschaftliche Definition des Nachhaltigkeitsmanagement und Abgrenzung der Nachhaltigkeitsinstrumente und deren Einsatzbereich ist aber nicht zwingend eindeutig (Schaltegger, Herzig, Kleiber, Klinke, & Müller, 2007, S. 10, 19, 23) und überschneidet sich teilweise mit anderen Ansätzen, so dass im Rahmen dieser Arbeit die relativ allgemeine Definition des Nachhaltigkeitsmanagements von BRAUWEILER Anwendung finden soll:

Definition Nachhaltigkeitsmanagement: *„Ein Nachhaltigkeitsmanagementsystem stellt ein methodisches Hilfsmittel dar, die unternehmerischen Nachhaltigkeitsmanagementaktivitäten in ein Gesamtkonzept zu überführen und dadurch zu systematisieren und zu strukturieren.“* (Brauweiler, 2010, S. 70)

Zu den Systemen welche zur Ausführung des Nachhaltigkeitsmanagements eingesetzt werden, zählen z.B. Umweltmanagement-, Sozialmanagement-, Arbeitsschutzsysteme, Guidelines oder Audit-Programme (Schaltegger, Herzig, Kleiber, Klinke, & Müller, 2007, S. 141). Nachhaltigkeit ist als holistischer Ansatz in die vorhandenen Managementsysteme zu integrieren (Colsman, 2013, S. 15). MANGOLD spricht zusätzlich die Schnittstelle des Nachhaltigkeitsmanagements zur Corporate Social Responsibility eines Unternehmens an (Mangold, 2012, S. 16-17), welche die soziale Verantwortung und den sozialen Aspekt der Nachhaltigkeit in Unternehmen in den Mittelpunkt stellt. *„Die Unternehmensführung steht vor der Aufgabe, ein Nachhaltigkeitsmanagement aufzubauen, das ökologische und soziale Anliegen wirksam und effizient befriedigt und deren Management in das konventionelle ökonomische Management integriert.“* (Schaltegger, Herzig, Kleiber, Klinke, & Müller, 2007, S. 3). Folgende Zusammenfassung zeigt abschließend die historische Entwicklung des Nachhaltigkeitsbegriffs.

Diese lässt sich sicherlich noch ausweiten und mit Fokus auf die soziale und ökonomische Ebene betrachten. Da diese jedoch nicht Schwerpunkt dieser Arbeit sind, wird auf eine weitere Ausweitung der Entwicklung verzichtet.



Abbildung 3 - Zeitleiste der Nachhaltigkeit, Zusammenfassung anhand Quellen in Kapitel 2.1

2.2 Umweltmanagement

2.2.1 Betriebliches Umweltmanagement

Umweltmanagement ist ähnlich zu den Disziplinen Wissensmanagement, Innovationsmanagement oder Kompetenzmanagement eine spezielle Form des Managements in einem Unternehmen oder einer Organisation, welches sich in diesem Fall auf die ökologischen Aspekte und Auswirkungen des operativen Geschäftes bezieht. Es bildet *„eine Querschnittsfunktion [...], die alle betrieblichen Funktionsbereiche wie Produktion, Logistik, [...] tangiert.“* (Wietschel, 2002, S. 11) Nach DYCKHOFF umfasst es *„alle auf die Umwelt bezogenen Aspekte der Unternehmensführung“* (Dyckhoff, 2000, S. 1), nach SCHALTEGGER ET AL. ist es Teil des Nachhaltigkeitsmanagements (Schaltegger, Herzig, Kleiber, Klinke, & Müller, 2007, S. 141) und nach WAGNER funktionsübergreifend (Wagner, 2010, S. 44). WAGNER sieht zudem den Zusammenhang der Unternehmensziele mit den *„natürlichen Umweltbeziehungen“*, den *„betrieblichen Umweltwirkungen“* sowie die unternehmerischen Handlungsmöglichkeiten als Ziele des Umweltmanagements (Wagner, 2010, S. 45). In gewisser Hinsicht ist das Umweltmanagement eine formale Ausgestaltung und Veränderung der Unternehmensprozesse zur Umsetzung betrieblicher Umweltschutzmaßnahmen. Je nach Anspruch und Größe des Unternehmens kann Umweltmanagement zuerst einmal nur auf ein Produkt oder einen Standort bezogen aufgebaut werden, oder alternativ unternehmensweit eingeführt werden. Im Hintergrund stehen dabei auch immer bestehende Umweltgesetze oder -anforderungen, welche ein Unternehmen je nach verarbeiteten Rohstoffen (z.B. Chemikalien) oder Abfallprodukten erfüllen muss. Hierzu ist eine betriebliche Überwachung und Dokumentation notwendig, was wiederum ein Kernelement des Umweltmanagements ist. Das Umweltmanagement wird auf den drei Ebenen (normativ, strategisch und operativ) des ST. GALLER MANAGEMENTKONZEPTES eingeführt, wobei die normative Ebene die Unternehmenskultur hin zu einem ökologischeren Denken verändert, die strategische Ebene die Planung und Gestaltung der Umweltpolitik, -ziele und -prozesse fokussiert, und die operative Ebene die Steuerung und Lenkung der Aktivitäten im laufenden Betrieb

beaufsichtigt (Bleicher, 2004, S. 83), (Wagner, 2010, S. 57-61), (Baumann, Kössler, & Promberger, 2005, S. 13-16).

Umweltmanagement wird in jeder Organisation individuell umgesetzt und tangiert im Speziellen die darunterliegende Unternehmenskultur, die Organisation, Prozesse und Kommunikationsbeziehungen. Es *„umfasst die Planung, Steuerung, Überwachung und Verbesserung aller Maßnahmen des betrieblichen Umweltschutzes sowie eine umweltorientierte Betriebs- und Mitarbeiterführung“* (Umweltdatenbank.de, 2016). Dieser Vorgang der Veränderung ist arbeitsaufwändig und benötigt eine konsequente Umsetzung, da ein nur unvollständiges Umweltmanagement nicht zielführend ist. Nur wenn die Mitarbeiter entsprechend involviert sind und die Prozesse im Alltag umgesetzt werden, kann das Unternehmen ökologischen und meist auch ökonomischen Nutzen aus der Umsetzung eines Umweltmanagements erzielen (Haubach, 2013, S. 21-23). Hiermit verbunden sind auch Lernprozesse und eine Verinnerlichung dieser ökologischen Philosophie. Um dies in die Praxis umzusetzen ist die Bereitstellung von entsprechendem Wissen von Bedeutung. DYCKHOFF bewertet den Erfolg des Umweltmanagements abhängig von *„ökologierelevanten Lernprozesse[n]“*, dem *„kognitiven Horizont des Aufgabenträgers“*, dem *„individuelle[n] Informationsverhalten im Rahmen entscheidungsunterstützender Technologien“*, sowie der *„Dokumentationsform ökologischen Wissens.“* (Dyckhoff, 2000, S. 115) Speziell im Hinblick auf das ökologische Wissen ergibt sich so eine Anschlussstelle zu dem in den nächsten Kapiteln vorgestellten Green Knowledge Management.

2.2.2 Umweltmanagementsysteme

Nach der Einführung in das Themenfeld Umweltmanagement stellt sich nun die praktische Frage wie Umweltmanagementsysteme (UMS) aussehen bzw. welche Themenbereiche durch diese abgedeckt werden, die nicht ohnehin schon im Unternehmensumfeld umgesetzt sind. Die Einführung entsprechender Systeme wurde 1992 bei der UN-Konferenz zu Umwelt und Entwicklung beschlossen (Baumann, Kössler, & Promberger, 2005, S. 25). Darauf ausgelegte UMS wurden konzipiert und in die Praxis eingeführt. Zu ihren Eigenschaften bzw. Einsatzzwecken gehören die Umsetzung und Überwachung von Umweltzielen, -normen bzw. -policies im Kontext der Unternehmensprozesse sowie die generelle Schaffung von ökologischem Bewusstsein in Zusammenhang mit den Unternehmenszielen und dem Unternehmensumfeld. BAUMANN ET AL. nennen folgende Ziele und Wirkungen von UMS: Rechts- und Nachweissicherheit, Wettbewerbsvorteil, Risikominimierung, Kostentransparenz, Kosteneinsparung, Vertrauensbildung und Akzeptanz, Stärkung der Bonität, Emissionsbegrenzung, Früherkennung, Mitarbeitermotivation, Arbeitssicherung/ Mitarbeiterschutz und Imagesteigerung (Baumann, Kössler, & Promberger, 2005, S. 22-24).

Die Entwicklung dieser Systeme ging einher mit der Publikation und Etablierung von formellen Standards, etwa der ISO14000ff (→ Kapitel 2.2.3) oder der EMAS Verordnung (→ Kapitel 2.2.4). Gemäß der Definition eines Umweltmanagementsystems in der EMAS III Verordnung aus dem Jahr 2009 ist dieses *„Teil des gesamten Managementsystems, der die Organisationsstruktur, Planungstätigkeiten, Verantwortlichkeiten, Verhaltensweisen, Vorgehensweisen, Verfahren und Mittel für die Festlegung, Durchführung, Verwirklichung,*

Überprüfung und Fortführung der Umweltpolitik und das Management der Umweltaspekte umfasst“ (EMASIII, 2009, S. 4; Artikel 2.17), (Engelfried, 2011, S. 109).

Die ISO 14001 und 14004 fassen dieses etwas kürzer und sehen das UMS als *„Teil des Managementsystems einer Organisation [...], der dazu dient, ihre Umweltpolitik [...] zu entwickeln und zu verwirklichen und ihre Umweltaspekte [...] zu handhaben“*, wobei eine Berücksichtigung der *„Organisationsstruktur, Planungsaktivitäten, Verantwortlichkeiten, Praktiken, Verfahren [...], Prozesse und Ressourcen“* stattfindet (DIN EN ISO 14001, 2009, S. 11), (DIN EN ISO 14004, 2010, S. 13).

Wie aus den beiden Definitionen abzuleiten ist, ist der Aspekt der Organisationsstruktur und Anpassung der Umweltpolitik und damit verbundener Prozesse der Schlüssel zur Etablierung eines UMS innerhalb des Unternehmens. ENGELFRIED (Engelfried, 2011, S. 110-111) verfolgt diesen Ansatz und nennt verschiedene Kernelemente, welche ein UMS erfüllen muss. Hierzu gehören z.B. eine Prozesslandkarte, die Abbildung der Organisationsstruktur, der Verantwortungsbereiche und Stakeholder, die Dokumentenmanagementprozesse, Umweltverfahrens- und Arbeitsanweisungen. BAUMANN ET AL. ergänzen, dass das Umweltbewusstsein, die Informationsbereitstellung und Schulung des Personals sowie *„eine klare Aufbau- und Ablauforganisation“* von zentraler Bedeutung sind (Baumann, Kössler, & Promberger, 2005, S. 25). Dies zeigt sich auch im später betrachteten Thema Green BPM (→ Kapitel 3.1.6). Bereits 1999 wird angesprochen dass die Umsetzung eines UMS nicht separat, sondern als integriertes Managementsystem erfolgen sollte, um so die Bedeutung, Effektivität und Einbindung der Thematik in die Unternehmensstrukturen abzubilden (Seidel E. , 1999, S. 123-125). Weitergehende Aufgaben des UMS sind die interne und externe Kommunikation der Umweltpolitik (Weber, 2009, S. 23) und Änderungen in den Prozessen auf Mitarbeiterebene oder die Unterstützung bei der Umweltberichterstattung (Haubach, 2013, S. 22). HAUBACH kritisiert in diesem Zusammenhang, dass Unternehmen ggf. ihre ökologischen Aktivitäten nach Erhalt der Zertifizierung des Systems einstellen und so der inhaltliche Zweck des Systems verloren gehen kann, wobei er aber gleichzeitig auf Studien verweist die aufzeigen, dass ein Umweltmanagementsystem Vorteile bei Strukturierung und Abbildung der Umweltberichterstattung generiert (Haubach, 2013, S. 22-23). FRÖTSCH UND MEINHOLZ resümieren, dass eine Organisation allein mit der Durchführung der Zertifizierung den Sinn des Umweltmanagements nicht verstanden hat (Frötsch & Meinholz, 2014, S. 18).

2.2.3 Umweltmanagementsysteme nach ISO 14000ff

Die ISO 14000er Normenreihe ist eine Serie von zusammenhängenden ISO-Richtlinien zur *„kontinuierliche[n] Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes ohne fixierten Standortbezug“*, wobei *„sich die Norm auf alle Aktivitäten, Produkte und Dienstleistungen einer Organisation bezieht.“* (Baumann, Kössler, & Promberger, 2005, S. 26) BAUMANN et al. (Baumann, Kössler, & Promberger, 2005, S. 26-27) ebenso wie BRAUWEILER (Brauweiler, 2010, S. 283) geben einen entsprechenden Kurzüberblick zu den einzelnen Normen dieser Serie. Die bedeutendste und wohl auch bekannteste Norm ist dabei die DIN EN ISO 14001. Das Ziel dieser Norm ist Organisationen dabei zu unterstützen *„einem systematischen Ansatz beim Umweltmanagement zu folgen, mit dem Ziel, durch die Verwirklichung von*

Umweltmanagementsystemen einen Beitrag zur ökologischen Säule der Nachhaltigkeit zu leisten.“ (DIN EN ISO 14001 - v2015, 2015)⁴ Die Norm bildet den zentralen Baustein zur Etablierung eines systematischen Umweltmanagements innerhalb von Organisationen. Mit der (DIN EN ISO 14004, 2010) wurde ein zusätzlicher Leitfaden bzgl. unterstützender Systeme und Methoden für die Etablierung eines Umweltmanagementsystems gemäß 14001 veröffentlicht (DIN EN ISO 14001 - v2015, 2015, S. 12). Daneben existieren verschiedene Literaturwerke, welche sich ausschließlich mit der Umsetzung der ISO 14001 in der Praxis befassen (z.B. (Cheremisinoff & Bendavid-Val, 2001)).

Das unterliegende Konzept der Norm zur Etablierung eines UMS ist der kontinuierliche Verbesserungsprozess gemäß dem Vorgehen „*Planen-Ausführen-Kontrollieren-Optimieren*“, hier konkret bestehend aus den Phasen der Führung der Organisation, der Planung des Umweltmanagements, der Unterstützung inkl. Kommunikation, dem eigentlichen Betrieb, der Bewertung der Leistung und der letztendlichen Verbesserung (DIN EN ISO 14001 - v2015, 2015). Der Begriff Umweltmanagementsystem wird als Teilaspekt eines Managementsystems gesehen, welches die Ziele und Politik der Organisation vorgibt. Es bezieht sich dabei nicht speziell auf eine technische Umsetzung, sondern generell auf die Etablierung einer passenden Organisationsstruktur zur Umsetzung einer Umweltpolitik ausgehend von der Führungsebene sowie der Handhabung der damit verbundenen Umweltaspekte bzw. Umweltauswirkungen, ebenso wie der *bindenden Verpflichtungen, Risiken* und *Chancen* (DIN EN ISO 14001, 2009, S. 11), (DIN EN ISO 14001 - v2015, 2015, S. 15).

Basis zur Umsetzung, Überwachung und Bewertung innerhalb des Systems ist die vorherige Konkretisierung der *Umweltpolitik*, die daraufhin definierten *Umweltziele* (Engelfried, 2011, S. 45), sowie die Etablierung eines Programms zur Erreichung dieser Ziele innerhalb der Organisation. Ebenso sollten Maßnahmen aufgestellt werden um festgelegte Umweltziele zu erreichen. Anhand der Definition von bedeutenden Umweltaspekten der Organisation lassen sich wiederum Umweltauswirkungen ableiten. (DIN EN ISO 14001 - v2015, 2015, S. 24ff) Hierbei hat auch die Dokumentation und Kommunikation der Strukturen, Rollen und Maßnahmen einen entscheidenden Einfluss auf die spätere Zertifizierung (Cheremisinoff & Bendavid-Val, 2001, S. 52). Durch regelmäßige Bewertungen auf Managementebene sowie der Umsetzung von zertifizierungsrelevanten internen Audits, wird eine Überwachung, Kontrolle und ggf. notwendige Korrektur der Umweltpolitik, -ziele und damit verbundener Maßnahmen gewährleistet (Engelfried, 2011, S. 45). Demgegenüber kritisieren FRÖTSCH und MEINHOLZ das die ISO 14001 *"keine Forderung nach einer quantitativen Verbesserung der betrieblichen Umweltleistung"* garantiert (Frötsch & Meinholz, 2014, S. 93), wohingegen in der DIN 14001 Version 2015 eine Überwachung, Messung, Analyse und Bewertung der Umweltleistung gefordert werden. (DIN EN ISO 14001 - v2015, 2015, S. 36) Ein zusammenfassender Überblick zu den Phasen befindet sich in → *Anhang A: Überblick ISO 14001 – Schema*.

⁴ Die zitierte DIN EN ISO 14001:2015-11 ist eine erweiterte Nachfolgeversion der DIN EN ISO 14001:2009-11, welche zu Beginn der Dissertation als Referenz aufgegriffen wurde. (DIN EN ISO 14001, 2009) Ältere in diesem Abschnitt genannte Quellen beziehen sich also ggf. auf Vorgängerversionen der Version aus 2015.

2.2.4 Umweltmanagementsystem nach EU-Öko-Audit-Verordnung

Neben der ISO 14000er Normenreihe ist in Europa die EU-Öko-Audit-Verordnung (EMAS – Eco-Management and Audit Scheme) ein weiteres Verfahren zur Auditierung eines betrieblichen Umweltmanagements. Das Schema wurde 1993 in seiner ersten Version (EMAS I, Verordnung EWG Nr. 1836/93) durch die EUROPÄISCHE GEMEINSCHAFT veröffentlicht und ist seit 1995 innerhalb der EU Mitgliedsstaaten gültig (Wietschel, 2002, S. 118), (Baumann, Kössler, & Promberger, 2005, S. 29). EMAS soll Unternehmen sensibilisieren „*die von ihnen hervorgerufenen Umweltschädigungen*“ zu betrachten und „*ein aktives Konzept zur Verbesserung des betrieblichen Umweltschutzes anzustreben.*“ (Baumann, Kössler, & Promberger, 2005, S. 29)

In regelmäßigen Abständen werden Revisionen der Verordnungen vorgenommen und entsprechende Aktualisierungen erarbeitet. So wurde in 2001 die Nachfolgeversion EMAS II (EG Nr. 761/2001) veröffentlicht (Wietschel, 2002, S. 128), (Brauweiler, 2010, S. 286-287). EMAS II wurde u.a. dahingehend erweitert, dass die Anforderungen zur Umsetzung eines UMS denen der ISO 14001 entsprechen und dass nicht mehr nur Unternehmen, sondern auch weitere Organisationsformen an dem Programm auf freiwilliger Basis teilnehmen können und dabei vor allem auch kleinere und mittlere Unternehmen (KMUs) stärker berücksichtigt werden (Wietschel, 2002, S. 129-130). Eine weitere Überarbeitung der Verordnung und konsequente Veröffentlichung einer Nachfolgeversion EMAS III erfolgte in 2009 (EG Nr. 1221/2009) (EMASIII, 2009). Mit dieser Nachfolgerversion wurden die beiden vorherigen Versionen obsolet⁵. EMAS III zielt - wie auch schon EMAS II - auf die Kompatibilität mit anderen UMS ab, speziell der EN ISO 14001:2004, deren Anforderungen an ein UMS übernommen und in Anhang II der Verordnung aufgeführt sind (EMASIII, 2009, S. 24-33).⁶ Kern-Charakteristiken von EMAS sind die „*kontinuierliche Verbesserung der Umweltleistung von Organisationen*“, eine „*systematische[n], objektive[n] und regelmäßige[n] Bewertung der Umweltleistung*“ sowie eine Veröffentlichung und Schulung der Umweltaktivitäten (EMASIII, 2009, S. 4, Artikel 1). Eine offene und transparente Kommunikation von Umweltinformationen wird bei EMAS III als ein Schlüsselfaktor für die Umsetzung gesehen (EMASIII, 2009, S. 29). Ein weiterer entscheidender Unterschied zwischen ISO und EMAS ist, dass die Einführung von EMAS durch die EU Mitgliedstaaten aktiv in ihren Ländern gefördert und unterstützt wird, wobei mit EMAS III eine Ausdehnung auch auf nicht EU Mitgliedsstaaten stattgefunden hat. Obgleich der Aufwand für die Einführung eines UMS nach EMAS höher ist als der bei der Umsetzung der ISO 14001, ergeben sich verschiedene Vorteile, u.a. die Erarbeitung von Kernindikatoren, die Eintragung in ein öffentliches Register (EMAS-Register, 2016) und eine implizite Zertifizierung nach ISO 14001

⁵ Im Vergleich zu EMAS II wurde der Aufbau der Verordnung geändert und anstelle einer kürzeren Verordnung mit mehreren zugehörigen Leitfäden, wurden diese Leitfäden in die neue Verordnung eingearbeitet (EMASIII, 2009, S. 43-45).

⁶ EMAS ergänzt gegenüber ISO 14001 Anforderungen in den Bereichen: Initiale Umweltprüfung, Konformität zu geltenden Umweltrechtsvorschriften, kontinuierliche Verbesserung der Umweltleistung der Organisation, Integration der Mitarbeiter durch Mitwirken in Gremien, Arbeitsgruppen, bei der Erstellung von Prüfungen oder Erklärungen und der generellen Verteilung von Informationen, sowie schließlich eine Kommunikation nach innen und außen unter Einbeziehung der relevanten Stakeholder (EMASIII, 2009, S. 24-33), (Moosmayer, Zippel, Lodigiani, & Koch, 2015, S. 7).

(Moosmayer, Zippel, Lodigiani, & Koch, 2015), (Umweltbundesamt: EMAS, 2015). Ein Vergleich eines Umweltmanagementsystems nach ISO14001 und EMAS ist u.a. in (Frötsch & Meinholz, 2014, S. 125-136) dokumentiert. Ein schematischer Ablauf der EMAS III Phasen wird in → *Anhang B: Überblick EMAS-Schema* zusammengefasst.

2.3 Umweltinformationssysteme

Umweltinformationssysteme (UIS) sind eine spezielle Form der betrieblichen Informationssysteme welche im Rahmen von unterschiedlichen Anwendungszwecken (siehe z.B. Morphologischer Kasten von (Junker, Marx Gómez, & Lang, 2010, S. 1050)) in Unternehmen oder Organisationen zur Verarbeitung und Verteilung von Informationen eingesetzt werden. UIS haben sich aus den in den 80er Jahren aktuellen Umweltdatenbanken weiterentwickelt und wurden seit den 90er Jahren auf Basis von Fachverfahren und einer Vernetzung und Ergänzung der Daten um Metadaten etabliert (Umweltbundesamt, 01/2009, S. Vorwort I). Neben den betrieblich orientierten UIS bestehen öffentliche UIS welche z.B. durch staatliche Einrichtungen (z.B. (Ministerium für Klima, Umwelt und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2011)) bereitgestellt werden. Ein UIS kann dabei auch aus der Zusammenführung von unterschiedlichen Umweltdatenbanken aufgebaut werden (Zsifkovits & Brunner, 2012, S. 233). Dies wurde z.B. auch durch die EUROPÄISCHE KOMMISSION und durch die EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY erkannt und ein EU übergreifendes kollaboratives *Shared Environmental Information System* (SEIS) ins Leben gerufen, welches nationale Umweltdatenbanken miteinander verknüpfen soll (Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 2008), (Europäische Kommission:SEIS, 2015). Die angestrebten öffentlichen Umweltinformationen sollen in diesem Zusammenhang für verschiedene Zielgruppen, wie Bevölkerung, Kommissionen, Entscheidungsträger nutzbar gemacht werden (Europäische Kommission:SEIS, 2013, S. 2). Die Planung sieht eine Umsetzung des SEIS bis 2019 vor.

Auf nationaler Ebene selbst existieren Services seitens des Umweltbundesamts sowie verschiedene UIS in den einzelnen Bundesländern (z.B. (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2016)), welche einen unterschiedlichen Funktionsumfang (z.B. Informationen in Kombination mit interaktiven Karten oder Unterstützung von mobilen Services) bereitstellen. Für alle EU-Staaten gilt die EU-Umweltinformationsrichtlinie (2003/4/EG) und die INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe) Richtlinie (2007/2/EG) zu raumbezogenen Umweltinformationen (Europäische Kommission:INSPIRE, 2016), (Konstantinidis, 2010, S. 4). Mit Hilfe der bestehenden öffentlichen UIS erfüllt Deutschland u.a. das Umweltinformationsgesetz (UIG), nach dessen § 3 Abs. 1 jeder Bürger *„Anspruch auf freien Zugang zu Umweltinformationen [hat], über die eine informationspflichtige Stelle im Sinne des § 2 Abs. 1 verfügt, ohne ein rechtliches Interesse darlegen zu müssen“*. (Bundesministerium für Justiz und Verbraucherschutz, 2005) Das UIG bildet die EU-Umweltrichtlinie in Deutschland auf Bundesebene ab, so dass *„Umweltinformationen, die der Öffentlichkeit nicht direkt als Daten zur Verfügung gestellt werden, in Verzeichnissen, wie z.B. den Umweltdatenkatalogen (UDKs), beschrieben werden“* (Koordinierungsstelle PortalU, 2013, S. 4). Nach LAUDON ET AL. (Laudon, Laudon, & Schoder, 2010, S. 17) sind klassische Informationssysteme betriebsindividuell und können zur *„Entscheidungsfindung, Koordination, Steuerung und Kontrolle“* sowie zur Problemanalyse von *„komplizierten Sachverhalten“* und im

Rahmen der Produktentwicklung eingesetzt werden. Das Umweltinformationssystem bzw. betriebliche Umweltinformationssystem (BUIS) ist somit ein betriebliches Informationssystem, welches speziell auf die Belange und Unterstützung des Umweltmanagements bzw. des Umweltcontrollings innerhalb des Unternehmens konzipiert und ausgelegt ist. Die Belange können dabei normengetrieben, strategie- oder prozessorientiert sein (Zsifkovits & Brunner, 2012, S. 232, 240). Das Monitoring der Stoffströme und die Entscheidungsunterstützung sind dabei besonders zu beachten. Die sich daraus ergebenden Eigenschaften sind nach TSCHANDL und POSCH eine Bereitstellung „*transparenzschaffende[r] und entscheidungsorientierte[r] ökologische[r] Informationen über Gefahrstoffe, Luft-/Wasser-Emissionen, Abfälle und Energieverbräuche*“. Des Weiteren sehen die Autoren als Eigenschaften eines BUIS die Unterstützung von „*Input-Output-Bilanzen*“, [...] *betrieblichen Stoff- und Energieströme[n] sowie entscheidungsrelevante[n] ökonomische[n] Informationen*“ (Tschandl & Posch, 2012, S. 20).

Während Umweltmanagementsysteme (→ *Kapitel 2.2.2*) bzw. –richtlinien und Verordnungen zur Etablierung derartiger Systeme vermehrt auf die Veränderung der Unternehmenskultur und Organisationen setzen und durch Verordnungen konzeptuell vorgegeben werden, zielt ein BUIS auf die technische Realisierung der IT-Anwendung im laufenden Betrieb ab, um so eine technische Unterstützungskomponente für das Umweltmanagement zu bilden. (Marx Gómez, 2012, S. 1) Der Organisation stellen sich dabei z.B. die folgenden Fragen: Wie lässt sich ein Umweltcontrolling technisch abbilden? Wie werden Daten zusammengestellt? Welche bereits existierenden internen Datenquellen oder IT-Anwendungen können angebunden werden? oder besteht die Möglichkeit externe Umweltdatenbanken oder –kataloge einzubinden?

Blickt man noch einmal 15-20 Jahre zurück, so wurden BUIS Schema und theoretische Architekturen publiziert, allerdings existierten zum damaligen Zeitpunkt bei weitem nicht die technischen Möglichkeiten zur Realisierung eines umfassenden Informationssystems mit unterschiedlichen Datenquellen, Analyse- und Auswertungsmöglichkeiten. Auch fehlten zum damaligen Zeitpunkt ausgereifte und etablierte Data-Warehouse-Systeme, welche die Anforderungen eines BUIS hätten übernehmen können ebenso wie Online Datenbanken- oder Kataloge mit strukturierten Referenzdaten. In einem BUIS sollten möglichst viele Funktionen und Hintergrundinformationen zu den Umweltbelangen einer Organisation in einer Anwendung vereint werden, um so zur Entscheidungsunterstützung beizutragen. Nach RAUTENSTRAUCH beinhalten BUIS Messdaten, Faktendaten und Dokumentationsdaten, welche anhand von unterschiedlichen Auswertungen, Modellrechnungen, Simulationen und verschiedenen Visualisierungsdarstellungen abgebildet und verarbeitet werden können (Rautenstrauch, 1999, S. 15). Die BUIS sind dabei als Stand-Alone-Systeme, Add-On Systeme oder Integrale Bestandteile anderer vorhandener Informationssysteme verfügbar (Rautenstrauch, 1999, S. 16). MARX GÓMEZ definiert 13 Jahre später BUIS in der Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik als „*ein organisatorisch-technisches System zur systematischen Erfassung, Verarbeitung und Bereitstellung umweltrelevanter Informationen in einem Unternehmen*“, wobei er in einem Nachsatz auf die Einschätzung von RAUTENSTRAUCH verweist, dass ein BUIS gleichzeitig ein Betriebliches Informationssystem im Sinne der Wirtschaftsinformatik ist (Marx Gómez, 2012). Nach MARX GÓMEZ umspannen BUIS Auskunfts- und Berichtssysteme, Ökocontrollingsysteme sowie Systeme zum produktionsintegrierten Umweltschutz, wobei BUIS zur überbetrieblichen

Nachhaltigkeitsberichterstattung und zum Umweltinformationsmanagement eingesetzt werden können (Marx Gómez, 2012, S. Abbildung 1). BUIS ermöglichen und unterstützen somit auch die Erstellung von Ökobilanzen (→ Kapitel 2.4.2) oder Umwelterklärungen (→ Kapitel 2.2.3, 2.2.4). Das Umweltbundesamt nennt als Vorteile von BUIS eine „systematische Datenerfassung“, einen schnellen „Zugriff auf relevante Daten“, die „Erleichterung wichtiger Arbeitsschritte“ und die „kontinuierliche Unterstützung des Controllingprozesses“. (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001, S. 576)

Die Einführung eines derartigen Systems ist jedoch kein Selbstläufer und benötigt kontinuierliche Pflege und Aktualisierungen, zudem muss definiert sein welchen Zweck die neue Anwendung erfüllen soll und wie diese in die bisherigen IT-Infrastrukturen des Unternehmens passt. Der Umfang der Anwendungsfunktionen hängt dabei auch von den angestrebten Umweltzielen ab bzw. in welchem Umfang ein Umweltcontrolling im Unternehmen eingeführt werden soll. Je nach Beschaffung der bisherigen IT-Infrastruktur ist es zudem sinnvoller zu analysieren inwiefern bestehende Systeme erweitert oder für diesen Zweck adaptiert werden können, bevor ein vollständig neues System konzipiert, umgesetzt oder eingekauft und dann bei den Mitarbeitern etabliert werden muss. Dokumentation und Information, die Erleichterung operativer Aufgaben wie Überwachung von Emissionen und die „Unterstützung des Controllings und der Planung“, hier speziell die Erstellung von Ökobilanzen, Stoffstrommanagement oder die Umweltkostenrechnung, sind von entscheidender Bedeutung (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001, S. 577). Je nach Anwendungsschwerpunkt kann sich auch eine andere Anwendergruppe ergeben, daher sollte dies bei der Auswahl ebenfalls berücksichtigt werden.

Betrachtet man BUIS von der technischen Ebene, so sind Schnittstellen etwa zu Produktionsplanungs- und Steuerungssystemen, Umweltdatenbanken, Buchhaltung oder automatischen Messsystemen für z.B. Strom- oder Wasserverbrauch empfehlenswert. Das auf der nächsten Seite dargestellte Architekturbild eines BUIS stellt eine Zusammenfassung der Anforderungen und Elemente eines BUIS aus unterschiedlichen Quellen zusammen. Konsequenterweise ist es nicht notwendig alle der genannten Datenquellen, Auswertungslogiken oder Ansichten zu realisieren, sondern vielmehr die Features auszuwählen welche auf die konkrete Situation und Anforderungen in einem Unternehmen passen. Gleiches gilt auch für die Anwendungsfelder welche die Themengebiete Emissionen, Energie, Gefahrenstoffe, Anlagen, Stoffströme, Abfallentstehung (Zsifkovits & Brunner, 2012, S. 235-236), Wasser- oder Flächenverbrauch betreffen können. Das die Entwicklung in diesem Bereich jedoch noch nicht abgeschlossen ist zeigt sich in der Anmerkung von LOOS ET AL. nach der in den Anfängen BUIS lediglich die gesetzlichen Anforderungen erfülltten und somit das Interesse daran noch verhalten war (Loos, et al., 2011, S. 247). Das *InGrid* Framework (InGrid, 2016) kann als Beispielarchitektur für die Etablierung eines Umweltinformationssystems aufgefasst werden, wobei der Fokus auf der Indexierung, Recherche, Visualisierung und Teilung der Informationen liegt. *InGrid* wird beispielsweise zur Umsetzung der Umweltinformationssysteme auf Ebene der Bundesländer (z.B. Niedersachsen) eingesetzt.

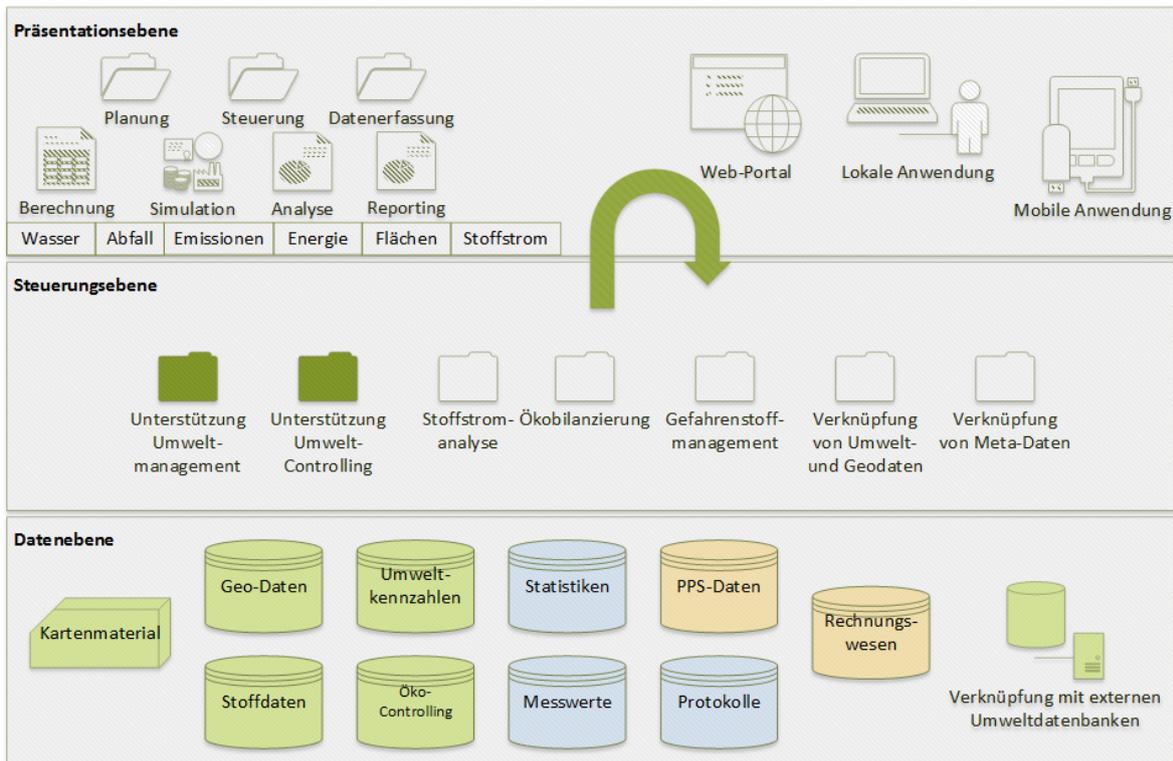


Abbildung 4 - Architektur Betriebliches Umweltinformationssystem, eigene Zusammenfassung nach (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, Handbuch Umweltcontrolling, 2001, S. 580, 587, 592), (Ministerium für Klima, Umwelt und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, 2011), (Rautenstrauch, 1999, S. 12-14), (Zsifkovits & Brunner, 2012, S. 233-239)⁷

Zukünftige Entwicklung:

Mittlerweile ist in der Literatur der Begriff BUIS 2.0 entstanden, ein Indikator dafür, dass die Entwicklung von Umweltinformationssystemen kontinuierlich weiter betrieben wird. GRÄULER ET AL. fassen den Begriff BUIS 2.0 mittels der Definition der Anforderungen an Benutzerfreundlichkeit, Softwareintegration, Prozessintegration, Datenqualität, Reporting & Entscheidungsunterstützung sowie Erzielung von Wettbewerbsvorteilen zusammen. Zudem nennen die Autoren mit Green IT, Green Logistics und nachhaltiger Produktentwicklung sowie Nachhaltigkeitsberichterstattung und Reporting die aus ihrer Sicht zentralen Module eines BUIS 2.0 (Gräuler, Teuteburg, Mahmoud, & Marx Gómez, 2012, S. 8-9). LOOS ET AL. merken in diesem Zusammenhang an, dass zukünftige Systeme die Bewahrung der Natur und Verbesserung der ökonomischen und sozialen Lebensbedingungen durch Prozesse die alle drei Nachhaltigkeitsdimensionen ansprechen, unterstützen müssen (Loos, et al., 2011, S. 247). Zudem sehen die Autoren ebenfalls eine enge Verbindung zu den bestehenden Green „X“ Ansätzen (→ Kapitel 3) und ein Potential zur Verbindung und Homogenisierung der Entwicklungen: “By

⁷ Die Darstellung erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit hinsichtlich aller möglichen Varianten von BUIS, sondern soll eine überblickende Darstellung geben. Alternativ kann die Darstellung auch als ein 5-Schichten-Modell aufgebaut werden, bei welchem auf der ersten Ebene die Quellsysteme für technische Daten angebunden werden, auf der zweiten Ebene die für betriebswirtschaftliche Daten, daran anschließend auf der dritten Ebene eine Homogenisierung der Daten, bevor die vierte Ebene die Business Intelligence Logik abbildet und die fünfte Ebene das Informationssystem darstellt (Ortner & Etlinger, 2012, S. 264).

providing integrating green web services, the new EMIS⁸ will become the connecting link merging the approaches of, for example, Green IS, Green IT, Green business, and Green logistics...“ (Loos, et al., 2011, S. 248). Ein langfristiges Ziel ist dabei, das BUIS der nächsten Generation den Ressourcenverbrauch der gesamten IT überwachen und verteilen und dabei intelligente und strategische Controlling-Möglichkeiten einsetzen. Daraus soll das Wissen von Experten mit eingebracht werden und ein risikoeffizientes Umweltmanagement etabliert werden (Loos, et al., 2011, S. 248). Es wird zudem die Verbindung zu Kernelementen des Wissensmanagements aufgezeigt, indem betont wird das zukünftige BUIS auch in der Lage sein müssen Entscheidungsunterstützungsalgorithmen bereitzustellen (Loos, et al., 2011, S. 247). Die sich daraus ableitende Architektur gliedert sich nach GRÄULER ET AL. in fünf Ebenen: Datenquellen, wie etwa Enterprise Resource Planning-, Monitoring- und Supply-Chain-Systeme (1), Zusammenführung der Daten als Kerndaten, Workflows, Services und externe Ressourcen (2), um dann in der Prozesslogik bestehend aus einem Workflow Management System und einer Event Engine verarbeitet zu werden (3), die Bereitstellung von Diensten als Steuerungslogik für das Frontend (4) und schließlich die Präsentationsebene welche den Zugriff durch Browser, Smartphone, Tablet, PC oder weitere angebundene Anwendungen unterstützt (5) (Gräuler, Teuteburg, Mahmoud, & Marx Gómez, 2012, S. 9). Geht man von dieser Architektur aus, so zeigt sich, dass ein BUIS 2.0 nicht mehr nur den Anspruch eines Informationssystems hat, sondern sich in Richtung eines Wissensbasierten Systems weiterentwickelt.

2.4 Umweltcontrolling

2.4.1 Definition & Instrumente

Zum Abschluss dieses Abschnitts findet eine kurze Betrachtung des Themenfelds Umweltcontrolling⁹ statt, welches Schnittstellen zum Umweltmanagement und den späteren Anwendungsfällen umfasst. Zur Definition des Begriffs Umwelt- bzw. Ökocontrolling, werden zu Anfang verschiedene Definitionen in der Literatur betrachtet. DYCKHOFF definiert den Begriff Ökocontrolling wie folgt: *„Das Öko-Controlling konzentriert sich auf die relevanten Umweltschutzaspekte der Unternehmensführung und stellt damit sowohl ein Subsystem des Umweltmanagements als auch des Unternehmenscontrollings dar.“* (Dyckhoff, 2000, S. 32) Das UMWELTBUNDESAMT nennt die Informations-, Planungs-, Steuerungs- und schließlich die Kontrollfunktion als die Kernfunktionen des Umweltcontrollings, wobei das Umweltcontrolling ebenso wie bei DYCKHOFF als *„Dienstleister des Umweltmanagements“* interpretiert wird (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001, S. 20). Auch zehn Jahre später ist diese Definition noch aktuell, so dass TSCHANDL und POSCH der vorherstehenden Einschätzung zustimmen und Umweltcontrolling als *„nützlicher und unentbehrlicher Bestandteil eines*

⁸ EMIS – Environmental Management Information System, englische Bezeichnung für Umweltinformationssystem

⁹ Alternativ wird diese Form des Controllings in der Literatur auch als Ökocontrolling, ökologieorientiertes Controlling, umweltorientiertes Controlling (Baumast & Pape, 2008, S. 103) oder Nachhaltigkeitscontrolling bezeichnet, wobei letzteres ein größeres Themenspektrum betrachtet, und z.B. auch Aspekte aus dem Bereich sozialer Nachhaltigkeit umfasst (Colsman, 2013, S. 38). Die Begriffe Umweltcontrolling und Ökocontrolling werden dabei im Rahmen dieser Arbeit synonym verwendet.

Umweltmanagements“ (Tschandl & Posch, 2012, S. 12) und das Umweltinformationssystem als zentrales Instrument für das Umweltcontrolling definieren (Tschandl & Posch, 2012, S. Vorwort). BAUMAST und PAPE greifen den Charakter der „*Planung, Steuerung, Kontrolle und Informationsversorgung*“ auf und betonen die „*systembildende und die systemkoppelnde Funktion des Umweltcontrollings*“ (Baumast & Pape, 2008, S. 104), (Sommer P. , 2010, S. 326). SCHALTEGGER ET AL. sehen eine fortlaufende Weiterentwicklung in dem Themenfeld Controlling und merken so an, dass sich der Umfang von der reinen Informationsversorgung zu einem Mechanismus zur Steuerung, Koordination und Rationalitätssicherung stetig weiterentwickelt hat und dementsprechend unterschiedliche Methoden und Instrumente zu diesem Themenfeld gezählt werden können (Schaltegger, Herzig, Kleiber, Klinke, & Müller, 2007, S. 24). In (Krivanek, Eifler, & Kramer, 2003, S. 445) werden diese Aspekte noch um die Unterstützung bei Budgetierung und Entscheidungen bei der Maßnahmenplanung und der Analyse von Abweichungen erweitert. Zusammenfassend lässt sich Umweltcontrolling in die Kategorie der Führungssysteme zählen, so dass Abweichungen von den angestrebten Umweltzielen erkannt werden und zielgerichtet gegengesteuert werden können. (Tschandl & Posch, 2012, S. Vorwort) Die Erkennung von Umweltrisiken sowie Analyse von Potentialen für die Weiterentwicklung des Produktportfolios sind hierbei ebenso zu berücksichtigen (Sommer P. , 2010, S. 326).

Umweltcontrolling umfasst ein weitgefasstes Spektrum von operativen und strategischen Aufgaben, welche in der Praxis nicht durch ein einzelnes Instrument oder eine einzelne Methode abgedeckt werden können. Beispiele hierzu werden in der unten gegebenen Abbildung und in → *Kapitel 7.2* vorgestellt. Alternativ können auch klassische Controlling-Instrumente in erweiterter oder angepasster Form eingesetzt werden (Gabler Wirtschaftslexikon: Ökocontrolling, 2014). In diesem Zusammenhang ist nicht immer genau abzugrenzen wie häufig Unternehmen ein spezielles Umweltcontrolling aufsetzen oder weiterhin die klassischen Formen der bereits existierenden Controlling-Mechanismen einsetzen (Sommer P. , 2010, S. 329). Nach BISCHOF¹⁰ und WINKLER (Bischof & Winkler, 2012, S. 216) ist das zeitgemäße Umweltcontrolling eine Pyramide aufbauend auf der Ökobilanz, darüber angeordnet die Umweltkostenbasisrechnung, eine Ebene darauf die Umweltkennzahlen und als Entscheidungsinstrument der Balanced Scorecard Ansatz auf der obersten Ebene. Hierbei werden sowohl der operative als auch der strategische Aspekt des Umweltcontrollings erfasst. Bevor auf die weiteren Verfahren in dem referenzierten Kapitel eingegangen wird, sollen im Folgenden kurz die Verfahren der Ökobilanzierung und der Umweltkennzahlen betrachtet werden. Abschließend lässt sich der Umweltcontrolling-Kreislauf nach (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001, S. 20), (Krivanek, Eifler, & Kramer, 2003, S. 448), (Colsman, 2013, S. 117), (Tschandl & Posch, 2012, S. 16), (Sommer P. , 2010, S. 328) folgendermaßen zusammenfassen:

¹⁰ BISCHOF verweist als Quelle für die vorgenommene Einteilung auf seine Dissertation (S. 187) mit dem Titel: „*Konzeptionelle Ansätze für ein zeitgemäßes Umweltcontrolling aus theoretischer und empirischer Perspektive*“, Univ.-Diss., Klagenfurt 2010.

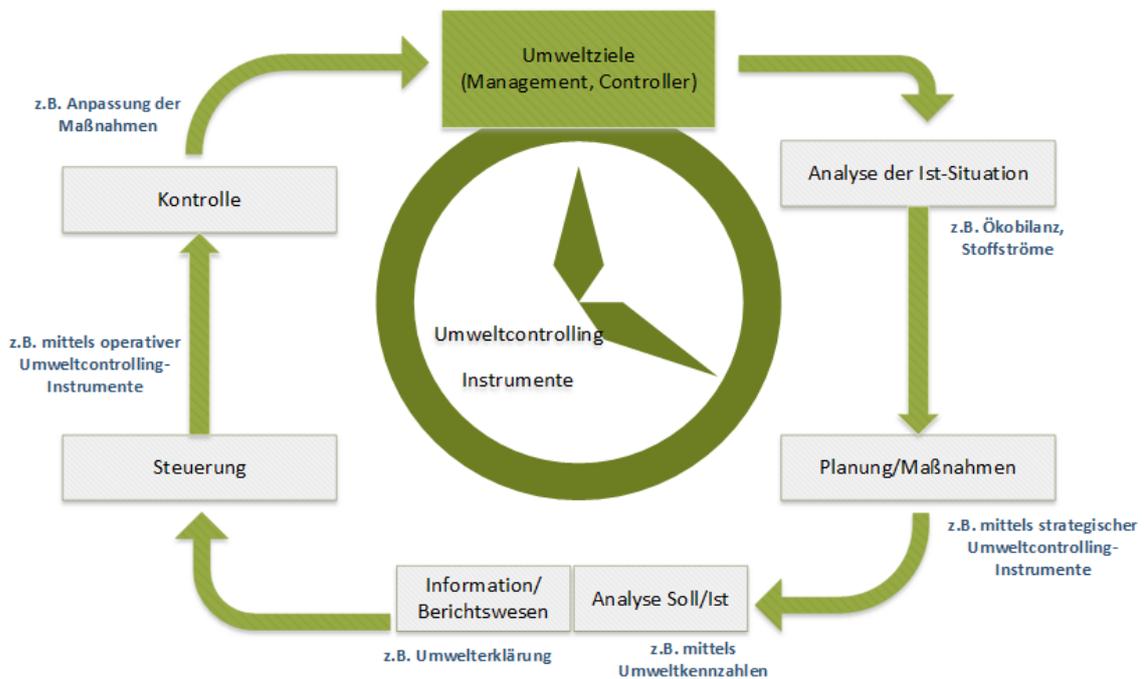


Abbildung 5 - Ablauf des Umweltcontrollings, eigene Zusammenfassung nach (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001, S. 20), (Krivanek, Eifler, & Kramer, 2003, S. 448), (Colsman, 2013, S. 117), (Tschandl & Posch, 2012, S. 16), (Sommer P. , 2010, S. 328)

2.4.2 Ökobilanz

Im Zuge der Etablierung des Umweltmanagements bzw. des Umweltcontrollings in Produktionsunternehmen haben sich Ansätze ergeben nach denen eine Bilanz ähnlich zu der im betrieblichen Rechnungswesen erstellt werden kann, d.h. Eingangs- und Ausgangsfaktoren mit Umweltauswirkungen wie Verbrauch von Strom, Wasser oder Erzeugung von Emissionen werden gegeneinander aufgestellt. „Eine Ökobilanz ist ein ökologieorientiertes Informations- und Entscheidungsinstrument, das Stoff- und Energieflüsse darstellt, die durch die Aktivitäten eines Unternehmens verursacht werden.“ (Günther, 2008, S. 287) RAUTENSTRAUCH unterteilt die Ökobilanz in die drei Spezialformen der *Betriebsökobilanz*, welche den gesamten Betrieb als Betrachtungsgegenstand umfasst, die *Prozessbilanz* im Speziellen bezogen auf einzelne Produktionsprozesse oder die *Produktbilanz*, welche den Produktlebenszyklus eines Produktes aus ökologischer Sicht betrachtet (Rautenstrauch, 1999, S. 21). Im Bezug auf den Produktlebenszyklus wird auch eine Betrachtung nach dem Prinzip „*from cradle to grave*“ von einigen Autoren (z.B. (Baumast & Pape, 2008, S. 117)) genannt. Sowohl GÜNTHER (Günther, 2008, S. 289-291) als auch BAUMAST & PAPE (Baumast & Pape, 2008, S. 117) referenzieren als zugrunde liegende Standards für die Erstellung der Ökobilanz (bzw. Life Cycle Assessment) die beiden DIN EN ISO Normen 14040 (DIN EN ISO 14040:2009-11, 2009) und 14044 (DIN EN ISO 14044:2006-10, 2006). Erstere definiert dabei die Rahmenbedingungen einer Ökobilanz, während die zweite „*Anforderungen und Anleitungen*“ (DIN EN ISO 14044:2006-10, 2006) beschreibt. ENGELFRIED setzt die Erstellung der Ökobilanz in Relation zu der EMAS Verordnung (Engelfried, 2011, S. 62-72). Alternativ wird die Ökobilanz auch mit dem Begriff Umweltbilanz bezeichnet (Gabler Wirtschaftslexikon: Ökobilanz, 2013). Zur Aufstellung einer solchen Ökobilanz werden nach (DIN EN ISO 14040:2009-11, 2009) ausgehend von einer Zieldefinition

iterativ eine *Sachbilanz*, eine *Wirkungsbilanz* sowie entsprechende Bewertungen aufgestellt (Günther, 2008, S. 289), (Baumast & Pape, 2008, S. 118), (Engelfried, 2011, S. 63). Die Gegenüberstellung von quantifizierten Eingangs- und Ausgangsgrößen erfolgt im Rahmen der Sachbilanz in welcher „*sämtliche Stoff- und Energieströme des Bilanzraums [...] sowie sämtliche Umweltbeeinträchtigungen erfasst*“ werden (Baumast & Pape, 2008, S. 119). Inputgrößen können in diesem Fall etwa Rohstoffe, Betriebsstoffe, Hilfsstoffe, Verbundstoffe, Luft, Wasser, Energie oder Verkehr sein, während Outputgrößen die Produktarten und Emissionen umfassen (Rautenstrauch, 1999, S. 22-23), (Wietschel, 2002, S. 45-48), (Engelfried, 2011, S. 68-72). In der daran anschließenden Wirkungsbilanz werden dann die Umweltauswirkungen den in der Sachbilanz ermittelten Umweltaspekten zugeordnet („*Klassifizierung*“) und über Indikatoren charakterisiert (Günther, 2008, S. 290-291). Als letzter Schritt findet die Bewertungsanalyse statt, welche auf Basis der Wirkbilanz die direkten und indirekten Umweltauswirkungen allgemein, aber auch Standort oder Arbeitsplatz bezogen ableitet (Engelfried, 2011, S. 62-67). Die Umsetzung der Ökobilanz erfolgt etwa mittels eines „*ökologischen Management-Informationssystems, welches eine controllinggerechte Planung, Kontrolle und Steuerung von ökologischen Zielsetzungen unterstützt*“, wobei die eingesetzten Methoden und Systeme zwischen Unternehmen unterschiedlich bzw. individuell sein können (Gabler Wirtschaftslexikon: Ökobilanz, 2013). Sie lässt sich u.a. durch betriebliche Umweltinformationssysteme (BUIS, → *Kapitel 2.3*) umsetzen. Ansätze zur Abbildung der Sachbilanz sind neben der Berechnung von Indikatoren, die Aufstellung in tabellarischer Form oder als Sankey-Diagramm (Baumast & Pape, 2008, S. 122). Ein Sankey-Diagramm visualisiert Stoff- und Energieströme mittels Pfeildarstellungen, welche visuell anhand des Umfangs der Ströme und gemäß ihrer Entstehung in- oder auseinander fließend dargestellt werden (Wietschel, 2002, S. 50).

Blickt man aus Sicht des Wissensmanagements auf die Ökobilanz, so ist für die Aufstellung einer derartigen Bilanz die Wissensakquise von entscheidender Bedeutung, da nur auf Grundlage passender Datenquellen, Messwerten aus Sensoren oder auch Erfahrungen der entsprechenden Wissensträger (z.B. Mitarbeiter in der Produktion des betrachteten Produktes) eine zutreffende Bilanz aufgestellt werden kann. Die Sachbilanz basiert hierbei mehr auf Faktenwissen, welches etwa durch die Zuordnung von Ressourcenverbrauch und gleichzeitigem Emissionsausstoß ermittelt werden kann. Im Hinblick auf die Wissensgrundlage ist auf die Qualität der Datengrundlage (z.B. Produktionsprotokolle oder Materiallisten) zur Analyse zu achten und ggf. bekannte Messfehler mit zu berücksichtigen (Baumast & Pape, 2008, S. 122). Wird die Ökobilanz für ein Produktionsunternehmen aufgestellt, so lassen sich bspw. auch Referenzen zu PPS-Systemen oder Stücklisten bilden und so Input- und Outputwerte ableiten (Rautenstrauch, 1999, S. 15). Ein Verfahren welches in diesem Zusammenhang eingesetzt wird ist das Stoffstrommanagement oder die Stoff- und Energiestromanalyse. Diese wird eingesetzt um die im Rahmen eines Betriebs- bzw. Produktionsvorgangs eingesetzten Ressourcen und die daraus entstehenden Emissionen zu ermitteln und zu dokumentieren. Die Ströme werden anhand von Modellen und Analysewerkzeugen abgebildet und ausgewertet (Rautenstrauch, 1999, S. 31). Das Stoffstrommanagement fundiert auf der Analyse von quantitativen als auch qualitativen Umweltdaten der Produktionsprozesse (Ortner & Etlinger, 2012, S. 257). Die Analyse bezieht sich auf eine Ist-Situation und eine konsequente Ableitung einer Verbesserungsstrategie. WIETSCHEL definiert es als ein Steuerungsinstrument zur optimalen Nutzung bestehender Ressourcen oder Minimierung von Emissionen (Wietschel, 2002, S. 4). Die zugrunde liegenden

Daten sind vorab in strukturierter Form zu erfassen und abzulegen. Zur Verwaltung können ebenso bereits existierende Datenbanken oder Systeme wie ERP-System oder PPS-System Anwendung finden. (Ortner & Etlinger, 2012, S. 258+269)

2.4.3 Umweltkennzahlen und Umweltleistung

Zur Messung und Monitoring der Umweltleistung einer Organisation im Rahmen des Umweltcontrollings und als Grundlage für eine Umweltprüfung werden Umweltkennzahlen eingesetzt. Des Weiteren sind diese wichtig für Planung und Kontrolle sowie Grundlage im Rahmen von Entscheidungssituationen (Krivanek, Eifler, & Kramer, 2003, S. 447) als „*zweckorientiertes Wissen*“ (Schaltegger, Herzig, Kleiber, Klinke, & Müller, 2007, S. 119). „*Eine Kennzahl wird zu einer Umweltkennzahl, wenn sie einen betrieblichen Sachverhalt unmittelbar mit einem der natürlichen Umwelt verbindet*“ (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001, S. 598). Die Kategorisierung der Kennzahlen in Form eines „*Betriebliche[n] Umweltkennzahlensystem[s]*“ beinhaltet (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 1997, S. 5) die Aufteilung in die drei Hauptfelder Umweltleistungskennzahlen, Umweltmanagementkennzahlen und Umweltzustandsindikatoren, wobei die Umweltmanagementkennzahlen auf die organisatorischen Maßnahmen des Umweltschutzes abzielen und die Umweltzustandsindikatoren auf die Beschaffenheit der Umweltsituation rund um das Unternehmen (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 1997, S. 5-6). Diese Art der Einteilung wird auch in der DIN EN ISO 14031 verwendet (DIN EN ISO 14031:2013-12, 2013), (Schaltegger, Herzig, Kleiber, Klinke, & Müller, 2007, S. 120), siehe auch (DIN EN ISO 14050:2010, 2010).

Umweltkennzahlen sind zumeist berechenbar oder aggregierte Ergebnisse aus Einzelmessungen (Krivanek, Eifler, & Kramer, 2003, S. 460). Alternativ zur Bezeichnung Kennzahl wird auch der Begriff Indikator verwendet, wobei ein Indikator eine quantitative Kennzahl ist (Schaltegger, Herzig, Kleiber, Klinke, & Müller, 2007, S. 119-122). Gemäß EMAS III sind verschiedene Indikatoren in den Bereichen Energie, Material, Wasser, Abfall, Biologische Vielfalt und Emissionen als „*Kernindikatoren*“ obligatorisch im Rahmen der Umwelterklärung auszugeben (EMASIII, 2009, S. 36-37). Die Definition von weiteren Indikatoren ist wiederum optional und liegt im Verantwortungsbereich der Organisation. Eine Leitlinie welche die Kernindikatoren und optionale Kennzahlen (Weiß, Müller, & Lössl, 2013, S. 90-95) umfasst wurde 2013 durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit herausgegeben.

Nach der DIN EN ISO 14031, welche ebenfalls 2013 in neuer Version herausgegeben wurde, werden Verfahren zur Berechnung der Umweltleistung einer Organisation beschrieben (DIN EN ISO 14031:2013-12, 2013). Die Umweltleistung kann als ein messbares Ergebnis im Hinblick auf die Umweltaspekte der Organisation umschrieben werden (DIN EN ISO 14001 - v2015, 2015, S. 22). Die Umweltleistung lässt sich entsprechend aus dem Umweltmanagement und den dort definierten Umweltaspekten sowie den zugehörigen Umweltzielen ableiten und sowohl qualitativ als auch quantitativ messbar machen.

Funktionen von Kennzahlen lassen sich in die drei Gruppen „*Messen*“, „*Intern Steuern*“ und „*Extern Berichten*“ kategorisieren (Weiß, Müller, & Lössl, 2013, S. 11). Die Beschaffenheit und

Qualität der Umweltkennzahlen sollte dabei die Prinzipien Vollständigkeit, Ausgewogenheit, Vergleichbarkeit, Kontinuität, Aktualität und Klarheit gewährleisten (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 1997, S. 9), (Weiß, Müller, & Lössl, 2013, S. 18). Als Hilfsinstrument zur Aufstellung von Umweltkennzahlen oder zum Abruf von Referenzdaten können auch Umweltdatenbanken verwendet werden. Das Thema der Umweltkennzahlen wird in → *Kapitel 5.4.4.2.5* im Rahmen der Umsetzung der Fachinformationen aufgegriffen.

3 Green Knowledge Management – Zusammenführung von Green X Technologien, Wissensmanagement und Umweltmanagement

3.1 Überblick und Historische Entwicklung von Green X Technologien

3.1.1 Einstieg - Was bedeutet „Green“?

„Going Green ist „in““ (Walther, 2009, S. 60) und wurde in den USA seit 2008 stark beworben, wobei der Startschuss hierzu mehr in den Preiserhöhungen bei Energie und Öl, also auf ökonomischer Ebene zu sehen war, als bei einer Kampagne zu mehr Umweltbewusstsein (Walther, 2009, S. 55). Gemäß dem Verständnis von NOWAK unterscheiden sich die Begriffe "sustainability" und "green" in ihrer Bedeutung dahingehend, dass ersterer Begriff ökologische, ökonomische und soziale Aspekte umfasst, während green "primär den ökologischen Aspekt der Nachhaltigkeit" adressiert (Nowak, 2014, S. 39). Nachhaltigkeit oder Sustainability im Kontext von Organisationen lässt sich aus mehreren Leveln zusammen setzen (Calero & Piattini, 2015, S. 7): Die äußere Hülle bildet dabei die Nachhaltigkeit der Organisation selbst. Diese umschließt wiederum die Nachhaltigkeit von Informationssystemen, die von ICT sowie IT, und letztendlich die Nachhaltigkeit auf Ebene von Hardware und Software. Im Englischen werden dabei Sustainability, Green oder Greenability für Nachhaltigkeitsthemen relativ synonym verwendet, wobei CALERO und PIATTINI ebenso die ökologische Nachhaltigkeitsdimension als „Green Level“ deklarieren (Calero & Piattini, 2015, S. 12-13).

„Grüne“ Ansätze und Technologien sind im Zuge von Green I(C)T (Lampe, 2010), (Mickoleit, 2010), Green Office (Spath, Bauer, & Rief, 2010) etc. also in aller Munde. So ist z.B. ebenso seit 2008 das Thema Green ICT in den Fokus der OECD Green Growth Studien gerückt (Mickoleit, 2010). Green ICT, also Grüne Informations- und Kommunikationstechnologie, wird dabei in Zusammenhang mit „Smarter“ bzw. „Nachhaltiger“ Technologie und als ein Enabler einer verbesserten Umweltperformance genannt (Mickoleit, 2010). Hieraus ist bereits eine enge Verbindung zwischen den Themen „Green“ und „Smart“ zu erkennen und es kann geschlossen werden, dass ein nachhaltiges und intelligentes Handeln für die Zukunft von Organisationen von entscheidender Bedeutung ist. Dabei beziehen sich derartige Ansätze nicht mehr nur auf die IT-Branche, sondern werden in allen Unternehmensbereichen und –branchen integriert (z.B. Green Health). Auf diese Weise haben sich Ansätze wie z.B. Green Building (→ Kapitel 3.1.2), Green Business Process Management (→ Kapitel 3.1.6) oder Green Information Systems (→ Kapitel 3.1.5) entwickelt. Das bereits erwähnte Dreieck aus ökonomischer, ökologischer und sozialer Nachhaltigkeit, bildet dabei die Grundlage, die sowohl in Technik als auch Anpassungen von Strategien, Organisationen und letztendlich konkreten Arbeitsprozessen Umsetzung findet. In den großen Märkten in Asien hat sich der grüne Entwicklungsgedanke ebenfalls etabliert (Walther, 2009, S. 61).

Die heutigen „Green“ Disziplinen können im Hinblick auf die Ebene der ökologischen Nachhaltigkeit in gewisser Weise komplementär zu den Bereichen Umweltmanagement

(→ Kapitel 2.2), Umweltinformationssysteme (→ Kapitel 2.3) oder Ökobilanzierung (→ Kapitel 2.4.2) und den dazugehörigen Standards und Normen gesehen werden. Obgleich der vorhandenen Standards, sind mit der Entscheidung „grüne Veränderungen“ im Unternehmen einzuführen nicht automatisch „alle Probleme“ gelöst. Alle zuvor genannten Disziplinen erfordern zielgerichtetes Wissen welches erfasst, repräsentiert und ausgewertet werden muss. Hiermit hängen wiederum die notwendigen Wissensprozesse sowie eine Anpassung der Ideologie, Strategie, Prozesse und Beteiligung der Mitarbeiter zusammen. So bestehen, wie in dem einleitenden Kapitel der Arbeit benannt, zwei zentrale Forschungsfragen im Bereich der Nachhaltigkeit für Unternehmen: (1) „*How can established companies successfully manage a fundamental transformation of their business model(s) based on green value propositions and value creation, thereby improving or sustaining economic performance?*“ und (2) wie die Lücke zwischen „*environments sustainability in business, business models, and organisations, change and innovation*“ geschlossen werden kann (Sommer A. , 2012, S. 12). NOWAK und LEYMANN merken in diesem Zusammenhang an, dass häufig das notwendige Wissen zur nachhaltigen Restrukturierung der Prozesse hin zu Green BPM fehlt (Nowak & Leymann, 2013), obgleich Informationssysteme eine wichtige Rolle für die ökologische Nachhaltigkeit und die damit verbundenen Prozesse spielen (vom Brocke, Seidel, & Recker, 2012).

Green steht in gewissem Sinne als „Modewort“ für den Gedanken der ökologischen Nachhaltigkeit und deren Umsetzung in verschiedenen Bereichen und Produkten der Wirtschaft. Während das Umweltmanagement bereits Mitte der 1990er Jahre in Unternehmen etabliert wurde, so waren die Bevölkerung bzw. die Kunden des Unternehmens an derartigen Entwicklungen eher unbeteiligt. Durch die Entstehung und Publikation von Green „X“ Ansätzen hat sich im Sinne des Umweltschutzes prinzipiell keine gänzliche Neuentwicklung ergeben, jedoch ist das Bewusstsein für Umweltschutz und ökologische Nachhaltigkeit gestiegen. Zudem wird es als Innovationstreiber und als Marketinginstrument gesehen. WALTHER nennt es das „*grüne Wirtschaftswunder des 21. Jahrhunderts*“, da aus „*Erfindungsgabe + Umwelt- / Klimaverträglichkeit + Implementation / Kommerzialisierung*“ Innovation entstehen kann (Walther, 2009, S. 74, 77). Unternehmen, welche global agieren oder gewisse Produktsegmente wie IT-Geräte, Automobile oder Kunststoffherzeugnisse herstellen, sind heute in gewisser Weise in der Pflicht sich zu ihrer Nachhaltigkeitspolitik zu äußern und aufzuzeigen in welchem Maße die Erzeugnisse energieeffizient, nachhaltig oder recycelbar sind. Aus Kundensicht erscheint dies vorteilhaft und ermöglicht eine neue Komponente in ihre Kaufentscheidung mit einzubeziehen. Eine Auszeichnung der Erzeugnisse oder des Unternehmens als „Green“ hat jedoch nicht nur Vorteile. Seit der Entstehung des Begriffs hat sich der Eindruck entwickelt, dass das Wort „Green“ inflationär häufig in Veröffentlichungen und im Zusammenhang mit Unternehmen oder Marketingaktionen Anwendung findet. Überspitzt gesagt, wenn jedes Produkt als „Green“ deklariert werden kann, an welchen Kriterien kann der Kunde dann noch differenzieren. In der Fachliteratur hat sich in diesem Zusammenhang der Begriff des „Greenwashings“ etabliert. Hiermit ist das Vorgehen von Unternehmen gemeint sich zu Werbezwecken mit einem „*grünen Image*“ auszustatten, es aber bezweifelt werden muss dass die Produkte oder Arbeitsweise dem Gedanken der ökologischen Nachhaltigkeit entsprechen (Lexikon der Nachhaltigkeit: Greenwashing, 2015), (Gabler Wirtschaftslexikon: Greenwashing, 2014). Aus Sicht der Wissenschaft ist es ebenso schwierig eine Abgrenzung zu treffen ob es sich bei den im Folgenden

vorgestellten Green „X“ Ansätzen um gänzlich neue Verfahren handelt oder ob Instrumente oder Methoden aus dem bereits bestehenden Umweltmanagement oder Umweltcontrolling sich hier unter anderen Namen wiederfinden. Im Folgenden sollen diese „grünen“ Ansätze genauer beleuchtet werden, wobei die Aufstellung keinen Anspruch auf Vollständigkeit erhebt und als Momentaufnahme zu sehen ist, da sich in den letzten Jahren speziell in diesem Bereich einige Entwicklungen und neue Begrifflichkeiten herausgebildet haben. Sowohl in der Literatur als auch im Internet und im Zusammenhang mit Werbekampagnen existieren Begriffe wie **Green Behavior** (→ Kapitel 3.1.7), **Green Building** (→ Kapitel 3.1.2), Green Computing¹¹, Green Controlling¹², **Green Engineering** (→ Kapitel 3.1.4), Green Growth¹³, Green Health¹⁴, Green Hospital¹⁵, **Green ICT/IT** (→ Kapitel 3.1.3), **Green Information Systems** (→ Kapitel 3.1.5), Green Marketing¹⁶, Green Office¹⁷, nachhaltiges Projektmanagement¹⁸ oder **Green Software (Engineering)** (→ Kapitel 3.1.4).

¹¹ **Green IT** und **Green Computing**, zwei Begriffe welche häufig synonym verwendet werden oder im Englischen auch mit Sustainable Computing, Sustainable IT, Green ICT oder Smart ICT beschrieben werden. In der deutschsprachigen Literatur wird häufiger Green IT verwendet.

¹² *Green Controlling* umfasst „die Zielfindung, Planung und Steuerung ökologischer Nachhaltigkeit“ mit dem Ziel dieses als „Querschnittsfunktion“ und „integrativer Bestandteil des gesamten Steuerungssystems im Unternehmen“ zu integrieren (Haufe.de, Online Redaktion, 2015).

¹³ *Green Growth*: Green Growth umfasst die Strategie eines ökonomischen Wachstums bei gleichzeitiger Beachtung des Fortbestands der notwendigen natürlichen Ressourcen (OECD, 2011, S. 9). „Governments that put green growth at the heart of development can achieve sustainable economic growth and social stability, safeguard the environment, and conserve resources for future generations.“ (OECD, 2013)

¹⁴ *Green Health* betrachtet den ökologisch nachhaltigen Einsatz von Ressourcen in Gesundheitseinrichtungen sowie die Anwendung von intelligenten Technologien. (Debatin, Goyen, & Kirstein, 2011)

¹⁵ *Green Hospital* („Grünes Krankenhaus“) verfolgt den Gedanken Gesundheitseinrichtungen nicht nur ökonomisch, sondern auch ökologisch und sozial nachhaltig auszurichten und so für die demographischen Veränderungen in der Gesellschaft vorzubereiten. DEBATIN ET AL. definieren hierzu vier zentrale Zielsetzungen: „weniger Ressourcenverbrauch, weniger Abfallproduktion, gesteigerter Patientenkombfort, gesteigerte Mitarbeiterzufriedenheit“ (Debatin, Goyen, & Kirstein, 2011, S. 3). Dabei wird zusätzlich betont, dass die Veränderung bei einem komplexen Gebilde wie einem Krankenhaus nur durch die Vorgabe einer grünen Philosophie des Managements und einer Verinnerlichung durch die Mitarbeitergruppen möglich wird. Zudem müssen alle Maßnahmen um die Kernleistung herum, die Behandlung des Patienten, etabliert werden. (Debatin, Goyen, & Kirstein, 2011, S. 2-3). Zur Umsetzung empfehlen KIRSTEIN und WALDMANN die Realisierung einer Green Agenda bestehend aus verschiedenen Einzelmaßnahmen (Kirstein & Waldmann, 2011, S. 14-15) wobei diese jeweils min. zwei der drei Ziele der Nachhaltigkeit beeinflussen: Grünes Gebäude, Grüne Energie, Grüne Prozesse, Grünes Ressourcenmanagement, Grüne Umgebung, Grüne IT, Grüner Lifestyle/HR, Grüner Einkauf, Grüne Verpflegung, Grünes Licht, Grüner Verkehr.

¹⁶ *Green Marketing* umfasst zwei Ziele. Zum einen ist eine Marketingstrategie zu erarbeiten, welche den grünen bzw. nachhaltigen Aspekt des einzelnen Produktes oder des gesamten Unternehmens in den Vordergrund stellt, zum anderen sollten aber auch die Marketingaktivitäten an sich nachhaltig gestaltet sein. OTTMANN betont hierbei auch die Veränderung in dem Käuferverhalten und der Käufererwartung hinsichtlich grüner, ökologischer Produkte, welche nicht mehr nur durch Ökoaktivisten nachgefragt werden und die sich daraus bildende Notwendigkeit der Anpassung der Marketingstrategien (Ottman, 2011, S. 20). Des Weiteren werden vermehrt Aktivitäten von Unternehmen hinsichtlich Imagekampagnen zur Projektion ihrer Nachhaltigkeitsaktivitäten gegenüber ihren Kunden ausgeführt (Nowak, 2014, S. 10).

Aufgrund ihrer Bedeutung für die vorliegende Arbeit werden die fett dargestellten Begriffe im Folgenden genauer betrachtet. Daran anschließend werden diese in einem eigens entwickelten Modell vorgestellt, welches die effektive Interaktion verschiedener Ansätze innerhalb eines Unternehmens oder einer Organisation fokussiert und herausarbeitet inwiefern diese Technologien ein modernes „Grünes Wissensmanagement“ innerhalb einer Organisation beflügelt. In diesem Zusammenhang wird der Begriff des „Green Knowledge Managements“ neu definiert und in die Reihe der Green Ansätze hinzugefügt.

3.1.2 Green Building

Das Thema **Green Building** besitzt seinen Ursprung in der Baubranche und Gebäudetechnik und fokussiert den nachhaltigen Bau, Betrieb und die Renovierung von Gebäuden. Nachhaltig meint in diesem Zusammenhang sowohl den Einsatz von nachhaltigen und umweltschonenden Rohstoffen aber auch den Einsatz von nachhaltigen Brennstoffen (z.B. Solarenergie), eine energiesparende Isolierung oder die Nutzung von Abwärme für Heizvorgänge, um nur ein paar Punkte zu nennen. Speziell in den vergangenen zwanzig Jahren wurden dahingehend immer weitere Entwicklungen im Bereich der eingesetzten Materialien, der Bauweise und des Betriebs erreicht. *„Vor dem Hintergrund weltweiter Makrotrends wie steigendem Energieverbrauch, Klimawandel, Ressourcenverknappung, Urbanisierung, Internationalisierung und demografischem Wandel sind die Anforderungen an unsere Gebäude derzeit in einem drastischen Wandel begriffen.“* (Krause & Schlebe, 2010, S. 125). Dabei wurden Zertifizierungssysteme etabliert, beginnend 1990 in Großbritannien mit BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method), gefolgt 1998 von LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) in den USA (Mösle, Bauer, Tzeschlock, & Kärner, 2010, S. 40-45). In Deutschland wurde 2009 das Deutsche Gütesiegel für Nachhaltiges Bauen (DGNB)¹⁹ eingefügt (Mösle, Bauer, Tzeschlock, & Kärner, 2010, S. 46). Die beiden Erstgenannten werden mittlerweile nicht nur in ihren Heimatländern eingesetzt, sondern auch international

¹⁷ *Green Office* wird als ein Sammelbegriff für eine nachhaltige Büroführung von der Nutzung des Gebäudes, den Arbeitsbedingungen, über den Einsatz der IT sowie den Verbrauch von Ressourcen wie Energie oder Papier gesehen. Es bestehen dabei enge Schnittpunkte zu *„den drei Gestaltungsfeldern Gebäude und Raum („Green Building“), Informations- und Kommunikationstechnologie („Green IT“) und Nutzerverhalten („Green Behaviour“)*“ (Bauer, Rief, & Jurecic, 2010, S. 18). Ohne die Beteiligung, Akzeptanz, Verinnerlichung und Verhaltensänderung der Mitarbeiter ist der Betrieb eines Green Office nur schwer möglich.

¹⁸ *Nachhaltiges Projektmanagement* strebt die nicht nur finanziell nachhaltige Umsetzung von Projektaktivitäten an sondern auch die Einhaltung bzw. Berücksichtigung von Umweltfaktoren. **Praxisbeispiel:** KRÄMER hat in einer während der Erarbeitung dieser Dissertation betreuten Diplomarbeit untersucht wie eine nachhaltige bzw. grüne Variante eines Projektmanagements für ein IT-Großprojekt aussehen kann. Hierzu hat er Planungsproblem-Algorithmen verwendet, um z.B. die Reisenotwendigkeiten und die Ressourcenplanung bei der Ausführung der Projektstätigkeiten zu optimieren und so ökologische und ökonomische Nachhaltigkeit zu unterstützen (Krämer, 2015).

¹⁹ DGNB sieht eine Gewichtung nach den drei Säulen der Nachhaltigkeit: *Ökologische Qualität, Ökonomische Qualität* und *Soziofunktionale Qualität* vor und ergänzt diese durch *Technische Qualität* und *Prozessqualität*, welche unterschiedlich bewertet werden können (Mösle, Bauer, Tzeschlock, & Kärner, 2010, S. 48).

implementiert, wobei LEED²⁰ das am meisten verbreitetste System ist (Mösle, Bauer, Tzeschlock, & Kärner, 2010, S. 43). Green Building umfasst daher nicht nur die Auswahl des Materials, sondern vor allem die durch die Nutzung entstehenden Auswirkungen, ökonomische Betrachtungen, Bauphysik und soziale Faktoren. Zusammenfassend gesehen entsteht eine Brücke zum Nachhaltigkeitsmanagement, welches sich schlussendlich in „*Cost Performance [...], Building Performance [...], Eco Performance (z.B. Energieeffizienz, Nachhaltigkeit, Umweltverträglichkeit etc.), Socio Performance [...], und Management Performance [...]*“ aufteilen lässt (Mösle, Bauer, Tzeschlock, & Kärner, 2010, S. 57). Das Umweltbundesamt selbst fördert diese Ansätze wie auch die Umsetzung einer Richtlinie der Europäischen Union, nach der bis 2019 alle öffentlichen Gebäude eine über das „*Jahr [...] ausgeglichene Energiebilanz*“ ihrer Gebäude nachweisen müssen (Umweltbundesamt: "Haus 2019", 2015)²¹.

Aus einem Überblick der gesichteten Quellen können Green Building oder andere als „grün“ deklarierte Produkte entweder durch eine nachhaltige Konzeption, Produktion, einen nachhaltigen Betrieb oder durch den Einsatz von nachhaltigen Materialien bzw. eine Kombination dieser Schritte dieses Label erreichen. Green aber auch Smart Materials sind dabei Ansätze aus der Materialwissenschaft die einen nachhaltigen Materiallebenszyklus fördern. Das Label „Smart“ erhalten diese zum Beispiel wenn sie zusätzlich „intelligente“ Fähigkeiten besitzen und auf äußere Einflüsse reagieren können (Cao, Cudney, & Wasser, 1999). Dies kann zum Beispiel durch die Anpassung der Eigenschaften oder des Verhaltens aufgrund äußerer Einflüsse oder Stimuli wie Sonneneinstrahlung oder Regen geschehen. KRAUSE und SCHEBLE nennen als Faktoren „*Licht, Temperatur, Druck, ein elektrisches Feld, ein magnetisches Feld sowie ein chemisches Milieu*“ (Krause & Schlebe, 2010, S. 125).

3.1.3 Green ICT/IT

ICT oder im deutschen IKT (Informations- und Kommunikationstechnologie) umfasst allgemein die vier Themenbereiche: Elektronische Bauelemente, Datenverarbeitungsgeräte und periphere Geräte, Geräte der Telekommunikationstechnik und Geräte der Unterhaltungselektronik (Statistisches Bundesamt: IKT, 2013, S. 11). Das Thema Green ICT/IT kam um die Jahrtausendwende auf als die Anforderungen und Möglichkeiten der Geräte und Infrastrukturen, wie etwa Rechenzentren, hinsichtlich Rechenleistung und Speicherbedarf immer weiter anstiegen. Dieser Trend setzte sich in den letzten 15 Jahren kontinuierlich fort, was zudem durch die gleichzeitig sinkenden Kosten für PC, Notebook, Tablet, Smart Phone etc. befeuert wurde. So stieg in dem Zeitraum zwischen 2001 und 2011 allein in Deutschland der Export von tragbaren Computern von 1,1 Mrd. auf 7,8 Mrd., während sich jedoch gleichzeitig der erzielbare Preisindex auf 1/7 reduziert hat (Statistisches Bundesamt: IKT, 2013, S. 23). IKT ist erschwinglich und gehört heute mehr oder weniger zur Standardausstattung eines Haushalts. HILTY ET AL. (Hilty,

²⁰ LEED betrachtet bei der Bewertung eines Gebäudes z.B. Standort, Außengestaltung, Wasserbedarf, Energiebedarf, verwendete Baumaterialien, Klima, Auswirkungen auf Gesundheit und Behaglichkeit und Berücksichtigung lokaler Gegebenheiten (Mösle, Bauer, Tzeschlock, & Kärner, 2010, S. 43).

²¹ Das Umweltbundesamt konzipiert die eigenen Gebäude als Niedrigstenergiehaus, wobei ein Gebäude in 2014 den *EMAS Award* und in 2015 das „*Gold*“-Zertifikat nach dem „*Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen für Bundesgebäude*“ gewonnen hat (Umweltbundesamt: "Haus 2019", 2015).

Hischier, Ruddy, & Som, 2008, S. 2) bewerten dabei die immer kürzer werdenden Lebenszykluszeiten für ein ICT Gerät als das ökologische Hauptproblem. Die Obsoleszenz von Hardware bedeutet direkten Energieaufwand für ein Recycling dieser Hardware und deren Abfallprodukte (Hilty L. M., 2013, S. 283), (Hilty & Aebischer, 2015, S. 21). Umgekehrt kann geschlossen werden, je länger die Lebenszeit eines Gerätes, desto weniger Elektronikschrott fällt an der recycelt und abgebaut werden muss. Eine detaillierte Studie des UMWELTBUNDESAMTS nach der Haushaltsgeräte heute eine geringere Lebenszykluszeit besitzen als noch vor 10 Jahren unterstützt diese Hypothese (Prakash, Dehoust, Gsell, Schleicher, & Stamminger, 2015, S. 60).

Während die Nutzung einer Reihe von IKT-Geräten Alltag geworden ist, hat der gestiegene Bedarf direkte Auswirkungen auf die Umwelt und damit die Nachhaltigkeit von IKT. BERKHOUT und HERTIN (Berkhout & Hertin, 2001, S. 2) haben so bereits in 2001 eine Betrachtung des Themas IKT und Nachhaltigkeit für die OECD durchgeführt und die Auswirkungen und Effekte von Green ICT²² in drei Kategorien bestehend aus direkten, indirekten und sonstigen Auswirkungen zusammengefasst. Eine weitere Klassifizierung von Nachhaltigkeit im Bereich ICT ist die der *Nachhaltigkeit in ICT* (Sustainability in ICT) und *Nachhaltigkeit durch ICT* (Sustainability by ICT). Nachhaltigkeit in ICT fokussiert die nachhaltige Entwicklung und Nutzung von ICT u.a. durch die Vermeidung von Obsoleszenz und einen energie-effizienten Betrieb. Nachhaltigkeit durch ICT definiert sich als ein strukturorientierter Ansatz welcher u.a. den Einsatz von ICT oder Software zur Reduktion von Umweltauswirkungen (z.B. durch Nutzung von Kollaborations- oder Automationstools anstelle von Präsenzveranstaltungen anstrebt (Calero & Piattini, 2015, S. 16-17), (Hilty L. M., 2013, S. 284). Neben Nachhaltigkeit in/durch ICT existieren die Bezeichnungen *Green in IT* und *Green by IT*. Diese wiederum schließen die Themen *Green in Software/Hardware* und *Green by Software/Hardware* ein (Calero & Piattini, 2015, S. 16-17). „Als Querschnittsaufgaben werden zudem die Weiterbildung hinsichtlich Nachhaltigkeit und systematische, interdisziplinäre Ansätze unter Nutzung von ICT gesehen“ (Hilty L. M., 2013, S. 286-287). LÓPEZ-LÓPEZ ET AL. sehen die Hauptfaktoren für Green ICT in dem Energieverbrauch von ICT Infrastrukturen (1) und der Beseitigung und dem Recycling von ICT Geräten (2), während ICT gleichzeitig die Lebensqualität und eine ökologisch nachhaltige Entwicklung verbessern sollen (3) (López-López, Sissa, & Natvig, 2011, S. 3). GREINER erkennt, bedingt durch immer höhere Anforderungen an Rechenleistung, speziell Probleme bei der Stromversorgung, dem Platzangebot und Ressourcenverbrauch in Rechenzentren. Durch eine ungünstige Planung oder Verteilung der Rechenkapazitäten innerhalb eines Rechenzentrums kann es in der Folge z.B. zu Wärmestau oder Lücken in der Energieversorgung kommen. Die Ursache der genannten Anforderungen wiederum bedingen komplexer werdende Anwendungen z.B. basierend auf „Multi-Tier“ Applikationen, welche höhere Rechenleistung und verschiedene ineinander greifende Anwendungen erfordern (Greiner, 2010, S. 5-7).

Zusammengefasst ergeben sich folgende Auswirkungen von ICT (Berkhout & Hertin, 2001, S. 2), (Mickoleit, 2010, S. 8-10), (Hilty L. M., 2008, S. 145-158) deren

²² Im Rahmen der Literatursichtung wurde festgestellt das Autoren die Begriffe Green ICT und Green IT durchaus für denselben Sachverhalt verwenden. Zur Vereinfachung innerhalb der Arbeit wird daher der Begriff Green ICT verwendet, es sei den in dem genannten Zitat wird explizit der Begriff IT verwendet.

Ansatz initial in Form von „1st, 2nd und 3rd Order Impacts“ durch das (European Information Technology Observatory, 2002) publiziert wurden:

- *Direkte Auswirkungen* durch Anpassung der Prozesse in Produktion, Verteilung, Gebrauch und Recycling durch die Stakeholder Produzenten, Logistiker, Verkäufer, Kunden.
- *Indirekte Auswirkungen* durch den Einfluss von ICT Produkten auf andere Produkte oder die Verwendung anderer Produkte: (1) Optimierung durch die Integration von ICT Lösungen (Optimierung), (2) Ersetzung von physischen Produkten durch digitale Varianten (Substitution), (3) erhöhter Verbrauch von assoziierten Produkten (Induktion), (4) Zurückstufung von Produkten die durch ICT Produkte erweitert wurden, da ein Recycling nur noch schwer möglich ist (Degradierung).
- *Systemische Auswirkungen*: Verhaltensänderung der Anwender oder Änderung von nicht technischen Faktoren durch (1) Steigerung in der Verteilung von Informationen, (2) dynamische Preisgestaltung (abhängig vom Bedarf), (3) technische Adaption und (4) "Rebound" Effekte.

Ausgehend von diesen Auswirkungen und der vorherigen Hypothese von HILTY ET AL. (Hilty, Hirschler, Ruddy, & Som, 2008, S. 2) kann resümiert werden, dass ein Konflikt zwischen ökologischen und ökonomischen Zielen eines Unternehmens vorliegt. Wenn Hersteller zwar den Gedanken einer Energieeffizienz (z.B. durch Einhaltung von Energieverbrauchsklassen wie A+++) unterstützen aber auf der anderen Seite die Qualität der Produkte nicht entsprechend steigern um deren Langlebigkeit zu fördern und Abfall zu vermeiden, werden die ökologischen Ziele der Nachhaltigkeit nur unzureichend erreicht. Hier kann spekuliert werden inwiefern der ökonomische Aspekt der Absatzzahlen und der damit generierten Umsätze den ökologischen Aspekt der Nachhaltigkeit übersteigt.

Seit 2008 ist das Thema Green ICT in den Fokus der OCED Green Growth Studien gerückt (Mickoleit, 2010, S. 8). Green ICT wird dabei in Zusammenhang mit smarterer oder nachhaltiger Technologie und als ein Enabler einer verbesserten Umweltperformance genannt (Mickoleit, 2010, S. 7). Green ICT wird als ein Hypethema gesehen, allerdings mit der Einschränkung, dass der Funke in der Breite noch nicht übergesprungen wäre (Kosch & Wagner, 2010, S. 205). Dabei interpretieren LÓPEZ-LÓPEZ ET AL. die Mitarbeiter in der Informatikbranche als die Schlüsselgruppe zur Verbreitung eines grünen Gedankens und dessen Beachtung (López-López, Sissa, & Natvig, 2011, S. 3). Green ICT wird häufig durch Unternehmen zu Marketingzwecken eingesetzt um so ihr "Grünes" Image nach außen für den Kunden darzustellen (Greiner, 2010, S. 11). Green ICT wird dabei durch die Disziplinen "*green design, green manufacturing, green use and green disposal*" komplettiert (Sissa, 2011, S. 16).

Die Anwendung von Green ICT sind divers wie etwa innerhalb eines Rechenzentrums, in Arbeitsplatz- und Druck-Infrastrukturen, virtuellen Umgebungen, bei Thin Clients oder Netzspeichern (Greiner, 2010, S. 11-14). Ansatzpunkte zur Auflösung der genannten Aspekte sind daher etwa (1) die Rechenzentrumsplanung oder Optimierung eines bestehenden Zentrums, (2) der Einsatz von Virtualisierungstechniken, (3) die Neustrukturierung der Verwendung von Desktop-PCs und die ggf. mögliche Einführung von Thin-Clients, (4) die Überdenkung der

vorhandenen Druckinfrastruktur und Druckeinstellungen, (5) die Planungen zur Erzeugung von Backups, (6) der Einsatz von Netzwerkkomponenten sowie (7) die Überdenkung der Outsourcingstrategie des Unternehmens (Greiner, 2010, S. 10-14). In diesem Kontext sprechen HILTY und LOHMANN (Hilty & Lohmann, 2011, S. 11-14) von fünf offenen Herausforderungen, die im Rahmen von Green ICT adressiert werden sollten: (1) Intransparenz von Energiekosten für ICT Services, (2) Reduktion der chemischen Elemente die für die ICT Produktion verwendet werden, (3) Schaffung eines besseren Verständnisses für den ICT Lebenszyklus, die Rolle der ICT-Geräte in dem betrachteten Sektor und die Möglichkeiten zum Recycling am Ende der Nutzungsdauer, (4) Beachtung der Markteffekte und der eingesetzten Software sowie (5) die Kritikalität und Komplexität der ICT Infrastrukturen.

Neben der Optimierung der bestehenden Strukturen beinhaltet der Green IT Gedanke jedoch auch das Design und die Entwicklung von neuen IT-Anwendungen sowie deren Entsorgung am Ende des Produktlebenszykluses (Gocke, 2011, S. 90). Hierbei sind der Einsatz von ökologisch nachhaltigen Materialien, deren späteres Recycling und Energieeffizienz entscheidende Faktoren (Kosch & Wagner, 2010, S. 206). Zusätzlich betrachtet Green IT wie IT-Systeme eingesetzt werden können um andere Anwendungen oder Prozesse nachhaltiger zu betreiben bzw. zu gestalten (Kosch & Wagner, 2010, S. 206), auch als Green by IT bezeichnet. KNERMANN spricht von einem optimalen IuK-System wenn die Faktoren Ökonomie, Ökologie und Sicherheit bzw. Performance erfüllt werden (Knermann, 2010, S. 137).

Zur Adressierung dieser verschiedenen Aspekte und Herausforderungen von Green IT beschäftigen sich in der Zwischenzeit eine Vielzahl von Forschungsprojekten in Deutschland mit dem Green ICT Gedanken und den damit verbundenen Auswirkungen. Beispielhaft können das *IT2Green* Technologieprogramm der Bundesregierung zur Förderung von Green IT (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2016), das *Government Green Cloud Laboratory* (kurz GGC-Lab) Projekt zur Untersuchung der Möglichkeiten von energieeffizientem Cloud Computing (GGC-Lab, 2014), das *GreenPAD* Projekt zur Erforschung und „*Transfer eines energieoptimalen IKT-Infrastrukturmodells für regionale Wirtschaft- und Wissenschaftscluster*“ (unilab AG: GreenPAD, 2011) oder das *Green IT Cockpit* Projekt, welches den IKT Bedarf von Organisationen anhand von Geschäftsprozessen untersucht und Key Performance Indikatoren ableitet (TimeKontor AG, 2015), genannt werden.

Praxisbeispiele: Während der Erarbeitung der vorliegenden Dissertation wurden verschiedene Green X Technologien intensiv untersucht und in Form von Studien oder Abschlussarbeiten fachlich betreut. POTH hat in diesem Kontext einen Empfehlungskatalog für Maßnahmen im Bereich der Green IT in Unternehmen literarisch und mit Hilfe von Praxisinterviews erarbeitet. Hierbei wurden die Schnittstellen zu Umweltinformationssystemen, Umweltlabeln und Green Software Engineering beleuchtet. Kern der Betrachtung war der Green ICT Anwendungskontext „Rechenzentrum“. (Poth, August 2015)

3.1.4 Green (Software) Engineering

„Most of the efforts spent on Green ICT/IT have been dedicated to addressing the effects of hardware on the environment but little have been considering the effects of building software products as well.“ (Mahmoud & Ahmad, 2013, S. 55). Diese Definition von MAHMOUD und AHMAD zum Einstieg dieses Kapitels umreist im Kern die Anforderung aus der die Entwicklung des Green oder Sustainable Softwaregedankens entstanden ist und dass Green Software in gewisser Hinsicht noch am Anfang seiner Entwicklung steht (Kern, Dick, Naumann, Guldner, & Johann, 2013, S. 87). Green ICT (→ Kapitel 3.1.3) fokussiert im ersten Schritt die Hardwareebene beachtet dabei aber nicht zwingend die darauf laufenden Anwendungen, welche je nach Anwendungsfall oder Umsetzung hohe Anforderungen z.B. an Speicherplatz, Peripherie oder Rechenaktionen stellen. Ein weiterer zentraler Aspekt bei Green ICT ist die nachhaltige Produktion und Verwendung von möglichst umweltfreundlichen und wiederverwertbaren Materialien. Da Software ein „virtuelles Gut“ ist, fällt dieser Aspekt bei Green Software nur implizit durch die gestellten Anforderungen an die zu verwendende Hardware ins Gewicht. Blickt man noch einmal auf Green by IT, so ist dieser Ansatz häufig softwarebasiert (Kern, Dick, Naumann, Guldner, & Johann, 2013, S. 87). Green Software ist also Teil von Green by IT, da durch den Einsatz passender Software eine Energieoptimierung in der eigenen ICT-Domäne, aber auch anderen Domänen der Organisation erwirkt werden kann (Calero & Piattini, 2015, S. 16-17). Wie bereits unter → Kapitel 3.1.3 angedeutet, existiert auch die Einteilung in *Green By Software* und *Green in Software*. *Green By Software* unterstützt die bestehenden Infrastrukturen durch z.B. ein energie-effizientes Management (z.B. Grid oder Cloud Management), während *Green in Software* die nachhaltige Entwicklung von Software zur Verbesserung des Produktes oder Prozesses fokussiert. Dieser Schritt wird auch als *Green Software Engineering* bezeichnet. (Calero & Piattini, 2015, S. 19-20) Green Software und Green IT stehen also in einer direkten Abhängigkeit, so dass bei effizienterer Software es wahrscheinlich auch zu einem effizienteren Einsatz von Hardware kommen wird (Mahmoud & Ahmad, 2013, S. 55). Umgekehrt kann Software dazu eingesetzt werden Prozesse oder Systeme „grüner“ zu betreiben. Dennoch ist die Software auf einer „grünen“ und umweltfreundlichen Hardware nicht zwingend ressourcenschonend ausgelegt. An manchen Stellen ist der Effekt auch genau gegenteilig, sprich durch performantere Hardware ist es „nicht mehr notwendig“ in dem Maße auf den Ressourcenverbrauch der Software zu achten wie in Zeiten in denen CPU und Speicherplatz in begrenztem Maße vorhanden waren (Kern, Dick, Naumann, Guldner, & Johann, 2013, S. 88), (Mahmoud & Ahmad, 2013, S. 55).

Genau an dieser Stelle setzt der Gedanke eines *Green Software Engineerings* bzw. *Green in Software Engineering* an (Calero & Piattini, 2015, S. 20-21). Zur Realisierung bilden die Softwareentwickler und deren Ausbilder die Kern-Zielgruppe, da an diesen Stellen ein Grundverständnis für eine nachhaltige Softwareentwicklung und die Abhängigkeiten zwischen Design und Energieverbrauch geschaffen und von der Theorie in die Praxis umgesetzt werden sollten, um schlussendlich ein nachhaltiges und energieeffizientes Software System zu konzipieren und zu programmieren (Hilty L. M., 2013, S. 283). KERN ET AL. haben hierzu bspw. ein Prozessmodell entwickelt welches Nachhaltigkeitsfaktoren in die Software Entwicklung einbringt und z.B. das bestehende SCRUM-Modell ergänzt (Kern, Naumann, & Dick, 2015, S.

70-76). Grundsätzlich basieren die Ansätze des Green Software Engineering auf den allgemeinen Ansätzen aus der nachhaltigen Prozess-, Produkt- und Systementwicklung. Geht man daher noch einmal einen Schritt zurück und betrachtet den allgemeineren Ansatz einer nachhaltigen Entwicklung, so wurden bereits 2003 zwölf Prinzipien eines Green Engineerings durch ANASTAS und ZIMMERMAN publiziert. Zusammengefasst sind die Kernpunkte dieser 12 Prinzipien die Auswahl der verwendeten Materialien hinsichtlich Nachhaltigkeit und Anforderung, ein reduzierter Verbrauch an Ressourcen und Materialflüssen, Vermeidung von Komplexität und Materialvielfalt im Bezug auf die spätere Wiederverwendung und den Aufwand des Recyclingprozesses sowie eine Reduktion des Energieverbrauchs über den gesamten Produktlebenszyklus. (Anastas & Zimmerman, 2003, S. 96)

Der Entwicklungs- und Lebenszyklus eines Produktes, Systems oder auch einer Softwarelösung wird im Hinblick auf Entwicklung, Vertrieb und Nutzung häufig nur aus ökonomischen Gesichtspunkten gesehen, so dass das Erzeugnis möglichst kostenneutral entwickelt und auf den Markt gebracht werden kann. Im Sinne des Green (Software) Engineerings werden die Ebenen Ökologie und Soziales hinzugefügt, so dass sowohl die „Umweltfreundlichkeit“ der Erzeugnisse als auch die Produktions-, Nutzungs- und Entsorgungsbedingungen für Mitarbeiter und Kunden sozial verträglich sind. Eine wichtige Phase ist dabei bereits die Anforderungsanalyse bzw. das Requirements Engineering. PENZENSTADLER ET AL. fokussieren diese Phase hin zu einem „Sustainable Requirements Engineering“, so dass nicht nur aktuelle Anforderungen, sondern möglichst nachhaltig auch zukünftige Anforderungen und Probleme bereits in der Anforderungs- und Entwicklungsphase antizipiert und berücksichtigt werden können (Penzentadler, Mahaux, & Salinesi, 2012, S. 9). HOESCH-KLOHE und GHOSE kontern das in der Phase des Requirements Engineerings meist noch nicht genügend Informationen hin zu einer validen Entscheidung über die ökologische Nachhaltigkeit der geplanten Entwicklung vorliegen und schlagen als Instrument zur Entscheidungsunterstützung über die zukünftige ökologische Performanz der Entwicklung die Szenario-Analyse in Form eines Storytellings in Kombination mit Key Performance Indikatoren (KPIs) vor (Hoesch-Klohe & Ghose, 2012, S. 20-21). Das von MAHMOUD und AHMAD publizierte Prozessmodell integriert Elemente aus den Themenfeldern Agile Software Development (ASD) und iterativer Softwareentwicklung in ein nachhaltiges Software Engineering Modell (Mahmoud & Ahmad, 2013). KERN, DICK und NEUMANN wiederum haben in verschiedenen Veröffentlichungen das sogenannte Greensoft-Modell entwickelt und publiziert u.a. in (Kern, Dick, Naumann, Johann, Giesselmann, & Lang, 2012), (Kern, Dick, Naumann, Guldner, & Johann, 2013), (Naumann, Kern, & Dick, 2013), (Naumann S. , Kern, Dick, Markus, & Johann, 2015). Dieses Modell setzt sich aus verschiedenen Ebenen zusammen und wird durch die Autoren (Kern, Dick, Naumann, Guldner, & Johann, 2013, S. 88) zu vier Teilen zusammengefasst welche den Softwarelebenszyklus (1), Nachhaltigkeitskriterien und -metriken im Bezug auf die spätere Software (2), Prozessmodelle im Rahmen der Entwicklung und Nutzung (3) sowie Empfehlungen für Umsetzung und Werkzeuge (4) zusammenfasst. Das Modell versucht dabei die unterschiedlichen Stakeholder von der Entwicklung bis zur späteren Nutzung durch den Endnutzer zu betrachten, um so nicht nur die Entwickler, sondern auch die Endnutzer auf die Nachhaltigkeit der Entwicklung oder des eingesetzten Produkts aufmerksam zu machen. TAINA kritisiert, dass bislang gerade die Metriken zur Messung von Green Software fehlen und lediglich

Software Qualitätsfaktoren vorhanden sind. Basierend auf seiner Einschätzung ist eine Lösung auf drei Ebenen anzustreben, welche zum einen die Machbarkeit einer Green Software in den Phasen der Entwicklung, Auslieferung und Wartung kalkuliert (1), danach feststellt wie viel Ressourcen während den Softwareoperationen im Bezug auf das Resultat genutzt werden, sprich dessen Ressourceneffizienz (2) und letztendlich inwiefern die Software Schäden an der Umwelt verursacht oder generell den Nachhaltigkeitsgedanken unterstützt (3) (Taina, 2011). Green Software Faktoren müssen dabei verschiedene Nachhaltigkeitsanforderungen erfüllen und werden durch eine oder mehrere Metriken ermittelt (Taina, 2011, S. 23). Resümierend lässt sich zusammenfassen, dass zur Umsetzung eines Green Software Engineerings die Erforschung und Definition von standardisierten Verfahren, Normen und Vergleichsrichtwerten von entscheidender Bedeutung ist, um so nicht nur das Wissen und die Abhängigkeiten zwischen Softwaredesign und Energieverbrauch der späteren Anwendung zu schaffen, sondern im Rahmen jedes Entwicklungsvorgangs als einen Entscheidungsfaktor zu integrieren. Für zukünftige nachhaltige Softwareentwicklungen kann somit die Devise von MAHMOUD und AHMAD aufgegriffen werden, nach welcher Green Software die Eigenschaft hat das deren Auswirkungen welche über den Lebenszyklus im Bezug auf die Nachhaltigkeitsebenen entstehen, einen geringen oder sogar positive Effekt haben. (Mahmoud & Ahmad, 2013, S. 58)

3.1.5 Green Information System

Informationssysteme allgemein werden heutzutage in jeder Branche bzw. Industriesektor eingesetzt und beschränken sich nicht ausschließlich auf den ICT Sektor. Sie werden eingesetzt um Informationen abzulegen, abzurufen und zu verwalten. Informationssysteme werden durch unterschiedliche interne und externe Quellen gespeist und werden allgemein zur Informationsgewinnung, -verarbeitung und -verbindung genutzt, wobei dies technisch und organisatorisch erfolgen kann. (Gabler Wirtschaftslexikon: Informationssysteme, 2016) Wie bereits in den vorbetrachteten Kapiteln dokumentiert, spielen Umweltinformationssysteme, seien sie öffentlich oder betrieblich, eine bedeutende Rolle im Umweltschutz. Ebenso ergeben sich Schnittstellen durch die Disziplin der Umweltinformatik oder Environmental Informatics, welche nach HILTY eine *“mediating discipline”* ist. Diese unterstützt bei der Analyse von Umweltproblemen und dem Aufbau zielführender Informationssysteme (Hilty L. M., 2014)

Zum Einstieg in die Thematik Green Information System soll die Einschätzung von SEIDEL und RECKER hinsichtlich der Innovation hin zu *Green Information Systems* aufgegriffen werden. Die Autoren interpretieren Green Information Systems dabei als Informationssysteme welche speziell eine Etablierung oder Änderung von Geschäftsprozessen im Sinne einer ökologischen Nachhaltigkeit unterstützen. (Seidel & Recker, 2012, S. 1) Diese grüne Art von Informationssystemen umfasst dabei die Etablierung und Aufrechterhaltung eines nachhaltigen Betriebs eines Informationssystems selbst sowie die Unterstützung von Nachhaltigkeit innerhalb eines Unternehmens durch die Umsetzung von Informationssystemen. Durch die Integration von Informationssystemen in die Regelprozesse eines Unternehmens oder einer Organisation besteht eine enge Schnittstelle zu den im Folgenden beschriebenen Business Prozessen bzw. im konkreten zwischen Green Information Systemen und Green BPM (→ *Kapitel 3.1.6*). In der Literatur werden Green Information Systeme daher als ein Enabler für Green BPM gesehen

(Seidel & Recker, 2012), (Watson, Boudreau, & Chen, 2010). Diese Verbindung basiert auf einer Lücke zwischen der formalen Definition von Green BPM Prozessen und der praktischen Umsetzung in den Unternehmensalltag (Seidel & Recker, 2012, S. 1). Ebenso wie bei wissensbasierten Ansätzen ist eine effektive Nutzung im Unternehmensalltag nur durch eine adäquate Implementation, Integration und Nutzung der Systeme durch eine entsprechende Anpassung der Unternehmensprozesse und -kultur möglich. RECKER leitet in einer weiteren Publikation daraus ab das nur durch den alleinigen Einsatz von Green Technology nicht automatisch eine Wandlung hin zu einem „Green Business“ entsteht, sondern das vielmehr Prozessveränderungen notwendig werden um den Schritt hin zu einer nachhaltigen Geschäftsstrategie zu realisieren (Recker, 2011, S. 2). In eine ähnliche Richtung wie RECKER gehen auch WATSON ET AL., welche bereits in 2010 in einem Issue and Opinions Papier die Notwendigkeit von *Energy Informatics* gefordert haben, um so die Auswirkungen von Green X auf die Informationssysteme Community zu erforschen (Watson, Boudreau, & Chen, 2010). ORTHWETH und TEUTEBURG greifen diesen Gedanken in ihrer systematischen Literaturanalyse auf und etablieren Zusammenhänge zwischen Green IT und Green Information Systemen (Ortwerth & Teuteberg, 2012, S. 2). Hierbei wird die Erkenntnis abgeleitet das Green Information Systeme Schnittstellen zu Mitarbeitern, Prozessen, Technologie, Software und Energy Informatics besitzen, wobei die Technologie von Green IT adressiert wird, so dass Green Information Systeme in gewissem Maße Green IT ein- bzw. umschließen (Ortwerth & Teuteberg, 2012, S. 2). Der Unterschied zwischen Green Information System und Green IT liegt vielmehr darin das Erstere zur Erreichung ökologischer Ziele eingesetzt werden während bei Green IT die Auswirkungen von IT selbst auf die Umwelt reduziert werden sollen (Dedrick, 2010, S. 173). Der Trend der Entwicklung geht somit von Green IT hin zu Green Information Systemen als ganzheitlicher Ansatz wobei im weiteren hinsichtlich einer ökologischen Nachhaltigkeit sogenannte *Environmental Management Information Systeme* (EMIS) zu entwickeln sind, welche die Themen Green IT, Green Information System, Green Business aber auch Green Logistics „unter einem Dach“ zusammenführen (Loos, et al., 2011, S. 246;248). Green Information Systeme bilden sich nach dem aktuellen Stand der Forschung anhand von zwei Modelansätzen mit der „*Institutional Theory*“, nach welcher die Systeme Veränderungen bei der Organisation und den beteiligten Prozessen begünstigen und dem „*Technology Acceptance Model*“, nach welchem es ein Referenzmodell zur Akzeptanzermittlung für derartige Ansätze zu erforschen gilt (Ortwerth & Teuteberg, 2012, S. 2).

Ogleich der vorab beschriebenen Ansätze, Definitionen und Zukunftsvisionen sieht CHASIN die Kernproblematik bei der Erforschung von Green Information Systemen in dem vagen Verständnis von Nachhaltigkeit im Kontext von Informationssystemen. Durch unterschiedliche Definitionen und Ansätze wird somit der Fortschritt der Forschung nicht zwingend begünstigt, sondern vielmehr aufgeweicht (Chasin, 2014, S. 342). Zudem wird kritisch angemerkt, dass der Fortschritt in der Erforschung von nachhaltigen Informationssystemen bislang nicht ausgeprägt genug war und der Informationscharakter, die Möglichkeiten zur Umsetzung von Nachhaltigkeitsmaßnahmen mit Hilfe von Informationssystemen und der damit verbundene praktische Einsatz zur Verbesserung der zukünftigen ökologischen Situation mehr erforscht und adressiert werden müssen (Melville, 2010, S. 15). Zusammenfassend kann somit resümiert

werden, dass die Forschung im Bereich Green Information Systems noch eher am Anfang steht und hier „*Entwicklungs- und Ausbaubedarf*“ besteht (Ortwerth & Teuteberg, 2012, S. 10).

3.1.6 Green BPM

Green BPM, kurz für *Green Business Process Management*, verfolgt als Prozessmodell Ansätze wie „normale“ Geschäftsprozesse in einer nachhaltigen Weise adaptiert werden können. Green BPM hat somit das Ziel eine *„Optimierung der ökologischen Nachhaltigkeit, d.h. die Verbesserung des Umwelteinflusses eines Unternehmens und seiner Geschäftsprozesse“* zu ermöglichen (Nowak, 2014, S. 40). In diesem Sinne wird die Etablierung von nachhaltigeren Prozessen, speziell mit Hinblick auf die ökologische Perspektive, als eine zusätzliche Dimension der Optimierung zu den klassischen Dimensionen Zeit, Kosten, Qualität und Flexibilität gesehen (Loos, et al., 2011, S. 250), (Nowak, Leymann, Schleicher, Schumm, & Wagner, 2011), (Nowak, 2014, S. 41). Eine Voraussetzung zur Umsetzung von Green BPM ist dabei die vorherige Definition von Umweltindikatoren, die den Umwelteinfluss in vorhandene Geschäftsprozesse integriert. Dabei sind u.a. notwendige Änderungen oder Auswirkungen auf strategischer und ökonomischer Ebene zu berücksichtigen. (Nowak, 2014, S. 11) NOWAK merkt in diesem Zusammenhang an, dass die Zuordnung des spezifischen Umwelteinflusses zu einem bestimmten Geschäftsprozessschritt nicht immer direkt eindeutig erfolgen kann, so dass eine entsprechende Informationserfassung und -analyse notwendig wird (Nowak, 2014, S. 12-13). LOOS ET AL. betonen die Bedeutung der Green ICT bzw. Green Information Systems für die Umsetzung von Green BPM als eine „Enabler-Funktion“, umgekehrt ist aber auch nur eine Optimierung hin zu Green ICT durch eine Veränderung der Prozesse möglich (Loos, et al., 2011, S. 250). NOWAK sieht in seinem deklarierten Vorgehensmodell zur Umsetzung von Green BPM fünf Phasen welche sich aus der Definition von Key Ecological Indicators, Mapping von Ressourcen, Festlegung eines Monitoringmodells, Durchführung einer Prozessanalyse und Auswahl von Optimierungsmöglichkeiten zusammensetzen (Nowak, 2014, S. 99).

Praxisbeispiele: Während der Erarbeitung der vorliegenden Dissertation wurden verschiedene Green X Technologien intensiv untersucht und in Form von Studien- oder Abschlussarbeiten fachlich betreut. Durch HARDENACK konnten zwei Green BPM Beispielszenarien analysiert und umgesetzt werden. So wurde im Rahmen einer ersten Arbeit eine prototypische Prozessanalyse mit Hilfe von Green BPM Notationen im Kontext eines Industrie-Szenarios erarbeitet und die entstehenden CO₂ Emissionen kalkuliert (Hardenack, April 2014). Im zweiten Fall wurden lokale Logistikprozesse an der Universität Siegen analysiert, prozessual dokumentiert, CO₂ Emissionen kalkuliert und schlussendlich Green BPM Varianten und Optimierungspotentiale abgeleitet (Hardenack, September 2014). HARDENACK definiert Green BPM hierzu als eine Form der *„Geschäftsprozessmodellierung, die den Fokus neben den ökonomischen Aspekten wie Qualität, Kosten, Zeit und Flexibilität auch auf den ökologischen Aspekt der Nachhaltigkeit setzt.“* (Hardenack, April 2014, S. 54), (Hardenack, September 2014, S. 16)

Zur visuellen Abbildung von Green BPM kann z.B. auf die bestehende Business Process Pattern Notation (BPMN) aufgesetzt werden um diese um neue „Muster“ zu erweitern (Recker, 2012, S. 97). NOWAK et al. dokumentieren dies in zwei entsprechenden Publikationen (Nowak, Leymann, Schleicher, Schumm, & Wagner, 2011), (Nowak & Leymann, 2013). Die genannten Autoren verwenden für die Definition der Muster verschiedene Perspektiven bzw. Blickwinkel auf einen Geschäftsprozess und spiegeln die gemachten Ansätze anhand eines Cloud Computing Scenarios (Nowak & Leymann, 2013). Es wurden hierzu Muster zur Kompensation von Umwelteinflüssen, zur Ableitung von umweltfreundlicheren Varianten im Bezug auf Ressourceneinsatz oder Prozessgestaltung, aber auch Muster hinsichtlich Insourcing oder Outsourcing von Prozessen und Produktionsvorgängen oder den Wechsel zwischen Automation und manueller Tätigkeit erarbeitet (Nowak, Leymann, Schleicher, Schumm, & Wagner, 2011), (Nowak & Leymann, 2013). GRÄULER und TEUTEBURG (Gräuler & Teuteburg, 2013) gehen noch einen Schritt weiter und analysieren inwiefern sich Green BPM und Semantic BPM, also eine semantische Anreicherung von Business Prozessen, miteinander kombinieren lassen. Hierzu führen die Autoren eine Vergleichsanalyse bestehender wissenschaftlicher Publikationen in diesem Bereich durch. HINGE ET AL. wiederum fokussieren die Problematik, dass bestehende semantische Beschreibungen zwar die Koordination der Business Prozesse erläutern, aber nicht die Bedeutung der Effekte oder Konsequenzen der Prozesse (Hinge, Ghose, & Koliadis, 2009).

Resümierend lässt sich zusammenfassen, dass Green BPM als eine Schlüsselfunktion hin zu einer nachhaltigen Gestaltung der Organisationsprozesse zu sehen ist, dessen Umsetzung und Realisierungspotential noch am Anfang steht, da häufig die ökonomische Sicht auf die Geschäftsprozesse im Vordergrund der Betrachtung steht. Durch eine Kombination mit anderen Green Ansätzen ergeben sich jedoch neue Möglichkeiten welche alle drei Nachhaltigkeitsebenen adressieren und Nachhaltigkeitsinitiativen innerhalb einer Organisation begünstigen und fördern können.

3.1.7 Green Behavior

Zum Abschluss der Betrachtung soll der Aspekt des „Green Behavior²³“ also eines grünen oder auf Nachhaltigkeit bedachten Verhaltens beleuchtet werden. Alle zuvor genannten Ansätze bewirken auf die Gesamtheit des Unternehmens gesehen relativ wenig wenn die beteiligten Mitarbeiter und speziell die beteiligte Management-Ebene die Potentiale für eine nachhaltige Umgestaltung von Gebäude, Technologien und Prozessen sowie der Denkweise der Mitarbeiter nicht als bedeutend erachtet. Zu diesem Bereich gehört im Speziellen auch die soziale Dimension der Nachhaltigkeit z.B. durch die Betrachtung von Arbeitsklima und Gesundheit am Arbeitsplatz (Barth, Joeres, & Kleinschmidt, 2010). Getrieben durch die Umsetzung von Green Marketing-Strategien und der veränderten Kundennachfrage nach ökologisch nachhaltigen und gleichzeitig qualitativ hochwertigen Produkten sind die Anforderungen an die Beschaffung, Produktion, den Vertrieb und die Außendarstellung der Produkte und des Unternehmens im Bezug auf Umweltschutz und Nachhaltigkeit stark angestiegen (Mangold, 2012, S. 1). Ein Unternehmen in

²³ Schreibweise in brit. Englisch: Behaviour, in amerik. Englisch: Behavior

Deutschland kann sich bei einer internationalen Ausrichtung kaum noch dem gewachsenen Trend entziehen. Gestiegene Kosten für Energie und gefühlt immer häufiger auftretende Naturkatastrophen durch den Treibhauseffekt haben zu einem Umdenken der Gesellschaft geführt. Sowohl im produzierenden als auch im Dienstleistungsgewerbe ergeben sich immer neue Kundenanforderungen welche Potentiale für neue Arbeitsplätze bieten anstelle diese zu vernichten. Umweltschutz wird also nicht mehr nur als Kostentreiber gesehen, sondern als Möglichkeit neue Produkte am Markt zu platzieren und entsprechend zu bewerben. Das Nachhaltigkeitsmarkenmanagement ist dabei ein aktuelles Thema welches u.a. die Umwandlung der bisherigen Markensicht in eine Nachhaltigkeitsmarke fokussiert, „um den Nachhaltigkeitsmarkenwert, die Öko- und Sozio-Effektivität, die Öko- und Sozio-Effizienz und die ökonomische Effizienz zu steigern.“ (Mangold, 2012, S. 47). MANGOLD sieht diese Faktoren als entscheidend für eine zukunftsorientierte Ausrichtung eines Unternehmens und als Sicherung der Umwelt für nachfolgende Generationen. Die Autorin betrachtet in diesem Zusammenhang auch wie der Einsatz von Social Media den Nachhaltigkeitsgedanken im Bezug auf die Unternehmens- bzw. Produktmarke verbreiten und fördern kann (Mangold, 2012). Social Media Features wie Soziale Netzwerke oder Blogs unterstützen dabei sowohl unternehmensintern als auch bei der Einbeziehung des Kunden (z.B. durch Crowd Sourcing) um Nachhaltigkeit in die Marke und das Verhalten zu integrieren. Unternehmensintern ist natürlich die Kommunikation mit den Mitarbeitern und die Begründung der Maßnahmen von entscheidender Bedeutung, um die Maßnahmen in die Praxis umzusetzen und von den Mitarbeitern mit zu tragen.

Aus dem Blickwinkel einer Organisation kann eine Wandlung zu *Green Behavior* als Beobachtung, Experiment, Green Adaptation oder Green Paradigm Shift aufgegriffen und umgesetzt werden. Ebenso kann der Level der Integration von „*Green Characteristics*“ in die Business Modelle über mehrere Stufen variieren und so mehr oder weniger ausgeprägt umgesetzt werden. (Sommer A. , 2012, S. 214; 225)

3.2 Wissensmanagementmodelle im Kontext von Umweltmanagementaufgaben

Wissensmanagement beschreibt allgemein die Schritte und Verfahren, welche in Organisationen zur Erfassung, Abbildung, Nutzung und Bewahrung ihrer Wissens-Ressourcen Anwendung finden. In diesem Zusammenhang haben sich in der Literatur im Laufe der Jahre verschiedene Wissensmanagementmodelle und unterschiedliche Wissensmanagementsysteme etabliert. In der Praxis finden die Wissensmanagementmodelle nicht zwingend 1:1 Anwendung, sondern werden abhängig von der Organisation teilweise oder nur in Phasen implementiert.

Das in der Literatur wohl bekannteste Modell ist das von **PROBST, RAUB und ROMHARDT** (Probst, Raub, & Romhardt, 2012) welches erstmals in 1997 vorgestellt wurde und dessen zugehöriges Literaturwerk mittlerweile bereits mehreren Editionen vorliegend ist. Das Modell ist zyklisch angeordnet und umfasst acht Wissensbausteine von welchen sechs Bausteine als Kernprozesse angesehen werden (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. 30):

- **Wissensziele:** Nach den Autoren sollten Wissensziele nicht nur auf einer Ebene, sondern in die Strategie, die Organisation und die Kultur des Unternehmens integriert werden, so dass diese nicht parallel oder an den Kernprozessen der Organisation vorbeigehen. Eine Identifizierung und Ausrichtung der Wissensziele ist daher zwingend erforderlich. (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. 36-62)
- **Wissensidentifikation:** Wissensidentifikation ermöglicht Wissenstransparenz, „*die dem Einzelnen in der Organisation eine bessere Orientierung liefert und einen besseren Zugriff auf das externe Wissensumfeld verschafft.*“ (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. 67) Die Wissenstransparenz bezieht sich dabei nicht nur auf Wissen zur Ausführung von Aufgaben, sondern auch auf die Identifizierung von internen oder externen Wissensträgern und einer Schaffung von Transparenz der kollektiven Fähigkeiten (z.B. mit Hilfe von Wissenskarten). Auf diese Weise wird die Möglichkeit gegeben Wissenslücken aufzudecken oder wichtige Wissensträger zu identifizieren bevor diese das Unternehmen verlassen und so ein Know-How Verlust entstehen würde (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. 63-91).

Spiegelt man dies auf den Bereich des Umweltmanagements, so ist es an dieser Stelle zwingend notwendig zu ermitteln welche Infrastruktur, Prozesse oder Tätigkeiten innerhalb der Organisation welche Umweltwirkungen verursachen.

- **Wissenserwerb:** Der Wissenserwerb kann durch unterschiedliche Maßnahmen erfolgen, wie etwa der Einbindung von Beratern, dem Einkauf von externem Wissen (z.B. durch die Einstellung von externen Know-How-Trägern), der Vergabe von Aufträgen an Outsourcing-Partner, dem Erwerb von Wissensprodukten, der Einbindung von Kunden oder der Etablierung von Kooperationen. Es ist dabei immer zu berücksichtigen welches Wissen benötigt wird und wie dieses am effektivsten zu den Wissenszielen passt. (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. 92-111)

Zu einer Optimierung der Umweltsituation einer Organisation sind die Umweltinformationen und Key Ecological Indicators (→ *Kapitel 2.4.3*), von welchen bereits NOWAK im Rahmen von Green BPM spricht, zu erfassen. Zusätzlich ist es von Bedeutung, dass Mitarbeiter in den Bereichen Nachhaltigkeit und Umweltmanagement ausgebildet oder externes Wissen eingekauft wird, um so bei allen folgenden Maßnahmen alle drei Dimensionen der Nachhaltigkeit berücksichtigen zu können.

- **Wissensentwicklung:** „*Interaktion, Kommunikation sowie Transparenz und Integration bilden die Schlüsselgrößen der kollektiven Wissensentstehung*“ (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. 142). Es ist dabei zu entscheiden in welchem Umfang Wissen selbst entwickelt wird oder auf externe Wissensquellen (z.B. Outsourcing) oder Kooperationen zur Wissensentwicklung gesetzt wird. Die Wissensentwicklung muss dabei in engem Zusammenhang zu den definierten Wissenszielen stehen. Es ist darauf zu achten, dass das Kern-Know-How des Unternehmens nicht verloren geht und kontinuierlich weiterentwickelt wird. Hierzu sollte darauf geachtet werden das Kreativität und

Innovationsfähigkeit im Team gefördert werden, um so Neuentwicklungen zu produzieren und das Wissen des Unternehmens zu erweitern. (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. 112-142)

Bei allen neu eingeführten Umweltaktivitäten und –maßnahmen ist dementsprechend abzuwägen und zu bewerten wie diese das Kerngeschäft beeinflussen könnten und wie eine Balance zwischen Neuerungen im Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit und den etablierten Unternehmensprozessen realisiert werden können.

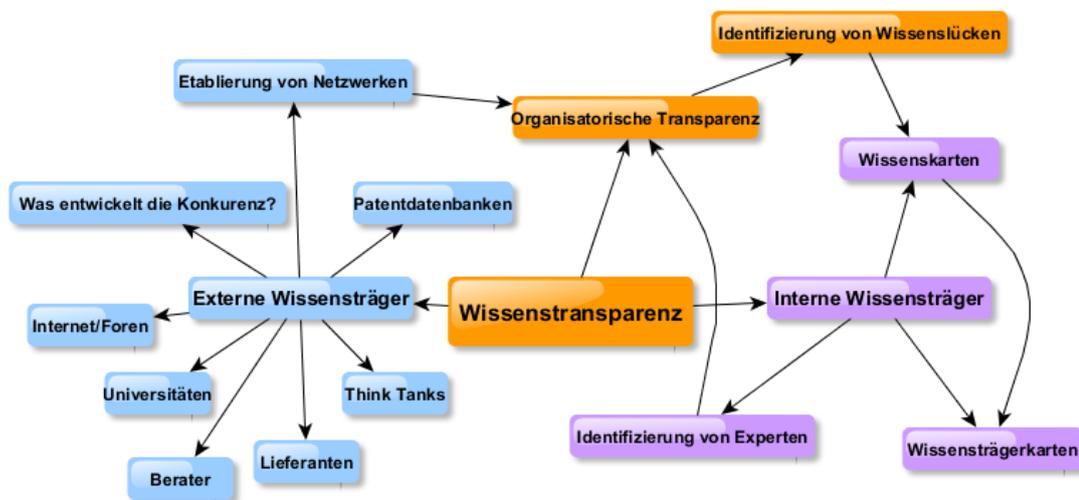


Abbildung 6 - Wissenstransparenz, zusammengefasst nach (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. 65-89)

- **Wissens(ver)teilung:** Die Wissensverteilung basiert auf den zuvor durchlaufenen Phasen und fokussiert welches Wissen an welche Mitarbeiter wie verteilt wird. Die Autoren sehen diesen Baustein als Schlüsselfaktor für den Leistungserstellungsprozess. Durch Veränderungen in der Organisation, den Prozessen oder verstärkte Virtualisierung kann es jedoch zu Barrieren bei der direkten Wissensverteilung kommen. Es ist des Weiteren festzulegen wie die Strategie zur Wissensverteilung aussehen soll (z.B. Multiplikatoren, Wissensnetzwerke, Teambildung, Jobrotation, Aus- und Weiterbildung, Abbau von Barrieren, Maßnahmen zur Erhöhung der Teilungsbereitschaft, Einsatz von ICT-Techniken, Communities of Practice oder genereller Best Practices) und welche Mitarbeiter über welches Wissen verfügen sollen bzw. müssen um ihre Aufgaben auszuführen aber nicht mit Wissen überflutet zu werden. (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. 143-180)

Wie bereits in vorherigen Betrachtungen der Arbeit angedeutet, ist es zwingend erforderlich die Mitarbeiter mit in die Umsetzung von ökologischen Maßnahmen einzubinden und das notwendige Bewusstsein als integraler Bestandteil der Unternehmensstrategie zu verankern (→ Green Behavior, Kapitel 3.1.7). Daher ist im Zuge der Wissensverteilung z.B. transparent zu machen welche Arbeitsschritte welche Umweltbelastungen nach sich ziehen und an welchen Stellen durch gezielte Maßnahmen eine Verbesserung vorgenommen werden kann. Nur durch den Abbau von Barrieren und der gezielten Förderung von Nachhaltigkeitsmaßnahmen kann die

Verankerung von Umweltmanagement in den Unternehmensalltag stattfinden. Betrachtet man speziell diesen Punkt, so sind die Parallelen zwischen der Etablierung von Wissensmanagement und Umweltmanagement in die Unternehmenspraxis deutlich sichtbar.

- **Wissensnutzung:** Die Phase der Wissensnutzung wird als ein Erfolgsfaktor des implementierten Wissensmanagements gesehen, denn nur wenn das Wissen in der Praxis auch Anwendung findet, hatten die vorhergehenden Phasen einen nachhaltigen Sinn. (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. 183) Die Modell-Entwickler nennen aber auch Hemmschwellen, wie psychologische oder kulturelle Barrieren oder Betriebsblindheit. Als Erfolgsfaktoren für ein gutes Wissenssystem werden Einfachheit, Zeitgerechtheit und Anschlussfähigkeit gesehen, da bei zu großem Aufwand oder komplizierter Bedienung die Zahl der Nutzer unweigerlich sinkt. (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. 185-187)

Für die Wissensnutzung zur Etablierung von ökologischen Maßnahmen in der Praxis trifft die bereits bei der Wissensverteilung erwähnte Notwendigkeit des Abbaus von Barrieren zu. Nur wenn Mitarbeiter aktiv das Wissen und die Fähigkeiten zur Vermeidung von Umweltbelastungen während der Ausführung ihrer Tätigkeiten anwenden, z.B. durch die Trennung von Abfall oder Reduktion des Energieverbrauchs, kann ein Umweltmanagement auf die komplette Organisation gesehen erfolgreich werden. Gleichfalls sind die eingesetzten UMS oder BUIS so zu gestalten das die Mitarbeiter diese nutzen und weiterpflegen. An dieser Stelle setzt auch das im weiteren Verlauf konzipierte Umweltwissenssystem (→ Kapitel 5) an.

- **Wissensbewahrung:** Bei der Wissensbewahrung liegt der Schwerpunkt auf der Bewahrung des „*Organisationalen Gedächtnisses*“, d.h. das durch Ausscheiden von Mitarbeitern, Reorganisationen oder Veränderung von Prozessabläufen das Wissen und die informellen Netzwerke zum Wissensaustausch nicht verloren gehen und so die Kernprozesse behindern. Dabei ist auf eine kontinuierliche Aktualisierung des vorhandenen Wissens zu achten. Wichtig sind dabei die Auswahl des zu bewahrenden Wissens, die Art der Speicherung und die Aktualisierungsrhythmen. (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. 197-221)

Dieser Punkt ist ein zentraler Baustein des späteren Umweltwissenssystems, da nur durch die kontinuierliche Erfassung und Aktualisierung von Umweltinformationen es den Entscheidungsträgern möglich ist valide Entscheidungen zu treffen und die Kernprozesse und Umweltmaßnahmen der Organisation dahingehend zu optimieren. Auch sollte darauf geachtet werden das Mitarbeiter welche mit der Aufgabe des Umweltmanagements vertraut wurden ihr Wissen an andere Kollegen weitergeben, so dass das Thema nicht nur an eine Person gekoppelt ist welche ggf. das Unternehmen verlässt.

- **Wissensbewertung:** Die Wissensbewertung ist der finale Schritt in welchem eine Reflektion des umgesetzten Wissensmanagements stattfindet und bewertet wird in wie weit die zu Anfang definierten Wissensziele erfolgreich umgesetzt wurden. Hierzu müssen diese auf normativer, strategischer und organisatorischer Ebene messbar und bewertbar gemacht werden, z.B. durch qualitative Messwerte, Ursache-Wirkungs-

Zusammenhänge oder Wissensindikatoren. Die Methode der Messbarkeit hängt dabei von der Art des Ziels ab (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. 223-241).

Dieser Schritt ist ebenso ein entscheidender Baustein zur Bewertung und Entscheidungsunterstützung bei der Auswahl geeigneter Umweltschutzmaßnahmen, dem Austausch oder der Anpassung bereits getätigter Maßnahmen oder Anwendungen. Nur durch eine von Zeit zu Zeit durchgeführte Reflektion der Maßnahmen ist es möglich zu erkennen inwiefern der umgesetzte Umweltschutzplan effektiv ist und sowohl in ökologischer als auch in ökonomischer und sozialer Hinsicht die gewünschten Ergebnisse erzielt.

Neben dem Modell von PROBST ET AL. existieren verschiedene andere Modelle welche kurz beleuchtet werden sollen. Einen weitergehenden Vergleich von weiteren Ansätzen kann z.B. (Gronau, 2009, S. 38-41) entnommen werden.

Das Wissensmanagementmodell nach **BINNER** wird als Wissensframework oder „House of Knowledge“ bezeichnet und beinhaltet Wissensaktivitäten auf den drei Ebenen (Binner, 2007): (1) Wissensbasierte Prozessorganisation, (2) Wissensbasiertes Prozessmanagement und (3) Wissensbasierte Prozessverbesserung. Der Autor fokussiert den Ansatz der Interaktion zwischen Geschäftsprozessen und Wissen welches identifiziert, gestaltet, dokumentiert, verteilt, genutzt und zur Qualifizierung verwendet wird (Binner, 2007, S. 139). Es werden hierzu jeweils die strategische, taktische, dispositive und operative Ebene einer Organisation und der beteiligten Prozesse betrachtet (Binner, 2007, S. 79). Die Wissensorientierung steht dabei in direkter Interaktion zu anderen Disziplinen aus den Bereichen Kunden-, Mitarbeiter-, Prozess- und Erfolgsorientierung. Hierzu zählen z.B. Risikomanagement, Qualitätsmanagement, Controlling, Organisationsmanagement, Marketing oder auch Umweltmanagement (Binner, 2007, S. 85). Im Bezug auf das Umweltmanagement werden Wissensthemen wie UMS, Umweltdaten, -audit, -kosten, -controlling oder Entsorgungsvorgaben adressiert (Binner, 2007, S. 215-216).

Das seitens der **BITKOM** veröffentlichte Modell, als **Wissensmanagement-Prozess-Systematik** bezeichnet, adressiert Wissensmanagement ebenfalls aus Prozessperspektive, so dass am Ende die „Gesamtheit aller WM-Prozesse [...] den Handlungsrahmen des WM“ darstellen (BITKOM, 2009, S. 4). Die Prozesse sind dabei auf drei Prozessgruppen fokussiert, die *Managementebene*, die *Wissensarbeiter* und die sogenannte *WM-Supportorganisation*. Auf Managementlevel werden Wissen und Wissensmanagementsystem strategisch geplant und gesteuert, die WM-Leistungsprozesse für die Wissensarbeiter werden hinsichtlich ihrer Qualität angepasst und kontinuierlich verbessert. Hierzu gehört die Vertiefung, Kodifizierung, Verteilung, Vernetzung, Lokalisierung, Transfer und Vernetzung von Wissen. Die WM-Supportorganisation ist die Struktur, die Mitarbeiter und die Infrastruktur, die das WM-System umgeben und dessen Bereitstellung und Verbesserung z.B. hinsichtlich der Wissenskultur beeinflussen. (BITKOM, 2009)

Die **DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR QUALITÄT E.V.** stellt ein Wissensmanagementmodell vor welches prozessorientiert aufgebaut ist und dem Prinzip der kontinuierlichen Verbesserung unterliegt. Dabei beschreibt das Modell die effektive Einführung und Verbesserung von Wissensmanagementprozessen im Unternehmen. „Die Analyse umfasst den Istzustand von

Wissenskultur, -organisation und -technologie“ (Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V. - Arbeitsgruppe Wissensmanagement (Hrsg.), 2008, S. 31), worauf die weiteren Schritte aufbauen. Innerhalb der Aufgabenstellung sollten die Ziele und Anwendungsfelder des zukünftigen Wissensmanagements klar umrissen werden, wobei eine schrittweise Einführung empfohlen wird. Im Rahmen der Gestaltung sind die Methoden und Rahmenbedingungen festzulegen, bevor innerhalb der Implementierung der Wissensbedarf ermittelt, klassifiziert und in die bestehenden Arbeitsabläufe integriert wird, um so immer das passende Wissen vorliegen zu haben. Die abschließende Beurteilung evaluiert die verwendeten Methoden, die Effektivität und Zielerfüllung. (Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V. - Arbeitsgruppe Wissensmanagement (Hrsg.), 2008, S. 31-37)

Ebenfalls durch die **DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR QUALITÄT E.V.** wird die **GPO-WM®** vorgestellt, eine Geschäftsprozessorientierte Wissensmanagementmethode welche auch unter Methodenfinder.de (Heisig, 2009) abgebildet ist. Das Referenzmodell adressiert die sechs Kernhandlungsfelder eines Unternehmens (Organisation & Rollen, Informationstechnologie, Führungssysteme, Unternehmenskultur, Personalmanagement und Controlling) und sollte also nicht nur in einer Abteilung Anwendung finden, sondern einen übergreifenden Charakter haben. Das Wissen ordnet sich mit und um die Geschäftsprozesse, wobei dieses an unterschiedlichen Stellen erzeugt, gespeichert, verteilt und angewendet wird. Neben dem Referenzmodell stellen die Autoren drei komplementäre Werkzeuge vor. Dem Wissensmanagement-Assessment folgt eine GPO-WM® Prozessanalyse unter Einsatz eines „wissensbasierten Prozessmodells“ zur Erfassung, Strukturierung und Visualisierung von Wissen, ein „GPO-WM® Analyseleitfaden“, und ein „GPO-WM® Wissensaktivitätsprofil“. (Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V. - Arbeitsgruppe Wissensmanagement (Hrsg.), 2008, S. 116-121) Abschließend werden über das „GPO-WM® Lösungsmodul“ „*Lösungsvorschläge[n] für einen optimierten Umgang mit Wissen im untersuchten Geschäftsprozess*“ abgeleitet (Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V. - Arbeitsgruppe Wissensmanagement (Hrsg.), 2008, S. 122). Die Autoren fassen die Ziele der GPO-WM® unter den Stichpunkten „*sensibilisieren*“, „*explizieren*“, „*identifizieren*“, „*analysieren*“, „*bewerten*“ und „*optimieren*“ zusammen (Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V. - Arbeitsgruppe Wissensmanagement (Hrsg.), 2008, S. 126). Die GPO-WM® Methode wird auch in dem **Leitfaden der VDI zum Thema Wissensmanagement** aufgegriffen, wobei hier die zugehörigen Geschäftsprozesse „*Sensibilisierung*“, „*Strategie*“, „*Bestandsaufnahme*“, „*Konzeption*“, „*Realisierung*“ und „*Kontinuierliche Verbesserung*“ genannt werden. (VDI Norm 5610, 2014 (2009))

Das Wissensmanagementmodell nach **FABER** bezeichnet der Autor selbst als ein Referenzmodell dessen Bausteine lediglich als Orientierung zur Umsetzung dienen sollen (Faber, 2007, S. 167). Das Modell gliedert sich in drei Prozessebenen, der Führungs- und Steuerungsprozesse, der Kernprozesse und der Unterstützungsprozesse und 12 Bausteinen auf, wobei die vier Aspekte *Wissensgenerierung*, bestehend aus Wissenserwerb und Wissensentwicklung, *Wissensspeicherung*, *Wissenslogistik* und *Wissensanwendung* den Kernprozessen zugeordnet werden. Die Unterstützungsprozesse wiederum bestehen aus der Wissensidentifikation, dem Wissensschutz, der Präsentation von Wissen, einem Management der Rahmenbedingungen, einer Sensibilisierung und dem Management von Information und

Kommunikation. Die Wissensziele und das Wissenscontrolling erfolgen über die Führungs- und Steuerungsprozesse. Zusammenfassend kann man daher gewisse Parallelen zu den von (Probst, Raub, & Romhardt, 2012) angesprochenen Phasen erkennen.

Das von **MAIER** (Maier, 2007, S. 78), publizierte WM-Modell orientiert sich an einem Wissensmanagementlebenszyklus. Dieser setzt sich aus den Phasen der *Wissensgenerierung*, -*identifizierung*, -*formalisierung*, -*organisierung*, -*teilung*, -*verbreitung*, -*präzision*, -*anwendung*, und dem *Wissensfeedback* zusammen. Neben dem Lebenszyklus klassifiziert MAIER dabei Typen von Wissen, die verwendeten Medien und die Art des Wissens in Organisationen, welches sich aus Wissensprodukten, Produktionsfaktoren, Expertise, Kernkompetenzen und allgemeinem intellektuellem Kapital zusammensetzen. Dieses in der Organisation vorhandene Wissen wird mit Hilfe des Wissensmanagementlebenszyklus zur Etablierung von „*Enterprise Knowledge Infrastructures*“, also unternehmensweiten Wissensinfrastrukturen, angewendet. (Maier, Hädrich, & Peinl, 2009)

Das **MÜNCHNER-MODELL** setzt auf eine Interaktion zwischen den Wissensaktivitäten und der „*Organisation als „Ort des Handelns“*“, in welcher alle Entscheidungen zwischen einer gegebenen Leitidee, vorhandenen innovativen Strukturen und Konzepten bzw. Methoden geschehen. Der beteiligte Mitarbeiter ist dabei derjenige der anhand des bereitgestellten Wissens für ein Thema sensibilisiert wird und daraufhin sein Handeln innerhalb der Prozesse anpasst und in die praktischen Fertigkeiten und Fähigkeiten einbringt. Im Hinblick auf die Wissensmanagementaktivitäten werden eine *Wissensgenerierung*, -*repräsentation*, -*nutzung* und -*kommunikation* als die zentralen Phasen angesehen. (Reinmann-Rothmeier, 2001, S. 53) Auf Basis dieses Modells lässt sich erneut eine Parallele zum Umweltmanagement erkennen, da die Beteiligung der Mitarbeiter und die Anpassung der Organisation anhand einer zentralen Leitidee aufgegriffen werden. Diese Leitidee, also die Integration von Umweltschutz als zentralen Baustein innerhalb der Kernprozesse, kann so bei jeder Innovation neu mit aufgegriffen werden.

Das seitens **NORTH** (North, 2016, S. 247ff) vorgestellte **Modell des Wissensmarkts** sieht als Eckpunkte zur Umsetzung von Wissensmanagement in einer Organisation, die Aufstellung von Rahmenbedingungen, die Beteiligung von Spielern und zugehöriger Spielregeln, sowie Instrumente und Prozesse zur Integration von Wissensmanagement in den Arbeitskontext. Bei den Akteuren wird zwischen *Wissensanbieter*, welche für die Entwicklung und Beschaffung von Wissen zuständig sind, *Wissensmittler* für die Übertragung und Integration und *Wissensnachfrager* zur Aneignung und Weiterentwicklung des Wissens unterschieden. Als Spielregeln werden drei Verfahren vorgestellt, das *Interessenscluster-Prinzip*, das *Leuchtturm-Prinzip* und das *Push- und Pull-Prinzip*. Das erste Prinzip fokussiert die Ermittlung von gemeinsamen Wissensgebieten, während das Leuchtturm-Prinzip die zentralen Best Practices ermittelt und dokumentiert. Mittels Push- und Pull-Prinzip werden schlussendlich Mechanismen bereitgestellt mit denen Nutzern Wissen aktiv bereitgestellt oder durch die Nutzer selbst abgerufen werden kann. Zur Umsetzung der Integration des Wissensmarkts werden „*Personen, Netzwerke, Prozesse, Organisationseinheiten sowie Medien, die Informationen speichern und transportieren*“ benötigt (North, 2016, S. 267).

Das **POTSDAMER WISSENSMANAGEMENTMODELL** basiert auf „*einer gründlichen und zielgerichteten Analyse von Wissens- und Informationsflüssen im Unternehmen*“, Mitarbeitertätigkeiten und vereint zudem Elemente aus unterschiedlichen untersuchten Wissensmanagementmodellen (Gronau, 2009, S. 1). GRONAU hat hierzu elf zentrale Wissensmanagementaufgaben identifiziert welche sowohl „*planenden, steuernden und messenden Charakter*“ besitzen und mit Hilfe von Maßnahmen in die Unternehmensorganisation einzuführen sind (Gronau, 2009, S. 44-49). Dabei handelt es sich um die Aufgaben den Wissensbedarf zu identifizieren, vorhandenes Wissen zu ermitteln, Wissen zu bewerten, zu bereinigen, zu erwerben, aufzubereiten und transparent zu machen, dessen Anwendung zu fördern und dieses zu verteilen und zu bewahren. Die zentrale Rolle nimmt der Wissensarbeiter ein, welcher intensive Wissensaktivitäten ausführt (Gronau, 2009, S. 45). Das Modell adressiert mit ablauforganisatorischer, aufbauorganisatorischer und personeller Reichweite drei Merkmale, welche unterschiedlich ausgeprägt sein können und sich der Management-Ebene, den Aktivitätssystemen und Rollen in einer Organisation zuordnen lassen. Auf diese Weise lässt sich ein dreidimensionales Ordnungssystem aufbauen, so dass alle Aufgaben des Wissensmanagements unterschiedliche und miteinander interagierende Aspekte ansprechen können und gleichzeitig berücksichtigen müssen. Der Handlungsgegenstand und die zugehörigen Rahmenbedingungen bilden dabei die Organisation selbst, die verwendete Technik, Organisationskultur, Wirtschaftlichkeit, Recht und Politik (Gronau, 2009, S. 49-52).

PAWLOWSKI und **BICK** (Pawlowski & Bick, 2012) legen den Fokus für ihr Wissensmanagementmodell weiterfassend und betrachten den globalen Kontext von Wissensmanagement. Hierzu wurden verschiedene Modelle analysiert und verglichen und ein Global Knowledge Management Framework erarbeitet. Dieses fokussiert die bereits durch HEISIG (Heisig, 2009) in einer Vergleichsstudie herausgearbeiteten Hauptanforderungen des Wissensmanagements im Bereich der Organisation, des Personals, der Technologie und der Managementebene. Der Kern des Frameworks (Pawlowski & Bick, 2012, S. 97) bilden die Prozesse aufbauend auf Wissensprozessen, Businessprozessen und externen Prozessen. Im Kern findet dabei auch das von PROBST ET AL. (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. 34) publizierte Modell für die Wissensmanagementprozesse Anwendung.

Im Kontrast zu den vorher vorgestellten Modellen setzt das abschließend betrachtete Modell von **NONAKA** und **TAKEUCHI** (Nonaka & Takeuchi, 1997) nicht so sehr auf die einzelnen Phasen des Wissensmanagements, sondern betrachtet den einzelnen Mitarbeiter und das Kollektiv als zentrale Akteure und Wissensträger zwischen welchen ein Austausch und Aufbau von Wissen notwendig wird. Das Modell teilt sich in vier Phasen auf welche zyklisch durchlaufen werden. Die Kernidee dabei ist das implizite Wissen explizit gemacht wird, um so der Organisation von Nutzen zu sein. Im Rahmen der *Sozialisations-Phase* wird von einem informellen Austausch zwischen Kollegen oder Stakeholdern ausgegangen, in deren Gesprächen bestimmtes implizit vorhandenes Expertenwissen ausgetauscht und für den Gegenüber nutzbar gemacht wird. Die *Externalisation* sieht einen geordneten Austausch von implizitem Wissen z.B. in einer Arbeitsgruppe vor, so dass Wissen willentlich durch die Teilnehmer ausgelagert und der Problemlösung beigesteuert wird. Die sich daran anschließende *Kombination* nutzt das zuvor explizit gemachte Wissen und kombiniert dieses zielgerichtet zur Problemlösung und Generierung

von Resultaten. Die vierte Phase der *Internalisation* sieht dann vor das die an dem Prozess beteiligten Mitarbeiter die Erkenntnisse und das gewonnene Wissen aus den vorhergehenden Phasen aufnehmen und zu ihrem eigenen impliziten Wissen hinzufügen und so diese Fähigkeiten für zukünftige Aufgaben einbringen können.

Praxisbeispiele: Während der Erarbeitung der vorliegenden Dissertation wurden verschiedene Studien- oder Abschlussarbeiten fachlich betreut. SCHMICK UND KINDERKNECHT (Schmick & Kinderknecht, März 2016) haben hierzu im Rahmen einer Arbeit eine Vergleichsstudie von weiteren WM-Modellen zur Unterstützung und zum Einsatz von Umweltmanagement und Green BPM erarbeitet. Als Bewertungskriterien wurden hierzu Umweltmanagement, Green BPM, Abdeckung Wissenslebenszyklus, Ressourcenbehandlung, Synergiefaktor, Anpassungsfähigkeit, Komplexität, Implementierung & Umsetzbarkeit, Detaillierungsgrad, Schwachstellenanalysefähigkeit und Visualisierbarkeit herangezogen und punktuell bewertet. In dem durchgeführten Vergleich stellte sich das Wissensmarktkonzept von NORTH (North, 2016, S. 247ff) als geeignetstes Modell zur Unterstützung von Umweltmanagement und Green BPM heraus. In einer Folgearbeit (Schmick & Kinderknecht, September 2016) haben die Studenten eine praktische Simulation des Wissensmodells mit Hilfe einer Simulationssoftware umgesetzt. Das gewählte Anwendungsszenario war dabei die Planung eines energieeffizienten Gebäudes unter Berücksichtigung der beteiligten Wissensträger und dem notwendigen Wissensaustausch im Zuge der Planungsschritte.

Des Weiteren wurde im Rahmen der Lehrtätigkeiten eine Übungsgruppe zur Vorlesung Wissensmanagement I betreut, in welcher anhand von Use Cases die Einsatzfähigkeit von fünf verschiedenen Modellen zur Realisierung eines ökologisch nachhaltigen Wissensmanagements in wiederum fünf unterschiedlichen Organisationsformen analysiert wurde.

Auf Basis der bisherigen Betrachtungen wird zum Abschluss dieses Kapitels das Zusammenspiel von Wissensmanagement und Umweltmanagement fokussiert und die Erkenntnisse aus den vorgestellten Systemen abgeleitet. Zusammenfassend zeigt sich anhand der Analyse der vorhandenen Modelle das allen Modellen die Verankerung des Gedankens des Wissensmanagements innerhalb der Unternehmensstrategie und des inhärenten Verständnisses des Unternehmens unterliegen. Gleiches gilt auch für das Themenfeld Umweltmanagement. Lebt das Unternehmen nicht die Gedanken der Nachhaltigkeit vor, so ist keine Etablierung innerhalb der Prozesse, der Denkweise der Mitarbeiter und dem Außenbild für die Kunden gegeben. Auf der strategischen Ebene ist somit eine Etablierung von Umweltmanagement und Wissensmanagement inkl. einer entsprechenden Politik, Formulierung von Zielen und Programmen notwendig. Die nächste sich ergebende Hürde besteht wenn beide Themengebiete getrennt nebeneinander herlaufen und sich nicht gegenseitig begünstigen. Die Lücke zwischen Umweltmanagement und Wissensmanagement kann der folgenden schematischen Darstellung

entnommen werden. Nur wenn beide Themen ineinandergreifen und Wissensmanagement das Umweltmanagement effektiv unterstützt, kann dieses auf vorhandene Ressourcen und die bereits etablierte organisationale Wissensbasis aufsetzen.

Speziell die zuvor vorgestellten Gedanken der Wissensmanagementmodelle lassen sich auf das Umweltmanagement anwenden, um so das notwendige Wissen z.B. für eine Umweltprüfung zu akquirieren und zu repräsentieren und die Lücke zu schließen. Es ist dabei festzulegen welches umweltbezogene Wissen an welchen Stellen erfasst werden muss, z.B. in Form von Umweltkennzahlen, Prozessabläufen aber auch bestehenden Richtlinien. Grüne Wissensarbeiter oder Umweltschutzbeauftragte des Unternehmens müssen dabei eng mit Wissensarbeitern zusammenarbeiten, so dass Umwelt- und Wissensprozesse eng ineinander greifen und sich entsprechend begünstigen. An dieser Stelle ist auch der bereits vorgestellte Gedanke von Green BPM (→ Kapitel 3.1.6) wieder aufzugreifen, da durch die Analyse von bestehenden Prozessen, seien es Entwicklungs-, Produktions- oder Logistikprozesse, und ihren Umweltauswirkungen entsprechende Alternativen ermittelt werden können.

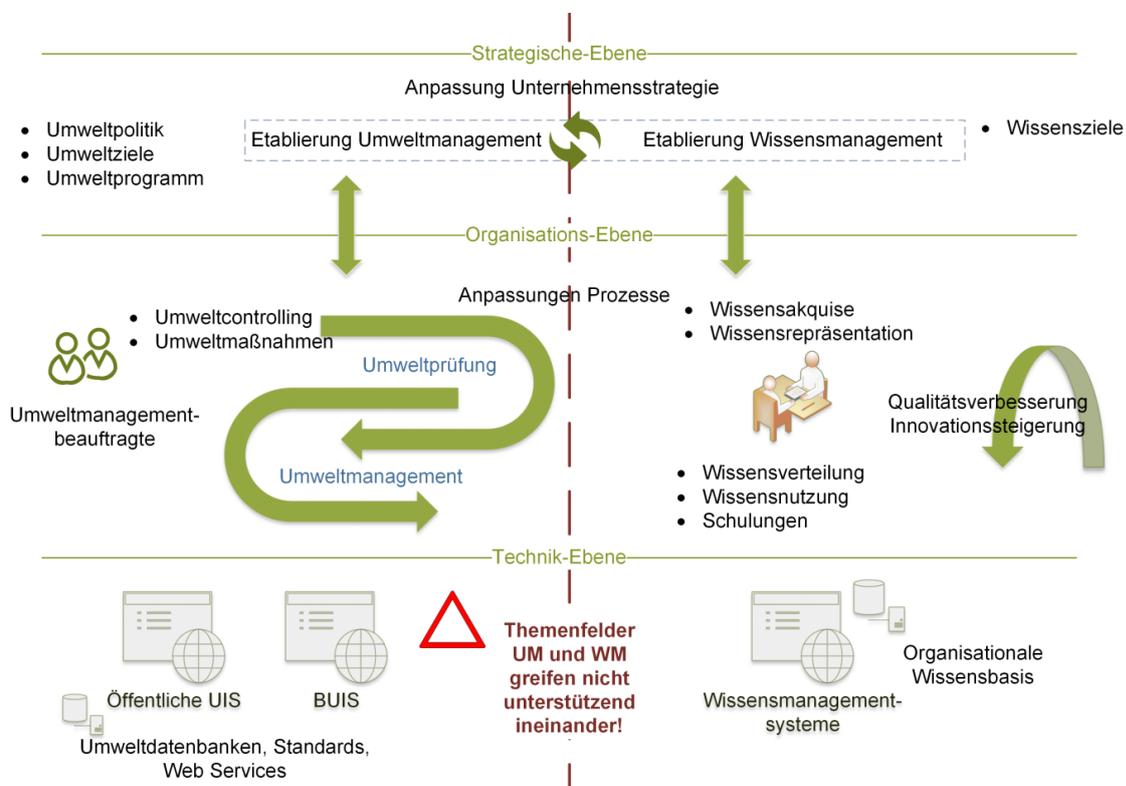


Abbildung 7 - Abstand zwischen Wissensmanagement und Umweltmanagement

Eine Optimierung hin zu „grünere“ Prozessen mit gleichzeitiger Optimierung des notwendigen Wissensflusses zu und zwischen den Mitarbeitern und somit einer Verbesserung des Arbeitsklimas ist dabei denkbar. Zur Qualitätsverbesserung und Innovationssteigerung ist es in der Folge notwendig das Mitarbeiter durch die Verteilung und Nutzung von Umweltwissen die Arbeitsweise und Haltung gegenüber der etablierten Umweltpolitik des Unternehmens umsetzen

können. Hierzu sind passende Schulungen durchzuführen oder es ist durch Wissensmanagementsysteme eine gezielte Wissensverteilung umzusetzen.

Zur Unterstützung der bisherigen Ansätze ist es nicht ausreichend lediglich die strategische und die organisationale bzw. operative Ebene anzupassen. Nur durch die Etablierung von technischen Systemen ist eine Unterstützung eines effektiven Umweltmanagements möglich. In diesem Zusammenhang ist auf der technischen Ebene eine Umsetzung von betrieblichen Fachanwendungen zur Erfassung und Verarbeitung von Messwerten, eine Zusammenführung von existierenden Wissensquellen, Vernetzung von Umweltwissen mittels semantischen Technologien oder der Umsetzung von Green X Ansätzen denkbar. Die zuvor getrennt von der organisationalen Wissensbasis dargestellten UIS (→ Kapitel 2.3) oder Umweltdatenbanken sind entsprechend miteinander zu vernetzen, um so einen Mehrwert aus bereits vorhandenem Wissen zu generieren.

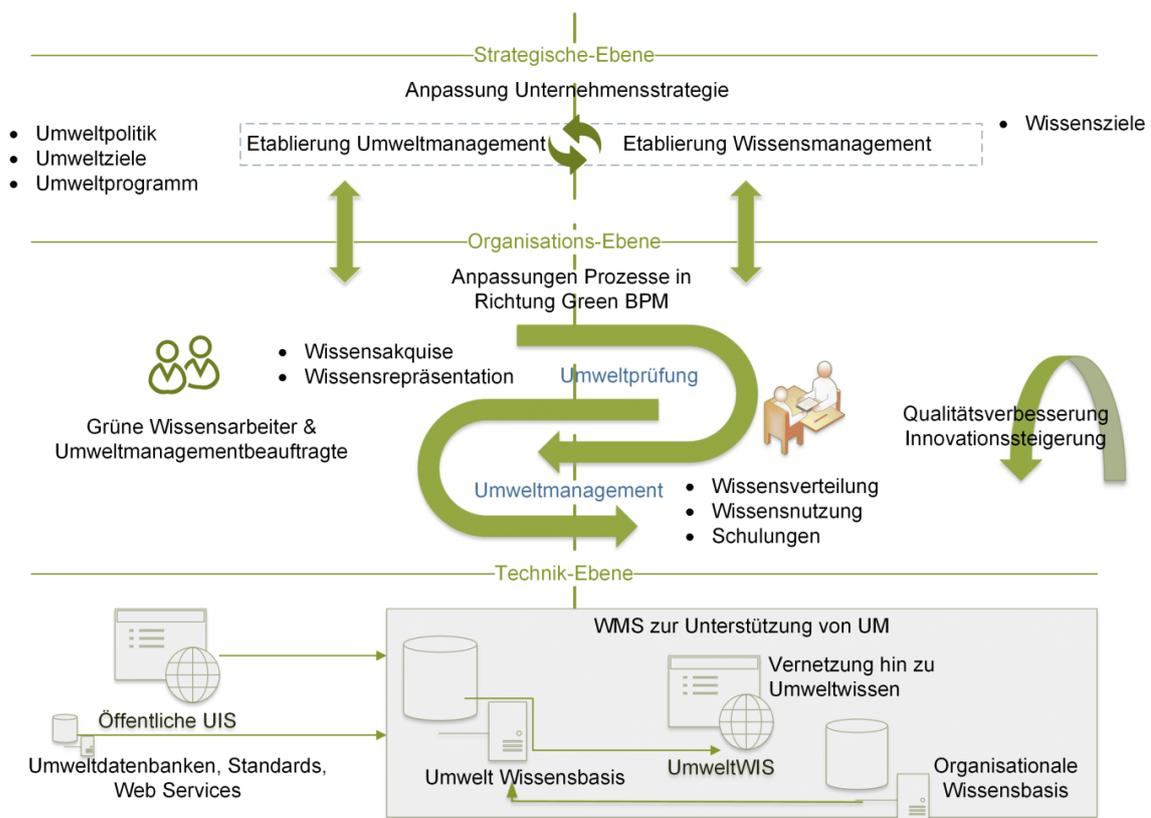


Abbildung 8 - Interaktion zwischen Wissensmanagement und Umweltmanagement

Im Zuge der folgenden Kapitel wird erforscht inwiefern eine Erweiterung von UIS hin zu einem Umweltwissenssystem möglich ist, um so eine Brücke zwischen Umwelt- und Wissensmanagement zu schlagen und einen integrativen und variablen Ansatz umzusetzen. Zuvor wird jedoch eine Betrachtung durchgeführt inwiefern Wissensmanagementsysteme bereits eine direkte Unterstützung des Umweltmanagements ermöglichen.

3.3 Wissensmanagementsysteme im Umweltmanagement?

3.3.1 Überblick

Nach der vorherigen Betrachtung der eher theoretisch orientierten Wissensmanagementmodelle werden zur praktischen Umsetzung und Ausrollung innerhalb einer Organisation nicht nur Prozessänderungen, sondern in der Regel auch technische Infrastruktur benötigt. MAIER nennt gerade ICT Lösungen als den Enabling-Faktor zur Umsetzung des Wissensmanagements in die Praxis (Maier, 2007, S. 21). Hierbei ist darauf zu achten das sich diese nicht separat zu den bestehenden Geschäftsprozessen etablieren, sondern diese gezielt unterstützen und begünstigen. Es besteht die Zielsetzung „Systembrüche zu vermeiden und durchgängige, an den Geschäftsprozessen orientierte Systeme zur Verfügung zu stellen, die eine wissensbasierte Abwicklung der Prozesse ermöglichen“ (Frey-Luxemburger, 2014, S. 72). Diese Softwaresysteme werden zusammengefasst als Wissensmanagementsysteme, kurz WMS, bezeichnet. Sie adressieren unterschiedliche Zielsetzungen und unterschiedliche Anwendungsszenarien im Bereich des Wissensmanagements und stehen somit in Kontrast zu eher eindeutig zielgerichteten Datenbanksystemen oder Office-Anwendungen. Die Eigenschaften von WMS umfassen „Funktionen zur Unterstützung der Identifikation, des Erwerbs, der Entwicklung, Verteilung, Bewahrung und Bewertung von Wissen (Informationen plus Kontext)[...], wobei das organisatorische Lernen und die organisatorische Effektivität unterstützt werden sollen.“ (Lehner F. , 2012, S. 278). Auf Basis dieser Definition erscheint ein WMS prinzipiell flexibel einsetzbar, ist aber gleichzeitig nicht einfach durch eine allesumfassende Softwarelösung abzubilden. Obgleich der Begriff Wissensmanagementsystem ein einziges in sich abgeschlossenes System suggeriert, kann sich dieses in der Praxis eher aus unterschiedlichen Teilsystemen zusammensetzen (Frey-Luxemburger, 2014, S. 72). Diese Eigenschaft hat das Wissensmanagement in gewisser Weise mit der Querschnittfunktion des Umweltmanagements gemeinsam. Auch hier müssen unterschiedliche Werkzeuge und Systeme eingesetzt werden um Umweltinformationen zu erfassen, aufzubereiten und zu kontrollieren (→ Kapitel 2.2, 2.3). Mit einem Blick auf den Einsatzzweck von WMS ist zuerst einmal zu beachten das diese sowohl für die Aufbereitung von explizitem Wissen aber auch für die Handhabung von implizitem Wissen ausgelegt werden müssen (Maier, 2007, S. 57), um so etwa die Erfahrungswerte oder das Expertenwissen der Mitarbeiter einbringen zu können.

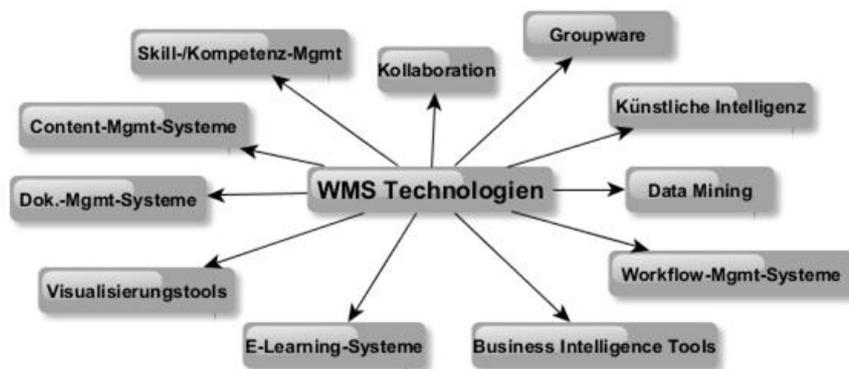


Abbildung 9 - WMS verwandte Technologien, eigene Darstellung nach (Maier, 2007, S. 7)

WMS können z.B. (1) zur Kollaboration eingesetzt werden, sprich es werden Tools aufgesetzt welche den Austausch zwischen Mitarbeitern und die Verteilung von Wissen durch die Managementebene ermöglichen. In diesem Zusammenhang ergeben sich entsprechende Schnittstellen zu Social Media Tools welche ggf. auch zum Austausch zwischen Organisation und Kunden eingesetzt werden können. Daneben ist auch der Aspekt der Förderung des organisationalen Lernens oder allgemein des E-Learnings (2) und der damit verbundenen Weiterbildung der Mitarbeiter ein zentrales Thema zum Einsatz von WMS. Gerade MAIER und PROBST ET AL. sehen die Entwicklung von Wissensmanagement in großem Maße mit dem Themenfeld des organisationalen Lernens, der organisationalen Wissensbasis und in diesem Zusammenhang notwendiger Systeme verknüpft (Maier, 2007, S. 36), (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. 23-24). Zur Wissensaufbereitung und Ablage bieten sich wiederum klassische Ansätze mit Content-Management-Systemen (CMS) (3) an, während zur Wissensauswertung Business Intelligence Tools (4) genutzt werden können. Neben den Wissensinhalten, welche repräsentiert und an die passenden Mitarbeiter verteilt werden, sind auch die Mitarbeiter selbst Fokus in WMS da etwa mittels Mapping-Techniken oder in Kombination mit Kollaborations-Tools eine Aufbereitung der Kompetenzen der einzelnen Mitarbeiter möglich ist. So ist es innerhalb des Unternehmens einfacher die zu einem bestimmten Thema zu kontaktierenden Mitarbeiter zu ermitteln. Aufgrund seines generischen Ansatzes sind WMS flexibel in unterschiedlichen Anwendungsbereichen einsetzbar (siehe Abbildung oben).

Spiegelt man die WMS Funktionsfähigkeiten (Maier, 2007, S. 7, 87) an einem möglichen Einsatz im Bereich des Umweltmanagements, so lassen sich die folgenden Schlüsse ziehen: WMS eignen sich für die Veröffentlichung von umweltrelevantem Wissen, zu dessen Organisation und Visualisierung (z.B. in Form von geeigneten Diagrammen) aber auch zur Verteilung und gemeinsamen Arbeit an der Erweiterung der Wissensbasis. Interne und externe Experten lassen sich über Kollaborationstools einbinden oder über Kompetenzmanagementsysteme ermitteln. Zusammenfassend ordnet die folgende Tabelle die Wissensfunktionen möglichen Arten von WMS und deren Anwendungsbereich im Umweltmanagement zu:

Wissensfunktion	Art des WMS	Anwendungsbereich Umwelt
Wissenserwerb und -entwicklung	<ul style="list-style-type: none"> • Data Warehousing, • Business Intelligence Tools • Wissensdatenbanken 	Wissenserwerb und -entwicklung hängen stark von dem Ziel der Wissensbeschaffung ab. Diese kann z.B. als Unterstützung für die bereits vorgestellten Verfahren der Ökobilanzierung oder der Stoffstromanalyse dienen. Nach (Bauer & Günzel, 2013, S. 9) unterstützt z.B. Data Warehousing in den Prozessen zur Datenbeschaffung, Speicherung und Analyse der Daten. Dies kann auch als Unterstützung zum Umweltmanagement oder dem später vorgestellten Green Knowledge Management eingesetzt werden.
Organisationelles Lernen	<ul style="list-style-type: none"> • E-Learning • Kompetenz Management • Skill 	WMS können im Rahmen des Umweltmanagement verstärkt zur Verteilung von umweltrelevantem Wissen an Mitarbeiter oder zu deren Fortbildung eingesetzt werden. WMS ermöglichen auf diese Weise das sich die Mitarbeiter, z.B. in Form von E-Learning Maßnahmen, weiterbilden und empfohlene Handlungsweisen zur Einsparung von Energie und

Wissensfunktion	Art des WMS	Anwendungsbereich Umwelt
	Management	Erreichung von Nachhaltigkeit bereitgestellt bekommen. Mittels Kompetenz- und Skill-Management lassen sich zudem geeignete Mitarbeiter ermitteln.
Wissensverteilung	<ul style="list-style-type: none"> • Kollaborationstools • Groupware • Social Media Tools • Workflow Management Tools • Wissensportale 	Die Wissensverteilung ist ein entscheidender Faktor für die Umsetzung von erfolgreichen Umweltmanagement- und Green Maßnahmen. Dies beinhaltet sowohl die öffentliche Verteilung von Umwelt- oder Ökobilanzen aber auch die Etablierung von Green Information Systemen oder die Anpassung von bestehenden Workflows in Richtung Green BPM. Implizit ist auch das Thema Green ICT angesprochen, da durch den Einsatz von Kollaborationstools ein gemeinsamer Austausch ohne eine Vorort Präsenz aller beteiligten Mitarbeiter notwendig wird. Groupware für eine gemeinsame Wissensablage trägt ebenso hierzu bei. Zusätzlich ist der Einsatz von Mitarbeiterportalen empfehlenswert, da diese eine zentrale Basis für die Informationsbeschaffung bilden (Blumauer, 2014, S. 16) und gleichzeitig die Kollaboration der Mitarbeiter fördern.
Wissensvisualisierung	<ul style="list-style-type: none"> • Wissenskarten, Heat Maps • Dashboards, Diagramme • Netze • Sankey-Diagramme 	Die Visualisierung von Wissen mittels Karten ermöglicht z.B. die Darstellung an welchen Stellen besondere Energie-Einsparpotentiale sind. Im Kontext von Gebäuden werden Heat-Maps auch zur Darstellung der Wärmeverteilung genutzt. Sogenannte Sankey-Diagramme werden in der Materialwirtschaft oder im Stoffstrommanagement zum Beispiel zur Visualisierung von Stoff- und Materialflüssen anhand ihrer Quellen und Senken eingesetzt. Hierbei kann etwa das Verfahren der Ökobilanzierung (→ Kapitel 2.4.2) unterstützt werden. Das unterliegende Prinzip ist dabei das die Flüsse in Form von Pfeilen in ihrer Dimension zueinander dargestellt werden. Implizit werden zudem die Abhängigkeiten dargestellt, indem aufgezeigt wird welche Materialflüsse zusammen- oder auseinanderfließen. (Schmidt M., 2006)
Wissensressourcen	<ul style="list-style-type: none"> • Kompetenz Management, • Wissensträgerkarten 	Der Einsatz von Wissenskarten, im Speziellen Wissensträgerkarten, ermöglicht z.B. die Darstellung von Umwelt-Ansprechpartnern im Unternehmen. Ebenso kann eine Verknüpfung zum Bereich Kompetenzmanagement geschlagen werden um entweder gezielt Mitarbeiter weiterzubilden oder passend qualifizierte Bewerber auszuwählen.
Unterstützung Innovationsmanagement	<ul style="list-style-type: none"> • Abbildung von Innovationsmethoden • Kollaborationstools 	Durch die Abbildung von Innovationsmethoden innerhalb eines WMS und den gleichzeitigen Einsatz von Kollaborationstools lassen sich Innovationsteams an unterschiedlichen Standorten zusammensetzen und so z.B. eine Einbindung von externen Experten in die Ideenfindung für neue Nachhaltigkeitsmaßnahmen einbinden. Bestehende Ideen können dokumentiert aber auch durch weitere Kollegen kommentiert und bewertet werden.

Tabelle 1 - Spiegelung Wissensfunktion – WMS – Unterstützung Umweltmanagement

Die oben dargestellte Tabelle erfüllt sicherlich nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, sondern zeigt vielmehr Optionen auf wie WMS zur Unterstützung von Umweltmanagement und der Umsetzung von Nachhaltigkeitsmaßnahmen eingesetzt werden kann. Basierend auf den methodischen Schritten der Zertifizierungsprogramme ISO14001 (→ *Anhang A:*) und EMAS (→ *Anhang B:*) ist es ebenso denkbar die Anforderungen und Richtlinien an die Umsetzung technologisch in einem WMS umzusetzen um so die Umweltmanager in ihrer Arbeit zu unterstützen.

3.3.2 Architektur von WMS und Wissensbasierten Systemen (WBS)

Die in der Literatur dargestellten Architekturen von WMS (Maier, 2007, S. 315-319), (Gronau, 2009, S. 150) oder von Knowledge Services (Maier, 2007, S. 304-311) sind zumeist schichten- oder prozessorientiert aufgebaut. Die folgende Darstellung zeigt exemplarisch die von MAIER auf Basis einer vorherigen Analyse verschiedener Modelle entwickelte WMS-Architektur bestehend aus sechs Schichten wobei der Fokus auf den Knowledge Services liegt (Maier, 2007, S. 319-321). Diese bilden Funktionen zur Suche, Publikation, Zusammenarbeit oder zum Lernen ab. Auf den unteren Schichten führen die Datenakquise und Integration unterschiedliche Wissensquellen in das WMS zusammen. Im Rahmen der Integration Services werden u.a. semantische Technologien wie etwa Taxonomien oder Ontologien benannt welche zur Strukturierung und Vernetzung eingesetzt werden (Maier, 2007, S. 320). Da diese im späteren Verlauf auch in der Konzeption des Umweltwissenssystems Anwendung finden werden, wird die dargestellte Architektur als eine Referenzarchitektur für die Konzeption (→ *Kapitel 5*) angesehen.

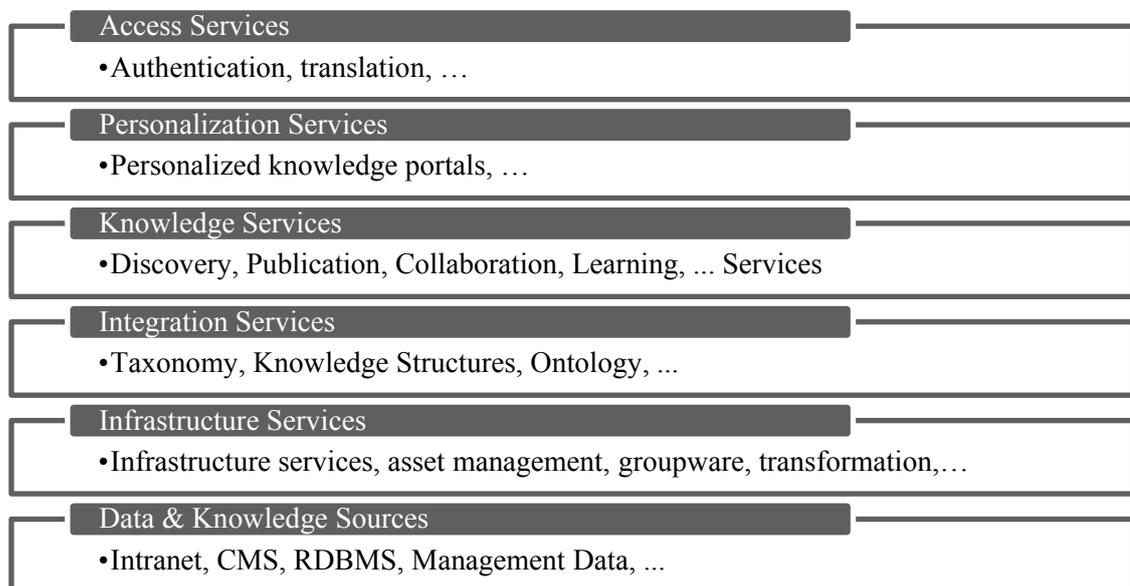


Abbildung 10 - Architektur eines WMS nach (Maier, 2007, S. 319)

Wissensbasierte Systeme sind eine Weiterentwicklung von Informationssystemen und eine Anwendung zur Umsetzung von Wissensmanagement, welche die Möglichkeit besitzen den Prozess der Entscheidungsunterstützung zu fördern und zur Problemlösung eingesetzt werden können. Alternativ werden derartige Systeme als Expertensysteme bezeichnet, da deren Kernidee

darauf fußt das diese in gewissem Maße die menschliche Intelligenz nachbilden und sich somit auch in Richtung des Themenfelds der künstlichen Intelligenz bewegen (Bodendorf, 2006, S. 177ff). Das Wissen kann dabei mittels unterschiedlicher Wissensrepräsentationsmethoden wie etwa logischer, regelbasierter, fallbasierter (Bodendorf, 2006), (Beierle & Kern-Isberner, 2014) oder semantischer Technologien (Dengel, 2012) modelliert und in einer Wissensbasis abgebildet werden. Die Verarbeitung dieses Wissens erfolgt getrennt von der Repräsentation (Beierle & Kern-Isberner, 2014, S. 11) in Form von Inferenz-Mechanismen abhängig bzw. passend zu der gewählten Wissensrepräsentationsform. Der Aufbau eines Wissensbasierten Systems wird schematisch in der nachfolgenden Abbildung visualisiert, welche sich an die zum einen von BODENDORF (Bodendorf, 2006, S. 154-156), zum anderen von BEIERLE und KERN-ISBERNER (Beierle & Kern-Isberner, 2014, S. 18) publizierten WBS-Modelle anlehnt. Hierzu ergibt sich eine Architektur aus der zuvor bereits angesprochenen Wissensbasis, des Inferenz-Mechanismus, einer Wissenserwerbs- und Modellierungskomponente sowie Dialogkomponenten für Anwender und Experten. Die Ansicht für Anwender ermöglicht dabei etwa die Abfrage von Wissen aus der Wissensbasis, die Beantwortung von gestellten Fragen oder die Einsicht von Expertenwissen. Die Expertenansicht wiederum unterstützt bei der Pflege der Wissensbasis, der Repräsentation des Wissens und ggf. notwendiger Einstellungen für die Ableitung von Wissen. Dieses grundlegende Modell wird ebenfalls im Rahmen der Konzeption des Umweltwissenssystems wieder aufgegriffen.

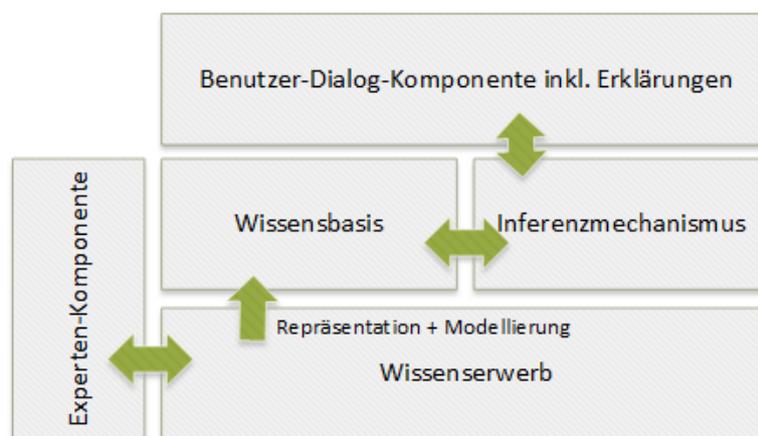


Abbildung 11 - Architektur eines Wissensbasierten Systems nach (Beierle & Kern-Isberner, 2014, S. 18) und (Bodendorf, 2006, S. 154)

3.4 „Grünes Wissensmanagement“

Zum Abschluss dieses Kapitels zum Thema Green Technologien sowie Wissensmanagement im Kontext von Umweltmanagementaufgaben stellt sich die Frage inwiefern das angesprochene Wissensmanagement und dessen zugehörige Methoden in diesem Zusammenhang eine Rolle spielen. Ist es möglich ein *Green Knowledge Management*, also eine grüne Variante des klassischen Wissensmanagements zu etablieren und diese in die bestehenden Green Technologien einzuordnen? Im Rahmen der zuvor durchgeführten Literaturanalysen für die in → Kapitel 3.1 adressierten Green Themen wurde bislang der Begriff Green Knowledge Management nicht

definiert, so dass im Folgenden verschiedene Kriterien erarbeitet werden welche diese „neue Art“ von Wissensmanagement definieren sollen.

Initial stellt sich natürlich die Frage inwiefern ein derartiges „Grünes Wissensmanagement“ überhaupt notwendig ist oder welche Probleme dieses ggf. zu lösen vermag die noch nicht mit den bisherigen Technologien und existierenden Umweltmanagementansätzen gelöst werden können? Grundsätzlich basiert die Annahme von Green Knowledge Management auf der Erkenntnis aus den bisherigen Green Analysen das eine nachhaltige Gestaltung von Informationssystemen, Software, Geschäftsprozessen oder des Verhaltens der Mitarbeiter einer Organisation von der Verinnerlichung eines ökologischen Nachhaltigkeitsgedankens abhängig sind. Ein Erfolg ist nur dann möglich wenn das Wissen innerhalb der Organisation verteilt wird und wenn die Ausbildung und das Training von Entwicklern, Prozessgestaltern und im Speziellen von leitenden Managerrollen auf diese Veränderungen ausgelegt werden. Bereits 2008 postulierte HILTY das eine Innovationsfähigkeit in einer Informationsgesellschaft u.a. von immer schneller wechselndem Wissen abhängig ist (Hilty L. M., 2008, S. 24). In einer späteren Veröffentlichung weist er darauf hin das speziell die ICT Community eine Wissensverteilung und einen Wissensaustausch im Hinblick auf nachhaltige Software- und Hardwareentwicklung fördern sollte (Hilty L. M., 2013, S. 283). Wenn man nun noch einmal die vorgestellten Green X Technologien betrachtet, so ergibt sich für eine Institution folgender schematischer Aufbau der Zusammenhänge:

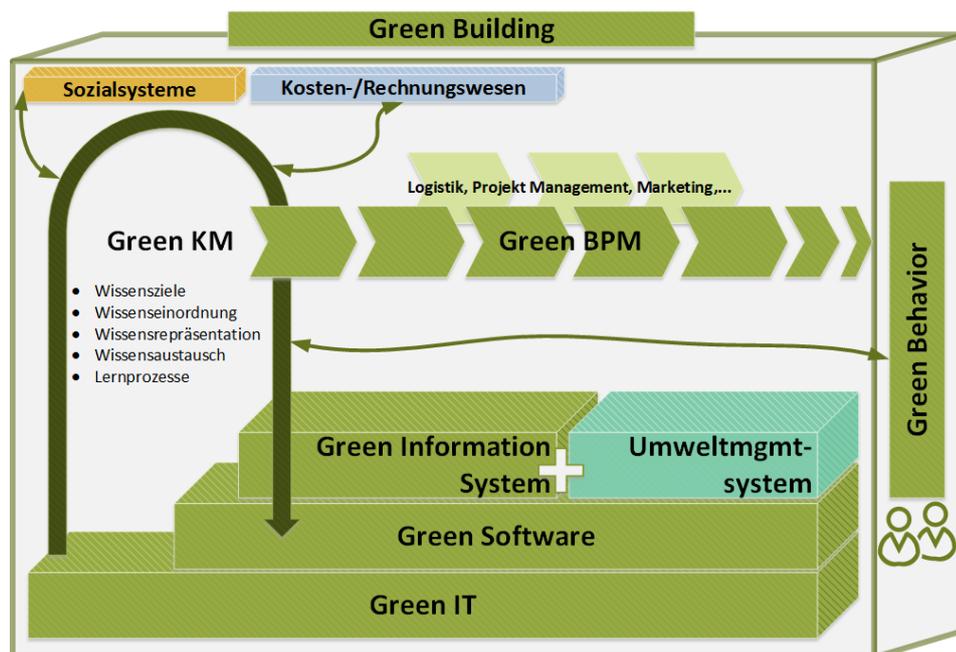


Abbildung 12 - Interaktion von Green Technologien

Die Hülle, also der Arbeitsplatz, wird durch ein *Grünes Gebäude* (→ Kapitel 3.1.2) gebildet, welches in einer nachhaltigen Bauweise und der Auswahl nachhaltiger Materialien gestaltet wird und z.B. die Mitarbeiter durch natürliches Licht und Raumklima in der Ausführung ihrer Tätigkeiten unterstützen kann. Innerhalb dieser grünen Hülle wird eine *Grüne ICT-Infrastruktur* (→ Kapitel 3.1.3) etabliert, welche im Hinblick auf die genutzten IT-Geräte möglichst

stromsparend arbeitet und somit sowohl einen ökologischen als auch einen ökonomischen Beitrag zur Bilanz des Unternehmens liefert.

Mit der IT-Infrastruktur eng verbunden ist die eingesetzte *Grüne Software* (→ Kapitel 3.1.4). Diese sollte natürlich im ersten Schritt zielgerichtet und benutzerfreundlich auf die Aufgabenstellung ausgerichtet sein wodurch eine soziale Nachhaltigkeit und Benutzerakzeptanz hervorgerufen wird, gleichzeitig sollte diese hinsichtlich der notwendigen Rechenleistung ressourcenschonend ausgelegt sein und so das Thema ökonomische Nachhaltigkeit adressieren. Die Kosten für den Einkauf der Software wiederum bilden die ökonomische Dimension der Nachhaltigkeit. Der Themenkomplex *Green Information System* (→ Kapitel 3.1.5) umspannt die beiden vorangegangenen Themen der ICT und Software und ermöglicht dem Unternehmen die Verteilung von notwendigen Informationen zum Thema Nachhaltigkeit und Umweltschutz. An dieser Stelle bilden sich direkte Schnittstellen zu den betrieblichen UIS (→ Kapitel 2.3) und den Umweltmanagementmaßnahmen (→ Kapitel 2.2) eines Unternehmens. Im späteren Verlauf der Arbeit wird die Verbindung der Thematik zu dem vorgestellten Umweltwissenssystem vorgestellt. Neben der Infrastruktur eines Unternehmens sind die geplanten und gelebten Prozesse und Arbeitsabläufe von entscheidender Bedeutung. Hierzu wiederum leistet das Verfahren *Green BPM* (→ Kapitel 3.1.6) zur Etablierung einer Nachhaltigkeit innerhalb der Prozesslandschaft und im Hinblick auf die ökologischen Auswirkungen der gelebten Arbeitsprozesse die notwendigen Beiträge. An dieser Stelle befindet sich zum Beispiel die Schnittstelle zu einer grünen Logistik bei den Versandprozessen der Institution. Da dieser Vorgang jedoch nicht für alle Organisationen von Relevanz ist, wird auf das Thema *Green Logistic* im weiteren Verlauf nicht weiter eingegangen, sondern dieses vielmehr als Teil der Green Business Prozesse eingeordnet.

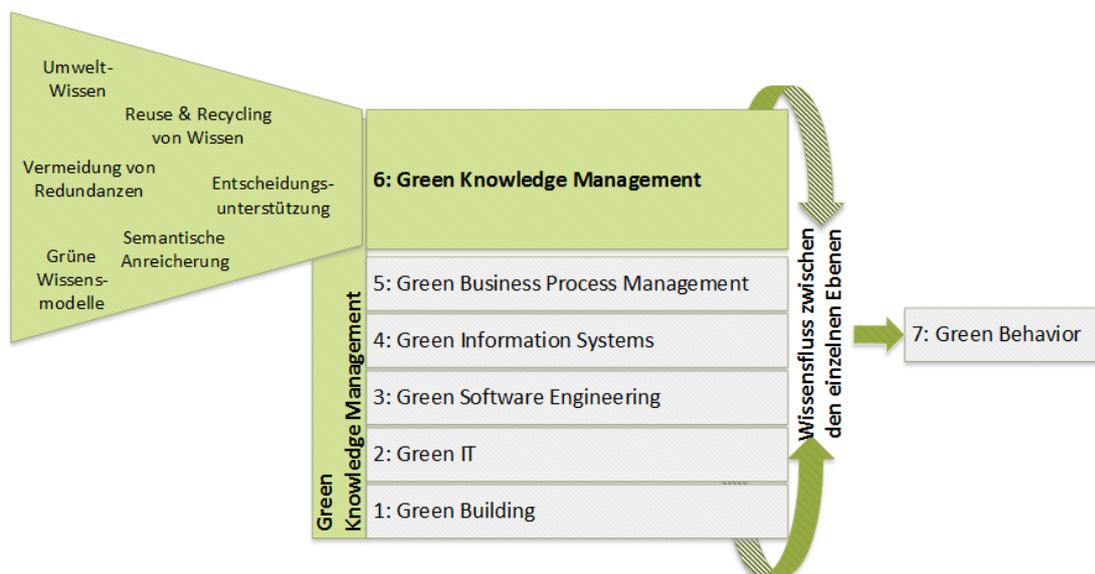


Abbildung 13 - „Klammerfunktion“ Green Knowledge Management

Abbildung 13 greift die vorherige Betrachtung auf und visualisiert die aufeinander aufbauende Struktur der Technologien in einem Schichtenmodell, dessen Klammer *Green Knowledge Management* bildet, um so einen gemeinsamen Wissensfluss und Möglichkeiten zur

ganzheitlichen Entscheidungsunterstützung zu bewirken. Die in der Abbildung dargestellten Elemente werden im Rahmen der Definition von Green Knowledge Management aufgegriffen und in dessen Ausgestaltung genauer beleuchtet. Es stellt sich dabei auch die Frage wie Green KM die einzelnen Green X Technologien unterstützen kann? Folgende Tabelle spiegelt die Themen, wobei die gewählte Darstellung in umgekehrter Reihenfolge zur vorherigen Abbildung gewählt wurde um den Lesefluss nicht zu beeinträchtigen und die logische Abfolge der Betrachtung einer Organisation darzustellen.

Green KM zur Unterstützung von Green X Technologien		Green KM
Green Building	<ul style="list-style-type: none"> • Energetische Sanierungen nach Zertifizierungsverfahren • Verwendung von nachhaltigen Baustoffen • Nutzung von nachhaltigen Energiequellen • Ausgleich von Baumaßnahmen durch Naturprojekte • Optimierung Arbeitsplatzergonomie & Raumklima 	Zusammenführung von Best Practices, Richtlinien, Zertifizierungsbedingungen, z.B. zur Entscheidungsunterstützung von Green Building-Maßnahmen
Green ICT	<ul style="list-style-type: none"> • Optimierung des Energieverbrauchs von Hardware • Reduktion von Elektro-Abfällen und Chemikalien • Verlängerung der Nutzungsdauer • Virtualisierung, Cloud Computing, Thin-Clients, • Optimierung des Einsatzes von ICT in den gegebenen Arbeitsabläufen 	Erstellung eines Indikatorsets zur Ermittlung und Optimierung von Green ICT anhand gegebener Anforderungen, Mitarbeiterpräferenzen oder technologischer Weiterentwicklung.
Green Software Engineering	<ul style="list-style-type: none"> • Nachhaltiges Anforderungsmanagement • Berücksichtigung Ressourcenverbrauch bei Design und Entwicklung • Software zur Unterstützung von Nachhaltigkeitsmaßnahmen • Integration von grünen Indikatoren in Entwicklungsprozesse • Einsatz von Metriken zu Monitoringzwecken 	Anreicherung der Softwareentwicklungsmodelle um Nachhaltigkeitsthemen und Bereitstellung von Guidelines, welche Punkte zur Umsetzung einer ressourceneffizienten Software Berücksichtigung finden sollten.
Green Information Systems	<ul style="list-style-type: none"> • Zusammentragen und publizieren von Nachhaltigkeits-Informationen • Brücke zwischen Nachhaltigkeit und grünen Unternehmensprozessen • Einsatz von ICT und Software für Nachhaltigkeitsmaßnahmen • Schnittstelle zur Energieinformatik und Umweltinformatik • Nachhaltiger Betrieb eines Informationssystems 	Erweiterung zu einem Green- oder Umweltwissenssystem z.B. durch semantische Vernetzung von Informationen hin zu einem Wissenssystem

Green BPM	<ul style="list-style-type: none"> • Prozessanalyse hinsichtlich ökologischer Auswirkungen • Messung und Berechnung von ökologischen (Prozess-) Indikatoren • Integration von Nachhaltigkeitsfaktoren in bestehende Prozesse • Erweiterung der BPM Notation zur Visualisierung von Umweltfaktoren • Nutzung von Mustern zur nachhaltigen Prozessoptimierung 	<p>Wissensartefakte oder Best Practices zur Entscheidungsunterstützung bei Prozessveränderungen.</p> <p>E-Learning zum Training der Mitarbeiter in den neuen Prozessen.</p>
Green Behavior	<ul style="list-style-type: none"> • Integration von Umweltbewusstsein und Nachhaltigkeit in Organisationen • Anreizsysteme für ökologisches Verhalten seitens der Belegschaft • Nachhaltige Arbeits- und Produktionsbedingungen • Soziale Maßnahmen, Gesundheitsförderung und Krankheitsprävention • Sozialverträgliche Entscheidungen & Kulturelle Vielfalt 	<p>Aufstellung von ökologischen Best Practices, Beteiligung von Mitarbeitern an Umweltaktionen oder Aufbereitung von Wissen zu diesen Aktionen durch Anreizsysteme oder Austauschplattformen.</p>
Green KM	<ul style="list-style-type: none"> • Erweiterung von Wissensmanagementmodellen oder -methoden um „grüne“ Faktoren und Sichten • Unterstützung von Nachhaltigkeits- und Umweltmanagement sowie von Green X Technologien • Erweiterung von Umweltinformationssystemen hin zu Umweltwissenssystemen • Vernetzung von Wissen und Vermeidung von Redundanzen durch Semantische Technologien • Verfahren zur Filterung und Reduktion von veraltetem Wissen innerhalb einer nachhaltigen Wissensbasis 	

Tabelle 2 - Interaktion und Ausprägung von Green X Technologien – Zusammenführung bisheriger Analysen aus → Kapitel 3.1-3.3

Wie aus der oben dargestellten Tabelle ersichtlich, lässt sich das im Rahmen dieser Arbeit neu postulierte Thema *Green Knowledge Management* (Green KM) in direktem Zusammenhang zu den bisher bekannten Green Themen setzen. Green KM integriert sich in die vorgestellten Themen indem es diese an verschiedenen Stellen in der Zielsetzung und Ausführung beeinflusst, anhand von Wissenszielen strukturiert und die Entstehung, Verteilung und Anwendung des Wissens für die einzelnen Green Dimensionen unterstützt (→ *Abbildung 21*). Wissensmanagement an sich beinhaltet bereits inhärent den Gedanken der Nachhaltigkeit wobei dieser mehr im Bezug auf die Dauerhaftigkeit einer konsistenten und aktuellen Wissensbasis bezogen ist, als direkt oder ausschließlich auf ökologische oder soziale Zusammenhänge. Die ökonomische

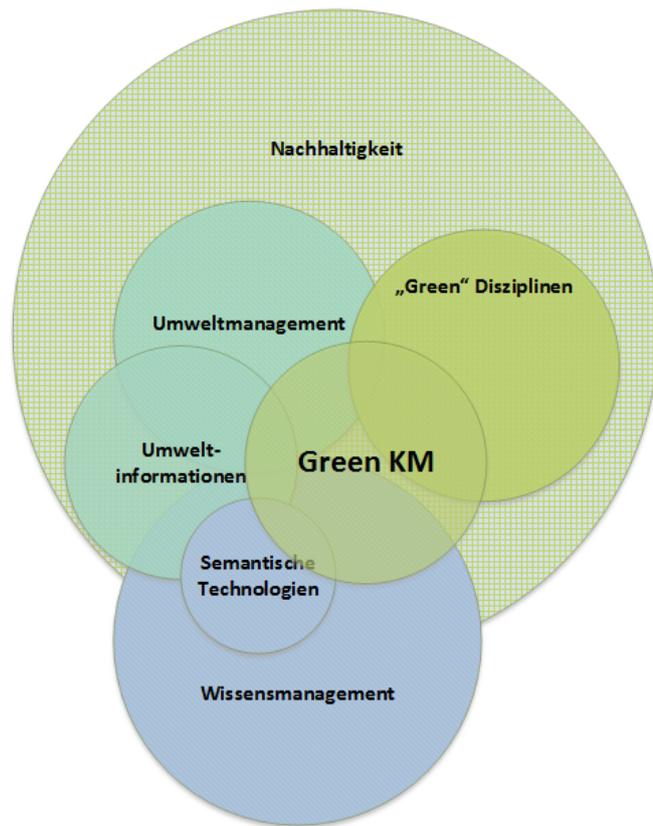


Abbildung 14 - Green Knowledge Management – Themenzusammenhänge

Ebene wird dahingehend berücksichtigt dass die Etablierung von Wissensmanagement möglichst kostenneutral in die bestehenden Unternehmensprozesse integriert werden sollte um Overhead und Kosten zu vermeiden vor welchen Unternehmer ggf. aus Rentabilitätsgründen zurückschrecken. Nachhaltigkeit bezieht sich in diesem Zusammenhang auf die Generierung von neuem Wissen aus vorhandenem Wissen und der Integration von Spezialwissen von Mitarbeitern in eine Wissensbasis, um so Unternehmenswissen zu sichern für den Fall das der oder die Mitarbeiter einmal das Unternehmen verlassen sollten.

Aus diesem Grund bietet es sich an die über das Wissensmanagement akquirierten und verwalteten Wissensartefakte zur Unterstützung des Umweltmanagements einzusetzen und so eine fundiertere Wissensbasis für Entscheidungen im Bereich der ökologischen Nachhaltigkeit einer Organisation bereitzustellen.

Im Zuge der Entwicklung von Umweltdatenbanken und Umweltinformationssystemen bietet sich an dieser Stelle bereits ein geeigneter Anknüpfungspunkt welcher im späteren Verlauf der Betrachtung und Entwicklung eines Umweltwissenssystems (→ *Kapitel 5*) mündet. Die in → *Kapitel 3.2* vorgestellten Wissensmanagementmodelle sowie die Architekturen eines WMS und eines Wissensbasierten Systems (→ *Kapitel 3.3.2*) bilden dabei die Grundlage für die Entwicklung des Umweltwissenssystems. Alternativ hierzu ist zu überprüfen inwiefern

bestehende Modelle um Nachhaltigkeits- und im speziellen Umweltmanagementaspekte erweitert werden können um diese Themenbereiche besser unterstützen zu können. Hierbei sind Erweiterungen oder Adaptionen für bestehende Modelle und Methoden aus dem Wissensmanagementbereich unter Berücksichtigung ökologischer Gesichtspunkte realisierbar. Ein dritter zu berücksichtigender Themenbereich von Green KM ist die Wiederverwendbarkeit von Wissen ohne größere Anpassungen (Re-Use), die Wiederverwendbarkeit von Wissen durch eine neue Aufbereitung (Recycling) und auch die Reduktion von überflüssigem oder redundantem Wissen welches unnötige Kapazitäten belegt oder die Wissensbasis unübersichtlich werden lässt. Um dies zu realisieren bietet sich der Einsatz von semantischen Technologien zur Vernetzung von bestehendem Wissen an um so z.B. auch Abteilungsübergreifend Wissen auszutauschen, zu kommentieren und zu formalisieren.

Zusammenfassend lässt sich Green Knowledge Management folgendermaßen definieren:

Definition: Green Knowledge Management gebraucht Wissensmanagementmodelle und –methoden zur Umsetzung und Förderung von ökologischer Nachhaltigkeit, einer damit verbundenen Integration und Interaktion mit bestehenden Umweltmanagement- und Green-Ansätzen sowie der Vernetzung von Umweltinformationen hin zu Umweltwissen.

Green Knowledge Management lässt sich durch folgende 5 Punkte beschreiben:

- (1) Unterstützung des bestehenden Umweltmanagements durch passende Wissensmanagementtechniken**
→ Siehe Kapitel 3.2 und 3.3
- (2) Einbringung von ökologisch nachhaltigen Ansätzen in bestehende Wissensmanagementmodelle und –methoden**
→ Siehe Kapitel 4.1
- (3) Integration von Green X Technologien in ein ganzheitliches Modell, um so redundante oder sich widersprechende Nachhaltigkeitsmaßnahmen zu vermeiden und Entscheidungsunterstützung zu ermöglichen.**
→ Siehe Kapitel 4.2
- (4) Erweiterung von Umweltinformationssystemen hin zu Umweltwissenssystemen durch den Einsatz von semantischen Technologien**
→ Siehe Kapitel 5 und 6
- (5) Re-use, Recycling und Reduktion von Wissen**
→ Siehe Kapitel 7

- KONZEPTION & IMPLEMENTATION -

4 Green Knowledge Management Modell & Cube

Nach der theoretischen Vorbetrachtung und Ableitung der Definition für Green Knowledge Management schließen sich in den folgenden Kapiteln die Konzeption und exemplarischen Implementation der einzelnen Zielsetzungen von Green Knowledge Management an.

4.1 Einbringung von ökologisch nachhaltigen Ansätzen in bestehende Wissensmanagementmodelle und –methoden

Green KM, Punkt (2): Einbringung von ökologisch nachhaltigen Ansätzen in bestehende Wissensmanagementmodelle und –methoden

In → *Kapitel 3.2 und 3.3* wurde die Erweiterung von Wissensmanagementmodellen bereits angedeutet aber noch nicht weiter ausgeführt wie ökologisch nachhaltige Ansätze in bestehende Wissensmanagementmodelle und –methoden integriert werden können um so einen Aspekt von Green KM zu erfüllen. Wie ist es beispielsweise möglich Aspekte der Nachhaltigkeit oder des Umweltmanagements in die Modelle zu integrieren? Green KM versteht sich als eine Variante des Wissensmanagements, so dass im ersten Schritt keine gänzlich neuen Verfahren eingeführt werden, sondern vielmehr bestehende Modelle und Repräsentationsmethoden um eine Nachhaltigkeitsebene erweitert werden und speziell ökologische Faktoren in ihre Betrachtung mit einbeziehen. In jeder Phase eines Wissensmanagementmodells sind so z.B. die Fragen zu stellen „*Welche ökologischen Auswirkungen hat eine bestimmte Aktion?*“ „*Gibt es zu dieser Thematik ökologische Bewertungskriterien oder KPIs?*“ „*Lässt sich die Thematik mit Green BPM Mustern bewerten?*“ Im Folgenden soll daher in einem Kapitel analysiert werden inwiefern die Wissensmanagementmodelle um eine Umweltperspektive erweitert werden können bzw. an welchen Stellen sich Schnittstellen zu den Nachhaltigkeits-, Umwelt- und Green-Themen ergeben.

Um diesen Vergleich zu ermöglichen werden noch einmal die zuvor betrachteten Modelle (→ *Kapitel 3*) tabellarisch (→ *Tabelle 3*) miteinander verglichen um auf diese Weise Ähnlichkeiten und Unterschiede abzuleiten. Der Aufbau der Tabelle zeigt einen Vergleich zwischen den einzelnen Phasen der Modelle. Die Modelle welche keine äquivalente Phase zu den jeweils anderen enthalten, werden durch ein leeres, grau hinterlegtes Feld dargestellt. Einige der Modelle sind zudem detaillierter als andere, so dass mehrere Schritte unter einem Begriff zusammengefasst werden können. Zudem agieren die Modelle von FABER und das BITKOM Modell auf unterschiedlichen Ebenen. Diese werden entsprechend gekennzeichnet.

PROBST ET AL.	BINNER	BITKOM ²⁴	FABER ²⁵	GPO-WM®,VDI	MAIER	MÜNCHNER MODELL	NORTH	POTSDAMER MODELL
	Anforderung		U: Rahmenbedingungen				Rahmenbedingungen	
Ziele	Ziele	A: Strategisch Planen	S:Ziele	Planen			Spielregeln definieren	Strategie
					Create			Bedarf neues W.
Identifikation	Gestaltung		U: Identifikation	Identifikation	Identify		Wissen transparent	Identifikation besteh. W.
				Bewertung				Bewertung
								Bereinigung
Erwerb	Dokumentation						Beschaffung	Erwerb
Entwicklung	Planung	B:Vertiefung	K: Generierung	Erzeugung	Formalize	Generierung	Entwicklung	Aufbereitung
		B:Kodifizierung	U: Präsentation	Speicherung ²⁶	Organize	Repräsentation		Transparenz
			U: Sensibilisierung					Förderung der Nutzung

²⁴ A: Managementlevel, B: Leistungsebene/Wissensarbeit; C: Supportorganisation

²⁵ K: Kernprozesse, S: Steuerungsprozesse, U: Unterstützungsprozesse

²⁶ Wird bei den weiteren Modellen erst zu einem späteren Zeitpunkt durchgeführt.

PROBST ET AL.	BINNER	BITKOM²⁴	FABER²⁵	GPO-WM®,VDI	MAIER	MÜNCHNER MODELL	NORTH	POTSDAMER MODELL
Verteilung	Steuerung	B:Verteilung, Vernetzung	K: Logistik U: IuK	Verteilung	Share, Distribute	Kommunikation	Übertragung	Verteilung
					Refine			
Nutzung	Nutzung		K: Anwendung	Anwendung	Apply	Nutzung	Aneignung Integration	
Bewahrung	Controlling	A:Steuern, Controlling	S: Controlling K: Speicherung					Bewahrung
	Qualifikation							
	Verbesserung	A,B,C: Verbessern					Weiterentwicklung	
	Potentiale							
Bewertung	Bewertung	A,B,C: Bewerten			Feedback			

Tabelle 3 - Vergleich WM-Modelle, Details der Modelle in Kapitel 3.2

Anhand der verglichenen Phasen wird in den folgenden Unterkapiteln aufgezeigt wie eine Erweiterung eines WM-Modells hin zu einem Green KM-Modell abgebildet werden kann.

4.1.1 Green KM-Ziele

Zieht man nun einen Vergleich zwischen den Modellen, so lässt sich gleich zu Anfang feststellen dass alle der genannten Modelle die Definition von Wissenszielen oder – Wissensrahmenbedingungen vorsehen. Um eine Verbindung zu Nachhaltigkeits- & Umweltmanagement sowie Green Themen herzustellen lassen sich direkte Zusammenhänge der Wissensziele mit den Umwelt- und Green-Zielen ermitteln. Auf diese Weise passen sich die späteren Phasen des Wissensmanagements den aus dem Umweltmanagement vorgegebenen Umweltzielen und vorhandenen Green-Zielen an, so dass das passende Wissen hierzu ermittelt und unterstützend eingesetzt werden kann. Wirft man einen Blick zurück auf die bereits vorgestellten Umweltmanagementverfahren ISO 14001 und EMAS (→ *Anhang A:* und *Anhang B:*), so leiten sich die Umweltziele aus der geplanten Umweltpolitik und der darauf aufsetzenden Umweltplanung ab. Die nachhaltigen Wissensziele im Sinne von Green KM setzen sich somit aus den Green-Zielen und den Umweltzielen zusammen, welche beide wiederum auf den Nachhaltigkeitszielen der Organisation basieren.

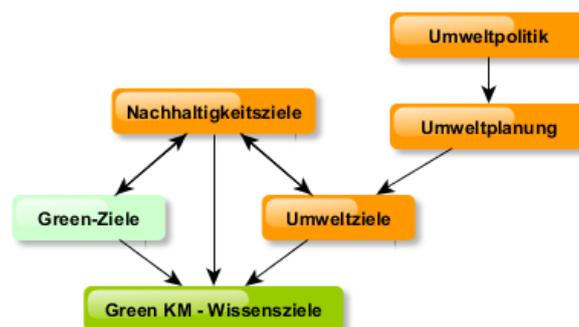


Abbildung 15 - Green KM – Wissensziele

4.1.2 Green KM-Wissensanforderungen und -identifikation

Daran anschließend sehen die verglichenen Modelle eine Identifikation und Anforderungsanalyse hinsichtlich neuem, notwendigem Wissens vor. Diese Anforderungen lassen sich aus den internen und externen Umweltaspekten sowie den rechtlichen Rahmenbedingungen ableiten. Die übergeordnete Ausrichtung beinhaltet die Umsetzung der vorgegebenen Umweltpolitik und Umweltziele sowie die Planung der Umwelterklärung, zu welcher das notwendige Wissen ermittelt und zusammengeführt werden muss. Zur Wissensidentifikation werden Key Performance Indikatoren eingesetzt, welche sich etwa aus Bewertungskriterien zu Umweltaspekten, Umweltindikatoren oder Kriterien zur Messung der Umweltleistung zusammensetzen. Vergleicht man diesen Schritt des Green Knowledge Managements mit der Wissensidentifikation aus dem “klassischen” Wissensmanagement, so ist die Identifikation der Wissens Elemente klar auf die Umweltthematik auszurichten. Hierzu ist vor allem eine enge Zusammenarbeit zwischen Wissens- und Umweltmanager vorzusehen.

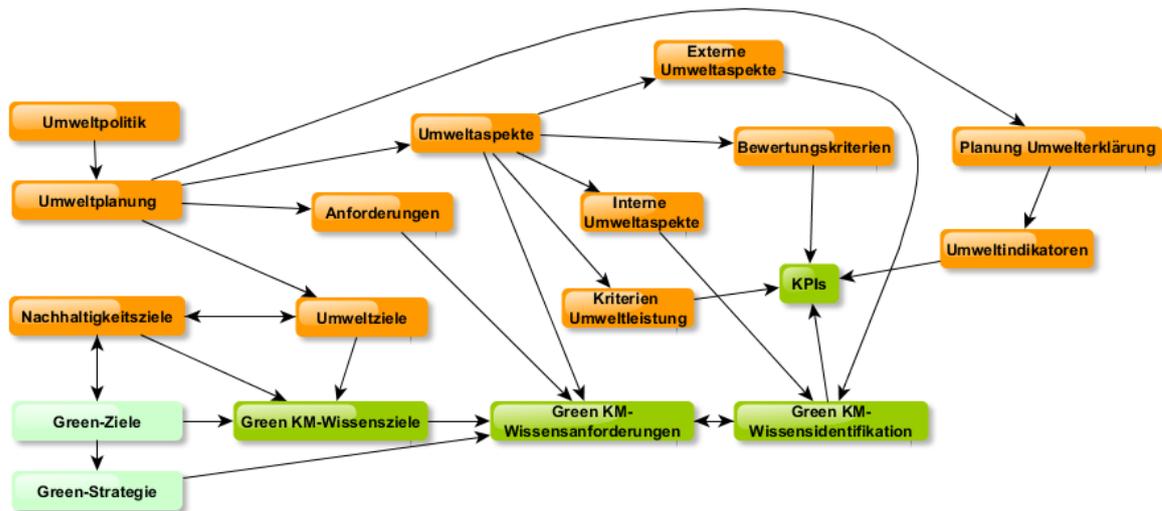


Abbildung 16 - Green KM - Wissensanforderungen und -identifikation

4.1.3 Green KM-Wissenserwerb und Green KM-Wissensbewertung

Ausgehend von der Green KM-Wissensidentifikation und den hierbei ggf. ermittelten Lücken, schließt sich der Erwerb von Wissen an. Die zu erwerbenden Wissensprodukte sind dabei abhängig von dem definierten Umweltprogramm. Dort wird etwa benannt welche Kommunikationsstrukturen, welche Dokumente, Schulungsmaterial oder Prozessanpassungen zur Umsetzung notwendig sind. Speziell hinsichtlich der Prozessanpassungen ergeben sich zusätzliche Verbindungen zu Green BPM. Der Green KM-Wissenserwerb muss dementsprechend alle diese Aspekte berücksichtigen um hier das passende Wissen zu ermitteln und bereitzustellen. Gleiches gilt für die umzusetzenden Green Themen, wie *Green ICT* oder *Green Software*, welche ebenfalls den Erwerb von Wissen erfordern. Sollte wie bei *Green Building* auch eine Zertifizierungsmaßnahme angestrebt werden, so ist das Wissen speziell zusammenzutragen.

In diesem Schritt des Green Knowledge Managements ergibt sich auch das erste Mal der Schritt einer Validierung, sprich einer Green KM-Wissensbewertung, so dass ausgehend von der Green KM-Wissensidentifikation ermittelt wird welches Wissen in welcher Qualität vorhanden ist, welches Wissen in der Konsequenz erworben werden muss oder bereits wurde und wie wiederum die Qualität des erworbenen Wissens zur Umsetzung des Umweltprogramms oder der angestrebten Umwelt- und Green-Ziele geeignet ist. Die Bewertung und Messung der Qualität sollte sowohl anhand von qualitativen als auch von quantitativen Indikatoren erfolgen. Umwelt- oder Qualitätskennzahlen können an dieser Stelle eingebunden werden. Beide Arten von Kennzahlen werden in → Kapitel 5 und 6 im Zuge der Konzeption und Darstellung von Anwendungsfällen für das Umweltwissenssystem erneut aufgegriffen.

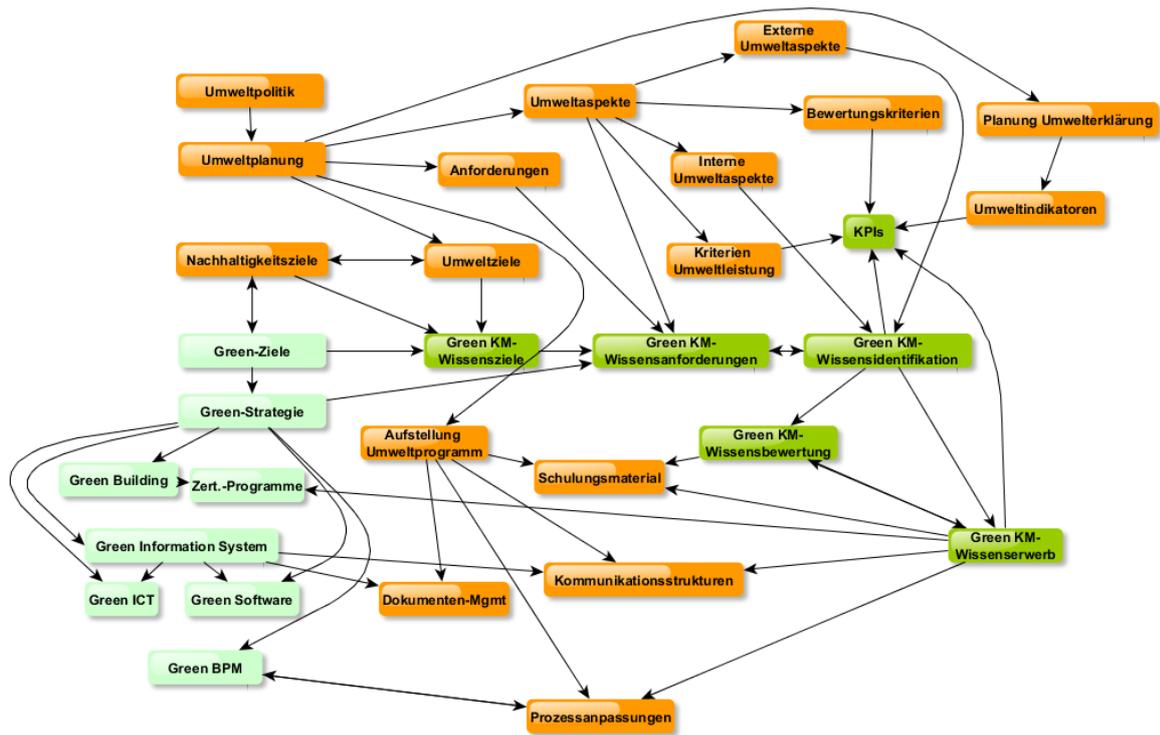


Abbildung 17 - Green KM - Wissenserwerb und Wissensbewertung

4.1.4 Green KM-Wissensentwicklung, -generierung und -formalisierung

Auf Basis des identifizierten und erworbenen Wissens findet anhand des Modellvergleichs im nächsten Schritt eine Entwicklung, Generierung und Formalisierung von Wissen statt. Die Green KM-Wissensentwicklung und Green KM-Wissensgenerierung fokussieren dabei die bereits bei der Green KM-Wissenserwerbsphase adressierten Aspekte. Konnte somit kein oder nicht ausreichendes Wissen erworben werden oder das erworbene Wissen passt nicht eindeutig auf die vorliegende Situation, so ist dieses weiterzuentwickeln. Entwicklung und Generierung von Wissen sind dabei thematisch sehr eng aneinander angelegt.

Die Green KM-Formalisierung wiederum bezieht sich auf die Abbildung des erworbenen und entwickelten Wissens in einer vorgegebenen Repräsentationsform. Je nach Art des Wissens kann es sich um unterschiedliche Repräsentationsformen handeln. Die Anforderung an die Wissensrepräsentation sollte aber im Sinne von Green KM auf einer ressourcenschonenden, vernetzten und wiederverwendbaren Wissensrepräsentation liegen. Eine Form der Wissensrepräsentation kann dabei der Einsatz von semantischen Technologien sein, welche in → Kapitel 5.4 eingehender betrachtet werden. Ebenso wird das Thema der Wiederverwendung und des Recyclings von Wissen erneut aufgegriffen und in → Kapitel 7 detailliert betrachtet.

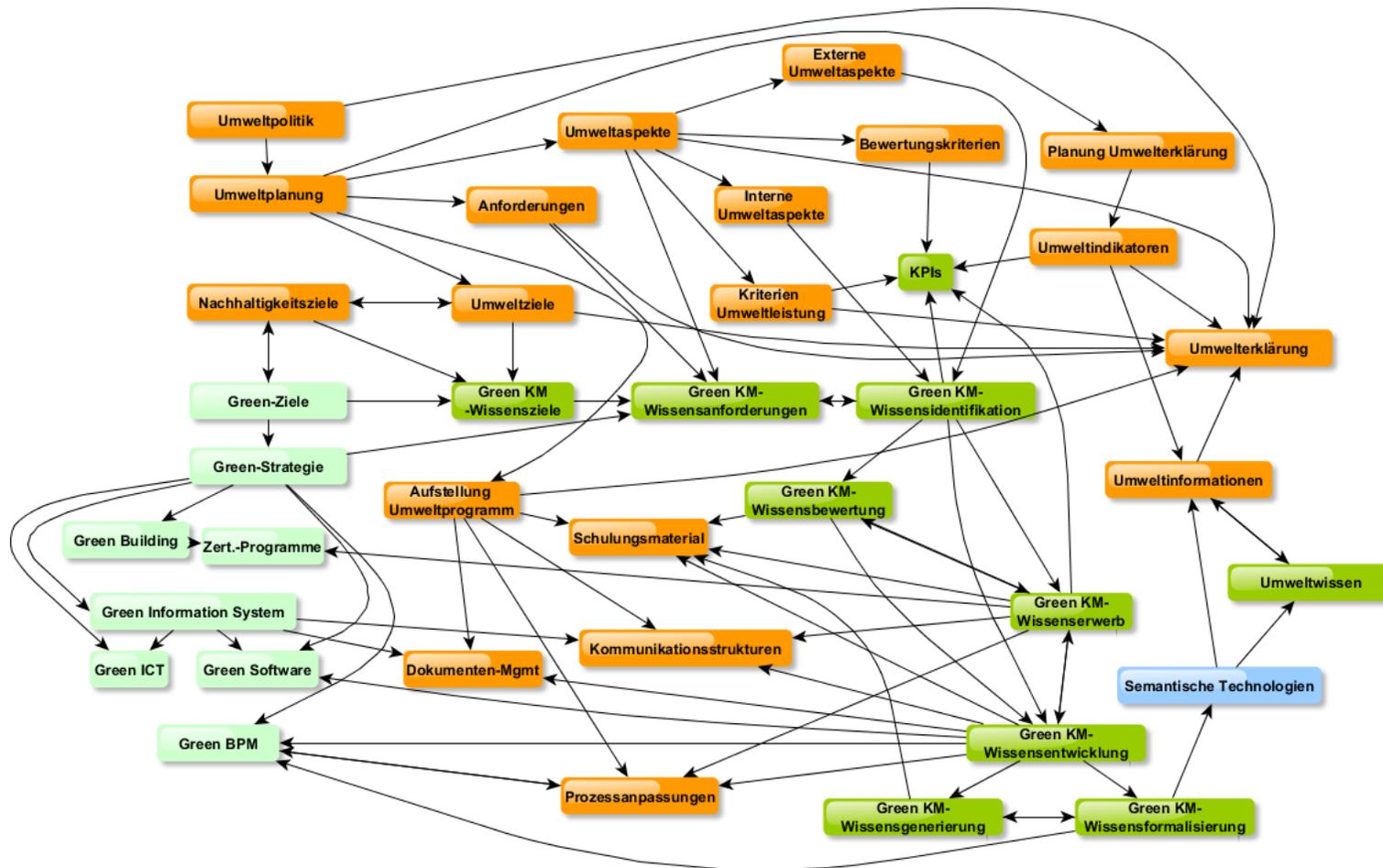


Abbildung 18 - Green KM – Wissensentwicklung, -generierung, -formalisierung

4.1.5 Green KM-Wissensspeicherung und -organisation

Im Anschluss an die Entwicklung und Formalisierung des Wissens ist dessen Ablage und Organisation zu betrachten. Die Ablage erfolgt zumeist im Sinne einer Datenhaltung in Form von Datenbanken oder Data Warehouses. Die Speicherung kann dabei anhand von relationalen Tabellen oder No-SQL Strukturen erfolgen. Aus Sicht des Wissensmanagements erfolgt die Speicherung und Organisation von Wissen mit Hilfe von Wissensmanagement- oder Wissensbasierten Systemen, welche neben der reinen Datenhaltung eine Logik und ein User Interface zur Bedienung beinhalten. Aus dem Themenfeld Umweltmanagement wiederum finden Umweltinformationssysteme oder Umweltdatenbanken Einsatz ebenso wie Green Information Systeme aus dem Bereich der Green Technologien.

Im Sinne von Green Knowledge Management ist dementsprechend ein hybrider Ansatz zu gestalten, welcher die drei Themenbereiche Umweltmanagement, Green Technologien und Wissensmanagement miteinander vereint. Hierzu wurde das in → *Kapitel 5* konzipierte und eingehend beschriebene Umweltwissenssystem entwickelt. Das notwendige Umweltwissen leitet sich dabei aus den unterschiedlichen Umweltdaten und Umweltinformationen sowie weiteren zuvor erworbenen oder entwickelten Wissens-elementen zusammen.

4.1.6 Green KM-Verteilung, -Nutzung und -Kontrolle

Im abschließenden Schritt wird das zuvor gespeicherte und organisierte Umweltwissen im Rahmen der Green KM-Nutzung zur Erreichung der Umweltziele, der Erstellung und Umsetzung der Umwelterklärung und dem Umweltprogramm eingesetzt. Hierzu wird dieses an die entsprechenden Stakeholder im Umweltmanagement der Organisation verteilt, im Idealfall durch die Nutzung des Umweltwissenssystems und der dort bereitgestellten User Interfaces. Alternativ sind die zuvor im Umweltmanagement angesprochenen Prozess- und Kommunikationsverbindungen zur Verteilung des Wissens an die passenden Zielgruppen auszulegen. Einige der verglichenen Modelle schließen den Wissensmanagementprozess mittels einer Kontrolle, Bewertung oder Feedback. Dieser Schritt wird auch hier aufgegriffen, so dass zum Abschluss ein Feedback der Umweltmanager zu dem vorhandenen Umweltwissen stattfindet auf Basis dessen für den nächsten Zyklus der Umweltzertifizierung eventuell fehlendes oder unzureichendes Umweltwissen bereitgestellt werden kann.

Insgesamt ergibt sich somit ein Zyklus des Wissensmanagements (grüne Linie), welcher sich in den Umweltmanagementzyklus integriert und zusätzlich die Green X Technologien adressiert und deren Umsetzung unterstützt. Im Sinne des Green Knowledge Managements wird somit ein WM-Modell vorgestellt, welches das Ziel realisiert ökologisch nachhaltige Aspekte in bestehende Wissensmanagementmodelle und –methoden zu integrieren.

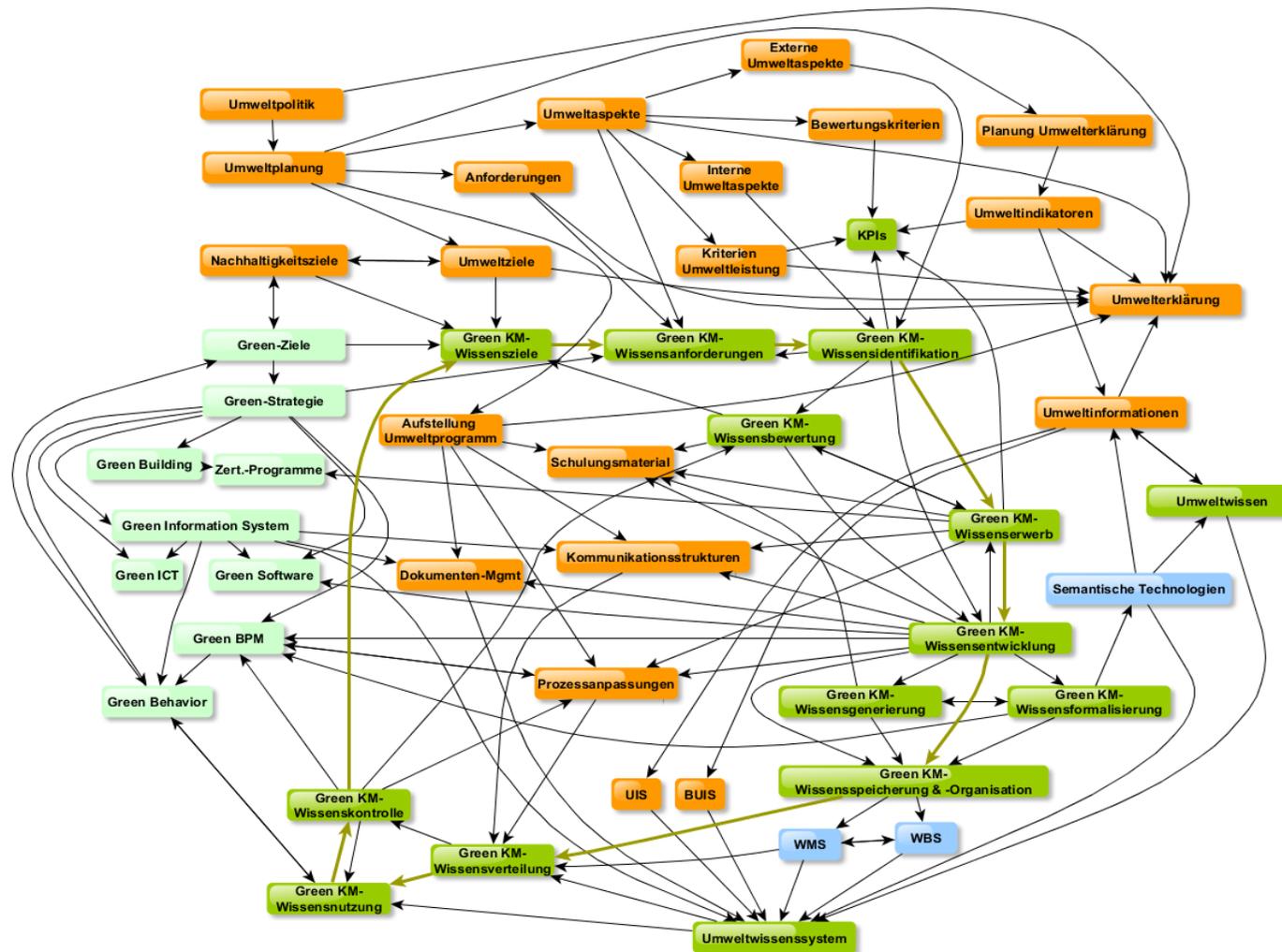


Abbildung 20 - Green KM – Wissensentwicklung, -generierung, -formalisierung

4.2 „Green Knowledge Management Cube“

Green KM, Punkt (3): Integration von Green X Technologien in ein ganzheitliches Modell, um so redundante oder sich widersprechende Nachhaltigkeitsmaßnahmen zu vermeiden und Entscheidungsunterstützung zu ermöglichen.

4.2.1 Entwicklung Green Knowledge Management Cube

Die Umsetzung des genannten Green KM Ziels (3) wird durch die Entwicklung eines ganzheitlichen Modells in Form eines Würfels angestrebt. Es werden hierzu die in → Kapitel 3 vorgestellten Green X Ansätze aufgegriffen und in ein Modell zusammengeführt. Der Zusammenhang bzw. die Art der Integration der verschiedenen Green X Technologien soll daher im Folgenden durch einen eigens entwickelten *Green Knowledge Management Cube* (kurz *Green KM Cube*) vorgestellt werden.

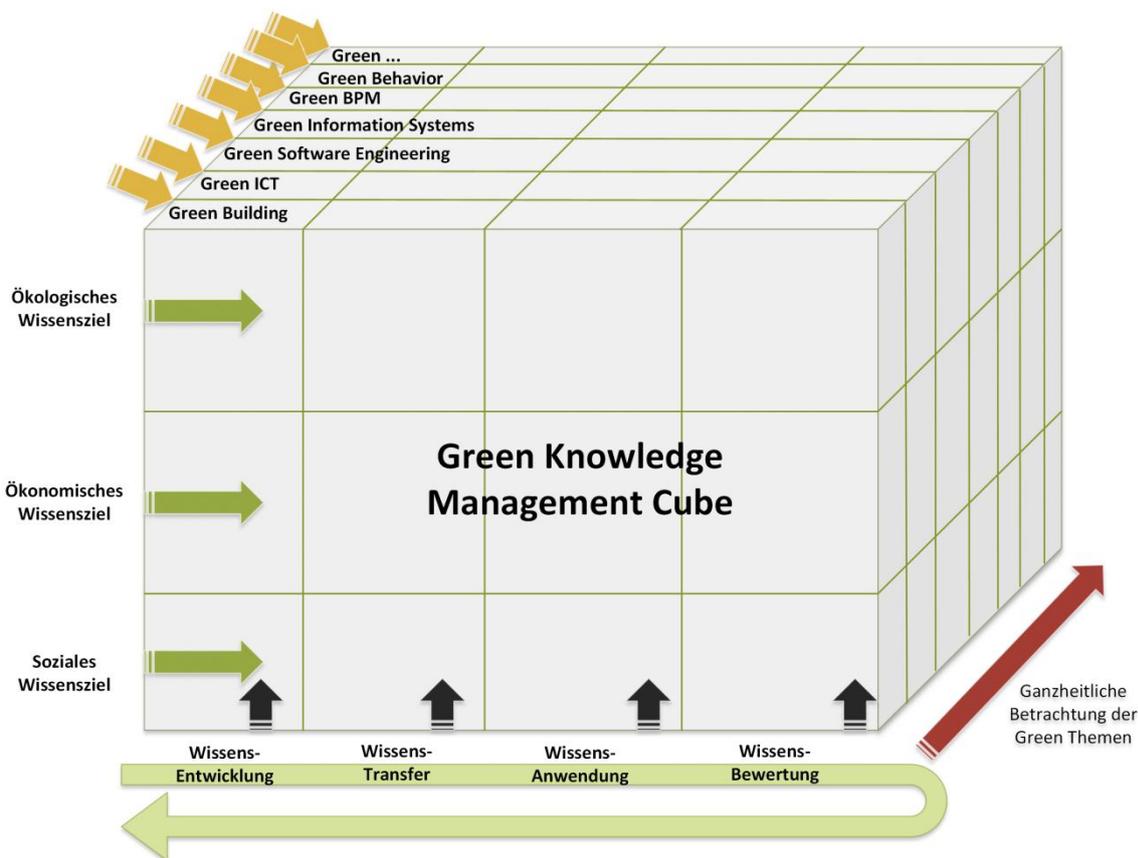


Abbildung 21 - Green Knowledge Management Cube, publiziert in (Dornhöfer & Fathi, 2016a)

Der dargestellte Würfel (*Abbildung 21*) umfasst verschiedene Dimensionen welche sich aus den Wissenszielen auf den drei Nachhaltigkeitsebenen (grüne Pfeile), den verschiedenen Green Technologien (orange Pfeile) und Phasen des Wissensmanagements bestehend aus der Wissens-Entwicklung, des Wissens-Transfers bzw. der Verteilung an die relevanten Zielgruppen, einer

folgenden Wissens-Anwendung und schlussendlich einer Wissens-Bewertung hin zu einem Update-Vorgang (schwarze Pfeile) zusammensetzen. Theoretisch wäre noch eine weitere vierte Dimension denkbar welche die strategische, operationale und technologische Ebene gemäß anderen Modellen des Wissensmanagements abbildet. Für den dargestellten Würfel wird aber davon ausgegangen das die in der Praxis definierten nachhaltigen Wissensziele diese Aspekte implizit mit aufgreifen. In der gewählten Darstellung ist der *Green KM Cube* in vollständiger Form sichtbar. Der rot dargestellte Pfeil visualisiert den Blickwinkel wenn ausgehend von einem definierten Ziel alle Green Technologien abhängig von diesem einen Ziel ganzheitlich analysiert werden. Alternativ ist es aber auch denkbar das die Betrachtung eines Wissensziels nur einzelne der Green Technologien betrifft und die orangene Dimension schmaler ausfällt. Auf diese Weise ergibt sich eine gewisse Variabilität in der Anwendung.

Die nachfolgende Abbildung zeigt einen konzeptuellen Ausschnitt des *Green KM Cubes* anhand der beispielhaften Wissensziele einer Organisation die bestehende CO₂ Bilanz der genutzten Heizungsanlage zu optimieren oder diese auszutauschen, Kosten für Heizkosten zu senken und gleichzeitig durch eine Änderung bei Heizung und Klimaanlage für eine bessere Klimatisierung innerhalb der Büroräume zu sorgen:

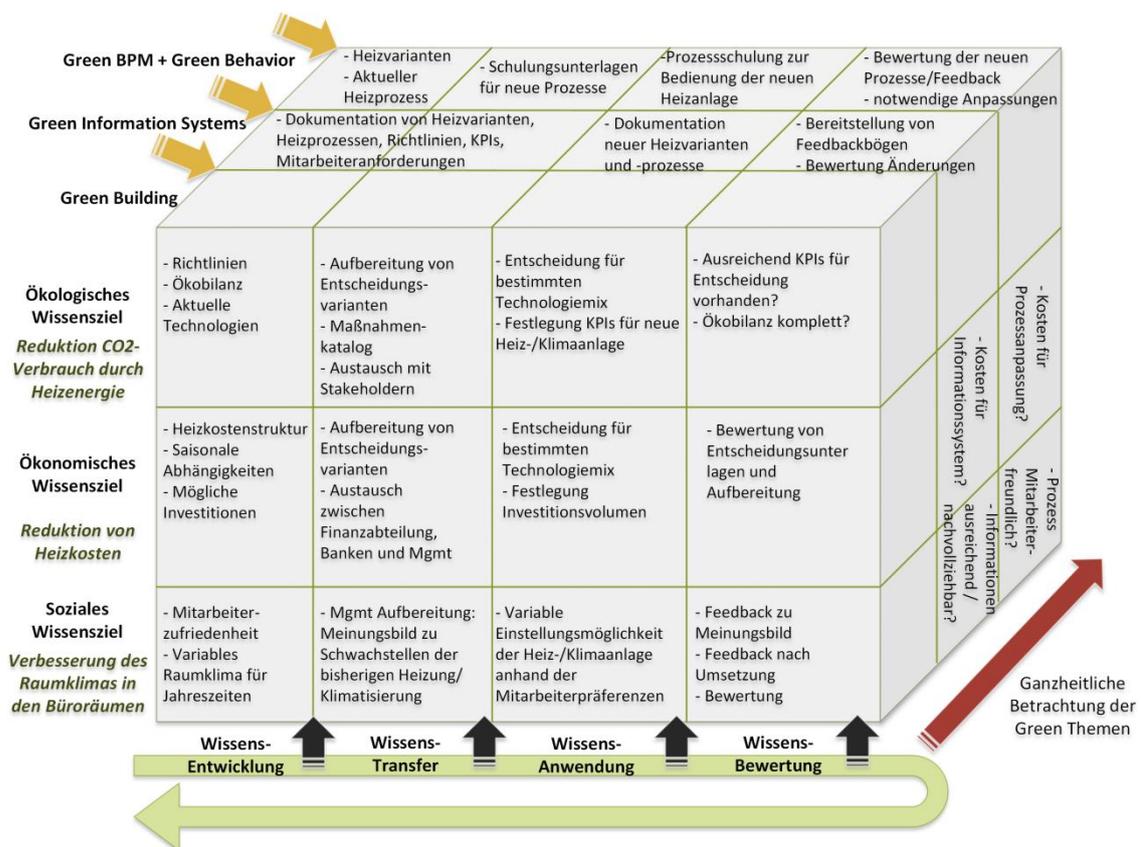


Abbildung 22 - Green KM Cube – Beispiel „Änderung Heizstrategie“

Die genannten Ziele haben direkten Einfluss auf die Themen *Green Building* und *Green BPM*, da sowohl Änderungen an der Gebäudeinfrastruktur vorgenommen werden müssen als auch an den durch die Mitarbeiter gelebten Prozessen zur Heizung und Belüftung ihrer Büroräume. Ebenso ist das *Informationssystem* der Organisation betroffen, da dieses als Medium zur

Erfassung von bisherigen Schwachstellen, Mitarbeitermeinungen, Richtlinien aber auch der späteren Kommunikation der geänderten Prozesse Anwendung findet. Indirekt wäre sicherlich auch noch das Themengebiet *Green Behavior* betroffen, da das angesprochene Belüftungs- und Heizverhalten der Mitarbeiter einen entscheidenden Beitrag zur Umsetzung einer neuen Heizstrategie liefert. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird dieses in der Abbildung mit dem Punkt Green BPM zusammengezogen, da es direkt mit den Prozessänderungen hinsichtlich Beheizung und Belüftung zusammenhängt. Die genannten Punkte erheben nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, sondern sollen vielmehr als Beispiele für die Betrachtung der Thematik aus unterschiedlichen Blickwinkeln sowohl anhand der geplanten Veränderungen aber auch anhand der Wissensmanagementschritte betrachtet werden. Durch die gewählte 3D-Darstellung ist es zudem nicht möglich alle verdeckten Felder darzustellen, so dass es sich in der Praxis empfiehlt den Würfel in einzelne Tabellen „aufzuklappen“.

4.2.2 Green Knowledge Management Cube Implementationen

Nach den bislang durchgeführten Vorbetrachtungen und der Hinführung und Entwicklung des Green Knowledge Management Cubes, schließt sich nachfolgend eine praktische Umsetzung des Green KM Cubes an. Um darzustellen das dieser in unterschiedlichen Varianten umgesetzt werden kann, wurde eine tabellarische Variante mittels Microsoft Excel implementiert und eine erweiterte datenbankgestützte Variante mittels Microsoft Access. Dabei ist zu berücksichtigen, dass jeweils eine Beschreibung, eine monetäre Bewertung sowie eine Priorität je Bewertung durch den Experten mit angegeben werden können. Für zukünftige oder erweiterte Umsetzungen ist es durchaus denkbar die Anzahl an KPIs je Bewertung zu erweitern. In Kapitel 6 erfolgt eine weitere Umsetzungsvariante in Form einer Ontologie als Erweiterung des im Rahmen dieser Arbeit konzipierten Umweltwissenssystems.

4.2.2.1 Umsetzung Green KM Cube in tabellarischer Form

Der Green KM Cube wird im ersten Schritt mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel umgesetzt, eine vergleichbare Tabellenkalkulationssoftware ist aber ebenso denkbar. Die Umsetzung erfolgt mittels unterschiedlicher Tabellenblätter. Die Startseite bildet das Modell ab und ein neues Vorhaben bzw. eine neue Bewertung durch einen Experten lässt sich über einen Klick auf einen eingefügten Button realisieren.

Da es sich hierbei um eine Datei handelt ist es jeweils nur möglich eine (gemeinsame) Bewertung je Datei abzuspeichern. Es werden dadurch alle Angaben zu dem entsprechenden Vorhaben in dieser einen Datei abgelegt, es ist jedoch eine Verteilung bzw. Austausch der Datei zwischen den beteiligten Stakeholdern notwendig.

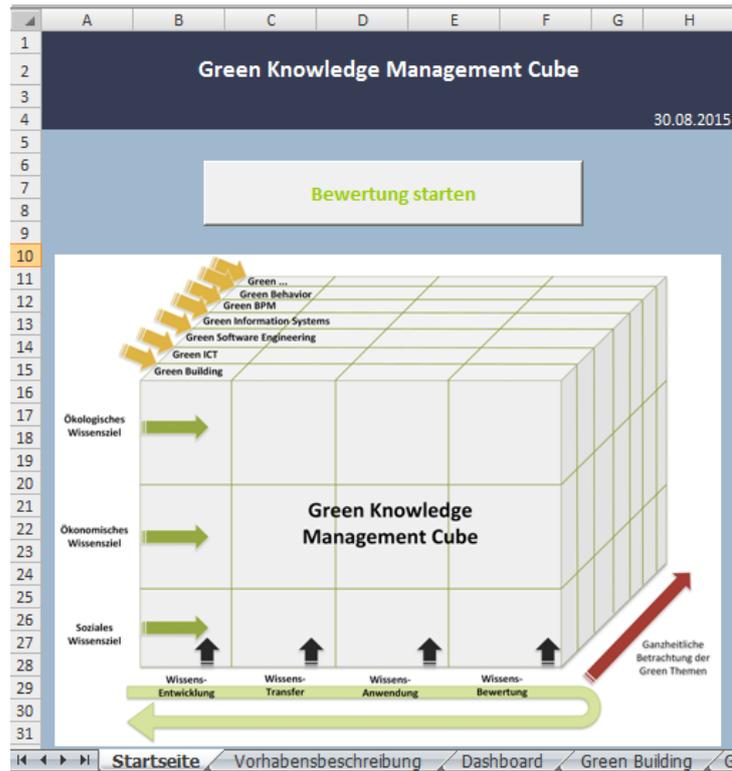


Abbildung 23 - Green KM Cube – Tabellarische Umsetzung (1)

Die angesprochene Vorhabensbeschreibung wird auf dem nächsten Tabellenblatt mittels Vorhabens-titel und Detailbeschreibung eingefügt.

Die darunter angeordneten Green Ebenen lassen sich in separaten Tabellenbättern bewerten und ihr Aufwand hinsichtlich interner und externer Ressourcen beschreiben und kalkulieren. Zu Beginn sind dementsprechend die Zellen B5 bis B18 leer bzw. der eingefügte Betrag lautet 0,00 €.

	A	B	C
1	Vorhabensbeschreibung		
2	Vorhabens-titel	Änderung der Heizstrategie der Organisation	
3	Detailbeschreibung	Das Vorhaben umfasst die Nutzung von erneuerbaren Energien, eine automatisierte Belüftung und Beheizung, Änderung des Anwenderverhaltens	
4	Betrachtete Green Ebenen		
5	Summe Green Building Intern	69.810,00 €	> Green Building
6	Summe Green Building Extern	19.100,00 €	
7	Summe Green ICT Intern	77.200,00 €	> Green ICT
8	Summe Green ICT Extern	19.100,00 €	
9	Summe Green SE Intern	9.900,00 €	> Green SE
10	Summe Green SE Extern	2.100,00 €	
11	Summe Green InfoSys Intern	35.300,00 €	> Green InfoSys
12	Summe Green InfoSys Extern	7.200,00 €	
13	Summe Green BPM Intern	21.300,00 €	> Green BPM
14	Summe Green BPM Extern	16.100,00 €	
15	Summe Green Behavior Intern	37.300,00 €	> Green Behavior
16	Summe Green Behavior Extern	16.400,00 €	
17	Summe Green ... Intern	5.974,00 €	> Green ...
18	Summe Green ... Extern	3.300,00 €	
19	Summe Gesamt	330.810,00 €	

Abbildung 24 - Green KM Cube – Tabellarische Umsetzung (2)

Wird die Bewertung des Vorhabens gestartet, so kann ausgewählt werden welche Green Ebenen betrachtet werden sollen. Über Klick auf die Buttons in Spalte C kann zu den zugehörigen Tabellenblättern gewechselt werden. Sind in einem geplanten Vorhaben nicht alle Green Ebenen relevant, so bleibt das untergeordnete Tabellenblatt leer.

Im Folgenden wird das Tabellenblatt für *Green Building* betrachtet, welches identisch zu den weiteren Tabellenblättern für Green IT, SE, InfoSys, BPM, und Behavior aufgebaut ist.

	A	B
1	Green Building	
2	Ökologische Nachhaltigkeit	
25	Gesamtergebnis	52.481,00 €
26	Ökonomische Nachhaltigkeit	
49	Gesamtergebnis	30.774,00 €
50	Soziale Nachhaltigkeit	
73	Gesamtergebnis	5.674,00 €
74	Summe Green Building Intern	69.829,00 €
75	Summe Green Building Extern	19.100,00 €
76	Summe Gesamt	88.929,00 €

Die Tabellenzeilen wurden anhand der im Green KM Cube vorhandenen Nachhaltigkeitsstufen gruppiert, so dass auf den ersten Blick die Zwischenergebnisse für ökonomische, ökologische und soziale Ebene, sowie das Gesamtergebnis sichtbar werden.

Abbildung 25 - Green KM Cube – Tabellarische Umsetzung (3)

Wird eine Ebene aufgeklappt, so lassen sich erneut Gruppierungen anhand der internen und externen Aufwände erkennen. Dabei wird jede Nachhaltigkeitsebene anhand der vier Wissensprozessebenen Wissenserschaffung (WE), Wissenstransfer (WT), Wissensanwendung (WA) und Wissensbewertung (WB) inhaltlich und hinsichtlich des finanziellen Aufwands betrachtet.

	A	B
1	Green Building	
2	Ökologische Nachhaltigkeit	
7	Aufwand WE ÖKOL in € Ergebnis	11.000,00 €
12	Aufwand WT ÖKOL in € Ergebnis	2.174,00 €
17	Aufwand WA ÖKOL in € Ergebnis	3.000,00 €
22	Aufwand WB ÖKOL in € Ergebnis	36.307,00 €
23	Gesamtergebnis GICT ÖKOL INT in €	43.381,00 €
24	Gesamtergebnis GICT ÖKOL EXT in €	9.100,00 €
25	Gesamtergebnis	52.481,00 €
26	Ökonomische Nachhaltigkeit	
31	Aufwand WE ÖKON in € Ergebnis	11.000,00 €
36	Aufwand WT ÖKON in € Ergebnis	2.174,00 €
41	Aufwand WA ÖKON in € Ergebnis	2.500,00 €
46	Aufwand WB ÖKON in € Ergebnis	15.100,00 €
47	Gesamtergebnis GICT ÖKON INT in €	22.174,00 €
48	Gesamtergebnis GICT ÖKON EXT in €	8.600,00 €
49	Gesamtergebnis	30.774,00 €
50	Soziale Nachhaltigkeit	
55	Aufwand WE SOZ in € Ergebnis	700,00 €
60	Aufwand WT SOZ in € Ergebnis	374,00 €
65	Aufwand WA SOZ in € Ergebnis	2.500,00 €
70	Aufwand WB SOZ in € Ergebnis	2.100,00 €
71	Gesamtergebnis GICT ÖKON INT in €	4.274,00 €
72	Gesamtergebnis GICT ÖKON EXT in €	1.400,00 €
73	Gesamtergebnis	5.674,00 €
74	Summe Green Building Intern	69.829,00 €
75	Summe Green Building Extern	19.100,00 €
76	Summe Gesamt	88.929,00 €

Abbildung 26 - Green KM Cube – Tabellarische Umsetzung (4)

Die angesprochene inhaltliche Betrachtung findet in der komplett aufgeklappten Ansicht des Tabellenblatts statt. Das zuvor betrachtete Gesamtvorhaben wird dabei im Hinblick auf eine bestimmte Green Ebene, in diesem Fall das *Green Building*, und die dort vorhandenen ökologischen, ökonomischen und sozialen Ziele dargestellt. Jedes dieser drei Ziele wird dabei auf den vier Wissensleveln Wissenserfassung, Wissenstransfer, Wissensanwendung und Wissensbewertung betrachtet. Es wird dabei eine monetäre Betrachtung, Beschreibung und eine Priorisierung vorgenommen.

1	2	3	A	B
1	Green Building			
2	Ökologische Nachhaltigkeit			
3	Wissenserfassung		Es sind Richtlinien und Referenzwerte für die Umsetzung eines Green Buildings mit Hilfe der neuen Heizstrategie zu ermitteln. Ein externer Berater sollte über Zertifizierungsverfahren für Gebäude Wissen hinzuliefern.	
4	Aufwand Intern in €			5.000,00 €
5	Aufwand Extern in €			6.000,00 €
6	Priorität			Mittel
7	Aufwand WE ÖKOL in € Ergebnis			11.000,00 €
8	Wissenstransfer		Aufbereitung der Ergebnisse aus der Wissenserfassung als Entscheidungsvorlage für die Managemententscheidung hinsichtlich eines Zertifizierungsverfahren für Gebäude.	
9	Aufwand Intern in €			174,00 €
10	Aufwand Extern in €			2.000,00 €
11	Priorität			Niedrig
12	Aufwand WT ÖKOL in € Ergebnis			2.174,00 €
13	Wissensanwendung		Aufstellung der ökologischen Ziele anhand des Verfahrens und Umsetzung der geforderten Maßnahmen zur Erreichung der ökologischen Ziele	
14	Aufwand Intern in €			2.000,00 €
15	Aufwand Extern in €			1.000,00 €
16	Priorität			Mittel
17	Aufwand WA ÖKOL in € Ergebnis			3.000,00 €
18	Wissensbewertung		Bewertung der ökologischen Kennzahlen nach Umsetzung der neuen Heizstrategie. Wöchentliche Auswertungen der Statistiken. Zusätzlich Reflektion, inwiefern die Maßnahmen korrekt sind oder ob eine Anpassung stattfinden sollte.	
19	Aufwand Intern in €			36.207,00 €
20	Aufwand Extern in €			100,00 €
21	Priorität			Niedrig
22	Aufwand WB ÖKOL in € Ergebnis			36.307,00 €
23	Gesamtergebnis GICT ÖKOL INT in €			43.381,00 €
24	Gesamtergebnis GICT ÖKOL EXT in €			9.100,00 €
25	Gesamtergebnis			52.481,00 €
26	Ökonomische Nachhaltigkeit			

Abbildung 27 - Green KM Cube – Tabellarische Umsetzung (5)

Abschließend wurde eine Dashboard-Ansicht implementiert, welche die unterschiedlichen Ergebnisse der einzelnen Tabellenblätter zusammenführt und mittels Diagrammen aufbereitet ausgibt. Die dargestellten Zahlenwerte sind dabei nur beispielhaft.

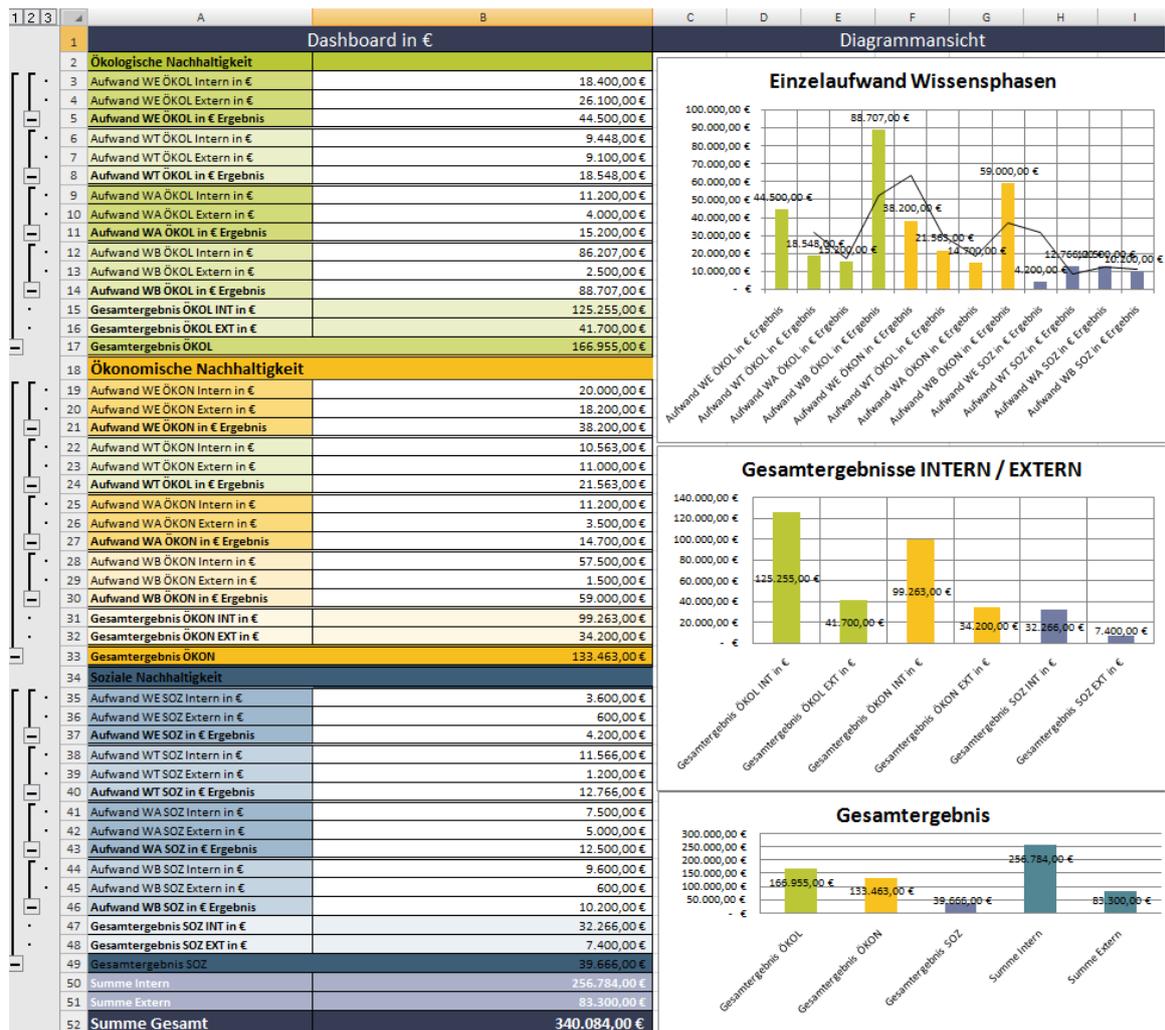


Abbildung 28 - Green KM Cube – Tabellarische Umsetzung (6)

4.2.2.2 Umsetzung Green KM Cube mittels Datenbanktechnologie

Die zweite Variante der Umsetzung des *Green Knowledge Management Cubes* erfolgt mittels Datenbanktechnologie, in diesem Fall der relationalen Datenbanksoftware Microsoft Access. Dies birgt den Vorteil, dass mehrere Vorhaben auf einmal erarbeitet, betrachtet und ggf. verglichen werden können. Basis hierzu ist die Erarbeitung eines Datenbankmodells welches sich folgendermaßen aufbaut: Zu jedem Vorhaben werden Untertabellen verknüpft in welchen 1..n Betrachtungen je Green Technologie hinzugefügt werden können. Auf diese Weise ist es möglich eine Thematik durch mehrere Experten bewerten zu lassen. Diese Bewertung kann dabei jeweils inhaltlich und numerisch stattfinden und im späteren Verlauf mit Hilfe von Abfragen und Reports realisiert werden. Dies ist ein Vorteil zur tabellarischen Implementierung, da dort jeweils immer nur eine Bewertung je Datei möglich ist.

Die beiden folgenden Abbildungen zeigen das Datenbankschema und Ausschnittsweise den Aufbau einer Untertabelle.

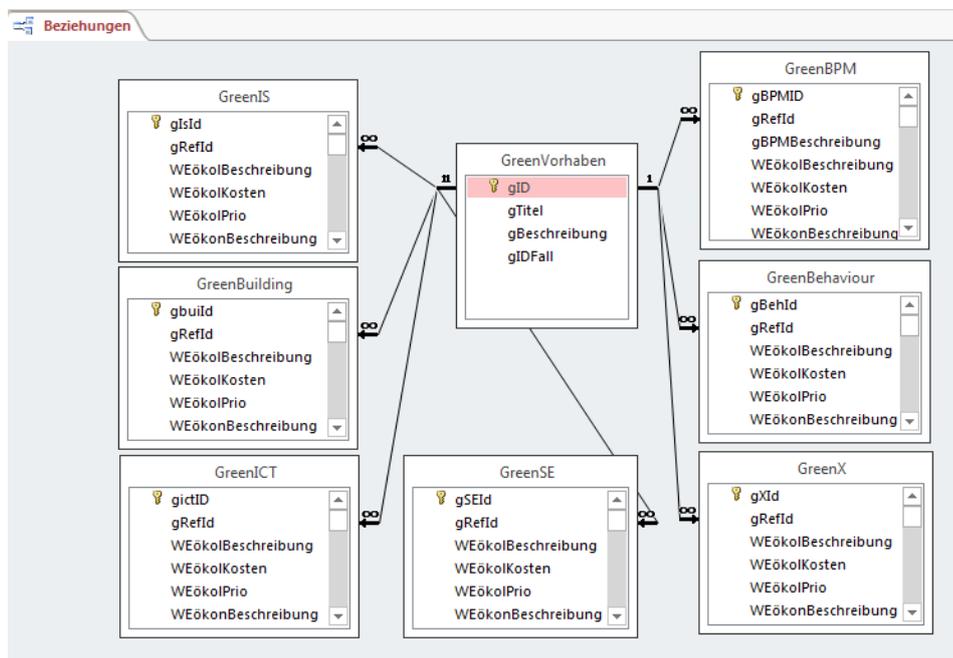


Abbildung 29 - Green KM Cube – Relationale Datenbank – Datenbankschema

Der dargestellte Tabellenausschnitt betrachtet die Datenbanktabelle *GreenBuilding*, deren Aufbau mit Ausnahme der Id identisch zu dem der weiteren Tabellen *GreenICT*, *GreenSE*, ... aufgebaut ist. Die gewählten Feldnamen sind dabei möglichst selbsterklärend gewählt.

Feldname	Felddatentyp	Beschreibung (optional)
gbuild	AutoWert	Primärschlüssel
gRefId	Zahl	Referenz ID zu Vorhaben
WEökolBeschreibung	Langer Text	Beschreibung für Wissenserfassung im Hinblick ökologischer Nachhaltigkeit
WEökolKosten	Währung	Kostenkalkulation für Wissenserfassung im Hinblick ökologischer Nachhaltigkeit
WEökolPrio	Kurzer Text	Priorisierung für Wissenserfassung im Hinblick ökologischer Nachhaltigkeit
WEökonBeschreibung	Langer Text	Beschreibung für Wissenserfassung im Hinblick ökonomischer Nachhaltigkeit
WEökonKosten	Währung	Kostenkalkulation für Wissenserfassung im Hinblick ökonomischer Nachhaltigkeit
WEökonPrio	Kurzer Text	Priorisierung für Wissenserfassung im Hinblick ökonomischer Nachhaltigkeit
WEsozBeschreibung	Langer Text	Beschreibung für Wissenserfassung im Hinblick sozialer Nachhaltigkeit
WEsozKosten	Währung	Kostenkalkulation für Wissenserfassung im Hinblick sozialer Nachhaltigkeit
WEsozPrio	Kurzer Text	Priorisierung für Wissenserfassung im Hinblick sozialer Nachhaltigkeit
WAökolBeschreibung	Langer Text	Beschreibung für Wissensanwendung im Hinblick ökologischer Nachhaltigkeit
WAökolKosten	Währung	Kostenkalkulation für Wissensanwendung im Hinblick ökologischer Nachhaltigkeit
WAökolPrio	Kurzer Text	Priorisierung für Wissensanwendung im Hinblick ökologischer Nachhaltigkeit
WAökonBeschreibung	Langer Text	Beschreibung für Wissensanwendung im Hinblick ökonomischer Nachhaltigkeit
WAökonKosten	Währung	Kostenkalkulation für Wissensanwendung im Hinblick ökonomischer Nachhaltigkeit
WAökonPrio	Kurzer Text	Priorisierung für Wissensanwendung im Hinblick ökonomischer Nachhaltigkeit

Abbildung 30 - Green KM Cube – Relationale Datenbank – Beispiel Green Building

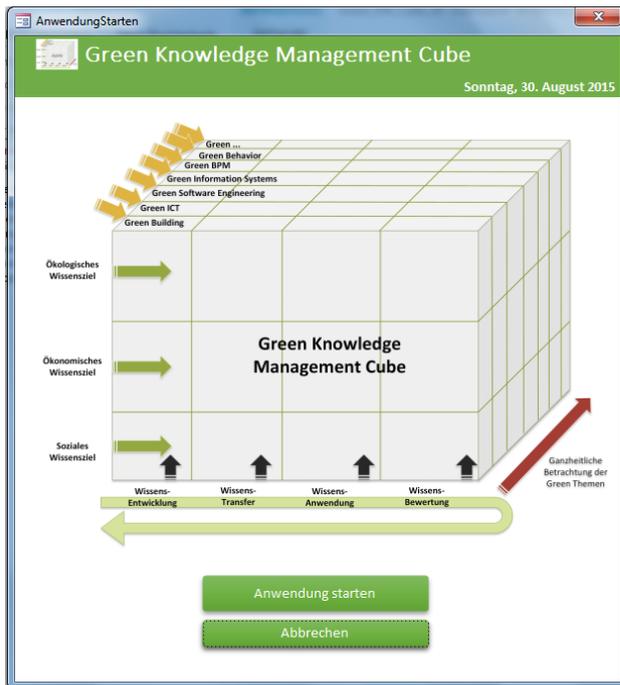


Abbildung 31 - Green KM Cube – Relationale Datenbank – Startdialog

Die Anwendung wird, wie bei der tabellarischen Variante, über einen Startdialog aufgerufen. Der Dialog gibt dabei noch einmal den anvisierten Würfel aus, welcher ein geplantes Vorhaben aus drei Nachhaltigkeitsperspektiven (ökologisch, ökonomisch, sozial), sieben Green Perspektiven (Green Building, Green ICT, Green Software Engineering, Green Information Systems, Green Business Process Management und Green Behavior) und vier Wissensprozessschritten (Wissenserfassung bzw. -entwicklung, Wissenstransfer, Wissensanwendung und Wissensbewertung) betrachtet. Über *Anwendung starten* wird diese aufgerufen.

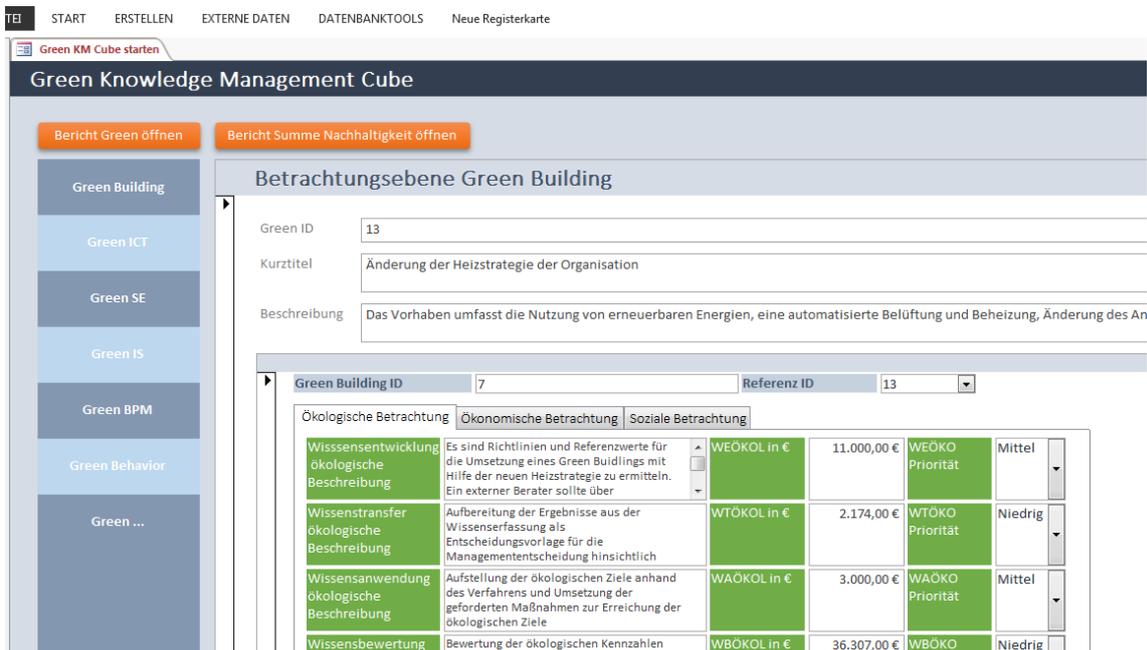


Abbildung 32 - Green KM Cube – Relationale Datenbank – Betrachtungsebene

Die Anwendung erlaubt die Navigation zwischen den einzelnen Green Ebenen auf der linken Seite und die Eingabe der Vorhabensbewertung für die jeweilige Green Ebene auf der rechten

Seite. Über die orangen Schaltflächen lässt sich zu den Auswertungsberichten wechseln.

Green Ebene	Summe
Summe Green Building (Ökologisch)	52.481,00 €
Summe Green Building (Ökonomisch)	30.763,00 €
Summe Green Building (Sozial)	5.666,00 €
Summe Green Building	88.910,00 €
Summe Green ICT (Ökologisch)	49.200,00 €
Summe Green ICT (Ökonomisch)	34.600,00 €
Summe GreenICT (Sozial)	12.500,00 €
Summe Green ICT	96.300,00 €
Summe GreenSE (Ökologisch)	4.100,00 €
Summe GreenSE (Ökonomisch)	5.800,00 €
Summe GreenSE (Sozial)	2.100,00 €
Summe Green SE	12.000,00 €
Summe GreenIS (Ökologisch)	11.000,00 €

Die Auswertung der Vorhabensbetrachtung erfolgt nach Green Ebene sortiert und aufsummiert.

Alternativ besteht eine Reportansicht, welche die Auswertung der Vorhabensbetrachtung hinsichtlich der Nachhaltigkeitsebenen sortiert und aufsummiert.

Abbildung 33 - Green KM Cube – Relationale Datenbank – Ansicht Report nach Green Ebenen

4.2.3 Resümee

Zusammenfassend ist zu resümieren das die prototypische Umsetzung des Green Knowledge Management Cubes auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen kann. Die Detailtiefe die bei der Bewertung der einzelnen Ebenen aufgegriffen wird ist ebenfalls variabel umsetzbar. Es ist somit auch denkbar diese Anwendung in das später vorgestellte Umweltwissenssystem, ein Data-Warehouse oder ein anderes bereits in einem Unternehmen bestehendes System zu integrieren. Ein Data-Warehouse würde sich aufgrund seiner Dicing-Verfahren anbieten, da auf diese Weise immer eine bestimmte Perspektive betrachtet und bewertet werden könnte. Die Frage ist allerdings, ob an dieser Stelle ein Data-Warehouse (Bauer & Günzel, 2013) für die Problemstellung nicht überdimensioniert ist. Dieses würde sich dann anbieten, wenn neben den aktuell abgefragten Faktoren bereits bestehende Maßnahmen und deren Key Performance Indikatoren mit in die Betrachtung und Entscheidungsunterstützung mit einbezogen würden. Der Vorteil läge aber in der Oberflächenunterstützten und flexiblen Auswertung der Ebenen.

Der zugrundeliegende Grundgedanke fußt immer auf der zusammenhängenden bzw. ineinandergreifenden Betrachtung vorhandener Green Initiativen (→ Kapitel 3) und dem hierzu notwendigen Wissen in den einzelnen Wissensphasen. Durch die gleichzeitige Berücksichtigung der drei Nachhaltigkeitsebenen werden alle Aspekte zur zukunftsorientierten Planung eines Vorhabens berücksichtigt. Die aktuell betrachteten Green Ebenen lassen sich in diesem Kontext z.B. durch Green Logistik oder Green Marketing erweitern oder auch nur teilweise befüllen, falls einzelne Ebenen von dem geplanten Vorhaben nicht berührt werden.

5 UmweltWiS – Konzeption eines Umweltwissenssystems

Green KM, Punkt (4): Erweiterung von Umweltinformationssystemen hin zu Umweltwissenssystemen durch den Einsatz von semantischen Technologien

5.1 Basiskonzept des Umweltwissenssystems (UmweltWiS)

Teilaspekt (4) der vorgestellten Green Knowledge Managements Definition betrachtet die Erweiterung bestehender Umweltinformationssysteme hin zu Umweltwissenssystemen. Hierzu wird dem Prinzip gefolgt, dass Informationen zu Wissen werden, indem diese miteinander vernetzt, in Kontext gesetzt und durch Metadaten angereichert werden (Bodendorf, 2006, S. 1-2). Eine reine Information, wie etwa ein Messwert an einer bestimmten Messstation, erlaubt für ein technisches System noch nicht die Möglichkeit Schlüsse zu ziehen und neues Wissen abzuleiten. Vielmehr ist eine erweiterte Repräsentationsform notwendig, welche anhand von Inferenz- und Reasoning-Mechanismen (Reasoning-Arten z.B. in (Lehmann & Bühmann, 2014)) ein Schließen von Wissen zulässt. Die für die Etablierung des Umweltwissenssystems ausgewählte Wissensrepräsentation bilden semantische Technologien. Diese Art der Wissensrepräsentation wurde nicht ohne Hintergrund ausgewählt, vielmehr erlaubt sie eine einheitliche und teilweise durch das W3C im Rahmen des Semantic Webs standardisierte Repräsentationsform zum Austausch von semantischen Datensammlungen. Derart veröffentlichte Datensammlungen werden auch als Linked Open Data (LOD) (W3C:LOD, 2014) bezeichnet und unterliegen dem Ansatz der flexiblen Einsetzbarkeit in unterschiedlichen Anwendungskontexten und der semantischen Kompatibilität von Inhalten in unterschiedlichen Sprachen oder unterschiedlichen Ursprungs. Nachfolgend wird der Aufbau eines derartigen Umweltwissenssystems konzeptuell beschrieben, wobei zu den einzelnen Bausteinen verschiedene Ansätze aus der Literatur oder dem Stand der Technik reflektiert und Anwendungspotentiale aufgezeigt werden.

Das Basiskonzept des Umweltwissenssystem, kurz UmweltWiS, wurde initial auf dem Workshop „Arbeitskreis Umweltinformationssysteme 2015 der Gesellschaft für Informatik“ vorgestellt (Dornhöfer & Fathi, UmweltWiS: Von Umweltinformationssystemen zu "Umweltwissenssystemen"?, 2015) und in Folgepublikationen (Dornhöfer & Fathi, Green Knowledge Management – Eine grüne Form des Wissensmanagements, 2016a), (Dornhöfer, Holland, & Fathi, Ein Umweltwissenssystem zur semantischen Vernetzung forstwirtschaftlicher Datenquellen, 2016b) referenziert bzw. in Anwendungskontexten dargestellt. Diese werden im späteren → *Kapitel 6* unter dem Thema Anwendungsfälle eingehender betrachtet. Die Idee hinter der Konzeption des **UmweltWiS** sieht eine generische Verwendung der Architektur sowohl für öffentliche als auch betriebliche Umweltwissenssysteme vor. Unterschiede würden sich in der Bereitstellung der Daten aus verschiedenen Quellsystemen oder der angebundenen Schnittstellen ergeben. Es sollte hierbei auch auf standardisierte Methoden gesetzt werden, um so eine leichte Integration neuer Schnittstellen zu ermöglichen und sich im Zuge des Ausbaus hin zu einer serviceorientierten Architektur zu entwickeln. Der Aufbau der UmweltWiS-Architektur lehnt sich

an dem gängigen Schema einer 3-Schichten-Architektur bestehend aus (1) Datenquellen & Datenhaltung, (2) Anwendungslogik und (3) Dialogkomponenten an. Diese können auf unterschiedlichen Systemen ausgeführt werden, wie etwa die Dialogkomponenten auf einem Client, die Datenhaltung jedoch auf einem Server (Bauer & Günzel, 2013, S. 150). Die folgende Abbildung visualisiert das Basiskonzept des UmweltWiS:

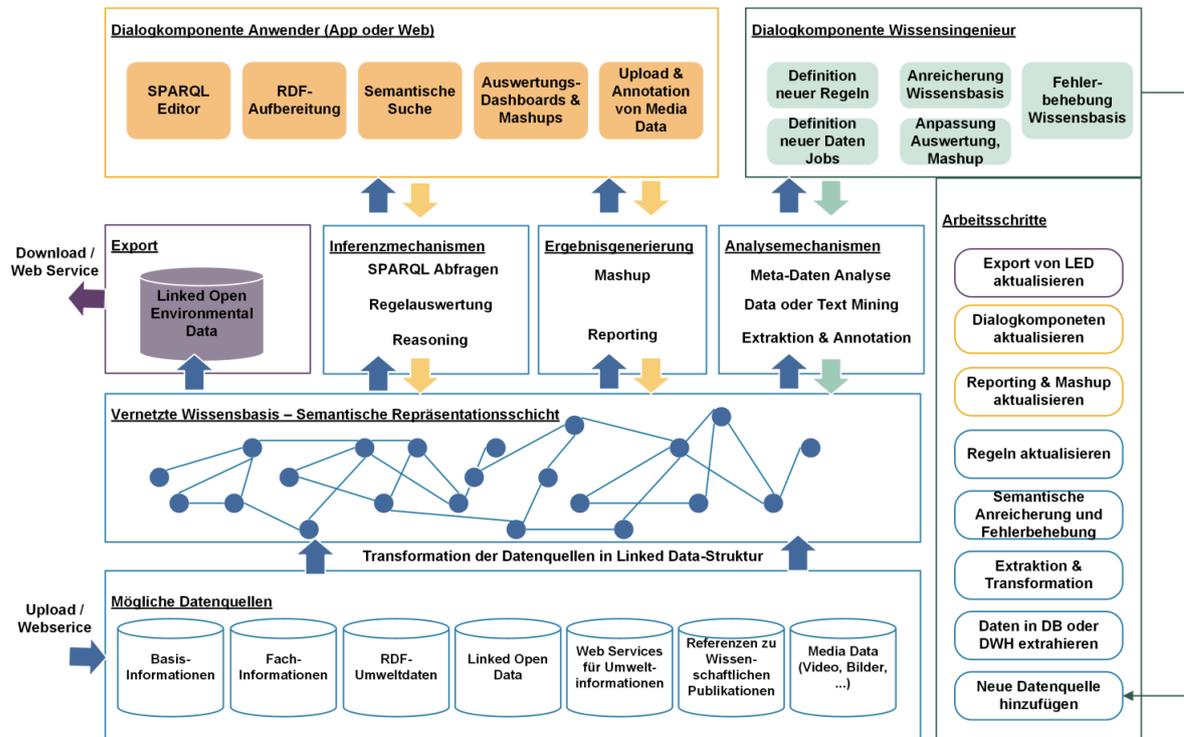


Abbildung 34 - UmweltWiS - Konzeptbild, publiziert in (Dornhöfer & Fathi, 2015)

Anhand des Konzeptbildes ergeben sich für die Umsetzung der Architektur des **UmweltWiS** die folgenden Bausteine:

Baustein	Kurzbeschreibung	Kapitel
UmweltWiS-Arbeitsschritte	Der Baustein <i>UmweltWiS-Arbeitsschritte</i> umfasst die Arbeits- bzw. Prozessschritte zur Administration und Aktualisierung des UmweltWiS. Hierzu gehört die Ergänzung neuer Datenquellen, Einbindung neuer Regeln, Generierung von Mashups oder Reports, Aktualisierung von Dialogen oder Unterstützung des Exports von Linked Environment Data (LED).	5.3
UmweltWiS-Datenhaltung	Die <i>UmweltWiS-Datenhaltung</i> umfasst die Integration unterschiedlicher Datenquellen und deren Aktualisierung.	5.4
UmweltWiS-Semantische Repräsentation	Die <i>semantische Repräsentation des UmweltWiS</i> bildet die Vernetzungsschicht zwischen den Daten aus den unterschiedlichen Datenquellen der Datenhaltungsschicht.	5.4

Baustein	Kurzbeschreibung	Kapitel
UmweltWiS-Import	Das <i>UmweltWiS-Import-Modul</i> steuert die Anbindung von Datenquellen und die Möglichkeiten zum Import von Datensammlungen.	5.5
UmweltWiS-Inferenz & Analyse	Das <i>UmweltWiS-Inferenz & Analyse-Modul</i> umfasst die Methoden zur Meta-Daten-Analyse, Data und Text Mining, Extraktion, Annotation, Regelabfrage bzw. allgemeinem Reasoning. Zusätzlich gehört die Generierung von Reports oder Mashups zu diesem Modul.	5.5
UmweltWiS-Export	Das <i>UmweltWiS-Export-Modul</i> steuert den Export und die Bereitstellung von Linked Environment Data zur weitergehenden Nutzung durch externe Anwender.	5.6
UmweltWiS-Dialogschnittstelle für Anwender	Die <i>UmweltWiS-Dialogschnittstelle für Anwender</i> sieht die semantische Suche und Aufbereitung der Wissensbasis für den Endanwender vor. Hierzu können etwa Mashups, Diagramme, Graphen oder textuelle Ausgaben gehören. Der Anwender sollte zusätzlich in die Lage versetzt werden eigene Mediadaten in die Wissensbasis hochzuladen oder diese zu annotieren.	5.7
UmweltWiS-Dialogschnittstelle für Wissensingenieur	Die <i>UmweltWiS-Dialogschnittstelle für Wissensingenieure</i> unterstützt die Tätigkeiten innerhalb der UmweltWiS Arbeitsschritte indem neue Regeln oder Daten Jobs angelegt, Fehler behoben oder Auswertungen generiert werden können.	5.7

Tabelle 4 - UmweltWiS-Bausteine

5.2 Vorbetrachtungen und Referenzarchitekturen

5.2.1 Überblick Semantische Technologien

Bevor eingehender betrachtet wird welche Referenzarchitekturen zur Etablierung des UmweltWiS Konzeptes und der einzelnen Module herangezogen werden können, wird zu Beginn eine Einleitung in das Thema semantische Technologien und deren unterschiedliche semantische Ausprägungen gegeben. Im späteren Verlauf sollen genau diese Semantischen Technologien den Unterschied zwischen einem reinen Umweltinformationssystem und einem Umweltwissenssystem herausbilden. In der Literatur wird von Semantischen Technologien aber auch von Semantic Web gesprochen. Nach BLUMAUER unterscheiden sich die Begriffe darin, dass „*semantische Technologien der (meist automatischen) Bedeutungerschließung [dienen], wohingegen das Semantic Web die bedeutungstragenden Elemente verknüpft und inhaltlich kontextualisiert*“ (Blumauer, 2014, S. 4). Ausgehend von der in → Kapitel 2.3 beschriebenen Ausgangssituation bzgl. der Nutzung von Umweltinformationen, ist eine einheitliche Repräsentation und Beschreibung der Informationen von entscheidender Bedeutung.

Hierzu bieten sich der Einsatz von Semantischen Technologien, Methoden des Semantic Webs und im Speziellen Linked Open Data Prinzipien an, um so eine Verknüpfung und ein Bedeutungsschließen zu realisieren. Basierend auf der folgenden Definition von DENGEL

existieren verschiedene semantische Verfahren, welche alle auf einer formalen Repräsentation der Informationen zu deren Austausch basieren. Eine semantische Repräsentation ist ein Konstrukt welches aus der Linguistik abgeleitet wurde und so etwa natürlich-sprachliche Sachverhalte formal abbildet und in Zusammenhang zueinander setzt. Einem Menschen ermöglichen seine kognitiven Fähigkeiten die Interpretation dieser Repräsentation, die Erkennung von Sachverhalten und Ableitung von Schlüssen z.B. zur Entscheidungsunterstützung (Helbig, 2008, S. 20-21).

Definition Semantische Technologien: „*Semantische Technologien bieten die notwendigen Verfahren und Darstellungsweisen, um die Bedeutung von sprachlichen Ausdrücken (also von Nachrichten bzw. Informationen, die zwischen Kommunikationspartnern ausgetauscht werden) explizit zu beschreiben und deutlich zu machen, und zwar insbesondere in formaler Weise.*“ (Dengel, 2012 S. 4)

Für ein IT-System muss diese Kognitionsfähigkeit „künstlich nachgebaut“ werden. Bestrebungen sehen Semantische Technologien daher als Teil der künstlichen Intelligenz zur Nachbildung der menschlichen Entscheidungsprozesse (Tochtermann & Maurer, 2006, S. 2). Die Semantik als Beschreibung der Bedeutung von Zeichen ist dabei ein Teil der Semiotik, welche neben der Semantik aus der Syntax besteht, also der Beschreibung der zulässigen Zeichen sowie der Pragmatik, welche die Bedeutung einer Situation zuordnet. In diesem Kontext fällt auch der Begriff des Semiotischen Dreiecks. (Galinski, 2006, S. 55), (Stuckenschmidt, 2011, S. 7) Im Rahmen einer Kategorisierung dieser Technologien lässt sich eine semantische Steigerung in deren Repräsentations- und folgerichtig Wissensableitungsmöglichkeiten erkennen. GEYER-HAYDEN (Geyer-Hayden, 2009, S. 129-130) beschreibt in ihrer Zusammenfassung von Wissensmodellierungsarten anfänglich *Ordnungstypen*, welche eine Kategorisierung und Sortierung von Begriffen nach bestimmten Kriterien erlauben, sowie *Relationstypen*, welche Verbindungen zwischen Begriffen nach einem bestimmten Muster aufzeigen. Diese beiden Grundmuster können als Basen angesehen werden auf denen die weiteren Methoden aufbauen. Abbildung 35 zeigt mögliche Verfahren und deren Verbindungen zueinander auf. Bei der Abbildung ist anzumerken, dass die Verfahren aus verschiedenen Quellen konsolidiert wurden, da während der Recherche festgestellt wurde das verschiedene Autoren die Verfahren aus unterschiedlichen Blickwinkeln (z.B. Linguistik, (Helbig, 2008, S. 4), Semantic Web (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008)) betrachten und unterschiedlich einordnen. Von entscheidender Bedeutung ist die Gewährleistung einer semantischen Interoperabilität der Systeme, um so einen reibungslosen Austausch von Informationen zu gewährleisten. In diesem Zusammenhang existieren verschiedene Level der Interoperabilität welche eine globale semantische Interoperabilität nur gewährleisten können, wenn sowohl aus maschinell als auch menschlichem Blickwinkel eine Verarbeit- und gleichzeitige Interpretierbarkeit gegeben sind (Galinski, 2006, S. 64). Probleme ergeben sich in diesem Zusammenhang am häufigsten durch die Heterogenität von Daten in Bezug auf Syntax, Struktur oder Semantik (Stuckenschmidt & van Harmelen, 2005, S. 3).

Mit Blick auf den „Austauschplatz Internet“ wird diese Interoperabilität durch die Umsetzung des Semantic Webs adressiert. Das Semantic Web ist ein Technologiemodell, welches Anfang der

2000er Jahre veröffentlicht und seit dieser Zeit kontinuierlich durch das W3C (W3C:SemanticWeb, 2014) weiterentwickelt und formalisiert wurde, wobei ein Themenbereich die Bereitstellung von Linked Open Data (W3C:LOD, 2014) bildet. Es fokussiert den Einsatz von semantischen Technologien zur standardisierten Vernetzung und Verarbeitung von Inhalten im Internet (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 11). Das Semantic Web besteht aus verschiedenen Schichten, die funktional aufeinander aufbauen und deren Standardisierung und Entwicklung kontinuierlich fortschreitet (Pellegrini & Blumauer, 2006, S. 20), (Fensel, et al., 2007, S. 26). Die unterste Schicht bilden die URIs (Uniform Resource Identifier), welche einzelne Web-Inhalte (z.B. Bilder) durch eine eindeutige Adresse identifizieren. Darüber ist die XML Ebene zur Formalisierung der Inhalte angeordnet, darauf aufbauend RDF und RDFS (W3C:RDF(S), 2014) sowie die zugehörige Anfragesprache SPARQL (W3C:SPARQL, 2013). Zur Abbildung einer Ontologie wird die OWL, die Web Ontology Language, vorgesehen (W3C:OWL2, 2012). Aufbauend auf der Ontologie ist es wiederum möglich mittels Regeln Wissen abzuleiten. Hierzu kann z.B. die Semantic Web Rule Language (SWRL) (W3C:SWRL, 2004) eingesetzt werden. Die darüber angeordnete Schicht bildet eine Logikebene, darüber wiederum eine Prüfebene sowie eine Sicherheitsebene. Eingerahmt wird das Modell durch kryptographische Verfahren aus dem Bereich der Signatur und Verschlüsselung, welche z.B. in XML-Strukturen eingebettet werden. (Fensel, et al., 2007, S. 26)

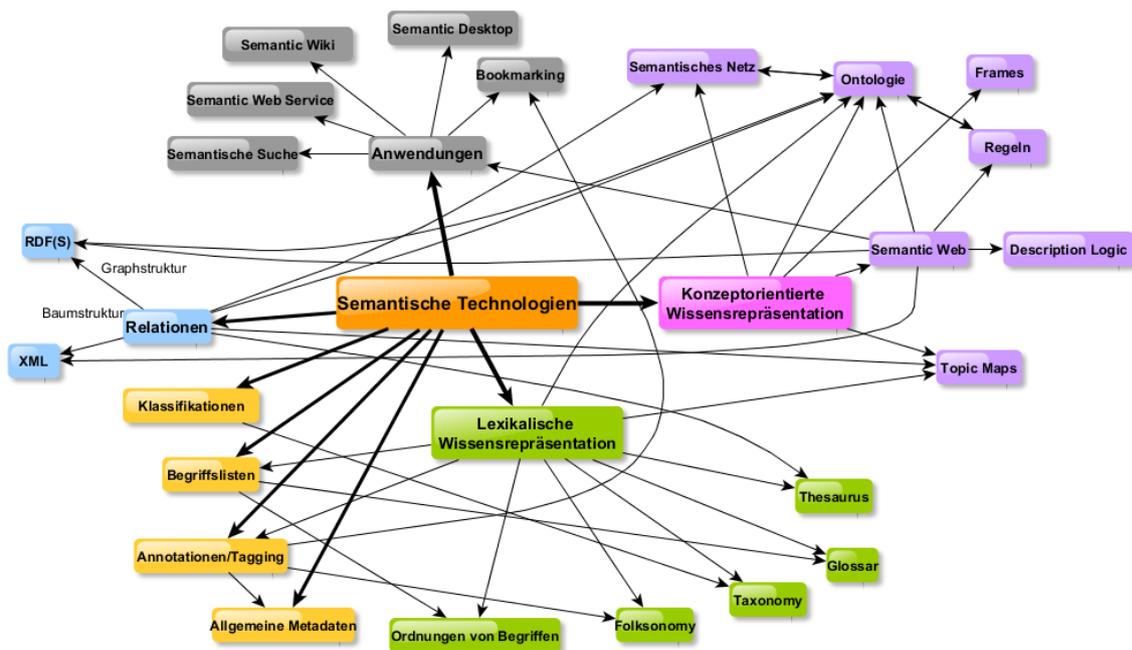


Abbildung 35 - Semantische Technologien, zusammengefasste Darstellung nach (Dengel, 2012), (Helbig, 2008, S. 4), (Geyer-Hayden, 2009, S. 127-146), (Hodge, 2000)

Nach BLUMAUER und PELLEGRINI unterscheiden sich Semantic Web und Semantische Technologien generell durch ihren formalen Charakter, welcher beim Semantic Web eindeutig gegeben und auf eine modellbasierte Formalisierung des Internets bezogen ist, während allgemeine Semantische Technologien eher situations- und problemorientiert Anwendung in verschiedenen Kontexten und Applikationen finden (Pellegrini & Blumauer, 2006, S. 20). Obleich Semantische Technologien nicht automatisch denen des Semantic Web entsprechen,

werden Ansätze aus beiden Bereichen in der Darstellung in *Abbildung 35* miteinander zusammenfassend in Beziehung gesetzt. Die dargestellten Verfahren zur Wissensmodellierung und -repräsentation lassen sich wiederum hinsichtlich ihrer semantischen Reichhaltigkeit sowie der Strukturierung der repräsentierten Daten einteilen (Dengel, 2012, S. 206), (Mika, 2007, S. 69), wobei die Ontologie als „*höchste Stufe der semantischen Reichhaltigkeit*“ gesehen wird (Pellegrini & Blumauer, 2006, S. 12;16). Da die Beschreibung der einzelnen Verfahren beliebig umfangreich gestaltet werden könnte, werden im Folgenden nur Kurzdefinitionen zu den wichtigsten Themen gegeben:

- **Glossar:** Ein Glossar beschreibt eine Zuordnung zwischen Begriffen und deren Bedeutung. Die bekannteste Form eines Glossars sind Wörterbücher, welche dem Wort dessen Bedeutung zuordnen oder eine Übersetzung zu diesem Wort geben.
- **Folksonomy:** Die Folksonomy ist eine Form der Taxonomie, wobei diese durch eine öffentliche Gruppe zusammengestellt wird, d.h. es wird eine Begriffssammlung und -sortierung durch die Gruppe erstellt. Das dahinterliegende Ziel ist z.B. Medieninhalte mit Schlagworten zu versehen und so die Suche nach Inhalten zu verbessern. Das „Tagging“ von Inhalten ist Grundlage einer Folksonomy. (Back, Gronau, & Tochtermann, 2009, S. 282, 285)
- **Taxonomie:** Bei einer Taxonomie handelt es sich um ein Gebilde aus Begriffen welche in „*Ober- und Unterklassen-Beziehungen*“ miteinander stehen (Dengel, 2012, S. 48) und ist demnach ein „*Klassifikationssystem*“ (Hüttenegger, 2006, S. 182-183). Im Vergleich zur Folksonomy wird diese in strukturierter Weise als „*Top-Down*“-Ansatz aufgebaut, anstelle die Begriffe gemeinsam zu sammeln (Back, Gronau, & Tochtermann, 2009, S. 282).
- **Thesaurus:** Der Thesaurus geht im Vergleich zu den vorherigen Methoden eine Ebene weiter und definiert neben der Bedeutung des Wortes auch Beziehungen zu anderen Begriffen und zeigt hierarchische oder nicht-hierarchische Verbindungen auf. So lassen sich Teil-von Beziehungen, Ober- und Unterbegriffe, Synonyme oder Antonyme und Assoziationen zu einem Begriff zuordnen. (Dengel, 2012, S. 92).
- **Semantisches Netz:** Ein semantisches Netz setzt Begriffe miteinander in Beziehung, jedoch nicht mehr auf hierarchischer Ebene, sondern in Form eines Graphen. Dabei werden die Begriffe als Knoten modelliert und die Kanten zeigen die Beziehungen zueinander und implizit die Entfernung der Begriffe voneinander auf. Eine Bewertung der Entfernung von zwei Knoten anhand bestehender Kanten erlaubt so das Schließen der Assoziationen zueinander. (Stuckenschmidt, 2011, S. 27-34)
- **Topic Maps:** Topic Maps sind ein nach ISO 13250 standardisiertes Verfahren zur Verknüpfung von Wissen und zugehörigen Informationen (Dengel, 2012, S. 94, 100). Eine Topic Map wird dabei aus den drei Elementen: Topics, Occurrences und Associations aufgebaut (Le Grand & Soto, 2006, S. 60). Wie die Übersetzung des Begriffs bereits suggeriert, sind Topics beliebige Begriffe oder Dinge. Occurrences sind gleichsam Stellen an denen die Topics von Relevanz sind oder die mit diesen in Verbindung stehen. „*Jede Ressource, die für ein Topic relevant ist, wird als Occurrence dieses Topics betrachtet.*“ (Hüttenegger, 2006, S. 186) Über Associations werden Verbindungen zwischen Topics, sprich eine Semantik hergestellt (Le Grand & Soto,

2006, S. 61). Nach (Hüttenegger, 2006, S. 186-187) können sowohl eine Taxonomie als auch eine Ontologie via der Mechanismen einer Topic Map abgebildet werden.

- **RDF bzw. RDFS:** RDF (kurz für Resource Description Framework) ist ein W3C-Standard (W3C:RDF(S), 2014) des Semantic Webs, welcher zur Beschreibung und graph-basierten Vernetzung von Ressourcen verwendet wird, welche wiederum über URIs gekennzeichnet sind. Die Graph-Struktur von RDF besteht dabei aus Subjekt-Prädikat-Objekt-Beziehungen (Fensel, et al., 2007, S. 31). Das RDF-Modell baut auf die darunterliegende XML Ebene des Semantic Webs auf, kann aber auch in einer anderen Syntax repräsentiert werden. Mittels RDFS wird die Möglichkeit gegeben ein Schema zu erstellen, welches die Terminologie der Struktur definiert. (Stuckenschmidt & van Harmelen, 2005, S. 6-10) Abfragen aus RDF Graphen können etwa mit SPARQL (W3C:SPARQL, 2013) realisiert werden. Die SPARQL Protocol And RDF Query Language ermöglicht dabei komplexe Abfragen wie etwa OLAP-Abfragen im Kontext von Business Intelligence (Blumauer, 2014, S. 11).
- **Logik:** Mit Hilfe der Repräsentationsform der Logik wird die Möglichkeit gegeben semantische Zusammenhänge in formaler mathematischer Weise abzubilden (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 163). So lassen sich Semantische Netze, RDF-Zusammenhänge oder Ontologien in Form von „*logische[n] Formeln*“ repräsentieren. Dies „*basiert auf der direkten Korrespondenz zwischen Graphen und Relationen, die sich wiederum als Prädikate ausdrücken lassen.*“ (Stuckenschmidt, 2011, S. 34-44) Ein spezieller Bereich der eingesetzten Logik ist die Beschreibungslogik (Description Logic), welche selbst ein „*Fragment der Prädikatenlogik*“ darstellt (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 163).
- **Ontologie:** Ontologien werden immer von mehr als einer Person genutzt (Stuckenschmidt, 2011, S. 22), um so einen gemeinsamen Themenbereich und das assoziierte Wissen für die Nutzer eindeutig zu repräsentieren (Ehrig & Studer, 2006, S. 469). Dieser Themenbereich wird zumeist als „Domain“ bezeichnet. Die bekannteste und in verschiedenen Quellen wieder zitierte Definition einer Ontologie ist die von Gruber aus 1993 (Gruber, 1993): „*An ontology is an explicit specification of a shared conceptualization*“, sprich eine gemeinsame Konzeptbildung zur Aufbereitung eines vorliegenden Sachverhalts bzw. „Weltausschnitts“. Entsprechend definiert die Ontologie ein Konzept oder Schema, welchem Instanzen zugeordnet werden können. STUCKENSCHMIDT nennt dies das „*Prinzip der logischen Formalisierung*“ bei welchem eine Repräsentation die vorhandenen Zusammenhänge modelliert, welche dann durch Instanzen der realen Welt abgebildet werden (Stuckenschmidt, 2011, S. 35). Die Ontologie bildet von allen vorgestellten semantischen Ansätzen die größten semantischen Möglichkeiten (Pellegrini & Blumauer, 2006, S. 12). Weitere Aspekte hinsichtlich des Ontologie-Engineerings werden in → *Kapitel 5.4.4.1*, im Zuge der Entwicklung des UmweltWiS-Vernetzungsschemas vorgestellt.

5.2.2 Referenzarchitekturen zur Umsetzung des UmweltWiS

Bevor eingehender auf die in → *Kapitel 5.1* beschriebenen Bausteine des UmweltWiS eingegangen wird, ist zu reflektieren anhand welcher Bausteine und Referenzarchitekturen sich

das Konzept des UmweltWiS entwickelt hat. Hierzu werden sich auf die Vorbetrachtungen und Analysen hinsichtlich des Zusammenspiels von Umweltmanagement und Wissensmanagement sowie der vorhandenen Green Technologien inkl. der Entwicklung des Green Knowledge Management Cubes gestützt.

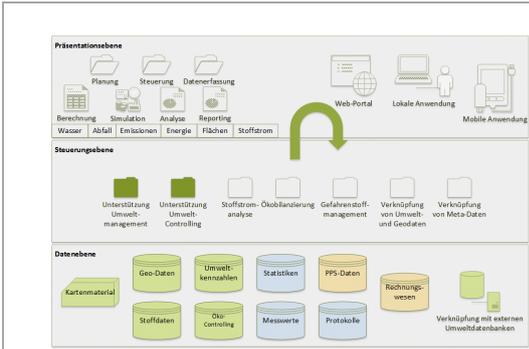
Referenzarchitekturen anhand der bisherigen Betrachtungen:

Prinzipiell ist das UmweltWiS eine Erweiterung eines Umweltinformationssystems (UIS), welches nicht mehr nur einzelne Informationsquellen aufbereitet, sondern durch den Einsatz semantischer Technologien eine Vernetzung der Inputquellen zur Schaffung eines Mehrwertes für die Endanwender anstrebt. Anhand der durchgeführten Recherchen konnte der Begriff Umweltwissenssystem bislang in dieser Form nicht in den einschlägigen Quellen der Umweltinformatik ermittelt werden. Vielmehr wird von UIS, deren Erweiterung um mobile Techniken oder Umweltportalen gesprochen. Auch fällt der Begriff Web-UIS oder Umweltinformationssystem 3.0 (Döpmeier, et al., 2014), welches als Weiterentwicklung eines UIS seitens des Landes Baden-Württemberg angestrebt wird. Dieses setzt auf eine serviceorientierte Architektur zur Unterstützung von Web- und mobilen Darstellungen und tangiert bereits das Thema semantisch angereicherter Daten.

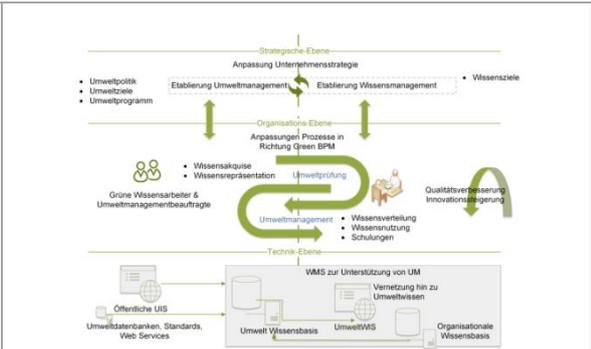
Beachtet man die für UIS publizierten Architekturen (→ *Kapitel 2.3*), so lässt sich ein UIS aus unterschiedlichen Komponenten aufbauen. Basis bildet etwa ein Content Management System mit einem Experteninterface und einem öffentlichen Zugang. Neben Basis-Informationssystemen und Fach-Informationssystemen kann zur Anreicherung der Daten eine Meta-Daten-Komponente Anwendung finden ebenso können weitere externe Systeme eingebunden werden, aber auch Kommunikationskomponenten und Reporting- oder Berichtssysteme (Fischer-Stabel, 2013, S. 7), (Dornhöfer & Fathi, 2015). Dieser Ansatz dient entsprechend als Grundlage für die Entwicklung der Architektur des UmweltWiS.

Als Referenzen werden des Weiteren vier bereits betrachtete und vorgestellte Architekturen herangezogen. Hierbei handelt es sich

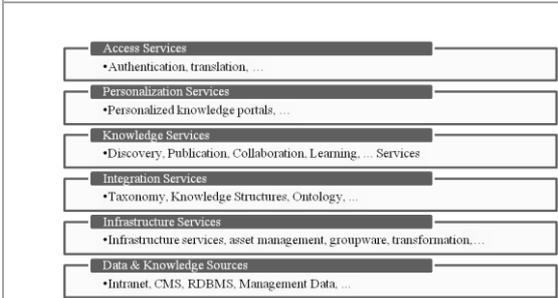
- (1) um eine erarbeitete Referenzarchitektur eines UIS, welche aus verschiedenen Quellen zusammengeführt wurde,
- (2) die angestrebte Interaktion zwischen Umwelt- und Wissensmanagement,
- (3) die von (Maier, 2007, S. 319) vorgestellte Referenzarchitektur eines Wissensmanagementsystems,
- (4) sowie die Referenzarchitektur eines Wissensbasierten Systems von (Bodendorf, 2006, S. 154) und (Beierle & Kern-Isberner, 2014, S. 18).



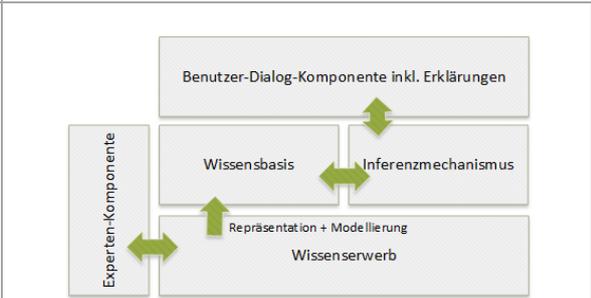
(1) Aufbau UIS, → *Abbildung 4, S. 20*



(2) Interaktion UM & WM, → *Abbildung 8, S. 51*



(3) Architektur WMS, → *Abbildung 10, S. 55*



(4) Architektur WBS, → *Abbildung 11, S. 56*

Ansätze der Europäischen Kommission

Blickt man in diesem Zusammenhang auf Entwicklungen hinsichtlich öffentlicher UIS, so ist sicherlich auch ein Planungspapier der Europäischen Kommission aus 2013 (Europäische Kommission:SEIS, 2013, S. 2) als Referenz zu nennen. Dieses benennt sieben Kernanforderungen aus 2008 (Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 2008) an die Form der bereitzustellenden Umweltinformationen: Umweltinformationen sollen quellnah verwaltet werden (1), gleichzeitig auch eine vielseitige Einsetzbarkeit ermöglichen (2), so dass eine Verfügbarkeit (3) für unterschiedliche Endbenutzer (4) gegeben ist. Nur auf diese Weise ist eine Vergleichbarkeit (5) möglich. Eine Kerncharakteristik im öffentlichen UIS Bereich ist zudem der publike Zugang zu Umweltinformationen (6) auf Basis "kostenfreie(r), quelloffene(r) Softwarestandards" (7). Umweltinformationen dienen in diesem Kontext auch als Entscheidungsgrundlage. Diese ist nur dann gegeben, falls deren Qualität, Relevanz, Umfang, Granularität und Vergleichbarkeit vorhanden sind. Das Arbeitspapier der Europäischen Kommission kritisiert (Europäische Kommission:SEIS, 2013, S. 4) jedoch genau diese Aspekte, da nach fünf Jahren die zuvor genannten Kriterien sowie die Interoperabilität zwischen den in benachbarten Ländern ermittelnden Informationen nicht in ausreichender Weise gegeben sei und Daten doppelt erhoben oder nicht zielgerichtet geteilt werden. Hinsichtlich der Informationssysteme wird kritisiert, dass diese teilweise nicht anforderungsnah konzipiert werden, Funktionen zur aktiven Interaktion der Bürger fehlen, die Zugänglichkeit und Dokumentation der Informationen unzulänglich ist und auch die Aktualität der Informationen zu verbessern ist (Europäische Kommission:SEIS, 2013, S. 3-6). „Mittel- bis langfristig sollte ein Schwerpunkt auf kompatiblen Informationssystemen in den Mitgliedstaaten liegen, [...] die in

Echtzeit oder beinahe in Echtzeit Überwachungs- und Leistungsdaten liefern, außerdem archivierte Langzeitreihen, die für das Verständnis der Funktionsweise von Ökosystemen und ihrer Reaktion auf Umweltbelastungen erforderlich sind.“ (Europäische Kommission:SEIS, 2013, S. 6-7).

Referenzarchitekturen auf Basis semantischer Ansätze

Wie bereits zuvor angedeutet, verfolgt das Konzept des UmweltWiS den Einsatz von semantischen Ansätzen zur Erweiterung eines Umweltinformationssystems zu einem Umweltwissenssystem. Aus diesem Grund werden die folgenden semantischen Ansätze und Entwicklungen als Referenzarchitekturen für die spätere Umsetzung herangezogen. Die Möglichkeiten der semantischen Wissensrepräsentation wiederum werden als Überblick in → *Kapitel 5.2.1* erläutert. Zu Anfang wird die von HEATH und BIZER (Heath & Bizer, 2011) vorgestellte **Architektur einer Linked Data Applikation** bestehend aus einer

- Anwendungsschicht,
- einer Datenzugriffs- und Datenspeicherungsebene,
- dem Web of Data, also den vernetzten Daten
- und einer Publikationsschicht zur Einbindung von bestehenden Datenbanken

betrachtet. Diese ist als Referenz zu sehen, da die spätere Logikschicht des UmweltWiS durch Linked Data gebildet wird und die genannten Funktionen in gewissem Umfang auch innerhalb des Umweltwissenssystems aufgegriffen werden. Die Autoren sehen den Anker für die Umsetzung der Architektur der *Linked Data Applikation* in dem notwendigen Use Case, auf welchem aufbauend drei Muster ermittelt wurden. Das erste Muster ist das *Crawling Pattern*, welches auf Suchmechanismen basiert und so RDF Links nach Notwendigkeit ermittelt und einbindet. Die Verfolgung der Links kann auch vorab geschehen und zwischengespeichert werden, um so eine verbesserte Performance bei einer aktuellen Abfrage zu gewährleisten. Das zweite Muster wird als *On-The-Fly Dereferencing Pattern* bezeichnet und beinhaltet eine direkte Verfolgung der Links zum Zeitpunkt der Anfrage, was einen Nachteil im Hinblick auf die Performance der Anwendung bedeutet. Das letzte Muster ist das *Query Federation Pattern*, welches auf einem festen Datenset arbeitet. Nachteile hinsichtlich der Performance ergeben sich auch hier, etwa bei großen Datensets oder einer Anzahl verschiedener Quellen, welche miteinander verknüpft werden müssen. (Heath & Bizer, 2011)

Im Rahmen des EU FP7 Projektes LOD2 der Universität Leipzig (Auer, Introduction to LOD2, 2014) wurde der Ansatz **LinkedGeoData** (LinkedGeoData Projekt, 2016) entwickelt, welcher das Ziel verfolgt den offenen Kartendienst OpenStreetMap (OPM) (OpenStreetMap, 2016) mittels Linked Open Data anzureichern: „*The goal of our LinkedGeoData (LGD) project is to provide a rich integrated and interlinked geographic dataset for the Semantic Web*“. (Stadler, Lehmann, Höffner, & Auer, 2012) Hierzu werden OPM Geo-Daten in RDF-Daten transformiert. Des Weiteren werden u.a. DBpedia (z.B. (Lehmann, et al., 2015a)), Geonames und FAO (Food and Agriculture Organisation) Quellen in Form von Linked Open Data Tripeln eingebunden und mittels RDF-Mapping aufeinander abgebildet. Die auf diese Weise integrierten und verlinkten Geodaten, werden u.a. als Datendownload, statischer und live SPARQL-Endpunkte sowie über eine REST API publiziert. Im Anschluss an das LGD Projekt wurde das **GeoKnow Projekt**

(GeoKnow Projekt, 2015), ebenfalls ein EU Projekt, zwischen 2012 und 2015 durchgeführt. Dieses baut auf LGD auf und verfolgte das Ziel eine Verbesserung der Qualität sowie der Prozesse „*publishing, querying, interlinking and quality assessment*“ von Linked Open Data zu realisieren. Der Fokus liegt dabei erneut auf „*geospatial data*“. (Lehmann, et al., 2015b) Ein weiteres zu nennendes Projekt ist das BMWI **Hippolytos Projekt**, welches den Einsatz von semantischen Technologien zur Anreicherung von "*Umweltdaten mit Raumbezug*" fokussiert, wobei dieses auf eine automatisierte Annotation zur Erzeugung semantischer Strukturen setzt. Die Suche wird durch eine semantische Indexierung unterstützt. (Abecker, Kazakos, Nagypal, & Valikov, 2011)

Die eben genannten Linked Open Data Quellen DBPedia, GeoNames und FAO werden aufgrund ihrer flexiblen Einsetzbarkeit u.a. auch für das UmweltWiS-Vernetzungsschema herangezogen (→ *Kapitel 5.4.2.2*), dass integrierte und sehr umfangreiche GeoKnow Dataset jedoch nicht, da der Fokus des UmweltWiS weniger auf dem Geodata Ansatz liegt. Das UmweltWiS soll als Wissenssystem, aber auch zur Unterstützung von Umweltmanagement und Umweltcontrolling Anwendung finden, so dass u.a. auch die Thematiken von Umweltproblemen und zugehörigen Umweltaktionen und deren Messung und Dokumentation betrachtet werden. Der Fokus wird also weniger auf der Bereitstellung von Geo-Datasets liegen, obgleich die Anbindung einer Kartenanwendung einen großen Mehrwert bilden würde. Da es sich bei LGD und GeoKnow grundsätzlich um sehr groß angelegte und geförderte Forschungsprojekte handelte, kann der im Rahmen der vorgelegten Promotion vorgestellte UmweltWiS-Ansatz nicht in dem Umfang praktisch realisiert werden. Dennoch wird das Konzept und die in (Stadler, Lehmann, Höffner, & Auer, 2012) vorgestellte Architektur als Referenzarchitektur zur Erarbeitung des Umweltwissenssystems gesehen, da die Autoren das generelle Vorgehen zur Etablierung einer integrierten LOD Anwendung aufzeigen.

Überdies wurde die von FAERBER ET AL. vorgestellte Architektur eines **ontologiebasierten Knoweldge Navigators** aufgegriffen, wobei die Autoren ebenso die Datenintegration „*sowohl in syntaktischer als auch semantischer Hinsicht [als] eine wichtige Herausforderung*“ sehen (Faerber, Archne, Jochaud, & Jablonski, 2009, S. 21). Das Konzept sieht dabei die Möglichkeit einer kontextsensitiven Anreicherung der Wissensdatenbank vor, wobei der Anwendungsfall einen Import von Messwerten in Excel-Format darstellt. Hierzu wird von den Autoren auf ein bereits bestehendes Ontologieframework aufgesetzt (Faerber, Archne, Jochaud, & Jablonski, 2009, S. 23-25).

Abschließend ist an dieser Stelle das **LDIF-Framework** (A Framework for Large-Scale Linked Data Integration) (Schultz, Matteini, Isele, Mendes, Bizer, & Becker, 2012) zu referenzieren, welches einen ähnlichen Schichtenansatz wie das UmweltWiS verfolgt. Das Framework integriert verschiedene Datenquellen über Wrapper, transformiert diese mit Hilfe eines Mappings auf ein einheitliches Schema, realisiert eine Vereinheitlichung der Verweise auf Zielidentitäten, filtert und fusioniert die Daten und stellt diese schließlich als Output zur Weiterverwendung bereit. Die Schnittstellen bilden hierzu SPARQL oder RDF APIs.

5.3 UmweltWiS-Arbeitsschritte zur Einbindung des UmweltWiS in bestehende Organisationen

Zur Etablierung des UmweltWiS ist neben den technischen Gegebenheiten eine Definition der zugehörigen Geschäftsprozesse notwendig, um so eine Einbindung der Anwendung in bestehende Umweltmanagement- und Nachhaltigkeitsvorgänge innerhalb einer Organisation zu ermöglichen. Aus diesem Grund wurde sich dazu entschieden den in ISO 14001 (DIN EN ISO 14001, 2009) bzw. (DIN EN ISO 14001 - v2015, 2015) genannten Prozessablauf zur kontinuierlichen Verbesserung des Umweltmanagementprozesses innerhalb der Organisation als Grundlage zu verwenden. Dieser Prozess ist ebenso Teil von EMAS III (EMASIII, 2009), so dass es für die Einbindung des UmweltWiS unabhängig ist, ob die Organisation über eine ISO 14001 oder EMAS III Zertifizierung verfügt.

Der Umweltmanagementprozess beinhaltet in groben Schritten die Definition der Umweltpolitik, die Festlegung der Umweltplanung, deren Umsetzung und Betrieb, eine Überprüfung und schlussendlich eine Managementbewertung. Darin integriert wird zur Umweltplanung die Bewertung von Green Maßnahmen mittels des Green KM Cube (*→ Kapitel 4.2*) vorgesehen. Im Zuge von Umsetzung und Betrieb wird Wissen aus dem UmweltWiS abgefragt. Für den Fall, dass das passende Wissen nicht vorhanden ist, ist die Abfrage von Wissen aus den bestehenden Quellen und dessen Integration in die UmweltWiS Wissensbasis anzustoßen.

Sollten die beiden angesprochenen Umweltmanagementverfahren innerhalb einer Organisation bislang keine Anwendung finden, so können die vorgestellten Prozessschritte zur Einbindung des UmweltWiS in die Prozesslandschaft dennoch durchlaufen werden. Es würden in diesem Zusammenhang lediglich die zentralen Managementprozesse hinsichtlich der Definition der Umweltpolitik, der Umweltplanung, deren Umsetzung, Korrekturmaßnahmen und Managementeinschätzung fehlen. Stattdessen müsste das Management eigenständig ökologische Ziele definieren, welche unabhängig von einer Umweltzertifizierung sind, so dass z.B. mittels des vorgestellten Green Knowledge Management Cubes eine Bewertung dieser Maßnahmen oder Ziele vorgenommen werden kann. Im Betrieb würde dann das UmweltWiS zur Vernetzung der Umweltdaten hin zu Umweltwissen Anwendung finden. Hierzu ist für Entscheidungssituationen oder zur Ermittlung von Zusammenhängen festzulegen, ob das notwendige Wissen innerhalb des Systems bereits vorhanden ist, oder ob eine zusätzliche oder neue Einbindung von externen Quellen notwendig wird. In diesem Falle würde ein Sub-Prozess aufgerufen, welcher diese neuen Daten einfügt.

Ebenso kann das erarbeitete Green Knowledge Management Modell und die dort benannten Green KM Prozessschritte aus *→ Abbildung 20* in den Prozessablauf integriert werden und so noch stärker den Wissenscharakter der Anwendung betonen. Dies wird in der folgenden Abbildung durch die grün hinterlegten Prozessschritte angedeutet. Es wurde aufgrund der Übersichtlichkeit darauf verzichtet diese mit Pfeilen mit den anderen Prozessblöcken zu verknüpfen. Stattdessen wurde die Klammerfunktion mit Punkt-Verbindungen angedeutet.

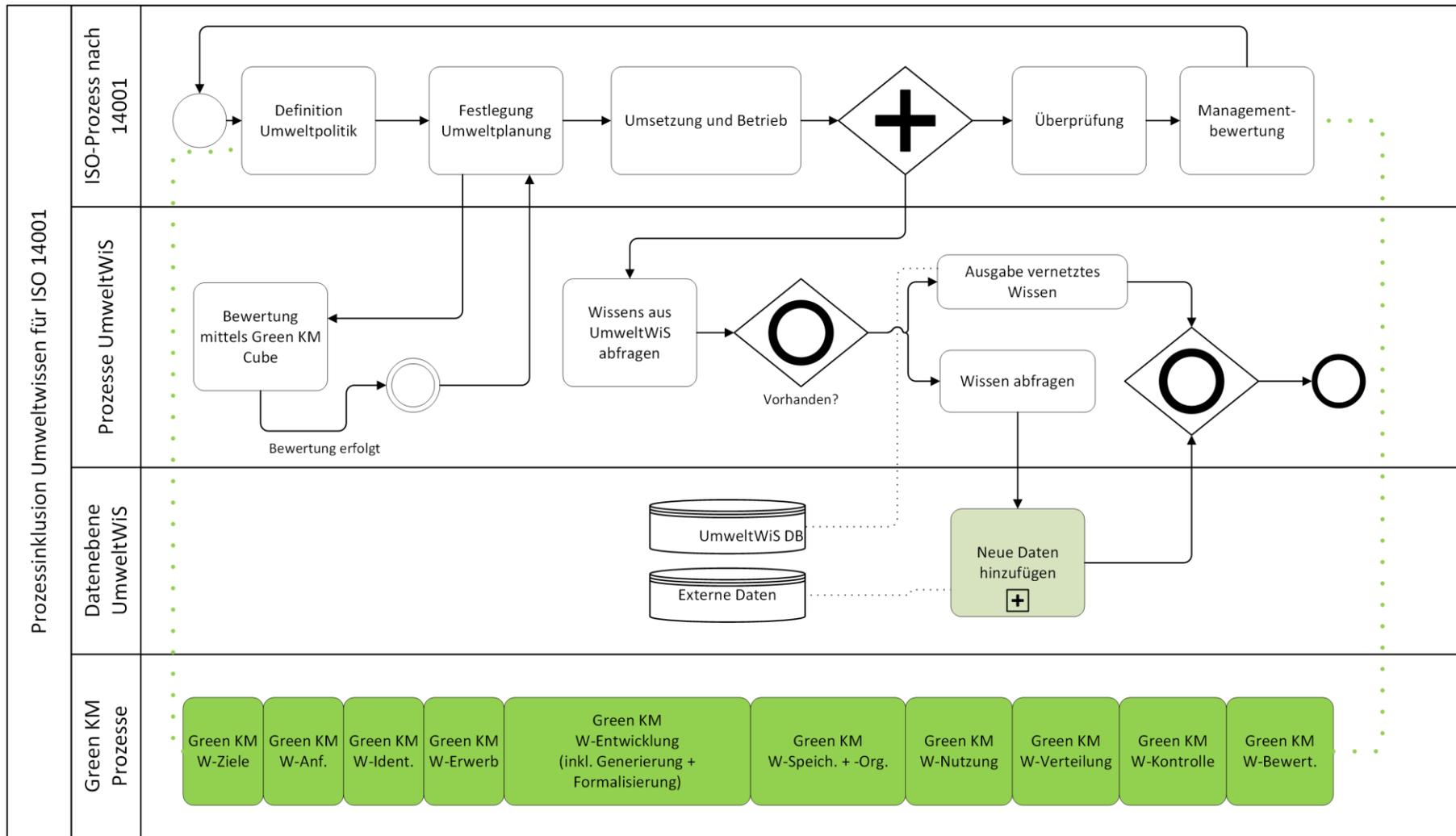


Abbildung 36 - Prozessschaubild – Integration des Umweltwissensprozess in DIN ISO 14001 Prozess

5.4 UmweltWiS-Import, -Datenhaltung & Semantische Repräsentation

5.4.1 UmweltWiS-Import

Neben den zuvor vorgestellten Prozessschritten zur Einbindung des UmweltWiS in die bestehende Organisation, im Idealfall zur Unterstützung des bestehenden Umweltmanagements, sind weitere Prozesse zu definieren wie die notwendigen Daten akquiriert, integriert, vernetzt, abgefragt und analysiert werden können. Zur Einbindung neuer oder externer Datenquellen ist zu berücksichtigen, dass die fundamentale Logik des Umweltwissenssystems die Verwendung von Linked Data Strukturen, also vernetzten Graph-Strukturen bildet. Details zu diesem Schritt geben die → *Kapitel 5.4.3* und *5.4.4*. Da die extern zugelieferten Daten jedoch nicht zwingend als Linked Data vorliegend sind, ist ein Prozess zu definieren welcher diese in die bestehende Logik integriert und mit den Daten vernetzt. Ähnlich zu den Vorgängen zur Extraktion und Transformation der Daten bei deren Integration in ein Data-Warehouse (Bauer & Günzel, 2013), sind diese Schritte auch hier zu durchlaufen, wobei ein zusätzliches Mapping und eine Vernetzung mit der bestehenden Struktur notwendig werden.

Analyse von Referenzprozessen zur Integration von Linked Open Data: Im ersten Schritt wurden hierzu der von (A) AUER ET AL. aus verschiedenen Phasen bestehende Prozess für die Integration von Linked Open Data sowie die von (B) BAUER und KALTENBÖCK, (C) BRYL ET AL. & HEATH und BIZER, (D) PELLEGRINI, (E) ISELE, aber auch SCHULZ ET AL. (Schultz, Matteini, Isele, Mendes, Bizer, & Becker, 2012) im Kontext des LDIF Frameworks publizierten Prozessschritte untersucht und in verschiedener Weise zur Umsetzung des UmweltWiS Prozesses wieder aufgegriffen:

- (A) Der Prozess von AUER ET AL. basiert auf dem Forschungsprojekt LOD2 (→ *Kapitel 5.2.2*) (Auer, Bryl, & Tramp, 2014) und beginnt mit der Extraktion der Daten aus den einzubindenden Datenquellen, danach erfolgt eine Speicherung und Abfrage der Daten. Um den Mapping-Vorgang zu realisieren sehen die Autoren eine manuelle und automatisierte Verlinkung, eine Klassifikation, eine Anreicherung mit Meta-Daten und schlussendlich eine manuelle Revision der Daten vor. Der Prozess ist zudem als kontinuierlicher Verbesserungsprozess angelegt, so dass zu Ende eine Evolution und Fehlerbehebung stattfinden. Als Abfrageverfahren wird ein Such- und Explorationsverfahren vorgeschlagen, um so schlussendlich die Daten zu durchlaufen und zu durchsuchen. (Auer, Lehmann, & Ngonga Ngomo, 2011, S. 2), (Auer, Pietzsch, & Unbehauen, 2014, S. 93-94), (Auer, 2014, S. 3-5).
- (B) Nach BAUER und KALTENBÖCK liegt der erste Schritt zur Integration von Linked Open Data in der Analyse und Bereinigung der zu veröffentlichenden Daten. Danach folgt eine Modellierung und Wahl der passenden RDF-Vokabulare, die Spezifizierung der passenden Lizenzen für die zu veröffentlichenden Daten, eine Konvertierung hin zu RDF-Daten, die Verlinkung der Daten mit anderen vorhandenen Daten und einer abschließenden Veröffentlichung und Bekanntgabe der Daten für andere Anwender (Bauer & Kaltenböck, 2011, S. 31-32). Betrachtet man den Nutzungsaspekt von LOD, so bietet es sich ebenfalls an einen konkreten Prozess hierzu aufzusetzen (Bauer & Kaltenböck, 2011, S. 36-38): Nach diesem sollte zu Beginn eine Spezifikation der

konkreten Use Cases stehen, bei welchen die LOD später zum Einsatz kommen (1). Nur auf Basis dieser Use Cases ist eine Evaluierung von relevanten Datenquellen und Datensets sinnvoll (2). Des Weiteren ist vor der Einbindung von externen LOD eine Überprüfung der zugehörigen Lizenzbestimmungen notwendig (3) und die Festlegung welche Daten zur Wiederverwendung eingebunden werden sollen (4). Danach beginnt eine Verknüpfung und ein Matching mit den eingebundenen Vokabularen (5), die Festlegung einer Aktualisierungsstrategie (6), die Erzeugung von Mashups eines User-Interfaces oder weiterer Anwendungen (7) welche die neue Datensammlung anwenden. Schlussendlich steht eine Kontaktaufnahme zu anderen Daten-Providern für eventuelle Partnerschaften und Erarbeitung einer gemeinsamen Veröffentlichungsstrategie (8).

- (C) Die von HEATH und BIZER (Heath & Bizer, 2011) publizierte *Architektur einer Linked Data Applikation* wird als eine Referenzarchitektur zur Konzeption des Umweltwissenssystems aufgegriffen (→ *Kapitel 5.2.1*). Die Autoren fokussieren als essentiell für die Umsetzung der Applikation die direkte Abfrage und Einbindung von Linked Open Data aus dem Web of Data. Zu Beginn ist eine Verbindung zu den Quellen anhand von RDF Data Dumps oder SPARQL Endpunkten zu etablieren. Im Anschluss findet ein Mapping des Vokabulars bzw. Schemas zwischen Quell- und Zielschema statt, danach eine Identity Resolution, bei welcher ermittelt wird inwiefern verschiedene Adressen auf dieselbe Entität verweisen. Die Ermittlung der Herkunft, Aktualität und Qualität der Daten ist prozessual zu berücksichtigen, schlussendlich steht die Anwendung der Daten im Anwendungskontext. Die genannten Prozessschritte werden von BIZER auch in seinem Beitrag mit BRYL ET AL. wieder aufgegriffen (Bryl, et al., 2014).
- (D) PELLEGRINI sieht den Prozess von Linked Data im Zusammenhang mit einer „Content-Value-Chain“, welche sich aus der anfänglichen Sammlung und Integration von Inhalten, einer semantischen Analyse und Vernetzung, einer Kontextualisierung, anschließenden Aufbereitung als maschinenlesbare Daten und schlussendlich einer Visualisierung und Empfehlung zusammensetzt. (Pellegrini, 2014),
- (E) ISELE²⁷ wiederum spricht in seinem Prozessablauf im ersten Schritt von einer „Überführung des Datensets in ein konsistentes Schema“, daran anschließend folgt ein Entity Matching, also eine Vernetzung und schlussendliche Verschmelzung der Entitäten zu einer Einheit (Isele, 2014, S. 103).

Folgende Tabelle zeigt den Vergleich zwischen den analysierten Prozessschritten der genannten Autoren. Es wurden die Schritte aufeinander gespiegelt, woraus resultiert das einzelne Felder der Tabelle leer bleiben, wenn der Autor hierzu keine Aussage gemacht hat. Neben den in der Literatur genannten Prozessschritten, werden die für das UmweltWiS abgeleiteten Prozessschritte benannt, die im Weiteren genauer dargestellt werden:

²⁷ ISELE ist Mitarbeiter des LOD2 Projekts, in welchem die von AUER ET AL. vorgestellten Prozessschritte erarbeitet wurden, so dass diese implizit auch für ISELE zutreffen dürften. In seinem Beitrag fokussiert der Autor lediglich den Aspekt der Datenintegration, so dass die weiteren Zellen der Tabelle leer bleiben. Ebenso ist ISELE in (Schultz, Matteini, Isele, Mendes, Bizer, & Becker, 2012) einer der Mitautoren des LDIF Frameworks, dessen Schritte implizit Anwendung finden.

AUER ET AL.	BAUER und KALTENBÖCK	HEATH und BIZER	PELLEGRINI	ISELE	UMWELTWiS
Extraction	Specify concrete use cases	Accessing the Web of Data	Content Akquisition		Auswahl Daten
	Evaluate relevant data sources and data sets				Extraktion
	Check the respective licenses				Transformation
Storage / Querying	Create consumption patterns				Speicherung
Manual Revision / Authoring	Manage alignment, caching and updating mechanisms	Vocabulary Mapping	Content Editing	Data Translation	Mapping
Interlinking / Fusing		Identity Resolution	Content Bundling	Entity Matching	Vernetzung
Classification / Enrichment				Data fusion	Semantische Anreicherung
		Provenance Tracking			
Quality Analysis		Data Quality Assessment			Test
Evolution / Repair					
Search / Browsing / Exploitation	Create mash ups, GUIs, services and applications on top	Using the Data in the Application Context	Content Distribution		Publikation LED
			Content Konsum		Nutzung Umweltwissen

Tabelle 5 - Vergleich Linked Data Referenzprozesse

Vergleicht man die vorgestellten Ansätze, so zeigt sich das die zentralen Prozessschritte die Extraktion der Daten aus bestehenden Datenquellen, deren Transformation bzw. Vereinheitlichung und die Vernetzung der Datensammlungen vorsehen. Diese Schritte werden daher für die Umsetzung des UmweltWiS Prozesses hinsichtlich einer konkreten Umsetzung im Folgenden eingehender analysiert und beschrieben.

Extraktion der Daten: Zur Extraktion der Daten bestehen bereits verschiedene Ansätze wie dies in die Praxis umgesetzt werden kann. DENGEL (Dengel, 2012, S. 188-190) hat in seiner Analyse der Verfahren zur Generierung von LOD aus unstrukturierten und semi-strukturierten Daten drei Vorgehensweisen identifiziert. Die erste dieser Vorgehensweisen sieht eine Konvertierung von Datendumps in RDF-Strukturen vor (1). Dies hat den Vorteil schnellerer Resultate für ganze Datenblöcke, jedoch kann es auch im Zuge der Automatisierung zu falschen semantischen Verknüpfungen kommen. Als zweite Variante wird die auftragsbezogene Konvertierung vorgeschlagen (2), sprich es wird eine Online-Konvertierung im Zuge einer konkreten Abfrage eines Datensatzes durchgeführt und (falls möglich) als RDF-Struktur zurückgeliefert. Das dritte Szenario sieht erneut eine zusammenhängende Konvertierung vor, indem Datensammlungen in ein System eingespielt werden welches Linked-Data fähig ist und durch die Einspielung eine implizite Konvertierung durchgeführt wird (3). Dabei könnte es sich z.B. um ein Semantic Media Wiki handeln. Die von AUER ET AL. angesprochenen Extraktionstechniken inkl. Mapping könnten hier zusätzlich zum Einsatz kommen, um so eine passende RDF-Struktur zu bilden (Auer, Lehmann, & Ngonga Ngomo, 2011, S. 12). Vereinfacht werden kann dieser Schritt durch die Etablierung einer vollständigen Ontologie und der folgenden Zuordnung der extrahierten Strukturen. Alternativ kann auch mit Mustererkennung oder Entity Recognition gearbeitet werden (Auer, Lehmann, & Ngonga Ngomo, 2011, S. 12-19), welche ggf. durch den Einsatz von Ontologien oder Regeln unterstützt wird (Dengel, 2012, S. 213-222). BLUMAUER sieht dies ähnlich und benennt die *Named Entity Recognition* als Hauptverfahren zur Extraktion von Daten aus bestehenden Strukturen (Blumauer, 2014, S. 10). Eine *Relation Extraktion* unterstützt wiederum die Erkennung von Zusammenhängen zwischen den ermittelten Entitäten (Dengel, 2012, S. 215). Bestehen die Daten bereits in Form von relationalen Datenbanken oder anderen strukturierten Formaten, so bietet sich ein Verfahren an welches eine Umwandlung der Daten in eine Graph-Struktur forciert und dabei Schemata berücksichtigt nach denen die Daten strukturiert sind. Hierzu bestehen verschiedene Ansätze, z.B. beschreiben HELLMANN ET AL. ein Framework zur Extraktion von DBPedia Inhalten (Hellmann, et al., 2014, S. 46), MEZAOUR ET AL. wiederum den Mechanismus *RDB2RDF*, also eine Transformation von relationalen Daten hin zu RDF-Daten (Mezaour, van Nuffelen, & Blaschke, 2014, S. 168-169). Zur Erzeugung einer semantischen Ansicht wird eine virtuelle Ansicht der Datenbank erstellt und durch einen SPARQL-Endpunkt angesteuert. Liegen die Daten bereits als XML vor, so wird eine XSLT Transformation hin zu RDF empfohlen (Mezaour, van Nuffelen, & Blaschke, 2014, S. 170).

Transformation und Mapping der Daten: Der Transformationsprozess des UmweltWiS lehnt sich an den Transformationsvorgang eines Data-Warehouses an, nach welchem eine Datenintegration und –bereinigung während der Transformation stattfinden sollte (Bauer & Günzel, 2013, S. 57). Hierzu sind die Inputdaten auf deren Struktur zu analysieren. Diese können entweder bereits vorstrukturierte Graph-Daten sein oder un- bzw. andersartig strukturierte Daten. Als Herausforderung in diesem Vorgang wird der Schritt des Entity-Matchings gesehen, bei welchem dieselbe Entität in unterschiedlichen Datenquellen ermittelt und miteinander vernetzt werden muss (Isele, 2014, S. 104). Dies wird in dem modellierten UmweltWiS Prozess in → *Abbildung 38* mittels der Aktivitäten *Mapping auf bestehende Logik* und *Vernetzung mit bestehender Logik* zweigeteilt berücksichtigt. Die Aufteilung wurde gewählt, da es sich bei der erstgenannten Aktivität um einen Vorgang der Zuordnung zwischen den bereits bestehenden

Entitäten zu den neu hinzuzufügenden Entitäten handelt, im zweiten Vorgang muss entsprechend entschieden werden, welche inhaltlichen Vernetzungen zwischen diesen Entitäten bestehen sollten. Folgende Abbildung zeigt dies schematisch. Es ist zu ermitteln welche Konzepte des UmweltWiS mit bestehenden LOD Konzepten zusammengeführt werden können, diesen entsprechen (z.B. via Äquivalenzbeziehungen) oder generell mit diesen vernetzt werden können (DBPedia und Geonames werden in → *Kapitel 5.4.2* eingehender betrachtet):

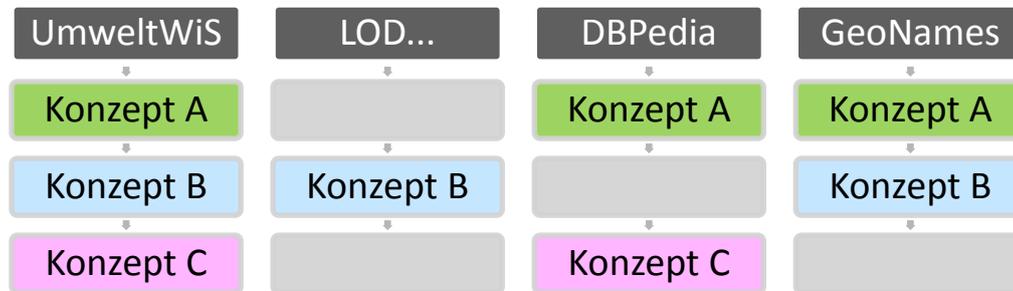


Abbildung 37 - Schematischer Ansatz UmweltWiS - Ontology Mapping

Vernetzung der Daten: Um die Vernetzung der Daten zu erreichen, existieren in der Literatur verschiedene Ansätze wie ein automatisches Linking stattfinden kann. Die Verfahren können dabei in zwei Kategorien eingeteilt werden, dem „*Ontology Matching*“ und dem „*Instance Matching*“ (Auer, Lehmann, & Ngonga Ngomo, 2011, S. 29-32):

- Das *Ontology Matching* basiert auf der Schema-Definition der jeweiligen unterliegenden Ontologien der Datenquellen. Dieser Ansatz wird bei der späteren Vorstellung des UmweltWiS Vernetzungsschemas (→ *Kapitel 5.4.4.2*) verfolgt.
- Das *Instance Matching* betrachtet die Instanzen und deren Verbindungen selbst, es ist dabei das weiter verbreitete Verfahren der Beiden. Der Vorgang des Instance Matchings an sich ist je nach Umfang der beteiligten Datenquellen entsprechend umfangreich, so dass es sich hierbei durchaus um rechenintensive Vorgänge handelt. Darin begründet lassen sich erneut zwei Arten des Instance Matchings betrachten, so dass einzelne Frameworks einen universellen Ansatz verfolgen und andere die Verlinkung von Linked Open Data-Quellen in einer spezifischen Domain anstreben. Da es sich bei dem Umweltwissenssystem um die Domain der ökologischen Nachhaltigkeit handelt, bietet es sich an die zweite Variante zu verfolgen.

Semantische Anreicherung der Daten: Im Anschluss an das Mapping und die Vernetzung mit der bestehenden Logik, schließt sich die Anreicherung der bestehenden Daten mittels Meta-Daten, sprich eine *Semantische Anreicherung* an. Diese Meta-Daten unterstützen zum einen bei der nachfolgenden Suche und Nutzung des hinterlegten Wissens, aber auch bei einem eventuellen Export im Sinne von Linked Open Data. Der Export-Vorgang wird im späteren Verlauf in → *Kapitel 5.6* noch genauer betrachtet. Der Begriff Publishing wird dabei nicht nur für diesen Schritt der Veröffentlichung der Daten verwendet, sondern auch für den Prozess der Beschreibung der Daten als RDF und der Speicherung und Bereitstellung der Daten (Mezaour, van Nuffelen, & Blaschke, 2014, S. 168).

Zusammenfassend zeigt → *Abbildung 38* den erarbeiteten Prozess zur Etablierung des Umweltwissens aus unterschiedlichen Quellen hin zu einer Linked Data Struktur. Daran anschließend werden die bislang eher generisch angesprochenen Datenquellen und deren Struktur genauer betrachtet. Zudem wird der oben ausgelassene Prozessschritt der Datenhaltung bzw. Speicherung der Daten eingehender betrachtet.

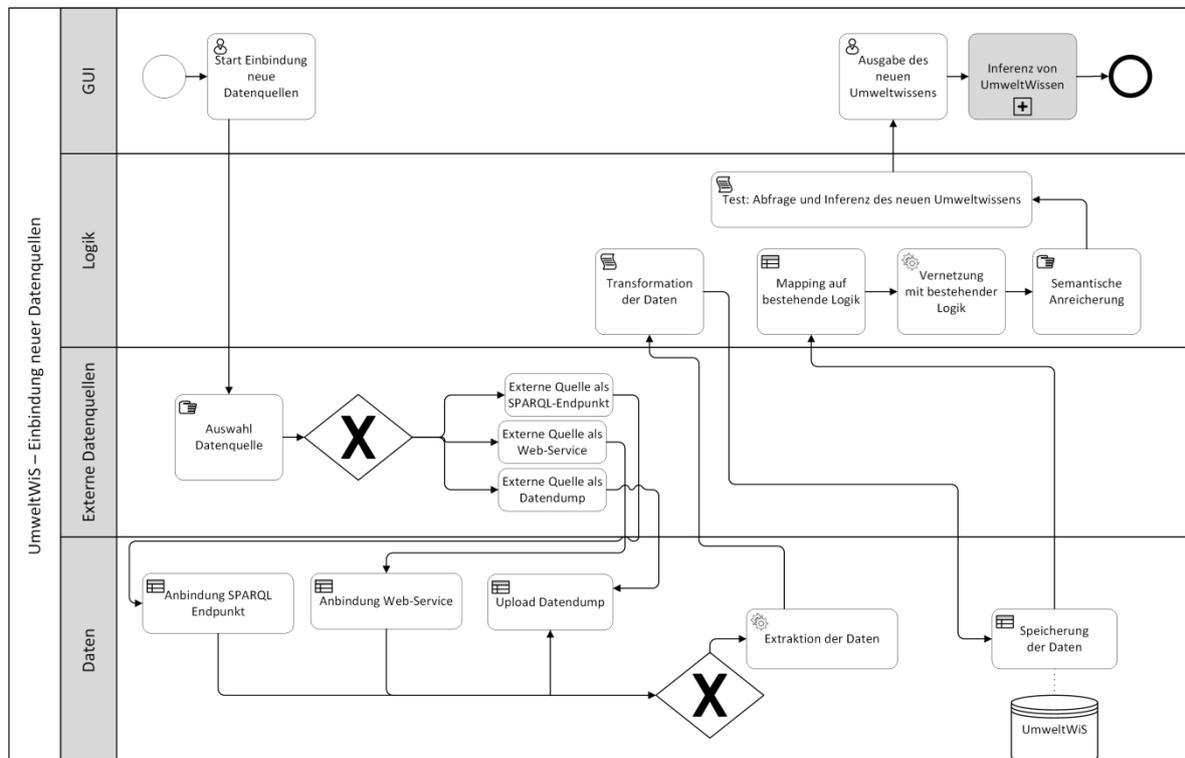


Abbildung 38 - Prozessschaubild - Einbindung neue Datenquellen in UmweltWiS

5.4.2 UmweltWiS-Datenquellen und Datenhaltung

5.4.2.1 Struktur der Datenquellen & Datenhaltung

Nach der Definition der angestrebten Prozesse des UmweltWiS, ist zu untersuchen welche Datenquellen integriert werden sollen bzw. können. Die möglichen Datenquellen können unterschiedlich formatierte Daten enthalten. Ideal wären an diesem Punkt ausschließlich semantisch vorstrukturierte Daten zu verwenden, welche anhand definierter Kriterien und Meta-Daten miteinander verknüpft werden können. Dies ist aber aufgrund der Heterogenität im Bereich der Zulieferung etwa aus bestehenden Umweltdatenbanken, aus laufenden Messstationen oder Veröffentlichungen nicht von vorneherein möglich. Um dies eindeutig zu benennen, müsste das UmweltWiS auf einen konkreten Anwendungsfall zugeschnitten sein. Die angestrebte Architektur sieht aber genau hier eine Flexibilität vor, indem die Datenquellen nicht zwingend genau benannt werden müssen. Die Datenhaltung und semantische Vernetzung sollten so gestaltet werden, dass man mit zwei bis drei Quellen beginnt, diese einbindet und vernetzt und daran anschließend im späteren weitere Quellen integrieren und die Wissensbasis anreichern kann. Ähnlich wie bei dem von FAERBER ET AL. vorgestellten Modell, ist auch hier eine Hauptherausforderung die „*Integration dieser Daten sowohl in syntaktischer als auch semantischer Hinsicht*“ (Faerber,

Archne, Jochaud, & Jablonski, 2009, S. 21), sprich diese müssen syntaktisch und inhaltlich passend integriert werden können. Ferner ergeben sich aufgrund der fehlenden Einschränkung auf einen öffentlichen oder betrieblichen Anwendungskontext unterschiedliche Umgebungen, Methoden und Zielsetzungen wie und warum Umweltdaten erfasst und verarbeitet werden. Auch kann der Zeithorizont der Daten abweichend sein, so dass eine Varianz zwischen z.B. stündlicher, täglicher oder monatlicher Erfassung der Daten liegen kann, je nachdem um welchen Anwendungsfall und welche Art der Daten es sich handelt. Es ist somit die Zielsetzung „*verschiedene Datenquellen [anzubinden]*“,

- *welche semantisch vorstrukturiert sein können (z.B. Linked Open Data Sammlungen, als RDF oder XML repräsentierte Umweltinformationen) (1),*
- *die wie auch bei UIS aus bereits existierenden Basis- oder Fachinformationssystemen bereitgestellt und zugeführt werden (2),*
- *die über Web Services von anderen (öffentlichen) Angeboten abgefragt werden (3),*
- *aber auch thematisch zugehörige wissenschaftliche Publikationen im Umweltbereich (4),*
- *Medien wie Bilder, Videos, Diagramme (5)*
- *oder Feedback der Anwender durch Social Media Features der Dialogkomponente (6)“ (Dornhöfer & Fathi, 2015).*

Voraussetzung für die Quellen ist eine Strukturierung. Idealerweise handelt es sich von Beginn an um semantisch strukturierte Datenquellen, also Daten welche mittels OWL, RDF oder XML Format repräsentiert werden, alternativ auch um abweichend strukturierte Daten z.B. im CSV-Format. Es wird dabei angenommen das die vorhandenen Quellen zur Einbindung entweder bestehende Datensammlungen sind, welche in die Anwendung importiert werden können (1), SPARQL Endpunkte (2), welche im Sinne von Linked Open Data in die Anwendung eingebunden und abgefragt werden können oder ein bereitgestellter Web-Service (3), welcher als Datenlieferant angebunden und in zu definierenden Abständen oder bei Bedarf abzufragen ist.

Variante (1) birgt den Vorteil dass eine zusammenhängende oder zeitlich definierte Ansammlung von Daten in einem Block in die Anwendung eingespielt werden kann. Der Nachteil an dieser Variante bildet die Aktualität der Daten. Es ist keine ad-hoc Aktualisierung möglich, es sei denn das Quellsystem stellt die Datendumps in einem fest definierten Zeitintervall zum Download bereit und diese werden in der Datenbank aktualisiert.

Möglichkeit (2) hat den Vorteil dass der SPARQL-Endpunkt direkt semantisch vorstrukturierte Daten zuliefern kann. Mit SPARQL Version 1.1 wurde hierzu eine Funktion SERVICE eingefügt, welche es anhand der URL erlaubt direkt einen SPARQL-Endpunkt anzusprechen und von dort Daten abzufragen (DuCharme, 2013, S. 102). Die Abfrage von SPARQL kann mittels Web-Browser oder entsprechender Software (z.B.(Stanford University: Protégé, 2016), (Rapidminer Studio, 2016)) erfolgen.

Die Variante des Imports via Web Services (3) erlaubt die Anbindung verschiedener Quellsysteme, um so immer Schnittstellen zum Abruf aktueller Daten vorhanden zu haben. Web Services setzen auf „*Webkommunikationsstandards und –sprachen*“ wie SOAP oder WSDL, welche in ihrer Struktur auf XML aufbauen (Laudon, Laudon, & Schoder, 2010, S. 246). Mittels

des Einsatzes von Web Services lässt sich z.B. eine serviceorientierte Architektur (SOA) aufbauen (Grechenig, Bernhart, Breiteneder, & Kappel, 2010, S. 228). Heutige integrierte „Enterprise Anwendungen“ basieren häufig auf einer „Event Driven Architecture“ (EDA) oder „Service Oriented Architecture“ (SOA) inklusive einer Datenhaltung basierend auf einem Data-Warehouse-System. Ein kombinierter Einsatz zwischen einer integrierten Enterprise Architektur und Linked Open Data wird dabei als komplementär bewertet, wobei Linked Open Data auf der Verlinkung der einzelnen Ressourcen basiert und für die semantische Datenintegration, aber auch Mapping oder Reporting eingesetzt werden kann. SOA auf der anderen Seite sieht eine serviceorientierte Verknüpfung vor, wobei die Services und die auszutauschenden Daten definiert sein müssen. Der Vorteil von LOD oder generell „Linked Data“ wird darin gesehen, dass diese als „add-on“ eingebracht werden können und so eine vorab bestehende Architektur nicht zwingend geändert werden muss. (Mezaour, van Nuffelen, & Blaschke, 2014, S. 157-159) MEZAOUR ET AL. beschreiben eine "LOD Enterprise Architecture" bestehend aus LOD Datenlieferanten und Application Datennutzern, welche flexibel die LOD abrufen. Die Datenlieferanten setzen sich aus einer Verknüpfung zwischen Quellservern, einer Transformation hin zu LOD und entsprechenden LOD Publishing Server sowie einem gemeinsamen Ontology Schema Server zusammen. (Mezaour, van Nuffelen, & Blaschke, 2014, S. 160).

Semantisch strukturierte Daten haben den Vorteil, dass bereits eine Vorstrukturierung gegeben ist und beispielsweise über die genannten Mapping-Mechanismen (→ *Kapitel 5.4.1*) eine Verknüpfung stattfinden kann. Alternativ ist auch die Verwendung von Datenquellen sinnvoll, welche bereits in Datenbanken in Form von relationalen Tabellen oder auch in NoSQL-Datenbanken abgelegt und vorstrukturiert sind. Dies hat speziell dann einen Vorteil wenn zur Umsetzung des UmweltWiS eine Data-Warehouse-Software verwendet wird, da diese in der Regel auf eine relationale oder auch NoSQL-Datenbank zur Datenhaltung aufsetzt. Mittels dieser Basis ist es in der Folge leichter möglich weitere Quellen einzufügen, zu strukturieren und abzufragen. Eine vollkommen unstrukturierte Datenquelle, sprich eine lose Ansammlung von Dokumenten oder weiterem Inhalt macht nur dann Sinn, wenn diese auf einfache Weise analysiert, ggf. strukturiert und durch Meta-Daten ergänzt werden kann, um diese so in der Folge zur Vernetzung und Referenzierung einzusetzen.

Werden die Daten in eine Datenbank importiert, so ist die Art der Datenbank flexibel und kann z.B. anhand der bisherigen Gegebenheiten einer potentiellen betrieblichen Anwendungsumgebung angepasst werden. Es können dabei klassische relationale Datenbanken eingesetzt werden oder auch NoSQL-Technologien. Letztere haben den Vorteil einer besseren Skalierbarkeit auch über mehrere Serversysteme hinweg (Bohlouli, Dalter, Dornhöfer, Zenkert, & Fathi, 2015, S. 2) und je nach Typ eine graphbasierte Unterstützung, welche z.B. für die Ablage von graphbasierten RDF-Strukturen von Vorteil erscheint. Die Verteilung über mehrere Systeme ist zu diesem Zeitpunkt sicherlich erst ein nachgelagerter Schritt, ebenso wie die Annahme, dass gleich nach Entwicklung und Aufsetzen eines solchen Systems ein Big Data Aufkommen vorhanden sein wird. Die Entwicklung von Big Data wäre sicherlich erst bei einer praktischen Einbindung von mehreren großen Datenquellen und der regelmäßigen Aktualisierung von einzelnen Datenbeständen pro Zeiteinheit (z.B. Abruf von aktuellen Messdaten pro Minute) zu erwarten. Handelt es sich um ein kleiner dimensioniertes Umweltwissenssystem, so ist die Verwendung einer relationalen Datenbank ausreichend dimensioniert, ebenso falls die Organisation über entsprechend

performante Hardwareressourcen verfügt und auf diese Art und Weise eine ausreichende Performance ermöglicht.

Eine Technologie, welche zur Umsetzung der Datenhaltungsschicht eingesetzt werden kann und oben bereits angesprochen wurde, ist die eines Data-Warehouse-Systems. „*Data-Warehouse-Systeme stellen Speicher, Funktionen und Operationen zur Beantwortung von Anfragen zur Verfügung, die über die Möglichkeiten und über die Funktionalitäten der traditionellen und transaktionsorientierten Datenbanksysteme hinausgehen.*“ (Farkisch, 2011, S. 3) Diese weitergehenden Funktionen sind etwa multidimensionale Datenhaltung und Datenanalyse, wobei die Charakteristik eines DWH die Integration unterschiedlicher Datenquellen, eine themenorientierte Auswertung, die Abbildung zeitpunktbezogener Datenzustände und die damit verbundene Bildung einer Historie ermöglichen (Farkisch, 2011, S. 3-4). Das Ziel sollte an dieser Stelle die Umsetzung eines Environmental Data-Warehouses oder eines Linked Environment Datahouses sein, also ein DWH bezogen auf das Anwendungsfeld Ökologie und Umweltschutz. BAYERL und GRANITZER beschreiben etwa den Ansatz zur Integration von statistischen Linked Open Data in ein Data-Warehouse, wobei der RDF Data Cube Ansatz Anwendung findet. Da der Data Cube Ansatz u.a. die Elemente *Measure*, *Dimension* und *Attribute* beinhaltet, können dadurch *Observations* abgebildet werden. (Bayerl & Granitzer, 2014), (W3C:RDF Data Cube Vocabulary, 2016)

Praxisbeispiele: Während der Erarbeitung der vorliegenden Dissertation wurden verschiedene Abschlussarbeiten fachlich betreut und in diesem Kontext die Thematik eines Environmental Data-Warehouse durch SCHMIDT (Schmidt W. , 2016) untersucht. Der Student konnte ein Konzept sowie eine praktische Umsetzung eines Beispiel-Szenarios mittels der Softwarelösung Pentaho²⁸ realisieren. Diese DWH-Software ist nicht direkt auf Umweltthemen ausgelegt, sondern kann flexibel eingesetzt werden. Insgesamt muss anhand der untersuchten Literatur jedoch resümiert werden, dass ein Environmental Data-Warehouse ein anwendungsbezogenes Themengebiet ist und bestehende kommerzielle Lösungen ebenfalls auf bestimmte Anwendungsszenarien ausgerichtet sind. GUO wiederum hat in seiner Arbeit eine Analyse von statistischen Linked Open Data mittels einem DWH und dem RDF Data Cube Ansatz durchgeführt (W3C:RDF Data Cube Vocabulary, 2016), (Guo, 2016).

Im den folgenden Unterkapiteln wird untersucht welche Datenquellen sich zur Integration in das UmweltWiS-Konzept anbieten und wie diese auf der Logikebene semantisch miteinander verknüpft werden können. Die genutzten Softwarelösungen werden jeweils separat erwähnt.

5.4.2.2 Umweltdaten: Einbindung bestehender Linked (Open) Data Sammlungen

Zur Etablierung der Datenbasis sollen an dieser Stelle beispielhafte Linked Open Data Quellen, welche zur Vernetzung von Umweltwissen geeignet sind, untersucht werden. Dabei ist

²⁸ Pentaho Software, <http://www.pentaho.com> (Zugriff am 12.08.2016)

zu beachten das die folgende Auflistung nicht vollständig sein kann, da die Linked Open Data Cloud (Schmachtenberg, Bizer, Jentzsch, & Cyganiak, 2014) stetig wächst und theoretisch jeder Internetnutzer Inhalte ergänzen oder diese erweitern kann. Während dies den Vorteil hat, dass immer weitere Inhalte vernetzt werden können, ist es auf der anderen Seite notwendig die Qualität bzw. die Autorenschaft der bereitgestellten Inhalte zur prüfen und nicht ohne weiteres in die eigene Anwendung zu übernehmen. Beispielhaft ist es denkbar die Quellen DBPedia, Geonames, FAO, GEMET, die Ontologien des CEGIS, die EnvO oder allgemein die Datensammlungen der European Environment Agency als Basis in das UmweltWiS zu integrieren:

LOD	Kurzbeschreibung	Quelle
CEGIS	Das Center of Excellence for Geospatial Information Science des U.S. Geography Service stellt im Rahmen des Projektes „ <i>Building Ontology for The National Map</i> “ verschiedene Ontologien bereit. Zwei für das UmweltWiS interessante Ontologien sind die GIS NHD (Geographic Information System National Hydrography Dataset) und die USTopographic Ontologie (U.S. Geological Survey, 2016). In den Beispielen wurde diese jedoch noch nicht integriert, da sich diese nur auf die USA bezieht.	Downloadseite: (U.S. Geological Survey, 2016)
DBPedia	DBPedia ist eine semantische Extraktion von Wikipedia, sprich es werden Daten aus Wikipedia Artikeln extrahiert und semantisch aufbereitet. Hierbei wird vor allem auf die Informationsbox eines Artikels fokussiert, da hier z.B. strukturierte Daten wie Einwohnerzahl einer Stadt oder die Größe eines Landes angegeben werden. Mehrere Millionen „Dinge“ werden dabei durch Fakten und eine Ontologie-Struktur klassifiziert. Dabei bilden die Hauptgruppen Personen und Orte, gefolgt von Medieninhalten wie Musik- oder Film-Titeln Arten und Organisationen. aber auch. (DBPedia: About, 2016), (Lehmann, et al., 2015a) Lizenz der DBPedia Datasets ²⁹ : (Creative Commons:3.0, 2016) und (GNU: Free Documentation License, 2008)	Downloadseite: (DBPedia: Datasets, 2016), (DBPedia: Ontologie, 2015), (DBPedia: Dataset 10/2015, 2015) SPARQL-Endpunkt: (DBPedia: SPARQL Endpunkt, 2016) Einsatz: (Lehmann, et al., 2015a)

²⁹ Es werden im weiteren Verlauf der Arbeit Elemente der veröffentlichten Ontologie in Zusammenhang zu den Elementen im UmweltWiS-Vernetzungsschema gesetzt und Wiederverwendungspotentiale aufgezeigt. Die Publikation einer vollständigen UmweltWiS-Ontologie in der LOD Cloud, unter Berücksichtigung der referenzierten LOD Quellen, fand zum Zeitpunkt der Erstellung der Arbeit nicht statt.

LOD	Kurzbeschreibung	Quelle
<p>EEA</p>	<p>Eionet (European Environment Information and Observation Network) ist ein Service der European Environment Agency und kann via Semantic Data Service abgefragt werden. Zudem stehen verschiedene Datensammlungen als Download bereit.</p> <p>Die European Environment Agency betreibt selbst einen Semantic Web Service (in Form einer Objekt-orientierten Suchmaschine) (EEA: Semantic Web, 2016) bei welchem unterschiedliche Quellen im XML oder RDF Format als Input „registriert“ werden können, so u.a. auch die FAO Geopolitical Ontologie (siehe unten) oder europäische Statistikdaten (z.B. demographische Entwicklungen, Straßennutzung, ...) (EEA: Semantic Web Datasets, 2016). Darauf aufbauend wird ein „harvesting“ Prozess gestartet, welcher die vorhandenen Tripel extrahiert und in die Datensammlung aufnimmt (EEA: Semantic Data Service Principles, 2016). Über unterschiedliche Suchformen (SPARQL Anfrage, Freitextsuche, Tag-basierte Suche, ...) lässt sich die eingebundene Datenbasis durchsuchen und filtern.</p> <p>Der <i>GEneral Multilingual Environmental Thesaurus</i> wird durch die European Environment Agency herausgegeben. Er ist mehrsprachig und integriert u.a. Daten des UMTHEs (Umweltthesaurus des Umweltbundesamts) (Umweltbundesamt: UMTHEs, 2016). Mittels des Semantic Data Service ist u.a. auch eine Verknüpfung zu GeoNames möglich (EEA: Semantic Data Service Principles, 2016).</p>	<p>Web: (EEA: Semantic Web, 2016)</p> <p>Data Dictionaries: (EEA: Data Dictionaries, 2016)</p> <p>Downloadseite: (EEA: GEMET, 2016)</p> <p>SPARQL-Endpunkt: (EEA: SPARQL Endpunkt, 2016)</p>
<p>EnvO</p>	<p>EnvO steht kurz für Environment Ontology und ist eine Community Entwicklung einer Ontologie zur Beschreibung der Umwelt. (EnvO Community, 2016) <i>“ENVO is comprised of classes (terms) referring to key environment-types that may be used to facilitate the retrieval and integration of a broad range of biological data”</i> (Buttigieg, Morrision, Smith, Mungall, Lewis, & ENVO, 2013) Die EnvO ist unter der Creative Commons Lizenz (EnvO: The Environment Ontology, 2016), (Creative Commons:3.0, 2016) veröffentlicht. Hinweise bzgl. Nutzung siehe Anmerkung in → <i>Fußnote 29, Seite 108.</i></p>	<p>Downloadseite: (EnvO: The Environment Ontology, 2016)</p> <p>(Bioportal: EnvO, 2016)</p>

LOD	Kurzbeschreibung	Quelle
FAO	<p>Die Food und Agriculture Organisation (FAO) der Vereinten Nationen (UN) stellt eine Geopolitical Ontology bereit, welche als Referenz für geopolitische Informationen angesehen wird. Es wird zur Etablierung auf bereits bestehende Codierungs- und Standardisierungssysteme wie z.B. AGROVOC aufgesetzt. Die Geopolitical Ontologie wird gemäß der FAO Nutzerbedingungen (http://www.fao.org/contact-us/terms/en/) zur Weiterverwendung eingesetzt.</p> <p>Veröffentlichungshinweis zur Geopolitical Ontology gemäß Herausgeber: © FAO, 2016, <i>Geopolitical Ontology</i>, http://aims.fao.org/aos/geopolitical.owl, 17.05.2016, Hinweis zur Anpassung bzw. Nutzung in dieser Arbeit: „<i>This is an adaptation of an original work by FAO. Views and opinions expressed in the adaptation are the sole responsibility of the author or authors of the adaptation and are not endorsed by FAO.</i>“ Hinweise bzgl. der Nutzung siehe →Fußnote 29, Seite 108.</p>	<p>SPARQL-Endpunkt: (FAO: SPARQL-Endpunkt, 2016) Geopolitical-Ontologie: (FAO: Geopolitical Ontologie, 2016)</p>
	<p>Der AGROVOC (Agriculture with Vocabulary) ist ein multilingualer Thesaurus für den Bereich der Agrikultur. Dieser ist unter anderem mit DBPedia, EUROVOC, GEMET oder GeoNames verknüpft. (AGROVOC:Linked-Data, 2016), (Caracciolo, et al., 2013) Der AGROVOC ist ebenfalls unter der Creative Commons Lizenz 3.0 verfügbar. (Creative Commons:3.0, 2016) Hinweise bzgl. der Nutzung siehe Anmerkung in →Fußnote 29, Seite 108.</p>	<p>SPARQL-Endpunkt: (AGROVOC:SPARQL-Endpunkt, 2016)</p>
GeoNames	<p>GeoNames ist eine Ontologie, welche die topographischen Orte der Welt in einer semantisch vernetzten Struktur zusammenführt und (falls vorhanden) weitere Informationen (z.B. PLZ oder alternativer Name) zu diesen Orten gibt. Die Ontologie wird dabei wiederum aus verschiedenen Quellen als Input gespeist, besitzt allerdings auch Verweise auf weitere LOD Quellen, wie etwa DBPedia. Geonames ist entweder als täglicher Download oder in Form eines Web-Services verfügbar und kann so unter der Creative Commons Lizenz 3.0 (Creative Commons:3.0, 2016) einfach in die eigene Anwendung eingebunden werden. Hinweise bzgl. der Nutzung siehe →Fußnote 29, Seite 108.</p>	<p>Downloadseite: (GeoNames, 2016)</p>

Tabelle 6 - UmweltWiS-Mögliche LOD Datenquellen

Bei den recherchierten Quellen steht DBPedia für die Bereitstellung von Hintergrundinformationen zu Orten oder umweltbezogenen Themen, während die weiteren Quellen als geologische oder umweltbezogene Datenlieferanten dienen würden. Die Abfrage der LOD Quellen erfolgt entweder mittels direkten Imports von konsistenten RDF- oder OWL-Dateien oder durch die Einbindung eines SPARQL-Endpunkts zur Abfrage.

Folgendes Beispiel zeigt einen SPARQL-Abfrageschritte des DBPedia-Endpunkts bzgl. des Orkans „Kyrill“, welche z.B. mittels des SPARQL Browsers VIRTUOSO (VIRTUOSO, 2016) ausgeführt werden kann. Dieses Beispiel wurde gewählt, da im späteren Verlauf ein Anwendungsfall das Thema Forstwirtschaft aufgreift und dieser Orkan sich auf verschiedene europäische Länder ausstreckte und entsprechend gut dokumentiert ist. Alternativ könnte eine Abfrage auch mit einer Anwendungssoftware wie z.B. Rapidminer Studio (Rapidminer Studio, 2016) unter Adressierung des SPARQL-Endpunktes stattfinden. Daran anschließend lassen sich beliebige Anfragen formulieren, welche z.B. die in DBPedia zu diesem Subjekt vorhandenen Properties und Values ermitteln:

Default Data Set Name (Graph IRI): <http://dbpedia.org>

```
SELECT ?property ?hasValue ?isValueOf
WHERE {{
http://dbpedia.org/resource/Kyrill_(storm) ?property ?hasValue}
UNION{
?isValueOf ?property http://dbpedia.org/resource/Kyrill_(storm)}}
```

Formel 1 - DBPedia Beispielabfrage „Orkan Kyrill“, z.B. mittels (VIRTUOSO, 2016)

Ergebnis: Tabellarische Auflistung der ermittelten Properties, wobei durch UNION sowohl eine Anfrage von Kyrill als Subjekt (Kyrill, Eigenschaft, Objekt) als auch als Objekt (Subjekt, Eigenschaft, Kyrill) in einem RDF-Tripel berücksichtigt wird.

5.4.2.3 Inputquellen: Umweltdaten aus Basis- oder Fachinformationssystemen

Im Rahmen des Umweltmanagements und der Ökobilanzierung sind zentrale Prozesse die Erfassung und Verarbeitung von Messdaten und Stoffströmen sowie deren Aufbereitung. Dies kann auf unterschiedliche Weisen erfolgen, in Form von analoger oder digitaler Erfassung oder zukünftigen Industrie 4.0 Sensoranwendungen. Die erfassten Daten lassen sich wiederum automatisiert oder manuell in entsprechende Datenbanken übertragen. Die Aufbereitung erfolgt mit Hilfe von Informationssystemen, wobei verschiedene Basis- und Fachinformationssysteme ein Umweltinformationssystem speisen können.

Basisinformationssysteme liefern etwa Kartenmaterial, welches in unterschiedlichen Zusammenhängen Wiederverwendung finden kann (Spektrum Akademischer Verlag, 2001). Hierzu zählt z.B. das ALKIS®, das Amtliche Liegenschaftskatasterinformationssystem, welches durch fast alle Bundesländer für ihre Anwendungen eingesetzt wird (Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland, 2016). Als semantische LOD Alternative kann hier sicherlich GeoNames (GeoNames, 2016) und die FAO Geopolitical Ontology (FAO: Geopolitical Ontologie, 2016) eingebunden werden.

Fachinformationssysteme (FIS) wiederum bilden zielorientierte Informationssysteme, welche eine spezielle Form der Geoinformationssysteme sind (GISWIKI, 2006). Der Bund betreibt so z.B. ein *Fachinformationssystem Boden* (FISBo BGR), welches speziell Bodendaten bzw. Bodeninformationen aufbereitet. Dieses umfasst ein Datenmanagement, eine Datenauswertung, bodenkundliche Karten und Datenbanken sowie aktuelle Entwicklungen. (Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffkunde, 2015) Ein weiteres Fachinformationssystem ist das Gewässerkundliche Informationssystem der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes *PegelOnline*. Dieses stellt aktuell erfasste Pegelstände auch für andere Organisationen oder Privatanwender in Form von Web-Serviceschnittstellen, Web Map Services oder als Downloads zur Verfügung. (Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV), 2016). Im Sinne des UmweltWiS werden Fachinformationen etwas weiter gefasst, weitere Details hierzu befinden sich in → *Kapitel 5.4.4.2.4*.

5.4.2.4 Inputquelle: Umweltdaten aus thematisch zugehörigen Publikationen, Medien und Input aus Social Media

Inputquellen aus dem Bereich thematisch zugehöriger Publikationen, Medien und Social Media sind zweifelsohne ein weites Feld, d.h. es ist schwer möglich an dieser Stelle definierte Quellen zu benennen. Es ist vielmehr zu betrachten welche Möglichkeiten sich ergeben die Wissensbasis durch weitere nicht direkt aus Messsystemen ermittelte Daten anzureichern. Dies können beispielsweise Mediadaten wie Bild- oder Videomaterial von Umweltbeobachtungen sein, welche in der Folge mit vorhandenen Messwerten verknüpft und durch geeignete Metadaten auffindbar gemacht werden. Praktisch könnte dies z.B. durch die Erstellung eines Fotos von einem bestimmten aktuellen Sachverhalt (z.B. Beobachtung Hochwasser) oder der Kommentierung eines bereits vorhandenen Beitrags erfolgen. Der mobile Sektor ist dabei bereits für Umweltinformationssysteme ein Thema, welches u.a. durch den Landesumweltportal-Zusammenschluss LUPO adressiert wird (u.a. (Schlachter, et al., 2011)). Eine Verknüpfung ähnlich zu den Media-Daten sollte auch für vorhandene Publikationen möglich sein.

Publikationen können hierbei entweder strikt wissenschaftliche Paper oder Journale sein, welche anhand ihrer Zitation mit einem Vorgang oder einer Umweltbeobachtung verknüpft werden oder auch journalistische Berichte des Umweltbundesamtes, Zeitungsberichte oder Internetveröffentlichungen. RSS-Feeds bieten sich ebenfalls zur Anreicherung an, da diese immer einen Kurzbeitrag zu einem vorhandenen Artikel umfassen und so als Referenz eingesetzt werden können. Handelt es sich um eine Organisation, so sind zweifelsohne weitere eigenverfasste Dokumente, Ergebnis- oder Testberichte vorhanden, welche sich als Quellen zur Anreicherung der Wissensbasis eignen. Aus dem Bereich des Social Media's ist es für eine Organisation denkbar eine Social Media Analyse der eigenen Kanäle anhand bestimmter Stichwörter durchzuführen oder Posts mit einem bestimmten Hashtag (#) in die Wissensbasis zu übernehmen und mit dem vorhandenen Wissen zu verknüpfen. Wird der Blick über die eigenen Social Media Auftritte hinaus ausgeweitet, so sind Trend oder Sentiment-Analysen möglich, welche Entwicklungen oder Meinungen (positiv oder negativ) zu einem bestimmten Thema verfolgen.

Anwendungsbeispiel: Im Zuge der Dissertation wurde mit Kollegen bzw. Studenten am Lehrstuhl auch an artverwandten Themen gearbeitet. So hat DORNHÖFER gemeinsam mit BOHLOULI, DALTER, ZENKERT und FATHI das Thema der Wissenserkenntnis aus Social Media Daten mittels Sentiment Analyse erforscht (Bohlouli, Dalter, Dornhöfer, Zenkert, & Fathi, 2015). Die folgende Abbildung zeigt die SoMABiT-Architektur bestehend aus einer Daten-, Logik- und Anwendungsebene. Als Daten ergeben sich unterschiedliche Social Media Ressourcen. Es wird aufgrund des Big Data Charakters eine NoSQL Technologie anstelle einer relationalen Datenbank gewählt. Die erarbeitete Architektur erlaubt ebenso, wie ein mögliches UmweltWiS, die Integration von verschiedenen Datenquellen, welche über Import-Funktion oder Web-Service Schnittstelle in die Hadoop (Hadoop, 2016) basierte NoSQL Wissensbasis eingelesen werden. Darauf aufsetzend werden verschiedene Analyseverfahren genutzt, u.a. zur Sentiment Analyse und eine mittels Web-Service vorgeschaltete Benutzer- und Auswertungsoberfläche bereitgestellt.

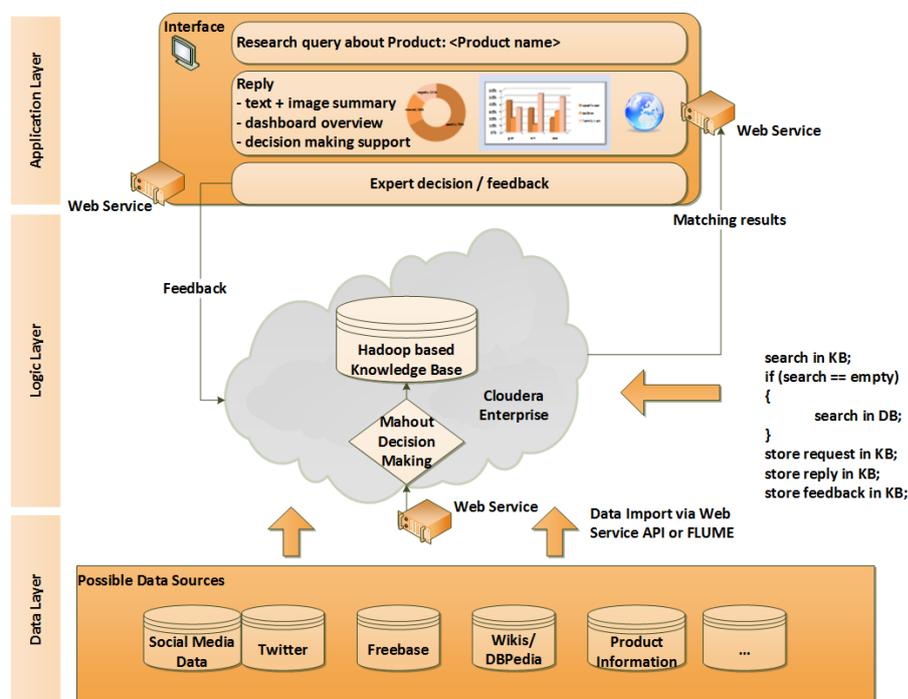


Abbildung 39 - Praxisbeispiel - SoMABiT Architektur, publiziert in (Bohlouli, Dalter, Dornhöfer, Zenkert, & Fathi, 2015)

5.4.3 Einbindung von bestehenden Ansätzen zur semantischen Repräsentation von Umweltinformationen und Umweltbegriffen

5.4.3.1 Umweltinformationsgesetzgebung

Zur Einbindung von existierenden semantischen Umweltinformationen in das vorgestellte Konzept des UmweltWiS (→ Kapitel 5.1) ist eine Bestandsaufnahme bisheriger Ansätze von entscheidender Bedeutung. Die Ermittlung und Bereitstellung von Umweltinformationen sind ein integraler Bestandteil der europäischen und nationalen Umweltgesetzgebung und erlauben sowohl

anderen Institutionen als auch den Bürgern Zugang etwa in Form von Webportalen oder Web-Services. *„Die Umweltinformationsgesetze der EU, des Bundes und der Bundesländer verpflichten die Behörden, den Bürgern Umweltinformationen zugänglich zu machen und diese Informationen aktiv zu verbreiten.“* (Schlachter, Ebel, & Weidemann, 2009) Dementsprechend werden auf den einzelnen Ebenen öffentliche Umweltinformationssysteme betrieben, welche im Idealfall miteinander vernetzte und aufeinander aufbauende Informationen bereitstellen. Nur durch die gemeinsame Nutzung von Umweltinformationen ergibt sich die Möglichkeit auch über Landesgrenzen hinweg diese auszutauschen und im Krisenfall (z.B. Hochwasser) gemeinsam darauf zu reagieren. Bislang war jedoch der Anspruch der Vernetzung der Informationen eher spärlich vertreten, was zum einen an der verteilten und nicht standardisierten Erfassung der Informationen lag, aber auch an einer fehlenden Datenstrukturierung, welche zur Vernetzung hätte genutzt werden können (Rüther, Fock, Hübener, Bandholtz, & Schulte-Coerne, 2010), (Bandholtz & Fock, 2012). Auf Bundesebene wurden daher verschiedene Maßnahmen zur Vernetzung der Informationen definiert. Eines dieser Programme ist das „Linked Environment Data“ Programm (Rüther, Fock, Hübener, Bandholtz, & Schulte-Coerne, 2010), (Bandholtz & Fock, 2012), kurz LED, welches im Umweltforschungsplan 2012 unter der Kategorie der *Grundsätzlichen und übergreifenden Fragen des Umweltschutzes* eingeordnet wurde. Grundlegendes Ziel von LED ist es einen *„Informationsmehrwehrt durch verknüpfte Umweltdaten“* (Bundesumweltministerium:UFOPLAN, 2012, S. 30) zu gewinnen. Der Name und das angestrebte Verfahren lehnen sich dabei an die Vorgaben des W3C zur Etablierung von Linked Open Data (LOD) an (Umweltbundesamt: LED, 2016), (W3C:LOD, 2014), (Berners-Lee, 2006/2009). LOD setzen auf die RDF-Technologie zur Etablierung von vernetzten Graphstrukturen auf und werden in → *Kapitel 5.4.3.3* eingehender beschrieben. LED setzt hierzu u.a. auch auf LOD Vokabulare zur normalisierten Modellierung auf (Bandholtz, Rüther, & Fock, 2013). Das Umweltbundesamt gibt als Rahmen für die Vernetzung von LED drei Regeln vor, so dass zum einen nur Daten vernetzt werden dürfen die *„frei verfügbar“* sind, zum anderen *„offene Standards“* eingesetzt werden und *„die Daten [...] weltweit mit Daten anderer Organisationen vernetzt werden“* können (Knetsch & Fock, 2013, S. 22), (Umweltbundesamt: LED, 2016). Die Realisierung ist in mehreren Schritten geplant, wobei zu Anfang eine *„Vernetzung zwischen Beobachtungsdaten und einem gemeinsamen Wortgut“* angestrebt wird. Diese Art der Daten können *„Messwerte und Analysedaten“* oder Informationen zu *„Beobachtungs- und Forschungsprogrammen“* sein. (Umweltbundesamt: LED, 2016) Erste konzeptuelle Ansätze sahen ebenso die Einbindung von GEMET und AGROVOC vor (Knetsch & Fock, 2013, S. 22). Von den hier angesprochenen Faktoren würden vor allem öffentliche UmweltWiS profitieren.

5.4.3.2 Umwelt-Thesauri zur Vereinheitlichung von Umweltbegriffen

Genutztes Wortgut wird in der Praxis z.B. mittels der semantischen Technologie Thesaurus abgebildet. Hier bilden sich für die Umsetzung innerhalb des Umweltwissenssystems verschiedene Möglichkeiten wie Thesauri bei der Schaffung einer einheitlichen Nomenklatur unterstützen können, um so umweltrelevante Begriffe und Kenngrößen sowie deren Bedeutung und Zusammenhang abzubilden. Es werden hierzu mit dem UMTHES, GEMET, EnvThes und EuroVoc vier existierende und öffentlich verfügbare Varianten vorgestellt: Der seitens des Umweltbundesamts bereitgestellte Service wird allgemein als Umweltthesaurus bezeichnet, kurz **UMTHES** (Umweltbundesamt: LED, 2016), (Umweltbundesamt: UMTHES, 2016). Die Abfrage

des UMTHEs ist zum einen über den Semantischen Network Service (kurz SNS) möglich. Dieser wurde von 2001 bis 2003 auf Basis der ISO-Norm 13250 für Topic Maps etabliert und bietet sowohl eine webbasierte Sucheingabe als auch die Möglichkeit der Einbindung als Web-Service (Umweltbundesamt: SNS, 2010). Die aktuelle Variante des UMTHEs verwendet eine Ontologie auf Basis von RDF-Technologie (Umweltbundesamt: UMTHEs, 2016). Dabei findet das Simple Knowledge Organization System (SKOS) des W3C Anwendung (W3C:SKOS, 2009). Diese Aktualisierung bietet den Vorteil der besseren Interoperabilität mit anderen Angeboten und der Vernetzung im Sinne der Linked Environment Data-Strategie des Umweltbundesamtes (Umweltbundesamt: Semantische Webdienste, 2016). Der UMTHEs umfasst sowohl Begriffssammlungen und deren Synonyme in Deutsch als auch synonyme Bezeichnungen in Englisch, eine Zuordnung von Unter-/ Oberbegriffen, verwandten Begriffen, eine Liste von geographischen Angaben, Kollektionen von Begriffen und einen Klassifikationsmechanismus (Umweltbundesamt: Semantische Webdienste, 2016). Zudem sind Referenzen zu anderen Ontologien wie etwa dem GEMET auf europäischer Ebene eingebunden (Umweltbundesamt: UMTHEs, 2016).

GEMET steht für General Multilingual Environmental Thesaurus und hat das Ziel einer einheitlichen europäischen Indexierung sowie Abfrage von Umweltbegriffen. Die Entwicklung wird durch das *“European Topic Centre on Catalogue of Data Sources (ETC/CDS)”* und die *„European Environment Agency (EEA)”* gesteuert, erhält aber auch Unterstützung aus den beteiligten Ländern. Mittlerweile sind mehr als 30 Sprachen in GEMET eingepflegt und es besteht die Möglichkeit den Thesaurus via Web-Interface, Web-Service oder als Download in Form von HTML- oder RDF-Dateien abzufragen. So werden zu den Sucheingaben Erklärungen, verwandte Begriffe, zugehörige Gruppen, Übersetzungen und Referenzen zu anderen nationalen Input-Quellen wie dem UMTHEs ausgegeben. (EEA: GEMET, 2016) Die bestehende Problematik, die sich speziell bei grenzübergreifenden Repräsentationen ergibt und auf den unterschiedlichen Sprachen fußt, wird somit durch die Zusammenführung und Vernetzung der in den Ländern erarbeiteten Begriffe behoben und so eine gemeinsame terminologische Wissensbasis aufgebaut.

Ebenso auf europäischer Ebene und basierend auf zwei Forschungsprojekten wurde der **EnvThes** entwickelt. EnvThes (Environmental Thesaurus) nutzt die Technologien RDF und SKOS und bildet ein gemeinsames Vokabular für *„long term ecological research and monitoring”* sowie Verknüpfungen zu anderen bestehenden Thesauren wie etwa GEMET oder EuroVoc (Schentz, Peterseil, & Bertrand, 2013), (CEH: EnvThes, 2014).

Der **EuroVoc** wiederum ist ein multilingualer Thesaurus der Europäischen Union (Europäische Union, Publication Office: EuroVoc, 2015). Dieser basiert auf semantischen Standards, fokussiert aber neben Umweltaspekten auch weitere übergreifende Themenfelder. Der **AGROVOC** (AGROVOC:Linked-Data, 2016) (→ Kapitel 5.4.2.2) wiederum ist ein Thesaurus, welcher direkt auf das Themenfeld der Agrarwirtschaft ausgerichtet ist.

5.4.3.3 Nutzung von Linked Open Data und Open Government Data zur Unterstützung der Vernetzung von Umweltinformationen

Linked (Open) Data (kurz LOD) beschreibt ein Verfahren nach welchem Daten mit Hilfe semantischer Links miteinander vernetzt und auf diese Weise semantisch angereichert und in Kontext gesetzt werden. Tim BERNERS-LEE, der Urheber des Semantic Web Gedankens, hat auch an dieser Stelle eine Vorreiterrolle eingenommen und erstmalig in 2006 ein Design Issue Paper zum Thema Linked (Open) Data veröffentlicht, welches die zentralen Eigenschaften von Linked (Open) Data postuliert und in der Folge mehrmals aktualisiert wurde (Berners-Lee, 2006/2009). Technologisch gesehen wird zur Entwicklung von Linked (Open) Data jedes Element mit Hilfe eines Unified Resource Identifiers (URI) adressiert (1), wobei diese nach HTTP Format definiert sein sollten (2), zur Vernetzung und Abruf werden Standards wie RDF und SPARQL empfohlen (3) und schlussendlich sollten Links zu anderen URIs eingebunden werden können (4), um so direkt weitergehende zugehörige Themen aufzufinden (Berners-Lee, 2006/2009), (Blumauer, 2014, S. 5). Es bilden sich hierbei die Varianten Linked Data und Linked Open Data heraus, wobei letzteres sich von ersterem differenziert, indem vernetzte Daten zur Veröffentlichung im Internet eingestellt werden und nicht nur im Unternehmenskontext bestehen. Kerncharakteristiken von Linked Open Data sind daher die Veröffentlichung, Vernetzung und maschinenlesbare Verarbeitung von großen Datenmengen (Dengel, 2012, S. 183). Linked (Open) Data sind dabei nicht zwingend frei nutzbar, sondern unterliegen der durch den Urheber definierten Lizenz. BERNERS-LEE hat hierzu ein 5-Sterne Schema definiert welches den Grad von LOD definiert, sprich sind die Daten mit einer offenen Lizenz verfügbar (1*), sind sie in maschinenlesbarer Form verfügbar (2*), sind sie zusätzlich in einem nicht-proprietären Format verfügbar (3*), werden zur Repräsentation offene W3C Standards verwendet (4*) und sind sie schlussendlich mit anderen LOD verknüpft (5*)? (Berners-Lee, 2006/2009), (Dengel, 2012, S. 185), (Sack, 2014, S. 50-51).

Zentraler Baustein zur Etablierung von LOD ist der Einsatz von RDF, welches in Form von Subjekt-Prädikat-Objekt-Triplen Graphstrukturen zwischen den einzelnen Elementen aufbaut und so eine für den Menschen eingängige Wissensrepräsentation wählt. Diese wiederum kann leicht in heutigen NoSQL- oder Graphdatenbanken abgebildet werden, so dass die Kluft zwischen der maschinellen Verarbeitung der Daten und der für den Menschen interpretierbaren Ansicht verringert wird. (Blumauer, 2014, S. 7-9) Es lässt sich dabei zwischen *Relationship Links* (Verbindungen zu verwandten Ressourcen), *Identity Links* (Verbindungen zu identischen Ressourcen an anderer Stelle) und *Vocabulary Links* (Verbindungen zu Definitionen) zwischen den Ressourcen unterscheiden (Sack, 2014, S. 39).

Einen beispielhafter LOD-Graph, z.B. für die Stadt Siegen, kann mit Hilfe des Programms lodlive (lodlive: Anfrage "Siegen", 2015) ausgegeben werden (siehe schematische Abbildung Abbildung 40). Die unterliegende Datenquelle bildet DBPedia. Der Graph zeigt jeweils die nächsten Verbindungen. Im Kontext von Umweltanwendungen zeigt sich hierdurch bereits dass auf existierende LOD hinsichtlich geographischer Lokationen direkt aufgesetzt werden kann. Ein Beispiel hierzu ist der bereits zuvor erwähnte Dienst GeoNames.org (GeoNames, 2016), welcher Millionen von Geolokationen als LOD aufbereitet zur Verfügung stellt (Sack, 2014, S. 42) und auch als LOD Datensammlung heruntergeladen und in die eigenen Anwendungen eingebunden

werden kann, um so z.B. die Abbildung von Messstationen, Produktionsorten, Entsorgungsstellen in Form von Karten zu unterstützen.

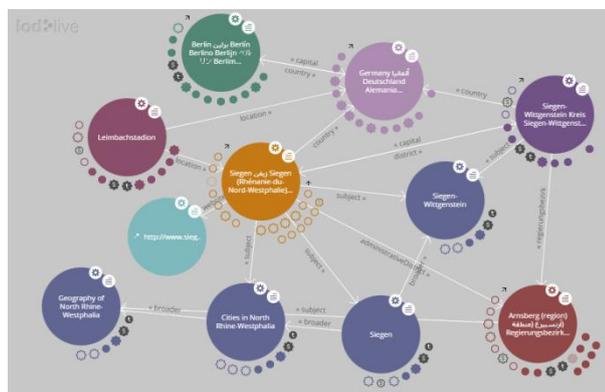


Abbildung 40 - Beispiel Linked Open Data Graph, generiert mit LODLive (lodlive: Anfrage "Siegen", 2015)³⁰

Der Zugriff auf LOD kann grundsätzlich auf verschiedene Weise erfolgen, z.B. über die Linked Open Data Cloud (Schmachtenberg, Bizer, Jentzsch, & Cyganiak, 2014), über einen für einen bestimmten LOD Bereich definierten SPARQL-Endpunkt, eine RESTful API, über URIs, eingebettete RDFa³¹ innerhalb eines HTML-Dokuments oder den direkten Download von RDF-Datendumps (Sack, 2014, S. 42, 55). Auf diese Weise ist eine variable Adressierung oder Anbindung bestehender LOD Sammlungen möglich. Dabei ist zu berücksichtigen dass sich Linked (Open) Data nicht einfach ohne vorherige Konzeption passend generieren lässt.

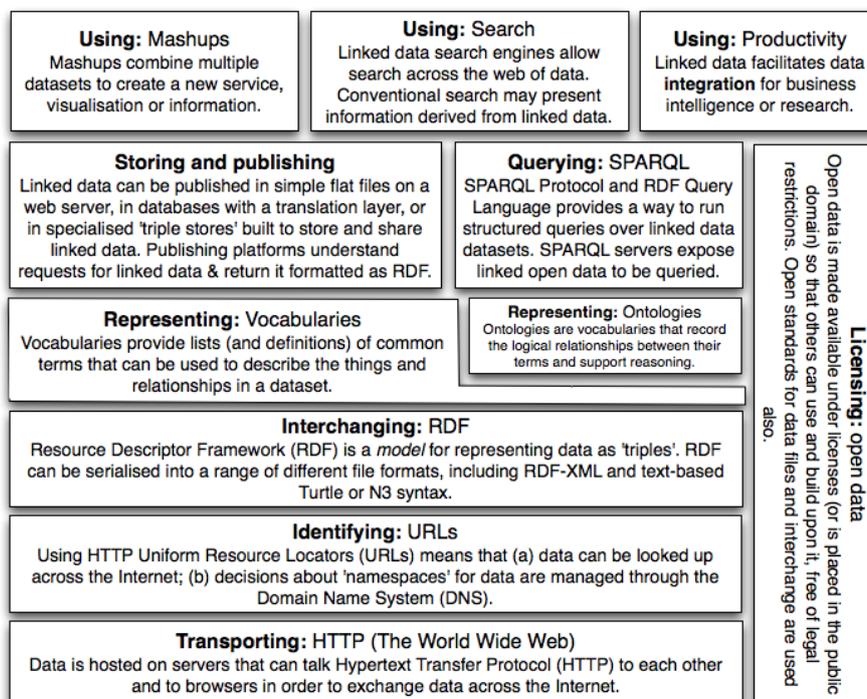
Die letztendlich resultierenden Vorteile von LOD, sowohl für die Öffentlichkeit als auch für Unternehmen, bestehen in einer Uniformität der Daten, einer De-Referenzierbarkeit, vorhandener Kohärenz, Integrierbarkeit und Aktualität (Auer, Lehmann, & Ngonga Ngomo, 2011, S. 5). DENGEL resümiert in diesem Zusammenhang das im Rahmen der LOD-Entwicklung die Repräsentation von LOD sehr einfach gestaltet wurde, um einen Anreiz zur Veröffentlichung der Daten zu geben, es gleichzeitig aber noch Forschungsbedarf hinsichtlich der Reasoning-Mechanismen gibt. (Dengel, 2012, S. 184). SACK wiederum sieht den kritischen Punkt in der noch unzureichenden Kohärenz der LOD, da nur durch eine ausreichende Vernetzung der einzelnen Ressourcen das Konzept voll zum tragen kommen kann (Sack, 2014, S. 60) und die zuvor angesprochenen Reasoningschritte ausgeführt werden können. Eine derartige Auswertung kann im Rahmen des UmweltWiS z.B. anhand der Abbildung von DAVIES (nächste Seite) erfolgen, nach welcher sich die LOD Themen eng an denen des Semantic Web Stack spiegeln lassen (Davies, 2011). LOD fußt auf dem bereits erwähnten graph-basierten Standard RDF und dem zugehörigen RDF Schema, welches erweiterte Möglichkeiten zu reinem RDF hinsichtlich der Modellierung der Daten bietet. Darauf aufsetzend lässt sich die OWL Web Ontology Language und Logik einsetzen, welche u.a. Klassenhierarchien und logisches Reasoning einbringen. RDF wiederum lässt sich „über die im Technologiestapel darunterliegenden

³⁰ LODLive ist unter der Creative Commons Lizenz 2.0 verfügbar, (Creative Commons: 2.0, 2016), Abbildung ist schematisch zu sehen, Details können in der Online-Version ausprobiert werden.

³¹ RDFa = RDF in Attributes, ermöglicht eine Einbettung in HTML Dokumenten (Sack, 2014, S. 33)

Kodierungsformate (XML, Turtle, RDFa, etc.) serialisier[en]“ (Sack, 2014, S. 26). Die Konvertierung von bestehenden Strukturen in RDF³² oder OWL kann durch unterstützende Tools erreicht werden (van der Waal, Wecl, Ermilov, Janev, Milosevic, & Wainwright, 2014, S. 179-181). ISELE beschreibt diese Schritte auch als *Data Translation*, *Entity Matching* und *Data Fusion* (Isele, 2014, S. 103-105, 117).

Implizit wird bei der Modellierung der Konzepte zwischen dem sogenannten terminologischen Wissen (T-Boxen) und dem assertionalen Wissen (A-Boxen) hin zu einer gemeinsamen Wissensbasis unterschieden. Anhand der T-Boxen werden die „Klassen“ (ähnlich zur Objektorientierten Programmierung) zur Modellierung der Zusammenhänge gebildet und die Assertional-Boxes wiederum bilden die Zuordnungen, sprich die Instanzen der Klassen. Im Sinne von RDF sind dies zumeist konkrete Literale. (Sack, 2014, S. 36) Die Abfrage von LOD erfolgt im Kern über SPARQL-Anfragen, welche in einem gewissen Maße logische Schlussfolgerungen zulassen (Sack, 2014, S. 26). Dieses Thema wird eingehender in → *Kapitel 5.5* hinsichtlich der Anfrage- und Inferenzmöglichkeiten von Linked Open Data bzw. Ontologien betrachtet.



Elements of the Linked Open Data Stack (revision 3) - 5th May 2011. CC BY-SA-NC
Draft sketch by Tim Davies (@timdavies / tim@practicalparticipation.co.uk) for IKM Working Paper on Linked Open Data for Development. Comments welcome. Search 'linked open data stack' on <http://www.opendataimpacts.net> for latest version.

Idea based on Semantic Web Stack at http://en.wikipedia.org/wiki/Semantic_Web_Stack

Abbildung 41 - Elemente des Linked Open Data Stacks, (Davies, 2011)

Neben dem Begriff Linked Open Data ist in den letzten Jahren auch verstärkt der Begriff *Open Government Data* (OGD) aufgekommen. Hierbei handelt es sich um die Veröffentlichung von zentralen Verwaltungsdaten, welche in Deutschland speziell durch die Bundesregierung

³² RDF steht an dieser Stelle für (RDF, RDFS, RDFa)

vorangetrieben wird. Die Forderung nach weltweiten Open Government Data wurde als Ergebnis des G8-Gipfels in Lough Erne in 2013 formuliert (UK Prime Minister's Office et al., 2013), um durch dessen Bereitstellung einen einfacheren Austausch von Daten auch länderübergreifend zu ermöglichen. Das Bundesministerium des Inneren (Bundesministerium des Inneren, 2014, S. 5-6) hat daran anschließend ein Konzeptpapier veröffentlicht, nach dem die Initiative in fünf Kernpunkten detailliert wird und dessen Umsetzung auf Bundes-, Länder –und Kommunalebene, z.B. „in den Bereichen Geographie und Geologie, Umwelt oder Statistik“ stattfinden soll. DAVIES resümiert in einem globalen Open Data Report (ebenfalls aus dem Jahr 2013) das sich das Thema Open Data seit der Jahrtausendwende von einzelnen wenigen Ansätzen weltweit verbreitet hat und mittlerweile in den obersten Etagen nationaler Initiativen und Regierungen, in einer G8 Open Data Charter oder auf UN Ebene Einzug gehalten hat (Davies, 2013, S. 9). Die Vorteile in der Bereitstellung dieser offenen Verwaltungsdaten werden in einer erhöhten Effizienz, Unterstützung von Innovation, ökonomischem Wachstum, Transparenz und Nachweisbarkeit, sowie der Einbindung unterschiedlicher Stakeholder gesehen (Davies, 2013, S. 9-10). ABECKER nennt als weitere Hauptgründe für die Veröffentlichung von Umweltinformationen als Open Data die Schaffung von Mehrwerten und folglich eine weitergehende Auswertung durch andere Nutzer, welche durch den Erheber der Daten nicht realisiert werden konnte oder für diesen keinerlei Relevanz darstellt (Abecker, Heidmann, Hofmann, & Kazakos, 2013, S. 69). Aus Sicht des UMWELTBUNDESAMTES erfordert deren Anwendung „*qualitativ hochwertige, gut strukturierte, valide und leicht zugängliche sowie reproduzierbare Umweltinformationen aus verschiedenen Bereichen der Umwelt, der Gesundheit und des öffentlichen Lebens.*“ (Knetsch & Fock, 2013, S. 21)

Open (Government) Data sind „*bestehende Datenbestände, die in der Regel in Form von Rohdaten zur Nutzung, insbesondere zur Weiterverwendung und Weiterverbreitung, öffentlich bereitgestellt werden*“. Hierbei wird betont, dass es sich gezielt um Daten und nicht um Informationen handeln soll, so dass diese Daten auch in anderen Kontexten Anwendung finden können. (Bundesministerium des Inneren, 2014, S. 5)

Open Government Data lassen sich auf unterschiedliche Weise interpretieren und mit unterschiedlichem Aufwand bereitstellen. So kann die Spanne von der Bereitstellung von Tabellen mit einfachen Messwerten bis hin zu vollumfänglichen Linked Open Data variieren. Gerade in dieser Hinsicht sollte die Tendenz hin zu LOD gehen, da diese nach anfänglicher Generierung in Zusammenhang gesetzt und für andere nutzbar gemacht werden können. Das dies bislang noch nicht flächendeckend erreicht wird, zeigt eine Analyse im Kontext des angesprochenen Open Data Barometer-Reports aus 2013 (Davies, 2013), wird aber auch durch (van der Waal, Wecl, Ermilov, Janev, Milosevic, & Wainwright, 2014, S. 177) angemerkt.

Im Hinblick auf das UmweltWiS stellt sich nach den vorhergehenden Betrachtungen die Frage, inwiefern LOD, LED (→ *Kapitel 5.4.3.1*) oder OGD auch für Unternehmen vorteilhaft einsetzbar sind, wenn diese ggf. keine Linked Open Data bereitstellen möchten aber gleichzeitig die Technologie für die Vernetzung ihrer internen Ressourcen und die Einbindung von bestehenden LOD, LED oder OGD nutzen möchten. In diesem Sinne bieten sich z.B. Linked Data

Warehouse Systeme zur Integration und Vernetzung von internen Linked Data-Artefakten an, um so eine leichtere Auffindbarkeit und Zusammenhänge sichtbar zu machen (Blumauer, 2014, S. 14). Die Artefakte lassen sich dabei z.B. durch Suchverfahren auf Basis von Named Entity Recognition³³, anderer Data und Text Mining-Verfahren oder mit Hilfe von Ontologien extrahieren, indizieren oder annotieren und in den Graph einfügen (Blumauer, 2014, S. 10-15), (Dengel, 2012, S. 213, 215, 219-221, 224-227). Dies könnte beispielsweise für die Generierung von Zusammenhängen aus bestehenden Publikationen oder zur Verknüpfung mit weiteren Meta- und Media-Daten (z.B. Social-Media) Einsatz finden. Der Anknüpfungspunkt Social Media würde zudem eine Annotation oder weitergehende Ergänzung des Wissens durch die Endanwender ermöglichen. Der Wissensexperte wäre an dieser Stelle ebenso involviert, da er ggf. Korrekturen bei der Vernetzung oder Annotationen manuell einpflegen müsste. Eine Seralisierung von RDF-Graphen hin zu JSON (Java Script Object Notation) Web-Objekten ist ebenfalls möglich (Sack, 2014, S. 33).

5.4.4 UmweltWiS-Vernetzungsschema

5.4.4.1 Ontologie-Engineering – Theoretische Grundlagen

Nachdem in → *Kapitel 5.2.1* das Thema Ontologie als höchste Stufe der semantischen Repräsentation bzw. Reihhaltigkeit vorgestellt wurde, soll an dieser Stelle detaillierter auf die theoretischen Grundlagen einer Ontologie und den zugehörigen Prozessen des *Ontologie Engineerings* eingegangen werden. Grundsätzlich stellt eine Ontologie eine Konzeptualisierung oder Schemadefinition dar, der konkrete Instanzen zugeordnet werden können. Allgemein werden Ontologien, also Schemadefinitionen, zu Beginn aufgebaut, über die Zeit erweitert, in andere Ontologien integriert oder angebunden und schließlich angewendet. Dieser Vorgang wird auch als Ontology Engineering bezeichnet und erfordert eine gemeinsame Repräsentationssprache, wie etwa OWL, da nur so eine gemeinsame und für alle Beteiligten formal verständliche Abbildung des Wissens möglich ist. (Sattler, 2007, S. 155-156) Nach STUCKENSCHMIDT ET AL.³⁴ teilt sich der Ontology Engineering Prozess in vier Phasen, wobei zu Beginn der Sinn der Ontologie zu definieren ist, danach die eigentliche Erfassung des Wissens in der Ontologie sowie die zugehörige Strukturierung oder Integration in bereits bestehende Ontologien. Als dritter Schritt wird eine Evaluation bestehend aus einer Verifikation und Validierung durchgeführt. Als vierten und in gewissem Masse parallelen Schritt werden die Richtlinien für die drei vorherigen Schritte festgelegt, so dass verschiedene an der Ontologie arbeitende Mitarbeiter nach demselben Muster vorgehen (Stuckenschmidt & van Harmelen, 2005, S. 66). Speziell der Schritt der Integration und Wiederverwendung (siehe auch Wiederverwendung von Wissen → *Kapitel 7*) von Ontologien und den darin enthaltenen Konzepten und Definitionen ist dabei von entscheidender Bedeutung (Stuckenschmidt, 2011, S. 160-161). Aus „Entwickler“-Sicht lassen sich fünf Schritte zur

³³ Named Entity Recognition umfasst „[d]as Erkennen und Klassifizieren von einzelnen Textsegmenten [...] als Namen von Personen, Organisationen, Orten, [...] unter der Erkennung benannter Entitäten“ (Dengel, 2012, S. 213).

³⁴ Die Autoren referenzieren an dieser Stelle: *Uschold, M. (1996). Building ontologies: Towards a unified methodology. In 16th Annual Conference of the British Computer Society Specialist Group on Expert Systems, Cambridge, UK.*

Ontologie-Erstellung nennen: Zu Anfang werden gemeinsame Konzepte und Subkonzepte bzw. respektive Klassen und Subklassen ermittelt, danach werden Properties definiert welche die Konzepte miteinander verbinden. In Schritt drei werden die Propertywerte ermittelt und zugeordnet, bevor die Ontologie im vierten und fünften Schritt iterativ adaptiert und respektive verbessert wird (Stuckenschmidt & van Harmelen, 2005, S. 68-69). Einen weiteren Ansatz beschreiben (Gavrilova, Leshcheva, & Strakhovich, 2015) nach welchem die Hauptschritte des Ontology Engineerings (A) die Definition der Ziele, Strategie und Grenzen, (B) die Erarbeitung eines Glossars, der relevanten Objekte und Meta-Informationen, (C) den Aufbau eines Abstraktionslevels und passender Kategorisierung, und schlussendlich (D) eine Harmonisierung der Ontologie bilden.

Vor Beginn der eigentlichen Ontologie-Entwicklung sind die Komplexität und Inferenz-Möglichkeiten der Ontologie zu betrachten, wobei diese im Kern von der gewählten Ontologiesprache abhängen (Sattler, 2007, S. 156). Dieses Thema wird innerhalb der Betrachtung der Inferenz- und Analysemöglichkeiten des UmweltWiS (\rightarrow Kapitel 5.5) beleuchtet. Neben der rein textuellen Abbildung einer Ontologie mittels der gewählten Ontologiesprache, ist ebenso eine Visualisierung derselben als Graph-Struktur möglich. Die Kernelemente einer Ontologie bilden die Konzepte, je nach Quelle auch als Entität oder Klasse bezeichnet. Konzepte können sich in Hierarchiestrukturen aufbauen, denen wiederum Instanzen zugeordnet werden können, sprich eine Instanz „Kyrill“ ist von dem Konzept „Orkan“, wobei das Konzept „Orkan“ wiederum ein Subkonzept zu „Sturm“ bildet. Mittels Object Properties und Data Properties sowie mittels Annotationen lassen sich zusammenhängende Graph-Strukturen inkl. Metadaten aufbauen, welche eine Erweiterung der RDF-Graph-Strukturen bilden. Bei Ontologien bildet die wichtigste Verbindung zwischen zwei Konzepten die Vererbungsbeziehung oder „is-a“-Beziehung, welche eine Zuordnung zwischen Konzept und Subkonzept bzw. „Oberbegriff“ und „Unterbegriff“ abbildet und so die Eigenschaften des Konzeptes auf das Subkonzept „vererbt“ (Ehrig & Studer, 2006, S. 473). Ebenso lässt sich eine Äquivalenz-Beziehung zwischen zwei Konzepten definieren, so dass eine Aussage gemacht werden kann inwiefern ein Konzept einem zweiten entspricht, obgleich es unterschiedlich benannt ist.

Exkurs Graphentheorie: Bevor auf die oben beschriebenen Konstrukte und das UmweltWiS-Vernetzungsschema eingehender eingegangen wird, soll kurz das Themengebiet der Graphentheorie adressiert werden. Einen entscheidenden Aspekt innerhalb eines Graphen bilden die Kanten zwischen den Knoten und die damit verbundenen Distanzmaße. Diese ermöglichen die Ermittlung welche Distanz eine bestimmte Entität von bzw. zu dem aktuellen Knoten besitzt. Ein Graph (V, E) selbst bildet sich aus einer endlichen Menge V von Knoten und einer Menge E von Kanten, wobei:

$$\{a, b\} \text{ mit } a, b \in V, a \neq b. \text{ (Teschl \& Teschl, 2008, S. 412)}$$

Formel 2 - Definition Graphentheorie

Handelt es sich um einen gerichteten Graph, so besitzt jede Kante eine Richtung, was durch ein geordnetes Paar abgebildet wird, so dass (a, b) entgegengesetzt zu (b, a) zu interpretieren ist. (Teschl & Teschl, 2008, S. 416)

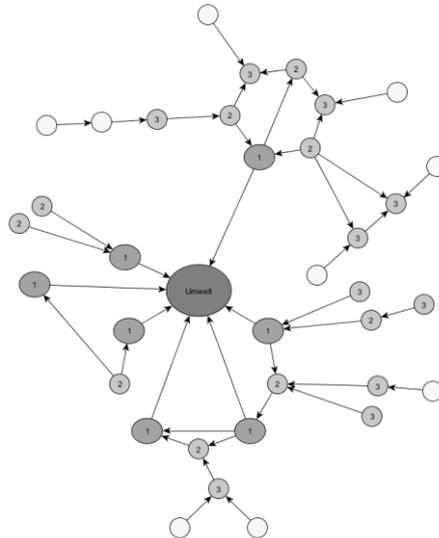


Abbildung 42 - Gerichteter Graph – Schematisches Beispiel

Um eine nahe oder weniger nahe Verwandtschaft von zwei Knoten zueinander zu ermitteln, existieren in der Literatur verschiedene Distanzmaße bzw. -algorithmen welche die kürzesten Pfade zwischen den Knoten ermitteln können. Der kürzeste Pfad zwischen zwei Knoten ermittelt sich aus der Länge eines Weges W in einem gerichteten Graphen. Dieser bildet sich aus der Summe der gewichteten Kanten entlang des Weges. Der kürzeste Weg ist in der Konsequenz der Weg mit minimaler Länge (Teschl & Teschl, 2008, S. 448). Dies würde zum Beispiel eine Priorisierung und Ermittlung von Themenzusammenhängen unterstützen. Je kleiner die Distanz zwischen zwei Knoten, desto höher erscheint deren Zusammenhang zueinander zu sein. Um bei großen Datenmengen den Performanceaufwand jedoch gering zu halten, kann alternativ auch eine Distanz festgelegt werden, sprich es werden z.B. nur die Knotenzusammenhänge ausgegeben, die durch max. drei hintereinanderliegende Kanten miteinander verbunden sind. Die darüber hinausgehenden Knoten werden im ersten Ergebnis nicht aufgegriffen, da der Beziehungszusammenhang nicht eng oder wichtig genug erscheint. Dies ändert sich in dem Moment, in dem der Anwender beginnt durch den Graph zu navigieren. Durch eine Visualisierung als Graph bietet es sich an diesen interaktiv zu gestalten, so dass zuerst von dem gesuchten Knoten die nächsten Verbindungen dargestellt werden und von dort aus wiederum auf die Verbindungen dieses Knotens weiter navigiert werden kann.

5.4.4.2 UmweltWiS-Vernetzungsschema auf Basis einer Ontologie

Entsprechend der Empfehlung von (Stuckenschmidt, 2011, S. 159-160) soll zu Beginn des Prozesses der Ontologie-Erstellung die Frage gestellt werden, welche Inhalte im späteren Verlauf anhand dieser Logik abgefragt oder repräsentiert werden sollen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass eine „Basis-Variante“ der UmweltWiS Ontologie die Grundlage des Systems bildet, um im späteren Verlauf diese Ontologie für die jeweiligen Anwendungsfälle durch spezifische Klassen und Instanzen zu ergänzen. Die Etablierung der Ontologie unterliegt daher folgenden Leitfragen:

[LF-1]. Wie können Umweltprobleme und deren lokales bzw. geographisches auftreten durch die Nutzung bestehender Ontologien abgebildet werden?

- [LF-2]. Wie lassen sich zu Umweltproblemen Folgeaktionen oder Präventivmaßnahmen ableiten?
- [LF-3]. Wie können besagte Umweltprobleme und die dazu erstellten Veröffentlichungen und Medieninhalte verknüpft werden?
- [LF-4]. Welche Stakeholder sind im Zuge der Umweltprobleme direkt oder indirekt involviert?
- [LF-5]. Wie lassen sich Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Umweltproblemen (z.B. Chemieunfall in Ort X und Saurer Regen in Ort Y) darstellen?

Ausgehend von diesen fünf Leitfragen wird eine UmweltWiS-Ontologie modelliert, welche sich aus „eigenen“ Klassen und bereits bestehenden Ontologien aufbaut und so Daten aus der Linked Open Data Cloud einbindet. Zur Entwicklung und Darstellung der Ontologie wurde die Software Protégé (Stanford University: Protégé, 2016)³⁵ eingesetzt. Hinweise zur Auswahl und der Abbildung einer Ontologie mittels Protégé werden in → Anhang C: beschrieben.

Im Folgenden wird teilweise theoretisch, teilweise mit Beispielen unterlegt, ausgeführt wie eine Ontologie des UmweltWiS aussehen kann und an welcher Stelle diese durch weitere Ontologien bzw. Linked Open Data Sammlungen ergänzt werden kann. Es ist insgesamt bzgl. des UmweltWiS-Vernetzungsschemas zu beachten das ein Domain-Ontologieschema immer einen Weltausschnitt zeigt, sprich es verfolgt den Anspruch einen Themenzusammenhang zu beschreiben, es ist aber immer möglich weitere Aspekte in der Ontologie zu ergänzen und diese zu erweitern. Dies hat den Vorteil dass die Struktur flexibel bleibt, jedoch den Nachteil dass jeder Leser dieser Arbeit Aspekte finden wird, die ergänzt oder anders gestaltet werden könnten. Es ist somit zu bedenken dass die dargestellte UmweltWiS-Ontologie eine initiale Version bildet. Diese wurde entsprechend noch nicht in der Linked Open Data Cloud veröffentlicht. Wie sich z.B. an der EnvO (Buttigieg, Morrision, Smith, Mungall, Lewis, & ENVO, 2013) zeigt, bestehen ganze Communities um eine Ontologie gemeinsam zu entwickeln und ein entsprechend gemeinsames Verständnis abzustimmen. Daher war bereits bei der Entwicklung der UmweltWiS-Ontologie ersichtlich, dass diese im Rahmen der Arbeit „niemals“ abgeschlossen sein kann und immer Erweiterungspotential aufgrund anderer Sichtweisen oder weiterer LOD bestehen wird.

Ausgehend von der Wurzel der Ontologie (Konzept mit dem Namen „Thing“) bilden sich die Subkonzepte: Basisinformation, DIN_14050, Fachinformation, LOD, Medieninformation, Naturinformation, Person, Publikation, Qualitaet, Umweltaktion, Umweltproblem, Umweltprävention. Bezüglich der Namenskonvention sind alle Klassen ohne Präfix (z.B. Bild vs. dbpedia: Bild) direkter Bestandteil der UmweltWiS Ontologie. Die weiteren Klassen wurden per LOD importiert und verknüpft. Als Präfix werden dbpedia: für DBpedia (das Präfix dbo, wird bereits durch DBpedia verwendet), geo: für GeoNames, env: für Environmental Ontology, fao: für die

³⁵ Zitierhinweis Protégé: „This work was conducted using the Protégé resource, which is supported by grant GM10331601 from the National Institute of General Medical Sciences of the United States National Institutes of Health.“ (Stanford University: Protégé, 2016) Die OntoGraf-Darstellung in Protégé sowie weitere Umsetzungsdarstellungen aus Protégé zeigen jeweils ein Bildschirmfoto der Anwendung. Dieses ermöglicht eine gute Qualität für die ausgedruckte Arbeit. Bei der PDF-Variante ist ggf. eine passende Skalierung zur optimalen Lesbarkeit einzustellen.

Geopolitical Ontology der FAO verwendet. GeoNames nutzt wiederum eigene Präfixe, die bei Bedarf mit angegeben werden. Der AGROVOC verwendet das eigene Präfix `void:`.

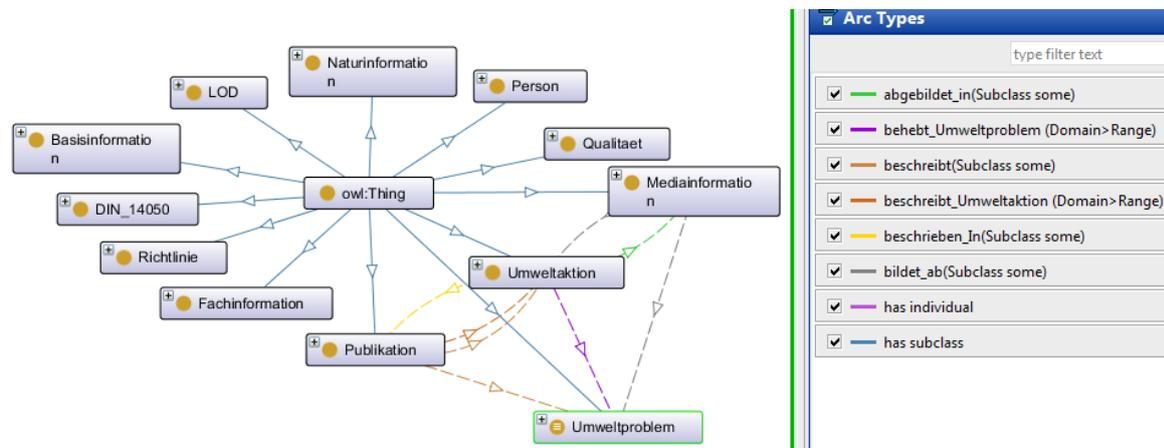


Abbildung 43 - UmweltWiS - Vernetzungsschema (1), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)

Nachfolgend werden diese Subkonzepte weitergehend betrachtet, wobei diese inhalts- bzw. situationsbezogen in den späteren Anwendungsfällen in *→Kapitel 6* vertieft werden.

5.4.4.2.1 LOD – Importierte Linked Open Data Ontologien

Zu Beginn werden die importierten Linked Open Data Ontologien betrachtet. Dies hat den Hintergrund, dass diese mit den für das UmweltWiS entwickelten Subkonzepten vernetzt werden, um so eine UmweltWiS-Ontologie bzw. ein UmweltWiS-Vernetzungsschema zu bilden. Dieses Schema setzt somit auf bereits durch Communities und Organisationen entwickelte und in sich abgestimmte Domain-Ontologien auf, ebenso wie eigens für das UmweltWiS entwickelte Subkonzepte. Dies hat speziell im Hinblick auf die späteren Anwendungsfälle den Vorteil, dass die eigens entwickelten Konzepte auf den jeweiligen Anwendungsfall angepasst werden können. LOD beinhaltet in der aktuellen Version die importierten Domain-Ontologien `EnvO`, `FAO Geopolitical`, `DBpedia`, `AGROVOC` und `GEONAMES`. Es werden dabei nicht alle zugehörigen Instanzen mit importiert, da dies in den Fällen von `DBpedia`, `AGROVOC` und `GEONAMES` aufgrund der Menge nicht zielführend ist. Vielmehr müssten die entsprechenden Instanzen in einer konkreten Anwendung anhand von Suchanfragen und Reasoning abgefragt werden. Alternativ kann ein SPARQL-Endpunkt in die Anwendung eingefügt werden, um so die Anfrage durchzuführen. Dieses Thema wird in *→ Kapitel 5.5* eingehender betrachtet. Da zudem nicht alle in den Domain-Ontologien importierten Klassen von Relevanz sind (z.B. Klassen zur Abbildung von Musik in `DBpedia`) wurden nur die Klassen übernommen, welche in thematischen Zusammenhängen mit den in *Abbildung 43* beschriebenen Konzepten stehen. Folgende Abbildung zeigt die Nähe der gewählten Domain-Ontologien anhand der Linked Open Data Cloud (Schmachtenberg, Bizer, Jentzsch, & Cyganiak, 2014). `DBpedia` bildet dabei das Zentrum der LOD-Cloud. Einzig die `Environment Ontology` wird nicht in der Nähe des Zentrums angezeigt.

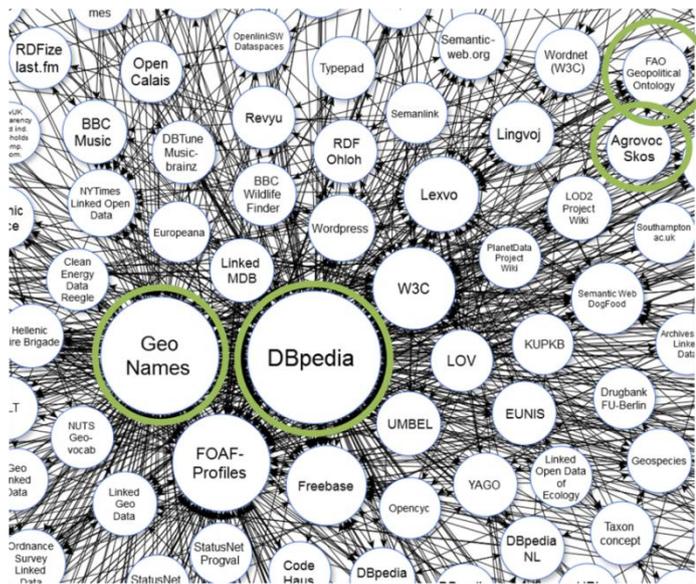


Abbildung 44 - Verwendete Datasets – Ausschnitt Linked Open Data Cloud (Schmachtenberg, Bizer, Jentzsch, & Cyganiak, 2014)

Die durch die **FAO** bereitgestellte *Geopolitical Ontology* (FAO: Geopolitical Ontologie, 2016) (→ Kapitel 5.4.2.2) ermöglicht die Einbindung von Länderinformationen der Erde in eigenentwickelte Anwendungen. „*The FAO Geopolitical Ontology was developed to improve information management, to facilitate standardized data sharing and interoperability, and to deliver the most updated geopolitical information.*“ (Iglesias-Sucasas, Kim, & Viollier, 2013) Durch den Import der Ontologie werden diese Länderinformationen in Form von Instanzen in die Anwendung importiert. Dabei werden Beziehungen zwischen den Ländern sowie deren Grenzen modelliert. Auf diese Weise können alle weiteren Themen immer geographisch einem Land zugeordnet werden, ebenso sind Längen- und Breitengrad der Länder vorhanden, so dass eine Abbildung in einer Karte möglich wird. Auch sind Währungen etc. in dieser Ontologie beschrieben, so dass diese eine sehr gute Vernetzung mit eigenentwickelten Ontologien ermöglicht.

Die FAO Geopolitical Ontologie baut sich unterhalb des Konzeptes `fao:area` auf und umfasst dabei die beiden Entitäten `fao:groups` und `fao:territory`, wobei die Gruppen bestimmte Regionen und Organisationszusammenschlüsse umfassen, während die Territorien selbst (z.B. Deutschland) oder fremdverwaltete (z.B. Gibraltar) Gebiete umfasst. Speziell die Länder, welche unter der Klasse `fao:self_governing` eingeordnet sind, lassen sich mit anderen Konzepten der UmweltWiS-Ontologie verknüpfen. Mittels des Data Property `codeDBpediaID` kann für eine Länderinstanz eine Verknüpfung zu der Länder-Beschreibung DBpedia hinterlegt bzw. abgefragt werden. Das in DBpedia ein Konzept für eine derartige Instanz besteht, zeigt die Klasse `dbpedia:Staat`, welche eine Subklasse der Klasse `dbpedia:bewohnter_ort` bildet, die wiederum u.a. die Unterklassen `dbpedia:Region` und `dbpedia:Siedlung` besitzt. `dbpedia:Region` wiederum hat eine Subklasse `dbpedia:Verwaltungsregion`,
worunter
`dbpedia:staatliche`

Verwaltungsregion und schließlich dbpedia:Gemeinde, dbpedia:Distrikt und Bundesland eingeordnet sind. Bundesland wurde beispielhaft als eine eigene Klasse in der UmweltWiS-Ontologie angelegt, welche im späteren Anwendungsfall eingesetzt wird. Die ebenso eigens definierte Klasse Stadt lässt eine Äquivalenzbeziehung zu dbpedia:Stadt zu, um darunter Konzepte für Kreisstadt und Landeshauptstadt anlegen zu können.

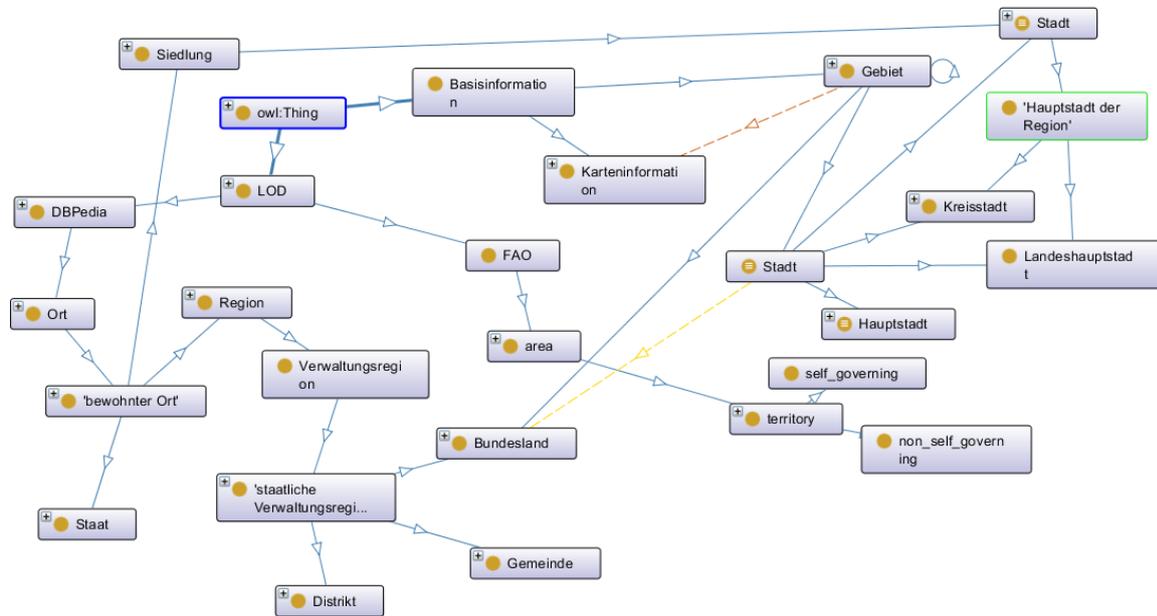


Abbildung 45 - UmweltWiS – Vernetzungsschema – Integration der Domain-Ontologie FAO, Input basierend auf (FAO: Geopolitical Ontologie, 2016), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)

Da die *FAO Geopolitical Ontologie* (→ Kapitel 5.4.2.2) nur Länderangaben, jedoch keine Angaben zu Städten oder kleineren administrativen Regionen bereitstellt, wird eine Verbindung zu den Konzepten aus der *GeoNames* (GeoNames, 2016) Domain-Ontologie hergestellt. Diese bedient sich der ebenfalls in der LOD-Cloud (Schmachtenberg, Bizer, Jentsch, & Cyganiak, 2014) enthaltenen Ontologien *FOAF* (Friend of a Friend-Ontologie (FOAF, 2014)) zur Modellierung von Dokument-, Organisation- und Personenangaben und *SKOS* (Simple Knowledge Organisation System (W3C:SKOS, 2009)) zur Abbildung von Konzeptcodes und Konzeptschemata. Das GeoNames Feature wiederum ist Unterklasse in der von *DBPedia* bereitgestellten Ontologie und erzeugt demzufolge eine direkte Verknüpfung zwischen den Modellen. Eine beispielhafte Abfrage von GeoNames via Web-Interface nach der Stadt Siegen liefert eine visuelle Darstellung in der topographischen Karte und eine zugehörige RDF-Antwort. In dieser ist u.a. eine Mapping-Referenz zu DBPedia enthalten: `<rdfs:seeAlso rdf:resource="http://dbpedia.org/resource/Siegen"/>` (GeoNames: Stadt Siegen, 2016). Folgende Abbildung zeigt schematisch die importierte GeoNames Ontologie.

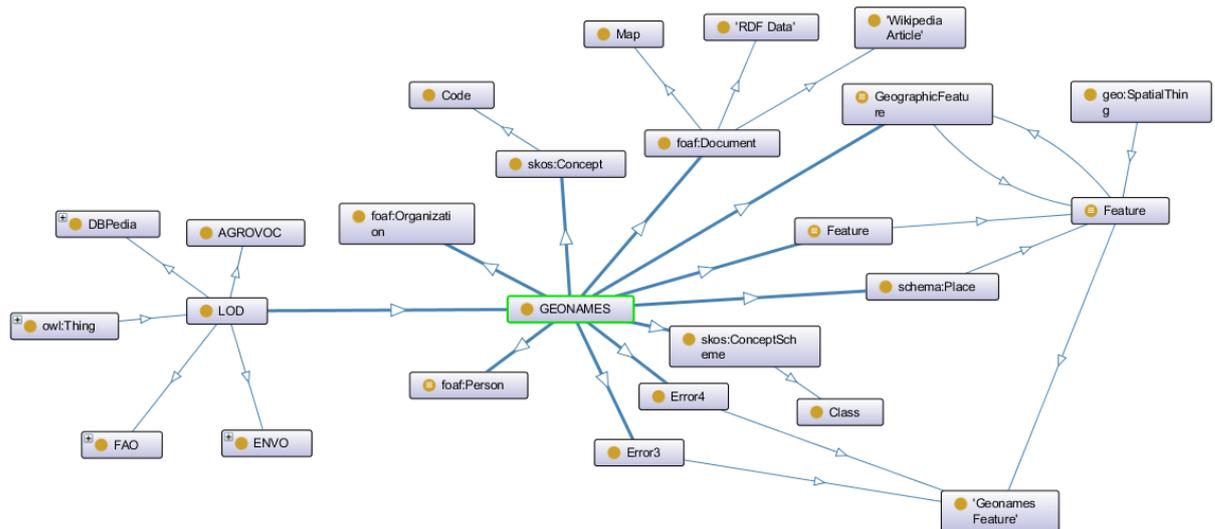


Abbildung 46 - UmweltWiS-Vernetzungsschema, Integration der Domain-Ontologie GeoNames (GeoNames, 2016), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)

Mittels der *Environment Ontology EnvO* (EnvO: The Environment Ontology, 2016) (→5.4.2.2) lassen sich die Umweltzusammenhänge eines bestimmten Gebietes genauer bestimmen. Die EnvO baut sich im Kern aus den Klassen `envo:material entity` und `envo:occurent` auf. Die Hauptkonzepte unterhalb der `envo:material entity` sind `envo:environmental material`, `envo:environmental feature` und `envo:system`. Unter `envo:environmental material` wiederum bestehen verschiedene Klassifikationen für mögliche Materialien. Beispielsweise ist das für den späteren Anwendungsfall interessante Holz (`envo:wood`) als Subklasse von `envo:organic material` modelliert.

Unter `envo:environmental feature` ist unter anderem die `envo:environmental zone` enthalten, unter welcher wiederum die Subklasse `envo:vegetated areas` und darunter schließlich die Subklasse `envo:forest` eingeordnet ist. `envo:forest` besitzt verschiedene Subklassen für unterschiedliche Arten von Wäldern, wie etwa `envo:needleleaf forest`.

Das `envo:environmental system` sortiert sich unter der bereits angesprochenen Klasse `envo:system` ein. Darunter ist als Subklasse `envo:biome`, darunter `envo:terrestrial biome` und darunter `envo:woodland biome` oder `envo:forest biome` vorhanden. Neben der Definition der Umwelt werden die zugehörigen Prozesse unter `envo:occurent`, darunter `envo:process` und schließlich `envo:environmental system process` eingeordnet. Dort ergeben sich verschiedene mögliche Prozesse wie etwa `envo:forest process`, `envo:afforestation`, `envo:deforestation` oder auch `envo:forest area expansion`. Aufgrund dieser Klassen ergeben sich Anknüpfungspunkte für die UmweltWiS-Klassen *Naturinformation* und *Fachinformation*.

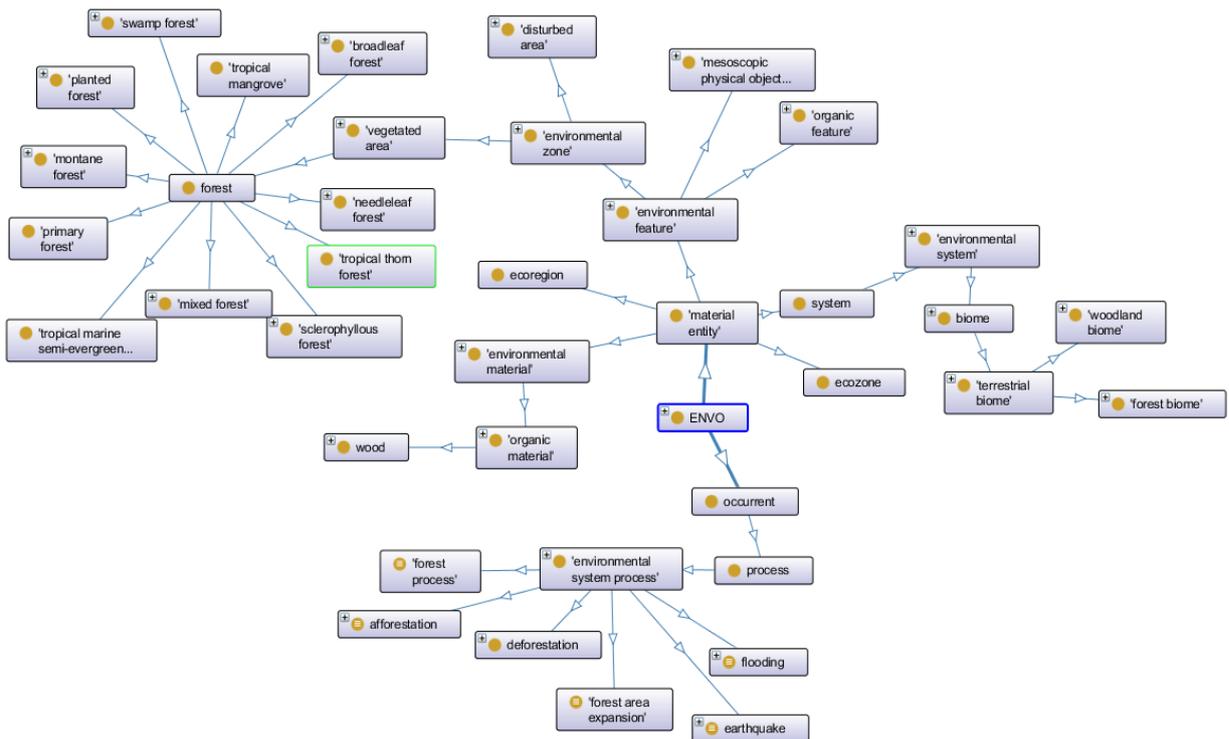


Abbildung 47 - EnvO (EnvO: The Environment Ontology, 2016) - Aufbau am Beispiel "Forest", OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)

Zur Modellierung der Hintergrundinformationen zu Orten oder Pflanzen wird die Domain-Ontologie von *DBpedia* (→ Kapitel 5.4.2.2) aufgegriffen. Es wurde hierzu die Version aus Oktober 2015 herangezogen (DBpedia: Ontologie, 2015), wobei diese nicht in Gänze integriert wurde, sondern die für den Umweltkontext relevanten Konzepte übernommen wurden. Aufgrund der in der DBpedia Ontologie vorhandenen Konzepte zur Modellierung von Orten, Personen und Werken oder Ereignissen lassen sich die bestehenden Konzepte via Äquivalenzbeziehungen oder durch Ergänzung von Subklassen um die notwendigen Inhalte erweitern. Es ergibt sich dahingehend die in der folgenden Abbildung reduzierte Ansicht der DBpedia-Ontologie. Weitere Informationen hierzu werden in den folgenden Unterkapiteln 5.4.4.2.2 bis 5.4.4.2.9 beschrieben.

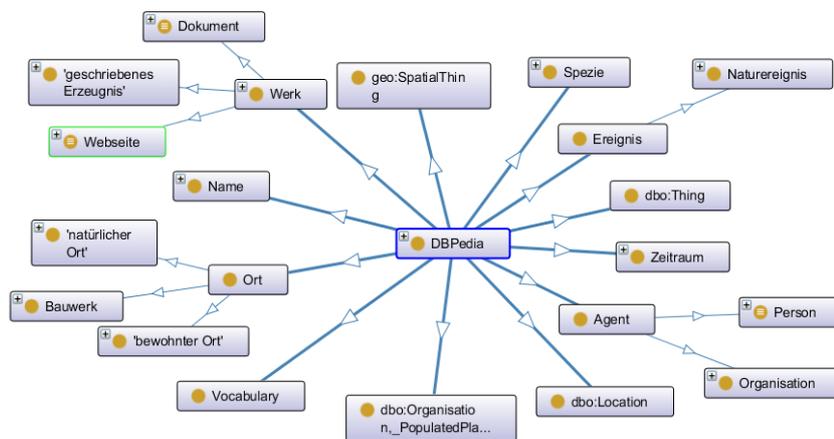


Abbildung 48 - DBpedia (DBpedia: Ontologie, 2015) – Teilontologie in UmweltWiS, OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)

Dass eine derartige Verknüpfung Sinn macht zeigt eine Suche in DBPedia z.B. nach der Instanz `Forest` und den damit verbundenen Konzepten und Instanzen. Der inhärente Vernetzungsgrad von DBPedia, das sogenannte "Interlinking" zu weiteren Ontologien, wird beispielsweise durch (Lehmann, et al., 2015a) dokumentiert, nach welchem DBPedia allein mehr als 86.000 `owl:sameAs` Beziehungen zu *GeoNames*, also zu Ortsangaben umfasst. Eine graphbasierte Abfrage ist beispielsweise mit dem in → *Abbildung 40* referenzierten Service `lodlive` möglich (lodlive: Anfrage "Forest", 2016).

Der AGROVOC Thesaurus (→ *Kapitel 5.4.2.2*) ist ein mehrsprachiger Thesaurus und dient zur Begriffsdefinition umweltrelevanter Begriffe und Zusammenhänge. Nach (Caracciolo, et al., 2013) umfasst dieser mehr als 3,5 Mio. Einträge und wird, wie auch die Geopolitical Ontology, durch die FAO betrieben und weiterentwickelt: „*Today, the AGROVOC SKOS-XL concept scheme is a LOD [...] Dataset composed of more than 32000 concepts available in over 20 languages [...], containing up to 40.000 terms in each language.*“ Dieser ist dabei unter der Creative Commons Lizenz 3.0 frei nutzbar (AGROVOC:Aufbau, 2016), (Creative Commons:3.0, 2016). Die importierte Ontologie ist relativ schmal und umfasst lediglich die beiden Klassen `void:DataSet` und `void:LinkSet`. Diese wiederum enthalten Instanzen, welche die verknüpften Datensets beschreiben. Der AGROVOC beinhaltet dabei bereits Verbindungen zu *DBPedia*, der *FAO Geopolitical Ontology* und *Geonames*. Mit der Verbindung zu *GEMET* besteht indirekt auch eine Verbindung zu *UMTHES*, dem Umweltthesaurus des Umweltbundesamtes. Aufgrund der Menge der AGROVOC Definitionen werden diese jedoch nicht in die Anwendung übernommen, sondern sind im Zuge einer Umsetzung zur Abfrage via Web Service zu integrieren.

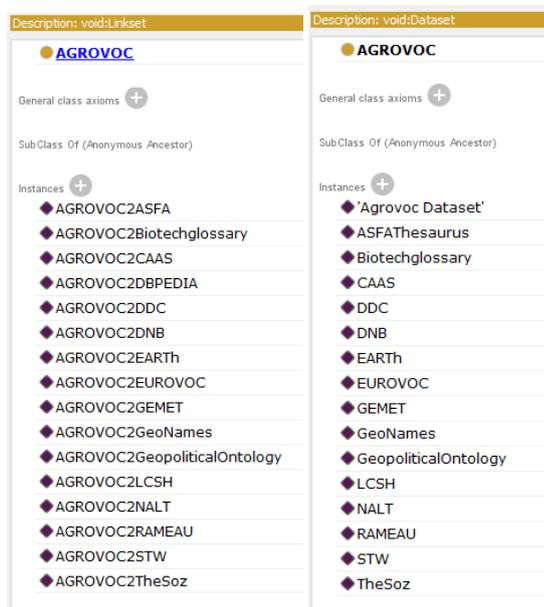


Abbildung 49 - Importierte Ontologie AGROVOC, Quelle: (AGROVOC:Aufbau, 2016), Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)

Folgende Abbildung zeigt eine Abfrage des AGROVOC via Skosmos (AGROVOC:Beispiel "Forestry", 2016), welcher ein Ontologiebrowser ist und webbasiert abgerufen und durchsucht werden kann. Es wurde hierzu beispielhaft „Forestry“ als Suchbegriff verwendet. Wird

stattdessen der Suchbegriff „Forstwirtschaft“ eingegeben, so wird der passende Eintrag über die Suche ermittelt und dann zur englischen Version forestry weitergeleitet.

The screenshot shows the AGROVOC interface. At the top, there is a search bar with 'English' selected as the content language. The main content area is divided into two columns. The left column contains an alphabetical index and a list of related terms such as 'forest plantations', 'forest policies', 'forest products', etc. The right column displays the entry for 'forestry', including its preferred term, broader concepts (activities, sciences), narrower concepts (forestry operations, silviculture), related concepts (forestry biology, forestry statistics), scope notes, and translations in other languages (Arabic, Chinese, Czech, French, German).

...

The bottom part of the screenshot shows a list of closely matching and exact match concepts, including 'licové gospodarstvo', 'Forestry', and 'Forestry' with their respective URIs and sources.

Abbildung 50 - Nutzung AGROVOC zur Begriffsdefinition, Beispiel “Forestry”, (AGROVOC:Beispiel “Forestry”, 2016)

5.4.4.2.2 Naturinformation

Das eigens definierte Konzept der Naturinformation erlaubt die Einordnung von Subkonzepten, welche für einen Anwendungsfall notwendige Naturkonzepte und Zusammenhänge abbilden. Hierzu gehören im Fall eines forstwirtschaftlichen Anwendungsfalls z.B. Informationen über Baumarten, Waldarten, Bodenbeschaffenheit oder die klimatischen Bedingungen. Es kann hierzu teilweise auf die *Environment Ontology* (EnvO), aber auch auf Informationen des *AGROVOC* zurückgegriffen werden. Zudem können je nach Fokus einer Organisation (z.B. Forstamt) eigene lokal relevante Subkonzepte hinzu definiert, beschrieben und mit den weiteren Subkonzepten der UmweltWiS Ontologie verknüpft werden.

5.4.4.2.3 Basisinformation

Unter Basisinformation können Subkonzepte zur Karte und geographischen Angaben des Beobachtungsortes angelegt werden. Die für die Karte notwendigen Längen- und Breitenangaben werden durch die *FAO Geopolitical Ontologie* für die Länderangaben bezogen. Handelt es sich um spezifischere Orte, wie etwa Städte oder Gemeinden, so sind diese über den Dienst *GeoNames* via Webservice abzufragen. Geht man einen Schritt weiter, so lassen sich auch lokale Beobachtungspunkte modellieren und erfassen. Durch die Verknüpfung mit den eingebundenen LOD Diensten wird vermieden geographische Angaben selbst neu anzulegen und stattdessen auf bestehende Angaben aufzusetzen. Die durch *DBPedia* bereitgestellten Konzepte erlauben ebenso eine detailliertere Definition eines Ortes. Die hier unter Basisinformation angelegten Klassen sind somit in gewissem Maße Hilfskonstrukte zur Zusammenführung von Angaben zu einem Ort. Es wäre aber auch denkbar diese nicht anzulegen und stattdessen als lokale Subkonzepte in die *DBPedia* Konzepte zu integrieren, da dort auch eine Verlinkung hin zu *GeoNames* vorhanden ist.

5.4.4.2.4 DIN 14050

Mit der DIN 14050 (DIN EN ISO 14050:2010, 2010) werden standardisierte Begriffe aus dem Umweltmanagement und für die ISO Normenfamilie 14000 definiert. Es wurde dabei darauf verzichtet alle enthaltenen Begriffe in der UmweltWiS-Ontologie abzubilden, sondern im ersten Schritt nur die Begriffe eingebunden welche für das UmweltWiS-Vernetzungsschema eine direkte Relevanz bilden, wie etwa `DIN_Umweltmanagementsystem`, `DIN_Umweltpolitik`, `DIN_Umweltbewertung`, `DIN_Umweltbelastung` oder `DIN_Umweltleistung`. Mit Hilfe der modellierten Klassen lassen sich so z.B. Instanzen hinterlegen, welche in den einzelnen Phasen einer Umweltprüfung oder im Sinne eines DIN 14001 basierten Umweltmanagements Anwendung finden und innerhalb des UmweltWiS in Kontext gesetzt werden können. Es wurden dabei neben den reinen Begrifflichkeiten auch Beziehungen zu weiteren modellierten Klassen innerhalb der Ontologie angelegt (z.B. `DIN_Umweltleistung` → `misst_Umweltaspekt` → `DIN_Umweltaspekt` oder `DIN_Umweltauswirkung` ≡ `Umweltproblem`). Weitere Details oder Referenzen auf die DIN werden in den nachfolgenden Kapiteln gegeben. Die Definitionen der oben dargestellten Begriffe sind den referenzierten Normen (DIN EN ISO 14001 - v2015, 2015), (DIN EN ISO 14031:2013-12, 2013) oder (DIN EN ISO 14050:2010, 2010) zu entnehmen.

5.4.4.2.5 Fachinformation

Ausgehend von den Basisinformationen und LOD zu dem Messort werden die Fachinformationen erfasst. Unter Fachinformation sind Messwert und Umweltkennzahl sowie deren Subkonzepte eingeordnet. Der Messwert wird durch die Art des Messwerts, die Klassifizierung der Messwerteinrichtung und die Einordnung ob es sich um eine analoge oder digitale Messwerverfassung handelt beschrieben. In der Darstellung wird mittels `[Art...]` und `[Name_Messwerteinrichtung...]` angedeutet, dass sich hier verschiedene Subkonzepte einordnen lassen, welche jedoch z.B. durch einen Umweltingenieur für die möglichen Messumgebungen definiert werden sollten.

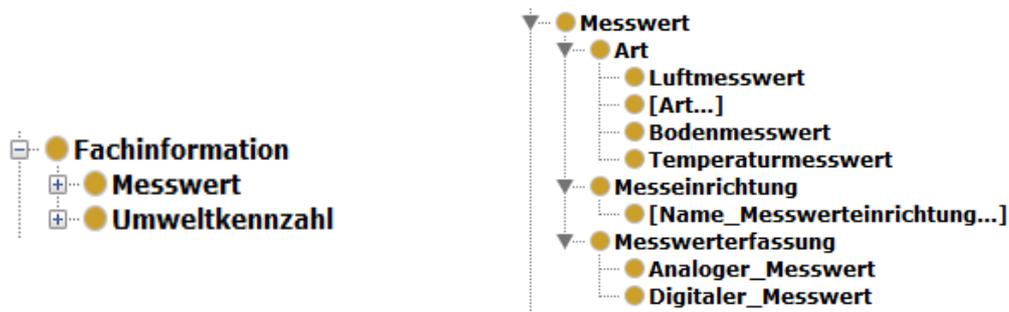


Abbildung 51 - UmweltWiS-Vernetzungsschema - Fachinformation – Messwert, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016)

Das Subkonzept *Umweltkennzahl* bildet den umfangreichsten Block der Fachinformationen. Da in der Literatur verschiedene Klassifikationsschemata für Umweltkennzahlen bzw. allgemeinen Kennzahlen existieren, wurde sich dazu entschieden diese anhand unterschiedlicher Literatur zu erarbeiten und in die Ontologie zu integrieren. Die drei hierzu verwendeten Basisquellen sind das *Handbuch für Umweltcontrolling* des Umweltbundesamtes (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001), der von WEIß ET AL. herausgegebene *Leitfaden zur Anwendung von Umweltkennzahlen in Umweltmanagementsystemen mit dem Schwerpunkt auf EMAS* (Weiß, Müller, & Lössl, 2013) sowie die DIN ISO 14031 (DIN EN ISO 14031:2013-12, 2013) zur *Umweltleistungsbewertung*. Letzere bildet eine Begriffsfamilie mit den zuvor bereits angesprochenen Begriffen der DIN 14050 (DIN EN ISO 14050:2010, 2010). Ebenso wurde durch das (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001) eine ältere Version der (DIN EN ISO 14031:2013-12, 2013) als Referenz für die eigenen Kennzahlen aufgegriffen. Optional wäre auch die Integration von Geographischen Metadaten nach (ISO 19115, 2008) denkbar.

Eine *Umweltkennzahl* kann generell anhand ihrer Art klassifiziert werden. Hierzu gehört die Einschätzung inwiefern diese eine Absolute Kennzahl oder eine Verhältniszahl ausdrückt (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001). Diese Einordnung kann unabhängig davon getroffen werden ob es sich um eine Umwelt-, Qualitäts- oder andersartige Kennzahl handelt. Betrachtet man die durch die DIN 14031 (DIN EN ISO 14031:2013-12, 2013) für Umweltleistungsbewertung konkret benannten Kennzahlen, so wird hier eine Unterteilung in *DIN_14031_Umweltleistungskennzahl*, *DIN_14031_Umweltmessung* und *DIN_14031_Umweltzustandsindikator* getroffen. Die *DIN_14031_Umweltleistungskennzahl* bezieht sich dabei auf Management, operatives Geschäft oder Schlüsselthemen einer Organisation. Die *Umweltzustandsindikatoren* wiederum lassen sich *global*, *national*, *regional* oder *lokal* interpretieren. Diese sind auch Bestandteil der Klassifikation der DIN Norm 14050, welche Begriffe im Rahmen des Umweltmanagements definiert (→ *Kapitel 5.4.4.2.4*). Die *DIN_14031_Umweltmessung* wurde an dieser Stelle zwar aufgegriffen, findet sich aber ansonsten unter der zuvor vorgestellten Kategorie *Messwert* wieder. Folgende Abbildung zeigt die Unterteilung der *Umweltkennzahlen* anhand ihrer bereitgestellten Quellen. Alternativ wäre es auch möglich gewesen eine themenorientierte Modellierung umzusetzen und z.B. mittels *Annotation Properties* auf die jeweiligen Quellen hinzuweisen.

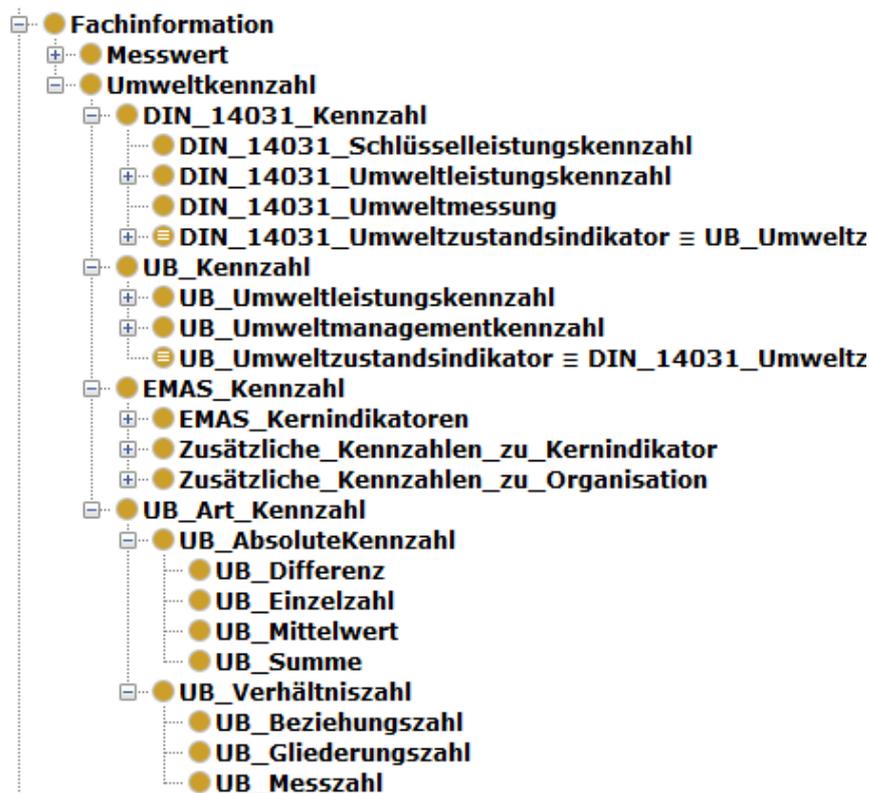


Abbildung 52 - UmweltWiS-Vernetzungsschema - Fachinformation – Umweltkennzahl (1), Input basierend auf (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001), (DIN EN ISO 14031:2013-12, 2013), (Weiß, Müller, & Lössl, 2013), Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016)

Die in dem Leitfaden für Umweltkennzahlen im Kontext von EMAS (Weiß, Müller, & Lössl, 2013) genannten Kennzahlen werden in drei Kategorien eingeteilt, welche zur Etablierung des UmweltWiS-Vernetzungsschemas in der Ontologie modelliert wurden: Hierbei bilden sich die Klassen (1) EMAS Kernindikatoren, (2) Zusätzliche Kennzahlen zu den Kernindikatoren und (3) Zusätzliche Kennzahlen zur Organisation.

Die Kernindikatoren werden anhand der nachfolgenden Kategorien eingeordnet: Abfalleffizienz, Biologische Vielfalt, Emissionen, Energieeffizienz, Materialeffizienz, Obligatorische Kennzahl, Optionale Kennzahl und Wassereffizienz. Die in der Abbildung genannten Kennzahlen der EMAS Kernindikatoren sind dabei obligatorisch, während die unter (2) und (3) eingeordneten Kennzahlen als optional anzusehen sind. Es handelt sich bei (2) um insgesamt 20 zusätzliche Kennzahlen, welche den zuvor genannten Kategorien als optional zugeordnet werden können. Diese lassen sich entsprechend des dargestellten Quelltextausschnitts mittels `rdfs:domain` und `rdfs:range` Beziehungen den einzelnen EMAS Kernindikatoren zuordnen.

`rdfs:domain` und `rdfs:range` sind Funktionen des RDF(S), wobei beide jeweils Instanzen von `rdf:Property` bilden. `rdfs:range` wird zur Definition der Propertywerte als Instanzen von Klassen verwendet, während `rdfs:domain` definiert das jede Ressource mit einer bestimmten Eigenschaft eine Instanz bestimmter Klassen bildet. (W3C:RDF(S), 2014) `rdfs:range` und `rdfs:domain` werden mittels eines Object Property, z.B.

zusatzindikator_von_[...] thematisch verbunden. Der folgende Quelltextausschnitt lässt sich so interpretieren, dass Abfallzusammensetzung und Abfalleffizienz über die Beziehung `zusatzindikator_von_Abfalleffizienz` in Verbindung stehen. Da hier beispielhaft OWL/XML Syntax verwendet wurde, ist keine direkte Sichtbarkeit der zuvor angesprochenen `rdfs:range` und `rdfs:domain` Elemente im Quelltextausschnitt gegeben.

```

<ObjectPropertyDomain>
  <ObjectProperty IRI="#zusatzindikator_von_Abfalleffizienz"/>
  <Class IRI="#Abfallzusammensetzung"/>
</ObjectPropertyDomain>
<ObjectPropertyRange>
  <ObjectProperty IRI="#zusatzindikator_von_Abfalleffizienz"/>
  <Class IRI="#Abfalleffizienz"/>
</ObjectPropertyRange>

```

Formel 3 - OWL Ausschnitt UmweltWiS-Vernetzungsschema - EMAS Kernindikatoren

Die nachfolgende Abbildung zeigt die Beziehungen zwischen den EMAS Kernindikatoren und deren zusätzlichen Kennzahlen.

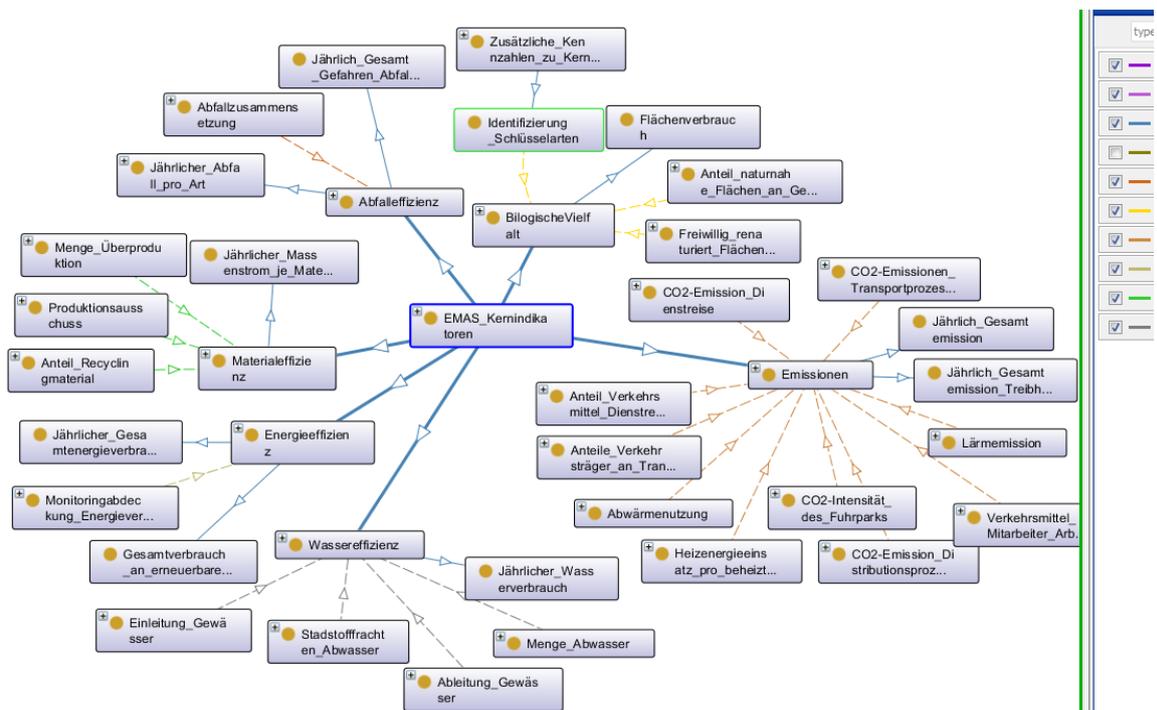


Abbildung 53 - UmweltWiS-Vernetzungsschema - Fachinformation – Umweltkennzahl (2), Input basierend auf (Weiß, Müller, & Lössl, 2013), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)

Das Konzept `Zusätzliche_Kennzahlen_zur_Organisation` ermöglicht nach WEIß ET AL. im Zuge von EMAS eine Einordnung der umweltrelevanten Tätigkeiten und Ausrichtung der Organisation, wie etwa die erreichten Ziele des Umweltprogramms. Die Kennzahlen werden dabei im Zuge des UmweltWiS-Vernetzungsschemas mittels der Klassen `Gesamtorganisation`, `Abteilung`, `Beschaffung`, `Personalmanagement`, `Produktverantwortung` (und `Vertrieb`) sowie `Kommunikation_Marketing` modelliert.

Beispiele für Subklassen sind etwa Erreichtes_Ziel_Umweltprogramm, Anteil_öko_Themen_an_Unternehmenskommunikation oder Schadstoffbelastung_Endprodukt. Weitere zusätzliche Kennzahlen werden in (Weiß, Müller, & Lössl, 2013) genannt und werden entsprechend in UmweltWiS modelliert.

Praxisbeispiel: Während der Erarbeitung der vorliegenden Dissertation wurde im Zuge der Betreuung einer Bachelorarbeit eine beispielhafte Ontologie zur Unterstützung eines ökologischen Nachhaltigkeitsmanagements durch (Demuth, 2014) erarbeitet. Hierzu wurden die EMAS Kennzahlen (Weiß, Müller, & Lössl, 2013), sowie die in EMAS genannten Prozessschritte zur Modellierung des Umweltmanagementprozesses fokussiert.

DEMUTH modelliert diese etwas abweichend zu der oben dargestellten Umsetzung. Er legt hierzu die zwei Klassen Optionale_Umweltkennzahlen und Obligatorische_Kennzahlen sowie die jeweiligen Subklassen Obligatorische:Umweltkennzahlen_zum Wasser, ... zur Modellierung der Kategorien an. Darin sind dann alle konkreten Kennzahlen als Instanzen modelliert. Es wurde sich für das eigene UmweltWiS abweichend dazu entschieden alle Kennzahlenkategorien mittels Klassen umzusetzen, so dass beispielsweise in der Klasse Jährlicher_Abfall_pro_Art eine Instanz Jährlicher_Abfall_Plastik angelegt werden kann, um so die Kennzahlen noch weiter detaillieren zu können.

Anhand der Kategorisierung des UMWELTBUNDESAMTS (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001, S. 598-623) wird auf oberster Ebene in UB_Umweltleistungskennzahl, UB_Umweltmanagementkennzahl und UB_Umweltzustandsindikator unterschieden und sich dabei eng an der (DIN EN ISO 14031:2013-12, 2013) orientiert. Diese Quelle wird im Folgenden mit UB_... gekennzeichnet. Die Art der Kennzahl kann dabei die in *Abbildung 52* bereits erwähnte absolute oder relative Kennzahl (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001, S. 598) sein. Die UB_Umweltleistungskennzahl wurde an dieser Stelle als Äquivalenzbeziehung zur DIN_14031_Umweltleistungskennzahl der DIN 14031 und der DIN 14050 modelliert. Die Klasse DIN_14031_Umweltleistungskennzahl ist wiederum Subklasse von DIN_14031_Kennzahl und DIN_14050 bzw. der dort definierten DIN_Umweltleistung. Eine Umweltleistungskennzahl fokussiert nach dem Umweltbundesamt „die Planung, Steuerung und Kontrolle der Umweltauswirkungen eines Unternehmens“ (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001, S. 601). In der ISO 14031 wird die Umweltleistungsbewertung als ein Prozess definiert. Dieser setzt auf Schlüsselleistungskennzahlen auf und bewertet die Umweltleistung anhand der „umweltbezogenen Zielsetzungen und Einzelziele[n]“ (DIN EN ISO 14031:2013-12, 2013).

Die darunter angeordnete UB_Soll-undEnergiekennzahl umfasst die Subklassen UB_Inputkennzahl und UB_Outputkennzahl. UB_Inputkennzahl wiederum bildet eine Klammer um UB_Energie, UB_Material und UB_Wasser. Als Subkonzepte zu diesen drei Inputkonzepten werden in der folgenden Darstellung (linke Abbildung) verschiedene Beispiele für Umweltkennzahlen genannt, welche bei Bedarf erweitert werden können. Die in der rechten Abbildung detaillierte UB_Outputkennzahl betrachtet im Kern die Umweltauswirkungen einer bestimmten Aktion oder eines produzierenden Gewerbes. Die sich daraus ergebenden Subklassen bilden UB_Abfall, UB_Abluft, UB_Abwasser und das UB_Produkt. Die darunter angeordneten Subklassen, wie etwa UB_Abfallanteil, lassen sich dann durch konkrete Instanzen abbilden.

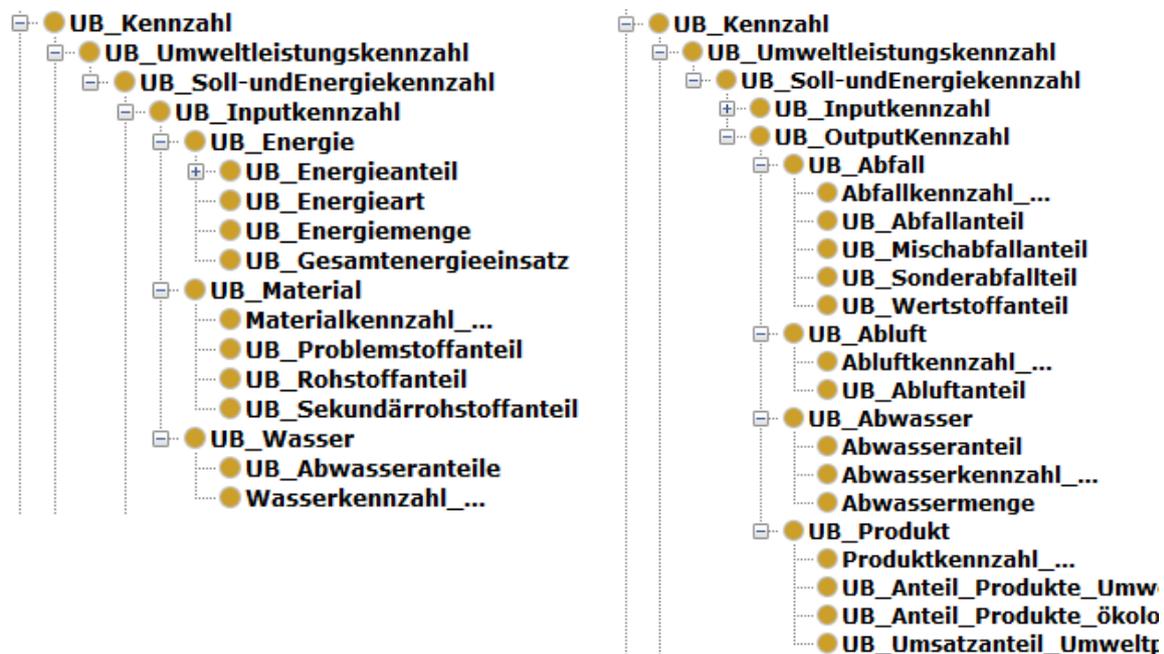


Abbildung 54 - UmweltWiS-Vernetzungsschema - Fachinformation – Umweltkennzahl (3), Input basierend auf (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001), Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016)

Eine UB_Umweltmanagementkennzahl betrachtet die organisatorischen Aktivitäten zur Reduzierung von Umweltauswirkungen eines Unternehmens, somit stehen diese in Abhängigkeit zu dem später definierten Konzept der Umweltaktion. Der Anwendungskontext fokussiert mehr die Steuerung und Information, weniger die Generierung oder Ausgabe der zuvor angesprochenen Umweltleistung der Organisation. (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001, S. 601) Der UB_Umweltzustandsindikator bewertet den Zustand der Umwelt einer Organisation, so dass Abhängigkeiten zwischen den Aktivitäten eines Unternehmens und einem ggf. vorhandenen Umweltproblem ersichtlich werden sollten.

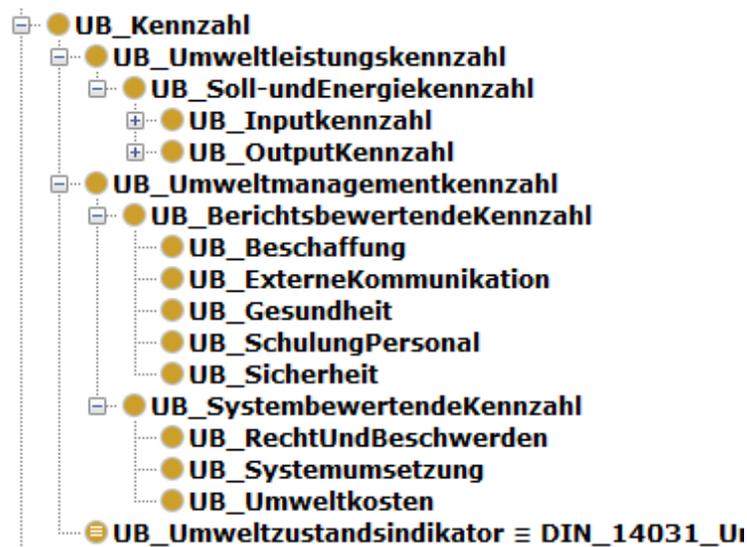


Abbildung 55 - UmweltWiS-Vernetzungsschema - Fachinformation – Umweltkennzahl (4), Input basierend auf (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2001), (DIN EN ISO 14031:2013-12, 2013, S. 12), Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016)

Der Umweltzustandsindikator wird als Äquivalenzbeziehung zu dem `DIN_14031_Umweltzustandsindikator` modelliert, da dieser „*Informationen zum Zustand der Umwelt, der durch die Organisation beeinträchtigt werden könnte*“ ermöglicht, so dass die Organisation darin unterstützt wird mögliche „*Beeinträchtigungen durch ihre Umweltaspekte [...] besser zu verstehen.*“ Es wird aber auch einschränkend angedeutet, dass dies ein schwieriger Prozess ist, da es nur dann möglich ist die Auswirkungen konkret zuzuordnen wenn nicht verschiedene Emissionsquellen und verschiedene Prozesse vorhanden sind. (DIN EN ISO 14031:2013-12, 2013, S. 12)

5.4.4.2.6 Qualität

Neben den referenzierten Umweltkennzahlen innerhalb der Fachinformationen wird eine Klasse `Qualitaet` zu Bewertungszwecken innerhalb des UmweltWiS-Vernetzungsschema's modelliert. Die Einteilung der Größe "Qualität" wurde im Zuge der Entwicklung des Anwendungsfalls Industrie 4.0 (→ Kapitel 6.2.2) zur Kategorisierung der Qualität der Produkte, Prozesse, Instandhaltungs- und Umweltparameter anhand von Literatur verglichen und abgeleitet. Die Klassifizierung der Level basiert auf der gemeinsam mit ANSARI und FATHI durchgeführten Analyse zur Verbesserung von Qualitätsfaktoren in Cyberphysikalischen Produktionssystemen (Ansari, Dornhöfer, & Fathi, 2016), wobei sich bei der Analyse u.a. auf die Quelle (Eppler, 2003) gestützt wurde. Zur Bewertung der Qualität lassen sich neben oben genannten Kategorien auch die von (Calero, Moraga, Bertoa, & Duboc, 2015, S. 240-245) vorgestellten *Greenability Qualitätsindikatoren* für Green Software heranziehen, welche frei übersetzt den Energieverbrauch, Ressourcenoptimierung, Kapazitätsoptimierung, Langlebigkeit, Effizienzoptimierung, die ökologische Wahrnehmung durch den Anwender und die Minimierung der Umweltauswirkungen umfassen.

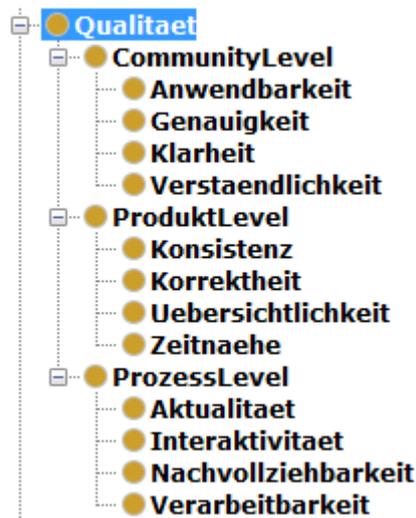


Abbildung 56 - UmweltWiS-Vernetzungsschema - Klasse Qualitaet, Input basierend auf (Ansari, Dornhöfer, & Fathi, 2016), (Eppler, 2003), Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016)

5.4.4.2.7 Umweltproblem

Die Klasse `Umweltproblem` bildet einen zentralen Aspekt bei der Umsetzung des UmweltWiS-Vernetzungsschemas, da mittels dieser Klasse verschiedene Umweltprobleme wie etwa Hochwasser, Stürme, Ölkatastrophen oder ähnliches modelliert werden können. Dabei findet eine Unterteilung statt inwiefern das Problem direkt durch den Menschen verursacht wurde oder ob es aufgrund von meteorologischer bzw. natürlicher Gegebenheiten ausgelöst wurde. Die genannten Umweltprobleme lassen sich zum einen mit der Klasse `Basisinformation` und mit Teilen der importierten LOD Konzepte verknüpfen, um das Umweltproblem geographisch und thematisch zuzuordnen. Daneben lassen sich bei einem bekannten und dokumentierten Umweltproblem die `Mediainformationen` wie Wikipedia-Artikel, Webseiten in denen das Problem beschrieben wird, Abbildungen oder Videos referenzieren (→ *Kapitel 5.4.4.2.10*).

Fand das Umweltproblem auch auf wissenschaftlicher Ebene eine Betrachtung, so ergeben sich Verknüpfungen zu den `Publikationen` und den damit verknüpften Autoren. Ein zentraler Faktor zur Verknüpfung und Dokumentation des Umweltproblems bilden die Subkonzepte der Klasse `Fachinformation`, da dort die Erfassung von Messwerten und die Ermittlung von Kennzahlen zu dem Umweltproblem zugeordnet werden können. Dies ermöglicht aus wissenschaftlicher Sicht eine Dokumentation der Eckdaten des Umweltproblems inkl. dessen Dokumentation in Medien und Publikationen. Der dargestellte Ausschnitt deutet die unterschiedlichen Beziehungen mit der EnvO Ontologie über `envo:material entity`, `envo:environmental pollution`, mit `DBPedia`, `Publikation` und `Mediainformation` an.

Die in der folgenden Abbildung dargestellte Vernetzung ist nur beispielhaft anzusehen und könnte sicherlich anhand weiterer LOD oder zusätzlicher Object Property Beziehungen ausgeweitet werden.

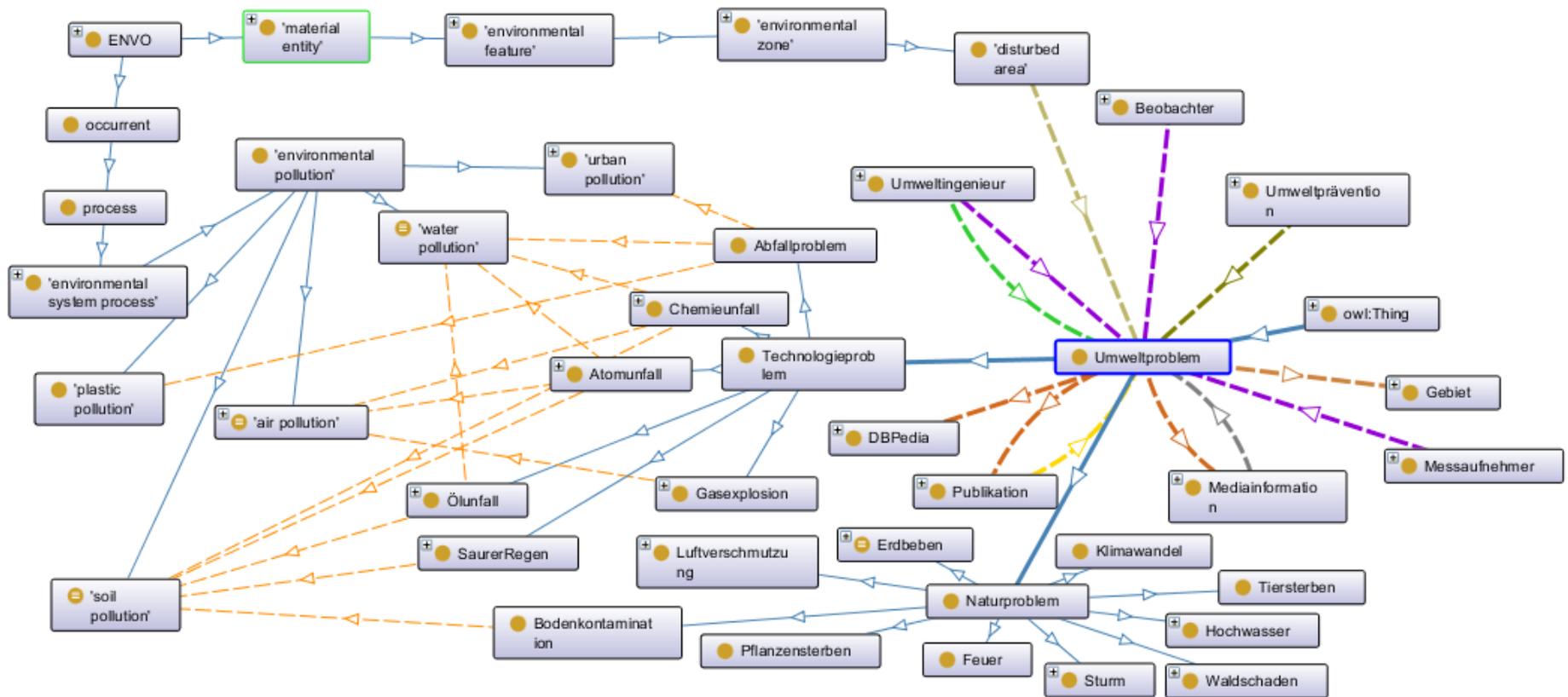


Abbildung 57 - UmweltWiS-Vernetzungsschema – Umweltproblem, eigene UmweltWiS-Konzepte und (EnvO: The Environment Ontology, 2016), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)

5.4.4.2.8 Umweltaktion

Die Klasse Umweltaktion ist zur Modellierung möglicher Umweltaktionen zur Behebung eines bestehenden Umweltproblems vorgesehen. Die sich ergebenden Subklassen sind Prävention_Technologieproblem, Prävention_Naturproblem, Aktion_Technologieproblem und Aktion_Naturproblem, mit welchen die Aktionen beschrieben werden welche bei einem vorliegenden Umweltproblem eingeleitet oder präventiv zur Verhinderung eines Umweltproblems angesetzt werden können. Die Subklassen der jeweiligen Präventionsmaßnahmen oder Aktionen sind beispielhaft dargestellt und lassen sich in einem konkreten Anwendungsfall beliebig erweitern. Neben den Subkonzepten bestehen Verbindungen zwischen Umweltaktion zu Klassen die dieselbe dokumentieren, wie etwa Medieninformation oder Publikation ebenso wie Verbindungen zu Umweltkennzahl.

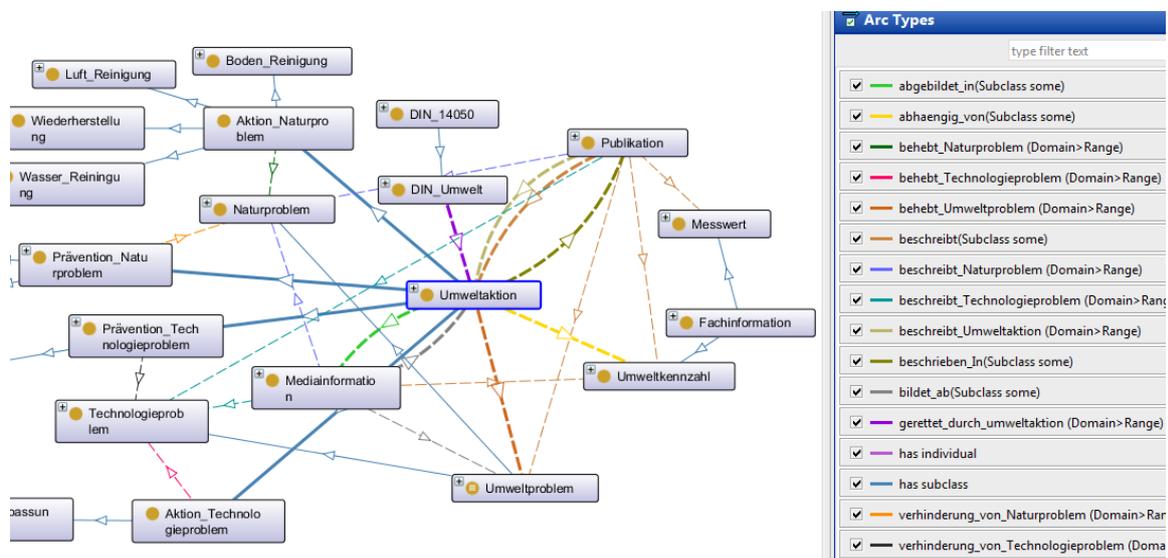


Abbildung 58 - UmweltWiS-Vernetzungsschema – Umweltaktion, OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)

Die Verbindung zwischen DIN_Umwelt, Umweltproblem und Umweltaktion lässt sich allgemein durch folgende beide Verknüpfungen beschreiben:

<p>ObjectProperty: behebt_Umweltproblem Domain: Umweltaktion Range: Umweltproblem</p> <p>ObjectProperty: gerettet_durch_umweltaktion Domain: DIN_Umwelt Range: Umweltaktion</p>

Formel 4 - UmweltWiS - Vernetzungsschema - Verknüpfung Umweltproblem und Umweltaktion

Daneben bestehen Verbindungen zwischen Naturproblem bzw. Technologieproblem und den jeweiligen Aktionen oder Präventivmaßnahmen für die Problemart.

```

<SubClassOf>
  <Class IRI="#Prävention_Naturproblem"/>
    <ObjectSomeValuesFrom>
      <ObjectProperty IRI="#verhinderung_von"/>
        <Class IRI="#Naturproblem"/>
      </ObjectSomeValuesFrom>
    </SubClassOf>

```

Formel 5 - UmweltWiS - Vernetzungsschema - Beispiel Verknüpfung Präventivmaßnahmen und Umweltproblem

Umweltaktionen beeinflussen allgemein gesehen die Umweltkosten. Das Themengebiet Umweltkostenrechnung (siehe u.a. (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 2003, S. 9)), obgleich thematisch der ökologischen Nachhaltigkeit zuzurechnen, ist aufgrund der Nähe zur betrieblichen Kostenrechnung gleichzeitig auch ein Thema der ökonomischen Nachhaltigkeit und wird je nach Quelle äquivalent oder als Teil des Umweltcontrollings oder des Umweltkostenmanagements charakterisiert. „Die Umweltkostenrechnung soll direkte und indirekte Kosten von betrieblichen Umweltauswirkungen mit vertretbarem Aufwand verursachungsgerecht erfassen und deren Auswirkungen auf das Erreichen der betrieblichen Ziele berücksichtigen.“ (Schaltegger, Herzig, Kleiber, Klinke, & Müller, 2007, S. 127) SOMMER (Sommer P. , 2010, S. 350-352) verweist zudem auf die Einteilung in Umweltschutzkosten und Umweltbelastungskosten als interne bzw. respektive externe Umweltkosten (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 1996, S. 44). Die Umweltschutzkosten sind dabei Kosten die durch die Organisation für den betrieblichen Umweltschutz aufgewendet werden, die Umweltbelastungskosten wiederum sind „Kompensationskosten für die vollzogene(n) Umweltbeeinträchtigung(en)“ (Sommer P. , 2010, S. 351) der aus Umwelteinwirkungen des Unternehmens entstandenen Umweltbelastungen (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, 1996, S. 506). Umwelteinwirkungen werden an dieser Stelle als Umweltaktionen bezeichnet, während Umweltbelastungen durch Umweltprobleme abgebildet werden.

5.4.4.2.9 Person

Die Klasse Person teilt sich aktuell in die Subkonzepte Autor, Beobachter, Messaufnehmer, Wissensingenieur und Umweltingenieur auf. Diese sind die Hauptstakeholder in dem durch das UmweltWiS betrachteten Aufgabenspektrum, können aber durch weitere Rolleninhaber erweitert werden. Über DBpedia wurde zudem unter dbpedia:Agent die Subklasse dbpedia:Person importiert. Diese steht in Äquivalenzbeziehung zu den Klassen Person und foaf:person. foaf:person ist ein Konzept der Ontologie Friend of a Friend (FOAF, 2014), eine der ersten Ontologien der LOD, welche zur Beschreibung von Personen herangezogen werden kann. Der Umweltingenieur und der Wissensingenieur werden als Subklassen von dbpedia:Ingenieur definiert, ebenso wie Autor als Subklasse von dbpedia:Journalist und dbpedia:Schriftsteller. Autor und Beobachter wiederum sind mit den im folgenden Unterkapitel beschriebenen Konzepten Mediainformation und Publikation vernetzt. Es ergeben sich zweifelsohne noch weitere Verknüpfungen der Stakeholder mit den bislang vorgestellten Teilkonzepten wie z.B. bei der Erfassung von Fachinformationen,

Dokumentation von Umweltproblemen oder der Durchführung von Umweltaktionen, allerdings werden diese hier nicht eingehender visuell dargestellt.

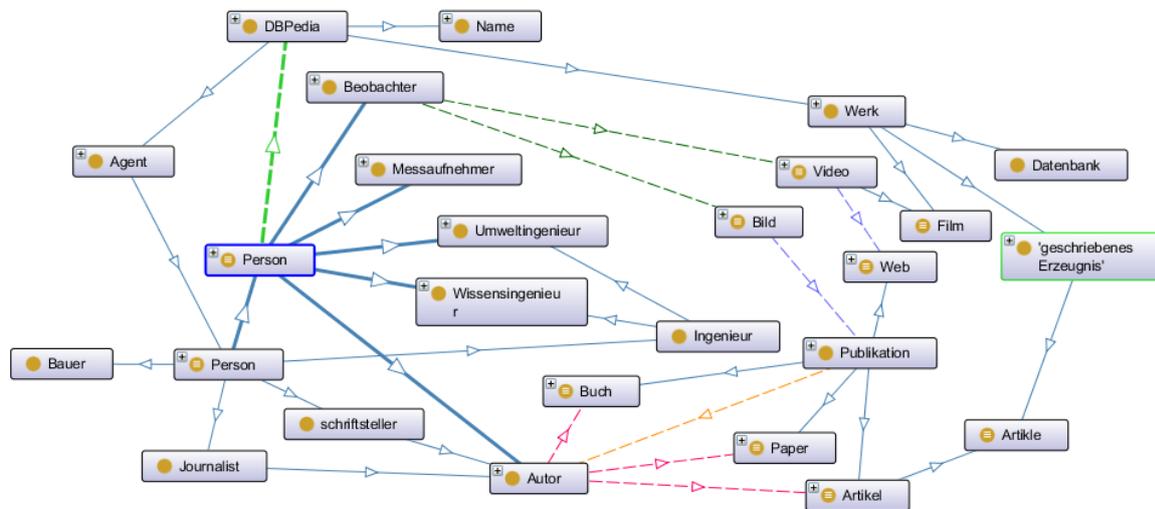


Abbildung 59 - UmweltWiS-Vernetzungsschema – Person, eigene UmweltWiS-Konzepte und (DBPedia: Ontologie, 2015), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)

5.4.4.2.10 Medieninformation & Publikation

Das Konzept Medieninformation beinhaltet alle in diese Kategorie einsortierbaren Subkonzepte wie etwa Bild, Video, RSS-Feed oder Social Media-Kanäle. Hierzu lassen sich sicherlich noch weitere Themen zählen. Ebenso wäre eine Erarbeitung oder Einbindung einer eigenen Domänen-Ontologie zur Kategorisierung und Abbildung von Medieninformationen denkbar. Da der Fokus dieser Arbeit jedoch auf Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen liegt wird an dieser Stelle nicht tiefer in die Thematik zur Abbildung von Medieninformationen eingestiegen, sondern diese als Hilfsmittel zur Verknüpfung von Medieninformationen mit Umweltthemen herangezogen. Unter Publikation werden wiederum verschiedene Publikationsformen wie Artikel, Web-Beitrag, Buch, Dokument, Journal oder Paper zusammengefasst. Anhand der importierten DBPedia Ontologie ergeben sich sowohl für die Medieninformationen als auch für die Publikation Relationen. Die DBPedia Ontologie (DBPedia: Ontologie, 2015) beinhaltet etwa ein Konzept `dbo:Werk`, worunter `dbpedia:Film`, `dbpedia:Dokument`, `dbpedia:Webseite` oder `dbpedia:geschriebenes Erzeugnis` als Subkonzepte eingeordnet sind. Ein geschriebenes Erzeugnis wiederum kann ein `dbpedia:Buch`, `dbpedia:Periodikum`, `dbpedia:Artikel` oder `dbpedia:Zitat` sein. Es wurde sich dazu entschieden teilweise eigene Medienkonzepte anzulegen, um diese von ggf. in DBPedia zugeordneten Inhalten unterscheiden zu können. Es lassen sich dabei Äquivalenzen zwischen `umweltwis:Paper` und `dbpedia:Periodikum`, `umweltwis:Artikel` und `dbpedia:Artikel` und den jeweiligen Klassen `umweltwis:Buch` und `dbpedia:Buch` erzeugen. Ausgehend von `dbpedia:Dokument` ergibt sich die Subklasse `dbpedia:Bild`, welche in Äquivalenz zu der Klasse `umweltwis:Bild` steht. Innerhalb einer Publikation können wiederum Bilder eingebunden sein ebenso wie im Web Medieninformationen eingebunden sein können.

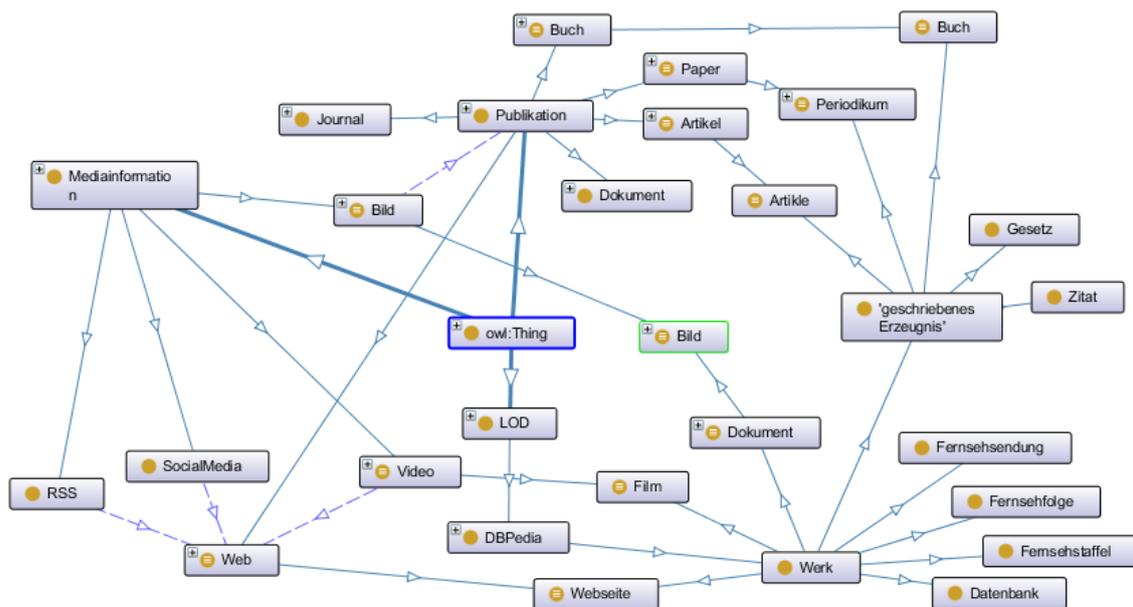


Abbildung 60 - UmweltWiS – Vernetzungsschema – Medieninformation & Publikation, eigene UmweltWiS-Konzepte und (DBPedia: Ontologie, 2015), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)

5.4.4.2.11 Object Properties, Data Properties, Instanzen und Annotation Properties

Während in den vorangegangenen Unterkapiteln hauptsächlich die Klassenstruktur der UmweltWiS-Ontologie betrachtet wurde, wurden die *Object Properties*, *Data Properties*, *Instanzen* und *Annotation Properties* eher am Rande adressiert. Object und Data Properties beschreiben Rollenbeziehungen welche im Sinne der Object Properties als „abstrakt“ und der Data Properties als „konkret“ beschrieben werden können. (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 130) Gemäß der unter LOD importierten Klassen wurden auch die damit verbundenen Object, Data oder Annotation Properties und Instanzen importiert. Im Zuge der *FAO Geopolitical Ontology* beinhaltet dies etwa Instanzen zu den Ländern der Erde, bei *GeoNames* hingegen verschiedene geographische Merkmale.

Mittels **Object Properties** lassen sich die Rollenbeziehungen zwischen zwei Klassen oder zwei Instanzen abstrakt darstellen (→ *Beispiel Kapitel 5.4.4.2.8*). Eine Rolle verbindet dabei mittels Domain und Range oder mittels Subklassenbeziehung zwei Klassen. Unterschiedlich definierte Rollen können über Äquivalenzbeziehung gleichgesetzt oder als Unterrolle angelegt werden. Sind diese entgegengesetzt, so bilden diese eine inverse Relation (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 147). Dies kann vor allem bei Inferenz und Reasoning von Wissen ausgenutzt werden, um so die inverse Rollenbeziehung abzuleiten.

Data Properties werden zur Zuordnung von konkreten Eigenschaften zu einer Klasse oder Instanz verwendet. Dabei definiert die Zuweisung einer Data Restriktion bei einer Klasse einen formalen Charakter, sprich es definiert deren „theoretische Eigenschaft“ und deren Einheit bzw. Typ (z.B. `xsd:int` oder `rdfs:Literal`), während es bei einer Instanz einen konkreten Wert (z.B. Anteil_Buche „13,1%“) umfasst.

Instanzen wurden bereits in den vorherigen Teilkapiteln angedeutet. Sie sind an dieser Stelle konkrete Objekte der UmweltWiS-Wissensbasis, welche den vorgestellten Konzepten zugeordnet und anhand deren Vernetzung in Beziehung zu anderen Instanzen gesetzt werden. In der dargestellten Abbildung wird ein Suchausschnitt aus Protégé abgebildet, welcher die Zuordnung von Klasse, Data Properties und Object Properties zu der beispielhaften Instanz Waldbestand_Siegen-Wittgenstein ausgibt. Die Instanz wurde dabei den importierten Klassen `envo:temperate mixed forest biome` und `envo:temperate woodland biome` zugeordnet. Anhand entsprechender Routinen, können Instanzen manuell oder automatisiert den Konzepten zugeordnet werden. Hier wäre z.B. eine Methode denkbar welche automatisch erfasste Umweltdaten oder Publikationen anhand ihrer Art und Quelle den Konzepten zuordnet.

Found in	Entity	Match
Display name	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein
IRI	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein	http://www.semanticweb.org/mareike/ontologies/2016/5c/umweltwis#Waldbestand_S
ClassAssertion	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein Type 'temperate mixed forest biome'
	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein Type 'temperate woodland biome'
DataPropertyAssertion	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein +Festmeter_pro_Jahr 500000
	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein -Festmeter_pro_Jahr 400000
	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein Anteil_Buche "13,1%" ^{rdfs:Literal}
	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein Anteil_Douglasie "1,0%" ^{rdfs:Literal}
	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein Anteil_Eiche "10,9%" ^{rdfs:Literal}
	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein Anteil_Fichte "58,7%" ^{rdfs:Literal}
	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein Anteil_Kiefer "0,2%" ^{rdfs:Literal}
	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein Anteil_Laubholz "37%" ^{rdfs:Literal}
	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein Anteil_Lärche "3,3%" ^{rdfs:Literal}
	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein Anteil_Nadelholz "63%" ^{rdfs:Literal}
	+ 5 more results...	
ObjectPropertyAsserti...	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein hat_Baumbestand Birke
	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein hat_Baumbestand Buche
	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein	Waldbestand_Siegen-Wittgenstein hat_Baumbestand Douglasie

Abbildung 61 - UmweltWiS-Vernetzungsschema - Suchergebnisse Beispielinstantz Waldbestand_Siegen-Wittgenstein, Zahlen basierend auf (NRW, 2016), Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016)

Mittels **Annotation Properties** werden schlussendlich Metadaten zu den Klassen, Rollen und Instanzen einer Ontologie hinterlegt, welche zur inhaltlichen Erläuterung von Zusammenhängen herangezogen werden. Das dargestellte Beispiel liefert die Quellenangabe für die in der vorherigen Abbildung genannten Zahlenwerte der Data Properties. Das verwendete Annotation Property source wurde über die FAO Ontologie importiert:

```

<AnnotationAssertion>
  <AnnotationProperty
    IRI="http://www.fao.org/countryprofiles/geoinfo/geopolitical/resource/source"/>
    <IRI>#Waldbestand_Siegen-Wittgenstein</IRI>
    <Literal xml:lang="de" datatypeIRI="http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#PlainLiteral"> Zahlenmaterial basiert auf der folgenden
    Quelle: https://www.wald-und-holz.nrw.de/fileadmin/Publikationen/Faltblaetter/Faltblatt_RFA_Siegen-Wittgenstein.pdf </Literal>
  </AnnotationAssertion>

```

Formel 6 - UmweltWiS - Vernetzungsschema – Beispiel Annotation Properties

5.5 UmweltWiS-Inferenz und Analyse

Nach der Vorstellung des möglichen UmweltWiS-Vernetzungsschemas werden im nächsten Schritt die Möglichkeiten zu Inferenz und Reasoning von Umweltwissen betrachtet. In → *Abbildung 38* auf Seite 104 ist farblich hinterlegt der betreffende Teilprozess „*Inferenz von Umweltwissen*“ dargestellt. Hiermit ist die Ableitung und Abfrage von Umweltzusammenhängen aus den vorhandenen Daten gemeint. Der Teilprozess wird im Folgenden genauer betrachtet. Geht man von einer vorhandenen Wissensbasis in Form einer Ontologie aus, so bieten sich verschiedene Varianten zur Abfrage und Reasoning der vorhandenen Daten an. Dies können zum einen logische Ausdrücke sein, SPARQL Anfragen (Beispiele hierzu u.a. in (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 202-233)) oder regelbasierte Abfragen wie etwa mittels der Semantic Web Rule Language (SWRL). Folgende Abbildung visualisiert dies schematisch. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde auf die Darstellung der in → *Abbildung 36* dargestellten Green KM Prozessschritte verzichtet, diese können aber implizit angenommen werden.

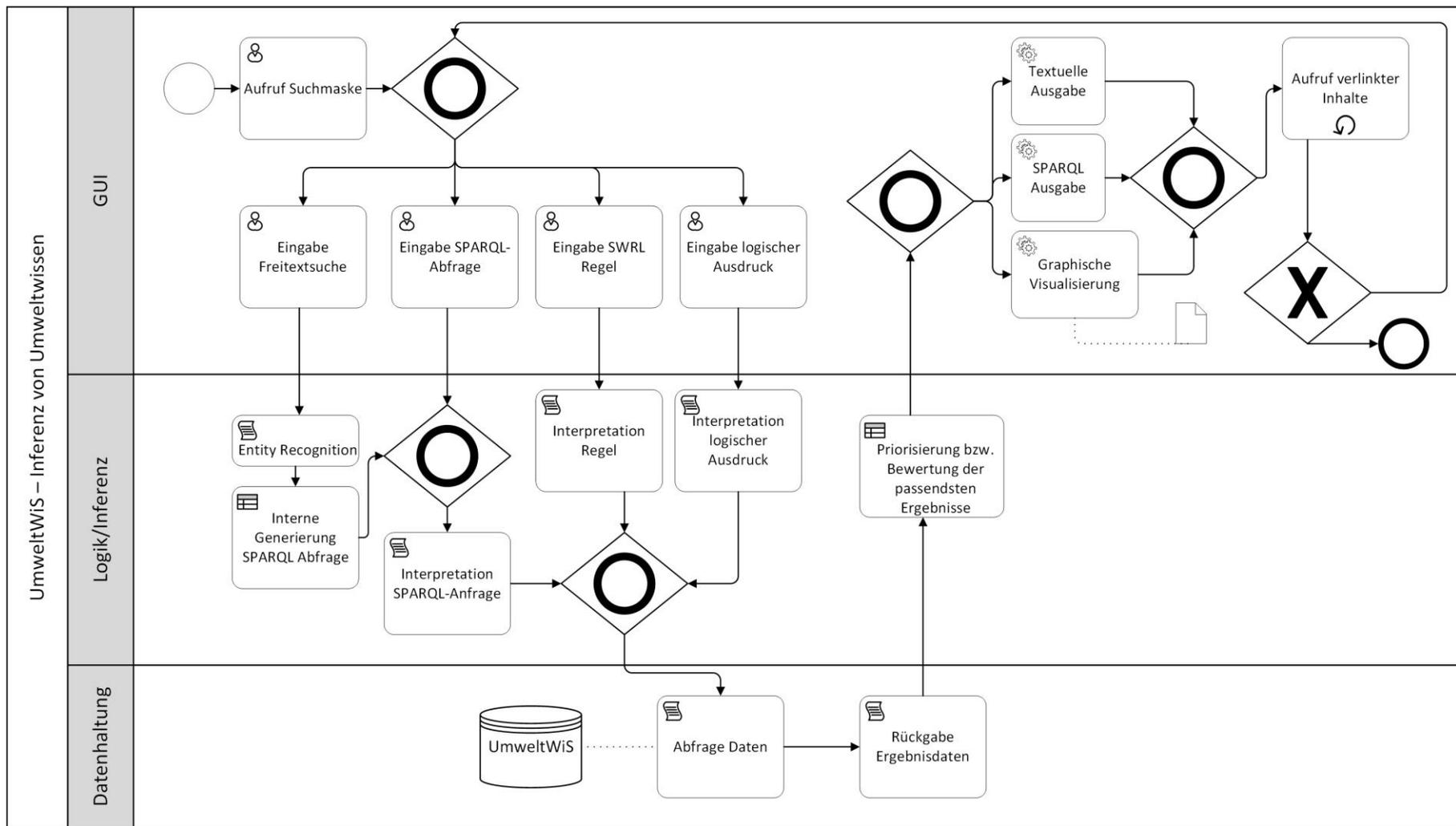


Abbildung 62 - Prozessschaubild – Inferenz von Umweltwissen in UmweltWiS

5.5.1 SPARQL basierte Anfragen der UmweltWiS-Wissensbasis

Linked Open Data bestehen aus Graph-Strukturen, welche zumeist in RDF repräsentiert werden. Diese Graph-Strukturen wiederum lassen sich mittels der Anfragesprache SPARQL (SPARQL Protocol and Resource Query Language (W3C:SPARQL, 2013)) abfragen, welche `SELECT ... WHERE` Statements in Anlehnung an SQL-Anfragen (Structured Query Language-Anfragen) von relationalen Datenbanken verwendet. Hierzu werden der abzufragende Graph und das `SELECT` Abfragemuster miteinander verglichen. „*RDF triples in both the queried RDF data and the query pattern are interpreted as nodes and edges of directed graphs, and the resulting query graph is matched to the data graph using variables as wild cards.*“ (Glimm, 2011, S. 138) Der Grundgedanke bei der Entwicklung von SPARQL lag also auf der Abfrage von RDF Graph-Strukturen, weniger auf RDF(S) oder OWL (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 204). Obgleich nicht initial hierzu entwickelt, so bestehen jedoch auch formale Ansätze zur Abfrage von RDF(S) und OWL mittels SPARQL (Glimm, 2011). Bei SPARQL wird mittels eines Graph-Anfragemusters ein zumeist tabellarisches oder ebenfalls graphbasiertes Ergebnis aus der Struktur ermittelt, alternativ lassen sich Wahrheitsaussagen oder Beschreibungen abfragen. Die verwendete Repräsentation basiert auf der Turtle Syntax (W3C:TurtleSyntax, 2011), einer vereinfachten bzw. verkürzten Syntax von RDF (Dengel, 2012, S. 162). Zur Erweiterung bzw. flexibleren Anfrage werden zusätzlich Anfragevariablen verwendet, welche als Platzhalter innerhalb des Anfragemusters für Subjekt, Prädikat oder Objekt dienen können (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 205). Folgendes einfache Beispiel zeigt die Anfrage welche Stürme über das Object Property `inLand` zu der Instanz „Germany“ in der Wissensbasis hinterlegt sind. Das Ausgabeergebnis bildet dabei eine Tabelle in welcher die Stürme aufgelistet werden.

```
PREFIX umweltwis: <http://www.semanticweb.org/mareike/umweltwis#>
SELECT ?sturm
WHERE { ?sturm umweltwis:inLand „Germany“.}
```

Formel 7 - Beispiel UmweltWiS-SPARQL-Abfrage

Neben der reinen Abfrage über `SELECT ... WHERE` Klauseln lassen sich die Suchabfragen durch weitere SPARQL Elemente erweitern (W3C:SPARQL, 2013):

- So ermöglicht `OPTIONAL {...}` innerhalb der `WHERE` Klausel die Angabe eines weiteren Graphmusters, welches optional abgefragt wird. Mittels `UNION`, welches in etwa einem logischen ODER-Operator entspricht, können mehrere Abfragemuster innerhalb der `WHERE`-Klausel miteinander verknüpft werden. (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 208-213) Um eine weitere Filterung der Anfragen zu ermöglichen, lassen sich Vergleichsoperatoren (z.B. `=`, `!=`, `<=`, ...), Boolesche Operatoren (`&&`, `||`, `!`), arithmetische Operatoren (`+`, `-`, `*`, `/`) und speziell auf RDF ausgelegte Operatoren einsetzen. Letzere sind `BOUND(A)`, `isURI(A)`, `isBLANK(A)`, `isLITERAL(A)`, `LANG(A)`, `DATATYPE(A)`, `sameTERM(A,B)`, `langMATCHES(A, B)`, `REGEX(A,B)`. Die Filterbedingungen werden durch `FILTER (...)` innerhalb einer `WHERE`-Klausel im

Anschluss an das angefragte Graphmuster genannt. (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 215-217)

- Als Ausgabeformate unterstützt SPARQL die Ausgabe als Tabelle, Graph, Beschreibung und Wahrheitsaussage. Wird `SELECT` zur Anfrage verwendet, so ergibt sich eine Tabelle, bei `CONSTRUCT` ein neuer Graph, `DESCRIBE` liefert die Beschreibung und `ASK` eine Wahrheitsaussage zurück. Durch den Einsatz von `SORT BY DESC (?variable)` oder `ASC (?variable)` lassen sich die Abfrageergebnisse sortieren, bei `OFFSET number` von einer bestimmten Position an ausgeben, mittels `LIMIT number` wird die Ausgabe der Ergebnismenge begrenzt und `ORDER BY ?variable` erlaubt eine Festlegung der Sortierung. `DISTINCT` entfernt schlussendlich doppelte Einträge aus der Ergebnismenge. (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 217-224)
- Mit SPARQL 1.1 besteht u.a. auch eine SPARQL Update Language, welche ein Update bestehender RDF-Graphen und somit der vorhandenen Wissensbasis ermöglicht. (W3C:SPARQL-UpdateLanguage, 2013)

Aufgrund der Standardisierung von SPARQL haben sich in der Zwischenzeit unterschiedliche Einsatzszenarien gebildet. Blickt man vor dem Hintergrund der Nachhaltigkeit oder des Umweltmanagements auf die Anwendungsmöglichkeiten, so existiert etwa *GeoSPARQL*, eine geographische SPARQL Anfrage auf RDF Daten, welche durch das Open Geospatial Consortium definiert wurde. *GeoSPARQL* umfasst dabei eine Core Komponente zur Definition von Top-Level RDFS/OWL Klassen, eine Topologie zur Definition von RDF Properties, eine Geometrie Komponente zur Serialisierung von Geometriedaten, eine passende Geometrie Topologie und Transformationsregeln welche eine topologische Anfrage zwischen zwei Elementen in eine geometrische und topologische Anfrage umwandeln. (Open Geospatial Consortium, 2012, S. Abtrakt, 2-3) Geht man nun wieder von der allgemeinen Betrachtung der SPARQL-Funktionen zu dessen Einsatz innerhalb des Umweltwissenssystems über, so bieten sich hier verschiedene Einsatzpunkte an:

- (1) Zum einen ermöglicht SPARQL den Datenimport von Linked (Open) Data, welches über SPARQL-Endpunkte bereitgestellt wird,
- (2) zum anderen lässt sich die UmweltWiS Wissensbasis basierend auf dem in → *Kapitel 5.4.4* vorgestellten Vernetzungsschema abfragen
- (3) und eigene Linked Open Data im Zuge eines Exports für andere Nutzer als SPARQL-Endpunkt bereitstellen.

Im Zuge dieses Kapitels soll die Abfrage der UmweltWiS Wissensbasis näher betrachtet werden. Bei einer SPARQL-basierten Abfrage der UmweltWiS-Wissensbasis wird implizit von Wissen ausgegangen welches mittels RDF-Graph-Strukturen repräsentiert wird. Dieses Wissen kann entweder selbst modelliert, in die Anwendung importiert oder per ad-hoc Abfragen eines SPARQL-Endpunkts angefragt werden. Die zur Anfrage genutzten SPARQL-Konstrukte beinhalten Platzhalter oder Variablen mit denen flexibel die einzelnen Positionen innerhalb eines Graphen abfragt werden können. Unabhängig von der Art der Suchanfrage werden die abgefragten Daten als SPARQL-Konstrukt zurückgeliefert. Hierbei lassen sich die

entsprechenden Filter, Datenformate oder auch Ausgabeformate entsprechend der SPARQL-Syntax zur Detaillierung der Suchanfrage anwenden.

Da auch davon ausgegangen werden muss das ein Anwender nicht mit der Anfragesyntax von SPARQL vertraut ist, ist zu überlegen wie eine Freitextsuche auf diesen Strukturen ermöglicht werden kann. Ein Freitext oder ein eingegebenes Schlüsselwort könnte so im ersten Schritt mittels Textanalyseverfahren analysiert und anhand der ermittelten Entitäten eine SPARQL-Anfrage generiert werden, welche in der Folge die Daten anfragt. Da auch nicht davon ausgegangen werden kann das diese automatisiert generierte SPARQL-Anfrage exakt das von dem Anfragenden gewünschte Ergebnis beinhalten wird, sollten zusätzlich Filterfunktionen für die Suchergebnisse umgesetzt werden, um im Anschluss das Suchergebnis weiter einschränken zu können. DENGEL nennt hier unterschiedliche Möglichkeiten einer semantischen Suche, wie etwa eine formularbasierte Suche oder ein *Faceted Browsing* (Dengel, 2012, S. Kapitel 9). Die Verwendung einer inhaltlichen Distanz ist ebenso denkbar. Hierzu ist zu untersuchen welche Begriffe und Themen in enger Beziehung zueinander oder in einer Vielzahl der Quellen gemeinsam genannt werden. UHR hat dies in seiner Dissertation zur *Word Association*, also der inhaltlichen Assoziation zwischen zwei Begriffen, untersucht (Uhr, 2014). In diesem Kontext ist darauf zu achten das etwa durch synonyme Begriffe keine inhaltlichen Verfälschungen durch falsch gesetzte Links entstehen. Dies wäre im Hinblick auf das zu ermittelnde Umweltwissen dann problematisch, wenn Instanzen mit demselben Namen bestehen. Der verwendete URI einer Instanz muss daher in der Wissensbasis immer eindeutig sein.

Um auf die oben erwähnte Ausgabedarstellung zurückzukommen, bietet sich eine reine Ausgabe der SPARQL-Konstrukte für diese Art der Suche nicht an, da diese nicht von allen Anwendern ohne weiteres interpretiert werden können, so dass verschiedene Arten von Ausgaben vorzusehen sind. So kann zum einen das SPARQL-Ergebnis zurückgegeben werden, welches als Ausgabeformate Graphen, Tabellen oder Wahrheitsaussagen zurückliefern kann. Sind ganze Textblöcke und Links zu textbasierten Seiten enthalten, so ist ebenso eine textuelle Ausgabe ähnlich der einer Suchmaschine von Vorteil. Visualisierungen in Graph-Form oder bestehend aus textueller und bildlicher Unterstützung vereinfachen ebenso das Verständnis der Suchergebnisse.

Im Folgenden werden beispielhaft eine Anfrage der UmweltWiS Wissensbasis mittels eines SPARQL-Statements und die Interpretation der generierten Ergebnisse dargestellt. Das gezeigte Beispiel bezieht sich thematisch auf den Anwendungsfall in → *Kapitel 6.1* und fragt ab welche Publikationen zu einem bestehenden Umweltproblem vorhanden sind und wer die jeweiligen Autoren der Werke sind.

```
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX umweltwis: <http://www.semanticweb.org/mareike/umweltwis#>
SELECT ?umweltproblem ?publikation ?autor
WHERE {?umweltproblem umweltwis:beschrieben_In ?publikation.
      ?autor umweltwis:ist_Autor_von ?publikation.}
```

Formel 8 - SPARQL Beispielanfrage der UmweltWiS-Wissensbasis

Ausgabe:

umweltproblem	publikation	autor
Kyrill	Buch_Waldschäden_der_letzten_10_Jahre	Max_Mustermann
Oder-Hochwasser	Buch_Hochwasser_in_Deutschland	Max_Mustermann
Elbe-Hochwasser	Buch_Hochwasser_in_Deutschland	Max_Mustermann
Donau-Hochwasser	Buch_Hochwasser_in_Deutschland	Max_Mustermann
Kyrill	Artikel_Orkanschäden	Bert_Buchautor
Kyrill	Buch_Waldschäden_der_letzten_10_Jahre	Bert_Buchautor

Tabelle 7 - Ausgabe SPARQL Beispielanfrage der UmweltWiS-Wissensbasis

5.5.2 Logische Abfragen der UmweltWiS-Wissensbasis

Eine Ontologie welche durch RDF(S) oder OWL repräsentiert wird, basiert im Kern auf Description Logics (DL) (Paschke, 2011, S. 364), also einer Beschreibungslogik welche in unterschiedlichen Ausprägungen umgesetzt sein kann und deren Reasoning-Mechanismen auf der Komplexität der Ausprägung der DL basieren (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 164). „All DLs are based on a vocabulary [signature] containing individual names [constants], concept names [unary predicates] and role names [binary predicates].“ (Rudolph, 2011, S. 79) RUDOLPH bewertet die DL als eine der Hauptformalismen der Wissensrepräsentation und stellt den Vorteil heraus das diese auf einen Anwendungszweck mit konkreten Anforderungen angepasst werden kann (Rudolph, 2011, S. 77; 79). Nach (Breitman, Casanova, & Truszkowski, 2007, S. 137-138) ergeben sich für die DL die Anforderungen das diese die Definition von atomaren Konzepten, Rollen und Konstanten ermöglichen soll, um dann durch Konstruktoren zu komplexen Konzepten oder Rollen zusammengesetzt werden zu können. Zudem sollten Axiome und Zuweisungen von Individuen sowie ein Reasoning in Form von Subkonzept- und Instanz-Erkennung ermöglicht werden. Die in der Literatur (u.a. (Sattler, 2007, S. 156), (Rudolph, 2011, S. 80)) als Basissprache angegebene Variante der Description Logics ist die *ALC*, welche kurz für „*Attributive Concept Language with Complements*“ steht. Ausgehend von dieser Basis DL setzen sich die weitergehenden und umfangreicheren DL zusammen. Die in OWL2 verwendete DL ist die *SHROIQ(D)* (W3C:OWL2, 2012). Ein weiterer Dialekt ist *SHOIN(D)*, welcher OWL-DL unterliegt. Um ein besseres Verständnis für das Konzept des Reasonings in Ontologien zu erreichen, sollen kurz die unterliegenden Mechanismen der Description Logics anhand der Basisvariante *ALC* und der beiden komplexeren Dialekte *SHOIN(D)* und *SROIQ(D)* erläutert werden. Die Beschreibung basiert hierbei auf einer Zusammenfassung von (Horrocks, Kutz, & Sattler, 2006), (Sattler, 2007, S. 156ff), (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 166ff), (Paschke, 2011, S. 364), (Rudolph, 2011, S. 77ff) und (Krötzsch, Rudolph, & Hitzler, 2013):

Die DL Kernelemente bilden Konzepte, Instanzen und Rollen

- *Konzepte C* können atomar oder komplex sein. Ein komplexes Konzept würde sich aus zwei atomaren Konzepten und einer Verbindung durch einen Operator zusammensetzen, z.B. $C_1 \sqcap C_2$ zusammensetzen, während ein atomares Konzept durch einen Konzeptnamen oder \perp (leere Klasse) bzw. \top (Klasse mit allen Elementen)

definiert wird. Um ein komplexes Konzept (z.B. *Mutter* \sqcap *Vater*) zu vermeiden, kann auch ein neues atomares Konzept eingeführt werden, welches per Definition ein bestimmtes komplexes Konzept (z.B. *Eltern*) einschließt. Eine alternative Bezeichnung für Konzepte sind Klassen.

- *Rollen* R , alternativ auch als Properties bezeichnet, sind Konstrukte mit welchen Beziehungen zwischen zwei Konzepten oder Konzepten und Instanzen abgebildet und zugewiesen werden können. Ebenso wie bei Konzepten können auch Rollen durch Sub-Rollen-Beziehungen zueinander abgebildet werden.
- *Instanzen* I sind konkrete Ausprägungen eines Konzeptes bzw. können diesem mittels einer Rolle zugewiesen werden. Eine Ausprägung aus einem konkreten Set von Instanzen I wird im Rahmen der formalen Darstellung mit einem kleinen Buchstaben dargestellt: $a, b \in I$.

Eine Wissensbasis WB lässt sich dabei mittels der Konstrukte TBox T und ABox A aufbauen: $WB(T, A)$. Die TBox bildet dabei die formale Struktur der Wissensbasis, die sogenannte Terminologie oder das Schema der Ontologie ab. Diese besteht aus Konzept-Definitionen und Hintergrundwissen. Diesem Schema lassen sich durch die ABox Instanzen zuordnen, was auch als „*assertionales Instanzwissen*“ bezeichnet werden kann (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 167). Im Rahmen der Konsistenzprüfung einer Wissensbasis basierend aus TBox und ABox, verschiedenen Konzepten und Individuen, ist mindestens zu überprüfen ob ein Konzept erfüllt werden kann, ob ein Konzept ein Sub-Konzept eines anderen Konzeptes ist, ob beide Konzepte äquivalent sind und ob eine gegebene Instanz zu einem Konzept innerhalb der Wissensbasis gehört (Sattler, 2007, S. 165). Neben den bekannteren Konzepten der TBox und ABox existiert die RBox (Rudolph, 2011, S. 82ff) in welcher Abhängigkeiten und Einschränkungen hinsichtlich der Rollen festgehalten werden.

Um jetzt die konkreten Unterschiede und Reasoning-Möglichkeiten zwischen den Dialekten herauszuarbeiten, ist im ersten Schritt ein Blick auf die formale Definition der ALC zu werfen. Hierzu wird zuerst die TBox definiert:

Definition: Es wird davon ausgegangen, dass ein bestehendes Set von Konzeptnamen C und ein Set von Rollennamen R vorhanden ist. Unter der Annahme, dass $C, D \in C$ einzelne Konzepte sind und $r \in R$ ein Rollenname, können die folgenden ALC Konzeptbeschreibungen abgeleitet werden:

$C \sqcap D$ (Konjunktion)

$C \sqcup D$ (Disjunktion)

$\neg C$ (Negation)

$\exists r. C$ (Existenzeinschränkung)

$\forall r. C$ (Werteinschränkung)

A bildet ein atomares Konzept

\perp (leere Menge) und \top (alle Elemente) sind Konzeptbeschreibungen

Hieraus wiederum lässt sich für komplexe Konzepte ableiten, dass

$$C, D ::= A \mid \perp \mid \top \mid \neg C \mid C \sqcap D \mid C \sqcup D \mid \forall R. C \mid \exists R. C$$

Formel 10 - Description Logic, ALC, TBox (2), nach (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 167)

woraus sich wiederum die Äquivalenzbeziehung und die Inklusionsbeziehung (C ist Subkonzept von D) zwischen Konzepten ableiten lassen:

$$\begin{aligned} C &\equiv D \text{ (Äquivalenz)} \\ C &\sqsubseteq D \text{ (Subsumption)}^{36} \\ C &\equiv D \text{ (Äquivalenz), wenn } C \sqsubseteq D \text{ und } D \sqsubseteq C \\ \text{wobei } \perp &\equiv C \sqcap \neg C \text{ und } \top \equiv C \sqcup \neg C \end{aligned}$$

Formel 11 - Description Logic, ALC, TBox (3), übersetzt nach (Sattler, 2007, S. 158), (Rudolph, 2011, S. 85)

Um nun konkrete Instanzen im Sinne der ABox der Terminologie zuzuweisen und die Wissensbasis zu befüllen, kann dies für eine Instanz $a \in I$ über eine Konzept- oder Rollenzuweisung erfolgen:

$$\begin{aligned} a: C &\text{ (Konzeptzuweisung) alternativ auch } C(a), \\ \langle a, b \rangle: r &\text{ (Rollenzuweisung) alternativ auch } R(a, b) \end{aligned}$$

Formel 12 - Description Logic, ALC, ABox, übersetzt nach (Sattler, 2007, S. 160)

Die Semantik der Description Logic wird durch die sogenannte Interpretation $I = (\Delta^I, \cdot^I)$ erreicht (Sattler, 2007, S. 157-161): Diese besteht aus einer Interpretations-Domäne Δ^I und einem Mapping-Vorgang \cdot^I . Auf diese Weise werden sowohl Konzepte als auch Rollen auf die Interpretation der Ontologie abgebildet. Entsprechend lassen sich die in \rightarrow Formel 9, Formel 10, Formel 11, und benannten Axiome im Sinne dieser Interpretation auswerten, z.B. $(C \sqcap D)^I := C^I \cap D^I$. Zudem kann im Zuge des Reasonings etwa gefragt werden ob für alle $C \sqsubseteq D$ die Interpretation $C^I \subseteq D^I$ gilt. Nach SATTLER ist eine ALC Wissensbasis $K = (T, A)$, wobei T eine TBox und A eine ABox ist. „An interpretation that is both a model of A and of T is called a model of K . Hence for an interpretation to be a model of K , it has to satisfy all assertions in K 's ABox and all CGIs in K 's TBox.“ (Sattler, 2007, S. 161) RUDOLPH zieht im Hinblick auf den SROIQ Dialekt, als Basis der OWL, zusätzlich die RBox als Teil der Wissensbasis hinzu, wobei sich der terminologische Anteil in TBox und RBox splitten lässt. Die RBox ist dabei eine Betrachtung der Rollenzuweisungen innerhalb der Wissensbasis. (Rudolph, 2011, S. 80-81)

³⁶ Wird auch als General Concept Inclusion Axiom (short: GCI) bezeichnet.

Zur Auswertung eines Modells bzw. dem Reasoning anhand der Inhalte der ABox bestehen verschiedene Möglichkeiten. Für die Basis DL lassen diese sich mittels der folgenden vier Punkte zusammen (Sattler, 2007, S. 166):

- (1) Die *Klassifizierung (Classification)* einer TBox, also der Test der aufgebauten Konzept-Hierarchie und die Prüfung ob ein Konzept ein Sub-Konzept eines anderen Konzeptes ist oder umgekehrt.
- (2) Die Prüfung ob eine *Erfüllbarkeit (Satisfiability)* der in der TBox enthaltenen Konzepte gegeben ist oder diese *konsistent* ist.
- (3) Die Prüfung inwiefern alle *Instanzen abgefragt (Instance retrieval)* werden können die ein bestimmtes Konzept erfüllen.
- (4) Die *Realisierung (Realisation)* bei welcher für eine gegebene Instanz überprüft wird inwiefern diese eine Instanz der einzelnen Konzepte ist und die entsprechenden Konzepte ermittelt.

Nach der Betrachtung von *ALC*, sollen im Folgenden die Unterschiede der komplexeren Dialekte und deren Prinzip herausgearbeitet werden, wobei genauer auf *SHOIN(D)* und *SROIQ(D)* eingegangen wird, welche die Grundlage für die OWL DL bzw. OWL 2 bilden. Anhand der Buchstabenkombinationen lässt sich dabei ableiten welche Funktionen diese zur Verfügung stellen bzw. zusätzlich unterstützen:

<i>SHOIN(D)</i>		<i>SROIQ(D)</i>	
S	Alle Features von <i>ALC</i> plus Rollentransitivität	S	Alle Features von <i>SHOIN(D)</i> und implizit <i>ALC</i>
H	Aufbau einer Rollenhierarchie / Unterrollenbeziehung	R	Rollenhierarchie und komplexe Rollen, Axiome, Reflexivität, Irreflexivität
O	Abgeschlossene Klassen, Nominale bzw. Wertezuweisung	O	Abgeschlossene Klassen, Nominale bzw. Wertezuweisung
I	Inverse Rollen	I	Inverse Rollen
N	Kardinalitätsrestriktionen	Q	Qualifizierte Kardinalitätsrestriktionen
(D)	Datentypen	(D)	Datentypen

Formel 13 - Description Logic, *SHOIN(D)* und *SROIQ(D)*, nach (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 171-172), (Rudolph, 2011), (Horrocks, Kutz, & Sattler, 2006), (Krötzsch, Rudolph, & Hitzler, 2013, S. 2:5)

Durch die Erweiterung der Rollenhierarchie erlauben TBox, RBox und ABox respektive folgende Festlegungen:

<p>TBox</p> <p>$\exists r. Self$ (<i>Selbstrestriktion</i>)</p> <p>$\geq nr. C$ (<i>min. Kardinalitätsrestriktion</i>)</p> <p>$\leq nr. C$ (<i>max. Kardinalitätsrestriktion</i>),</p> <p>wobei <i>n</i> eine natürliche Zahl ist</p>
--

RBox	$R \sqsubseteq S$ (Rollen – Subsumtion) $R \equiv S$ (Rollen – Äquivalenz) $S \equiv S^-$ (Rollen – Symmetrie) wobei R und S Rollen und S^- invers zu S ist
ABox	$\neg r(a, b)$ (Negation) $a \equiv b$ (Äquivalenz Statement) $a \neq b$ (Inäquivalenz Statement)

Formel 14 - Description Logic, Erweiterung Rollen-Axiome, Zusammenfassung und teilweise übersetzt nach (Hitzler, Krötzsch, Rudolph, & Sure, 2008, S. 171-172), (Rudolph, 2011, S. 82-86), (Horrocks, Kutz, & Sattler, 2006, S. 8)

Ohne weiter auf die formalen Details der genannten DL Dialekte einzugehen, ist im Hinblick auf das UmweltWiS anzumerken, dass durch die Formalisierung der Wissensbasis in Form einer Ontologie und deren Abbildung durch einen Ontologie-Editor implizit auch eine Repräsentation in DL stattfindet. OWL2 setzt dabei auf den Dialekt SROIQ(D) (W3C:OWL2, 2012). Die in den Ontologie-Editoren vorhandenen Reasoner setzen gemäß ihrer unterstützten Dialekte Schlussfolgerungsmöglichkeiten ein. In der Anwendungssoftware Protégé (Stanford University: Protégé, 2016) können hierzu etwa die Reasoner FaCT++ (University of Manchester, 2016), HermiT (University of Oxford, 2016) oder Pellet (Complexible Inc., 2016) ausgewählt werden. Eine umfassendere Liste der Reasoner wird etwa durch das W3C (W3C:OWLReasoner, 2016) benannt. Bevor in den folgenden Unterkapiteln die Abfragemöglichkeiten mittels SPARQL bzw. Rules dargestellt werden, soll anhand des vorgestellten UmweltWiS-Vernetzungsschema, ein kurzes Beispiel in Form der Description Logic dargestellt werden:

TBox (Auszug)	$Orkan \sqsubseteq Sturm$ $Sturm \sqsubseteq Umweltproblem$ $Hochwasser \sqsubseteq Umweltproblem$ $Umweltproblem \sqsubseteq \exists hat_Umweltproblem.Land$ $Umweltproblem \sqsubseteq \exists beschriebenIn.Web$ $Bundesland \sqsubseteq \exists bundesland_von.Land$ $Web \sqsubseteq Publikation$ $DBPedia \sqsubseteq LOD$...
RBox (Auszug)	$hat_hochwasser \sqsubseteq hat_Umweltproblem$ $bundesland_von \sqsubseteq teil_von$ $beschriebenIn$

ABox (Auszug)	<i>Orkan(Sturm Kyrill)</i> <i>Hochwasser(Elbe – Hochwasser)</i> <i>hat_Umweltproblem(Germany, Sturm Kyrill)</i> <i>hat_hochwasser(Niedersachsen, Elbe – Hochwasser)</i> <i>beschriebenIn(Sturm Kyrill, Buch_Waldschäden_der_letzten_10_Jahre)</i> <i>beschriebenIn(Sturm Kyrill, DBPedia_{OrkanKyrill})</i> ...
------------------	---

Formel 15 - Auszug Wissensbasis UmweltWiS - DL Syntax

Soll nun eine DL Abfrage bzw. ein Reasoningvorgang ausgeführt werden, so lässt sich eine entsprechende Abfrage z.B. mit der Manchester Syntax (W3C:ManchesterSyntax, 2012) formulieren:

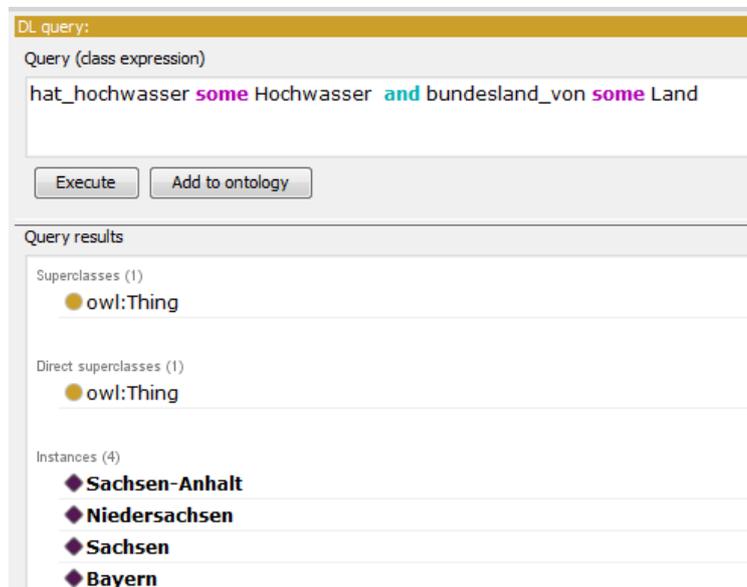


Abbildung 63 - DL Beispielanfrage, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016)

Es werden somit die Bundesländer ausgegeben welche das Umweltproblem “Hochwasser” in der Wissensbasis durch min. ein konkretes Hochwasser zugeordnet haben.

5.5.3 Regelbasierte Abfragen der UmweltWiS Wissensbasis

Neben der rein logik-basierten Wissensrepräsentation bestehen weitere nicht logikbasierte Ansätze, wobei die Semantik von Inferenzregeln ebenfalls auf einer formalen Logik basiert. Die angewendeten Algorithmen zur Auswertung der definierten Regeln sind z.B. eine „Vorwärtsverkettung (forward chaining) bzw. daten-getriebene Inferenz (data-driven inference) und Rückwärtsverkettung (backward chaining) bzw. zielorientierte Inferenz (goal-oriented inference)“ (Beierle & Kern-Isberner, 2014, S. 79). Letzteres Verfahren beginnt mit der Zielsetzung und leitet rückwärts ab welche Daten zu diesem Ziel führen können (Paschke, 2011, S. 326-327).

Der Aufbau von Regeln besteht aus **IF – THEN** Konstrukten, wobei diese sich aus Body und Head zusammensetzen (Drabent, Eiter, Ianni, Krennwallner, Lukasiewicz, & Maluszyński, 2009) und folgendermaßen geschrieben und interpretiert werden:

***if* Bedingung *then* Konsequenz**

Formel 16 - IF-THEN-Regel, z.B. (Drabent, Eiter, Ianni, Krennwallner, Lukasiewicz, & Maluszyński, 2009)

Mathematisch gesehen bedeutet dies:

$$\text{Prämisse (Antezedenz)} \rightarrow \text{Konklusion (Konsequenz)}$$

wobei *Prämisse* und *Konklusion* wiederum komplexe logische Formeln sein können. Mit Hilfe von Umformungsschritten lassen sich diese jedoch vereinfachen, so dass die Anzahl der Regeln in der Wissensbasis ansteigt, diese jedoch einfacher und schneller ausgewertet werden können. (Beierle & Kern-Isberner, 2014, S. 73-74) Das unterliegende logische Konzept des Reasonings von Regelbasen wird als *Modus Ponens* bezeichnet, sprich bei einer Regel ***if A then B***, wobei *A* das Faktum und *B* die Schlussfolgerung ist, ist *B* nur dann „wahr“ wenn *A* mit „wahr“ belegt ist. Ebenso feuert die Regel ***if ¬B then ¬A*** nur dann wenn *B* „falsch“ ist, so dass *A* als „falsch“ geschlussfolgert werden kann. Aus logischer Sicht beschreiben die Regeln zusammen den Zustand $\neg A \vee B$. Da die Regeln jedoch unterschiedliche Prämissen haben, müssen beide in die Wissensbasis aufgenommen werden. Alternativ kann das Konzept des *Modus Tollens*, als Gegenstück zum Modus Ponens realisiert werden:

	Modus Ponens	Modus Tollens
Regel	<i>if A then B</i>	<i>if A then B</i>
Faktum	<i>A (wahr)</i>	<i>B (falsch)</i>
Schlussfolgerung	<i>B (wahr)</i>	<i>A (falsch)</i>

Formel 17 - Modus Ponens und Modus Tollens, (Beierle & Kern-Isberner, 2014, S. 72-79)

Durch die Verkettung mehrerer Regeln lassen sich so komplexe Regelnetzwerke aufbauen und Wissen gemäß den oben genannten Verfahren ableiten (Beierle & Kern-Isberner, 2014, S. 72-79). Ein generisches Beispiel wäre hier z.B. ***if Umweltproblem then Umweltaktion***, zur Darstellung dass eine Umweltaktion auf ein vorliegendes Umweltproblem folgt.

Der regelbasierte Ansatz wird zumeist im Kontext von sogenannten Expertensystemen oder als Repräsentationsform innerhalb von Wissensbasierten Systemen eingesetzt. Ausgehend von dem Grundverfahren wurde dieses auch im Zuge des Semantic Webs durch die „Rules“ Schicht aufgegriffen, wobei hier eine regelbasierte Auswertung der vorhandenen semantischen Wissensbasis, sprich der Ontologie, angestrebt wird. Diese Art der Regeln werden als Web Rules bezeichnet. Nach PASCHKE (Paschke, 2011, S. 347-349) lassen sich Web Rules in die Kategorien der Derivation Rules, Reaction Rules, Integrity Rules, Deontic Rules, Transformation Rules und Facts einteilen. Die Derivation oder alternativ Deduction Rules sind Regeln zur Ableitung von Wissen mittels Inferenz basierend auf den vorhandenen Webdaten. Diese unterstützen u.a. bei Entscheidungsprozessen. Reaction Rules sind Regeln welche auf gewisse Ereignisse oder

Bedingungen reagieren wie z.B. Production Rules (Produktionsregeln), Event-Condition-Action Rules oder Messaging Reaction Rules.

Web Rules arbeiten auf bestehenden Ontologie-Strukturen welche mittels RDF(S) oder OWL repräsentiert werden. Hierzu bestehen verschiedene Regel-Sprachen wie die der W3C Submission SWRL (Semantic Web Rule Language), welche OWL und RuleML (Rule Markup Language) zur Abfrage kombiniert. Mittels sogenannter Built-Ins lassen sich weitere Auswertungen in die SWRL Regeln einbauen, so etwa für Boolesche Vergleiche (z.B. `swrlb:equal`), für mathematische Berechnungen (z.B. `swrlb:add`), für Strings (z.B. `swrlb:translate`), für Datum oder Zeitangaben (z.B. `swrlb:subtractDates`), für URIs (z.B. `swrlb:resolveURI`) oder für Listen (z.B. `swrlb:member`). (W3C:SWRL, 2004)

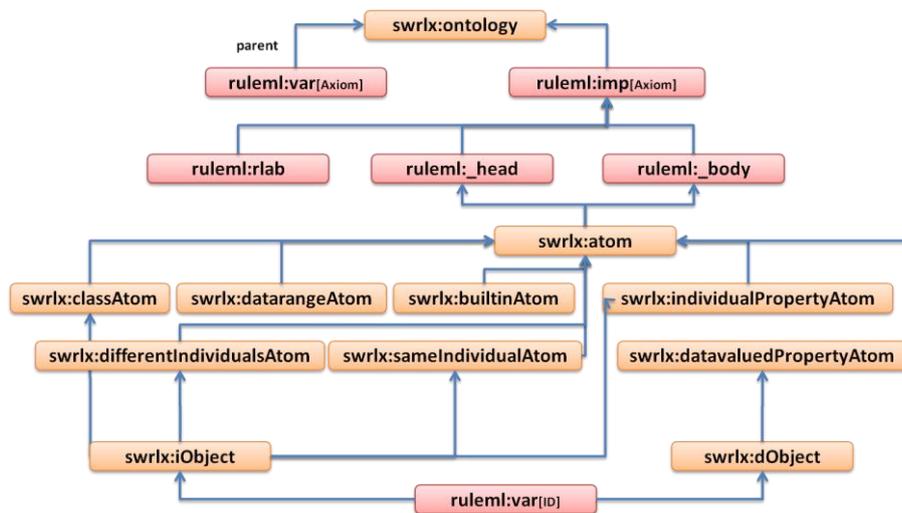


Abbildung 64 - Aufbau SWRL - Auszug, eigene Darstellung basierend auf (W3C:SWRL, 2004)³⁷

Obige Abbildung zeigt das ineinandergreifen von RuleML und SWRL Bestandteilen basierend auf (W3C:SWRL, 2004), wobei anzumerken ist das die genannten Elemente nicht vollständig sind. Interessant dabei ist wie sich der Head und Body der Regel aus RuleML Elementen zusammensetzt und deren atomare Bestandteile wiederum aus SWRL Atomen bestehen. Beispielhaft (angelehnt an Beispiele unter (W3C:SWRL, 2004)) ließe sich hieraus folgende Regel für das UmweltWiS aufbauen:

```
<ruleml:imp> <ruleml:_rLAb ruleml:href="#Schadensort"/>
  <ruleml:_body>
    <swrlx:individualPropertyAtom
swrlx:property="UmweltWis:hat_strum">
      <ruleml:var>Germany</ruleml:var>
      <ruleml:var>Kyrill</ruleml:var>
    </swrlx:individualPropertyAtom>
```

³⁷ Abbildung wurde für das Vorlesungsskript Wissensmanagement II am Lehrstuhl für Wissensbasierte Systeme & Wissensmanagement, Universität Siegen erstellt.

```

<swrlx:individualPropertyAtom
swrlx:property="UmweltWiS:verursacht_schaden">
  <ruleml:var>Kyrill</ruleml:var>
  <ruleml:var>Windbruch</ruleml:var>
</swrlx:individualPropertyAtom>
</ruleml:_body>
<ruleml:_head>
  <swrlx:individualPropertyAtom
swrlx:property="schaden_durch_sturm_in">
  <ruleml:var>Germany</ruleml:var>
  <ruleml:var>Windbruch</ruleml:var>
</swrlx:individualPropertyAtom>
</ruleml:_head>
</ruleml:imp>

```

Formel 18 - Beispiel SWRL Regel "Sturm" (1), angelehnt an Beispiele unter (W3C:SWRL, 2004)

Das Beispiel lässt sich entsprechend folgender Formel abbilden:

$$\text{hatSturm}(\text{Germany}, \text{Kyrill}) \wedge \text{verursachtSchaden}(\text{Kyrill}, \text{Windbruch}) \\ \rightarrow \text{hatSchadenDurchSturm}(\text{Germany}, \text{Windbruch})$$

Formel 19 - Beispiel SWRL Regel "Sturm" (2)

Die Rule Markup Language wiederum wird durch eine RuleML Initiative weiterentwickelt, wobei die Sprache als Wissensrepräsentationsform zum Austausch zwischen verschiedenen Web Rule Sprachen interpretiert werden kann. Hierzu wird XML als Austauschformat eingesetzt (Athanasopoulos, Boley, & Paschke, 2015). RuleML nutzt Deliberation Rules (Boley, et al., 2016), Reaction Rules (Paschke, Kozlenkov, Boley, & Athanasopoulos, 2014) und Consumer Rules (Boley, et al., 2015). Speziell die RuleML Reaction Rules greifen die oben bereits angesprochenen Anwendungsformen der Auslösung von Events und der Event-Verarbeitung, der Derivation Regeln und damit verbundenem logischen Reasoning, der Produktionsregeln oder Event-Condition-Action-Regeln auf (Athanasopoulos, Boley, & Paschke, 2015). SWRL setzt im Kern auf Description Logic und das Prinzip der Horn Logiken, ist aber logisch gesehen nicht entscheidbar.

Unter Horn Logik bzw. Hornklausel versteht man eine „Klausel, die maximal ein nicht negiertes Literal enthält.“ Hieraus lässt sich die Implikationsregel $H \leftarrow B_1, \dots, B_n$ ableiten, wobei H ein positives Literal ist und dann gilt wenn B_1, \dots, B_n ebenfalls gelten. H steht für den Head und B für den Body der Formel. (Beierle & Kern-Isberner, 2014, S. 273)

SWRL-Regeln bauen sich aus einem Head und Body auf, wobei auf beiden Seiten Ausdrücke der Description Logic eingesetzt werden können. Der Aufbau von SWRL Regeln basiert auf den folgenden Bestandteilen (W3C:SWRL, 2004):

$C(x)$,
 $D(z)$,
 $P(x, y)$,
 $Q(x, z)$
 $sameAs(x, y)$,
 $differentFrom(x, y)$,
 $builtIn(r, z_1, \dots, z_n)$,
 wobei C eine Klasse bzw. Beschreibung, D ein Datentyp, P ein Object Property,
 Q ein Datatype Property, x, y Variablen, Individuen oder Datenwerte,
 und z eine Variable oder ein OWL Datenwert ist.

Formel 20 - Formaler Aufbau SWRL Regeln, (W3C:SWRL, 2004)

Geht man von dem in → Kapitel 5.4.4 vorgestellten Vernetzungsschema des UmweltWiS aus, so lassen sich z.B. mit Hilfe des Ontologie-Editors Protégé SWRL-Regeln zur Abfrage der bestehenden Wissensbasis erzeugen und mittels Reasoning ausführen.

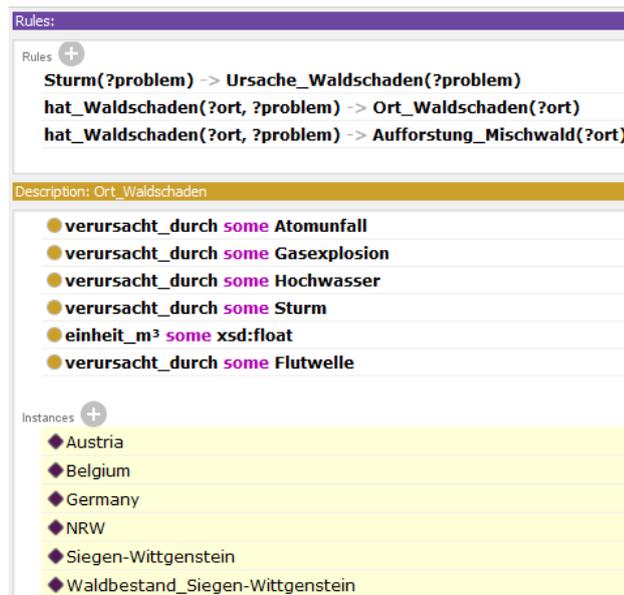


Abbildung 65 - Regelbasierte Beispielabfrage - UmweltWiS Wissensbasis, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016)

Nach Start des Reasoners werden die Regeln ausgeführt, wobei überprüft wird inwiefern eine Instanz der Klasse Sturm vorliegt, woraufhin der Schluss gezogen wird das diese Instanz (z.B. Kyrill) auch zu der Klasse Ursache_Waldschaden gehört. Mittels der beiden anderen Regeln wird ermittelt an welchem Ort ein Waldschaden durch ein Umweltproblem entstanden ist und daraus eine abgeleitete Instanz für die Klasse Ort_Waldschaden geschlossen und der Ort zur Aufforstung_Mischwald.

Die abgeleiteten Instanzen sind gelb hinterlegt, da diese nicht direkt durch den Programmierer zugewiesen wurden, sondern anhand der Regeln geschlossen werden konnten. Der Ausschnitt

zeigt beispielhaft die Klasse `Ort_Waldschaden`. Eine generelle Übersetzung zwischen OWL Konzepten und Rollenhierarchien hin zu Web Rules zeigt folgendes Beispiel von (Krisnadhi, Maier, & Hitzler, 2011, S. 384):

$A \sqsubseteq B$ wird zu $A(x) \rightarrow B(x)$, wobei A, B Konzepte
 $R \sqsubseteq S$ wird zu $R(x, y) \rightarrow S(x, y)$, wobei R, S Rollen

Formel 21 - Beispiel Übersetzung OWL zu Rules, nach (Krisnadhi, Maier, & Hitzler, 2011, S. 384)

Komplexere OWL Konstrukte müssen entsprechend aufwändiger in Regeln übersetzt werden.

Abschließend kann neben SWRL und RuleML auch noch das Rule Interchange Format (RIF) erwähnt werden. Das RIF ist expliziter Bestandteil des Semantic Web Stacks (W3C:RIF-Primer, 2013) und setzt sich aus verschiedenen Dialekten (z.B. Core Dialect, Basic Logic Dialect oder Production Rule Dialect) zusammen. RIF wurde entwickelt, um einen Austausch logischer Regeln zu realisieren. Diese sollen mehr „*semantische[n] Ausdruckskraft*“ als OWL besitzen und einen Austausch mit anderen „*regelbasierte[n] Systeme[n]*“ ermöglichen. (Blumauer, 2014, S. 26)

5.6 UmweltWiS-Export

Abschließend ist im Rahmen der Prozessgestaltung die Veröffentlichung des generierten Umweltwissens in Form von *Linked Environment Data* zu betrachten. Hierzu ist zwingend das zuvor bereits bei der Einbindung von Linked Data angesprochene „Provenance Tracking“, also die Überprüfung der Urheberschaft der Daten zu berücksichtigen, wobei es sich empfiehlt für die zu veröffentlichenden Daten eine entsprechende Meta-Beschreibung zur Nutzung bereitzustellen (Heath & Bizer, 2011, S. 83), (Bayerl & Granitzer, 2014, S. 189-190). Denn nur falls die Inputdaten als „Open“ gelten ist auch eine gemeinsame Veröffentlichung mit den eigenen Daten möglich. In verschiedenen Quellen z.B. (Bauer & Kaltenböck, 2011, S. 31), (Sack, 2014, S. 50-51) oder (Mezaour, van Nuffelen, & Blaschke, 2014, S. 172-173) wird hierbei auf das von (Berners-Lee, 2006/2009) definierte 5-Sterne Rating zur Einordnung des Linked Open Data Levels der veröffentlichten Daten verwiesen. Der erste Level fokussiert dabei lediglich die Bereitstellung von LOD, während auf Level 5 zusammengefasst eine volle Integration im Sinne der LOD Cloud durch Vernetzung mit anderen Daten vorliegt. In diesem Zuge müssen Organisationen auch bewerten welche Daten als Linked Data veröffentlicht und von anderen wiederum eingebunden oder genutzt werden können. Hierzu gehört auch die Beantwortung der Frage welches Format ohne erhöhten Aufwand bereitgestellt werden soll oder kann. Es existieren hierzu verschiedene Möglichkeiten zur Veröffentlichung von Linked Data. HEATH und BIZER beschreiben fünf Alternativen: Ausgehend von einer relationalen Datenbank lassen sich (1) Wrapper oder (2) Content Management Systeme mit einer RDFa Ausgabe zur Umwandlung nutzen. Liegen die Daten in einem anderen Format vor, so ist eine passende Schnittstelle mit Wrapper-Funktion (3) umzusetzen. Liegen die Daten in einem sogenannten RDF-Store vor, so ist ein entsprechendes Interface umzusetzen (4). Bei einzelnen RDF-Dateien lassen sich diese über einen Web-Server zum Abruf für andere Interessenten bereitstellen (5), welches die einfachste Variante der Umsetzung darstellt. (Heath & Bizer, 2011, S. 70) AUER ET AL. beschreiben den

Vorgang der Veröffentlichung von Linked Data ausgehend von einer relationalen Datenbank durch zwei Verfahren, der *Materialisierung* als RDF oder der *Virtualisierung* eines RDF-Graphen. Die Materialisierung sieht eine Umwandlung der relationalen Daten hin zu RDF vor, so dass am Ende eine (externe) Ansteuerung und Abfrage der Daten mittels SPARQL möglich wird. Die Virtualisierung verwendet stattdessen ein Mapping, welches eingehende SPARQL-Abfragen in SQL-Abfragen umwandelt und auf der Datenbank ausführt. Dadurch kann auf die Transformation der Daten verzichtet werden. (Auer, Pietzsch, & Unbehauen, 2014, S. 96)

Prozessual ergeben sich, wie schon bei der Einbindung von Linked Data, auch für die Veröffentlichung verschiedene Prozessschritte, welche kurz betrachtet werden sollen. Nach (Bauer & Kaltenböck, 2011, S. 31) liegt der erste Schritt in der Analyse und Bereinigung der zu veröffentlichenden Daten, folgend von einer Modellierung und Wahl der passenden RDF Vokabulare, der Spezifizierung der passenden Lizenzen für die zu veröffentlichenden Daten, einer Konvertierung hin zu RDF-Daten, der Verlinkung der Daten mit anderen vorhandenen Daten und schlussendlich der Veröffentlichung und Bekanntgabe der Daten für andere Anwender. Ähnlich sehen dies VAN NUFFELEN ET AL., welche die Prozessschritte der Extraktion, Speicherung, ggf. manuellen Anpassung und Fehlerbehebung, Verlinkung mit externen Ressourcen, Klassifizierung, Fusion und schlussendlich Publikation benennen (van Nuffelen, Janev, Martin, Mijovic, & Tramp, 2014, S. 108).

Für den Exportprozess des Umweltwissens zur Nutzung durch weitere Anwendungen wurde anhand der gemachten Voranalyse der in der folgenden Abbildung dargestellte Prozess erarbeitet. Hierbei bestehen zu Anfang verschiedene Entscheidungssituationen, sprich es muss definiert werden welche Art der Veröffentlichung stattfinden soll, welche Lizenz und Format verwendet werden, um dann als Kernstück den Exportvorgang umzusetzen. Hierbei ist darauf zu achten ob die zu verknüpfenden Daten bereits in der UmweltWiS DB enthalten sind oder ob noch eine Verknüpfung mit extern bereitgestellten Daten stattfinden soll. Der Exportvorgang ist wiederum mit Meta-Daten anzureichern, so dass durch den späteren Nutzer direkt ersichtlich wird welches exportierte Umweltwissen vorliegt und wie dies weiter verwendet werden kann. Die Veröffentlichung erfolgt als Exportdatei auf einem Webserver oder über einen SPARQL-Endpunkt. Der SPARQL-Endpunkt ist dabei ein Anfragepunkt eines SPARQL Services, welcher das SPARQL-Protokoll für RDF verwendet und Ergebnisse in dem entsprechenden Format zurückliefert. Die Anfrage und Auswertung wird somit auf diesem Endpunkt ausgeführt. (DuCharme, 2013, S. 102, 354)

Die in der Abbildung genannten externen Quellen können etwa die verknüpften LOD sein, welche in die Vernetzungsstruktur eingebunden wurden. In diesem Fall liegen diese bereits extern veröffentlicht vor und müssen lediglich referenziert werden. Resümierend ist der Vorteil der Veröffentlichung eine Bereitstellung von vernetztem Umweltwissen basierend auf verfügbaren und eigenen Datenquellen.

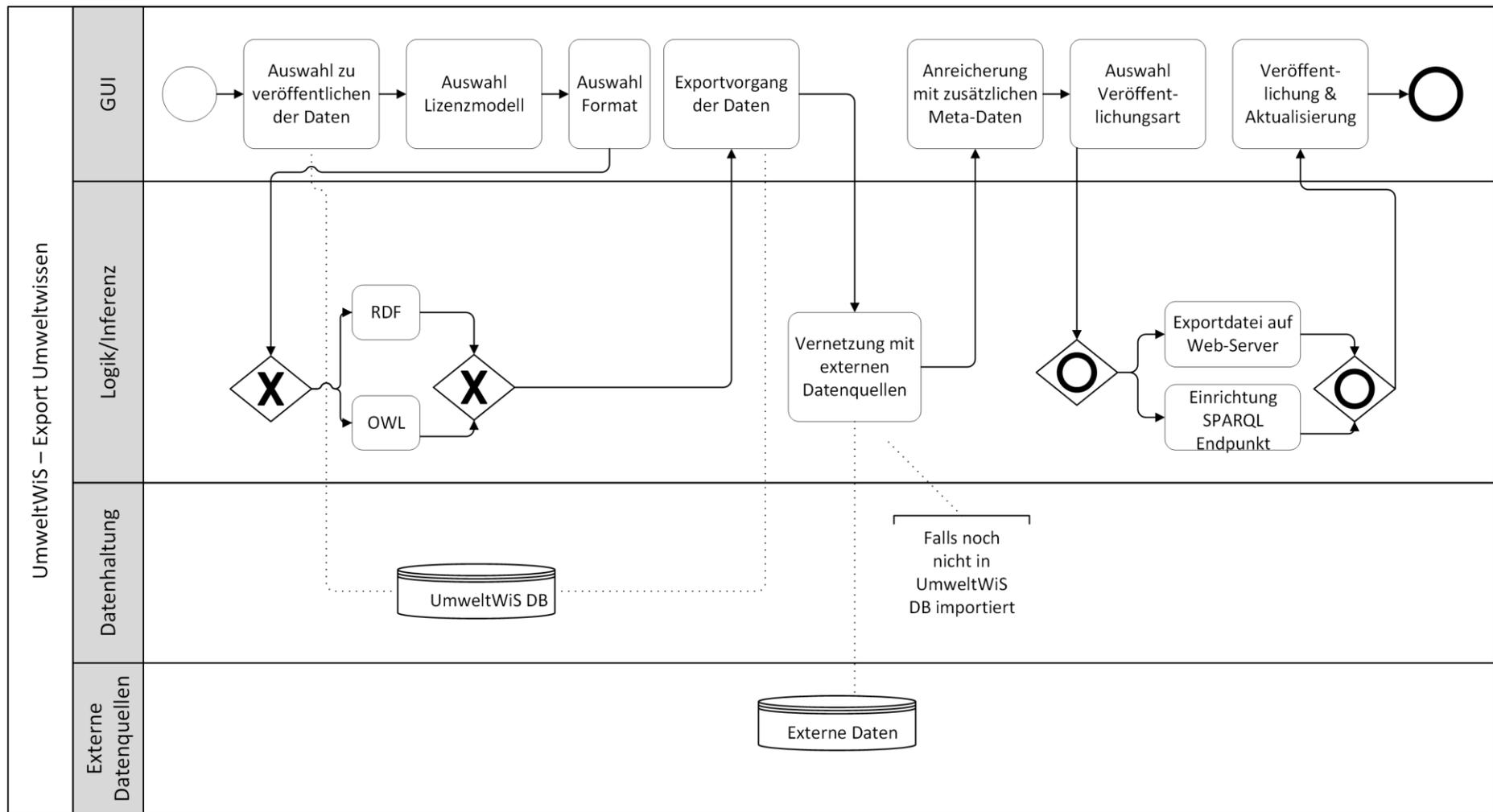


Abbildung 66 - Prozessschaubild - Export von Umweltwissen aus UmweltWiS

5.7 UmweltWiS-Dialogschnittstellen

Bislang wurden die Datenhaltungs- und Logikebene des Umweltwissenssystems eingehender betrachtet. Die Dialogkomponenten adressieren sowohl Endanwender als auch Wissensexperten. Die Endanwender können im öffentlichen Kontext interessierte Bürger, bestimmte Stakeholder oder andere öffentliche Einrichtungen sein. Im betrieblichen Anwendungskontext handelt es sich um Mitarbeiter welche konkret mit Umwelt- und Nachhaltigkeitsthemen des Unternehmens beschäftigt sind aber auch Mitarbeiter welche auf diese Thematiken hin geschult werden sollen, um so ein entsprechendes Verständnis und Verhaltensweisen hierzu zu entwickeln. Auch eine Änderung in den Prozessabläufen vor dem Hintergrund von Green BPM ist denkbar.

Die Dialogkomponenten sind technisch gesehen als Web-Anwendungen zu etablieren. Dies hat den Vorteil, dass durch die vorgeschlagene Architektur (→ Kapitel 5.2.1) eine verteilte Anwendung und Serviceorientierung möglich ist. Die Anwender können daher entweder via Web-Browser an ihrem Arbeitsplatz oder via mobiles Endgerät auf das UmweltWiS zugreifen. Eine mobile Unterstützung sollte je nach inhaltlicher Auslegung des UmweltWiS von Anfang an mit eingeplant werden, da z.B. Mitarbeiter durch Bildmaterial, welches mit einem mobilen Endgerät erstellt wird, eine direkte Anreicherung der Wissensbasis durchführen könnten. Eine Kommentierung von vorhandenen Inhalten mittels eines mobilen Endgeräts erscheint ebenfalls vorteilhaft, da ein Umweltingenieur in einem Unternehmen so direkt Rückmeldungen zu gemachten Beobachtungen einpflegen kann. Diese Beobachtungen könnten über einen zweiten Kanal als Sensordaten erfasst und in das System gespielt worden sein.

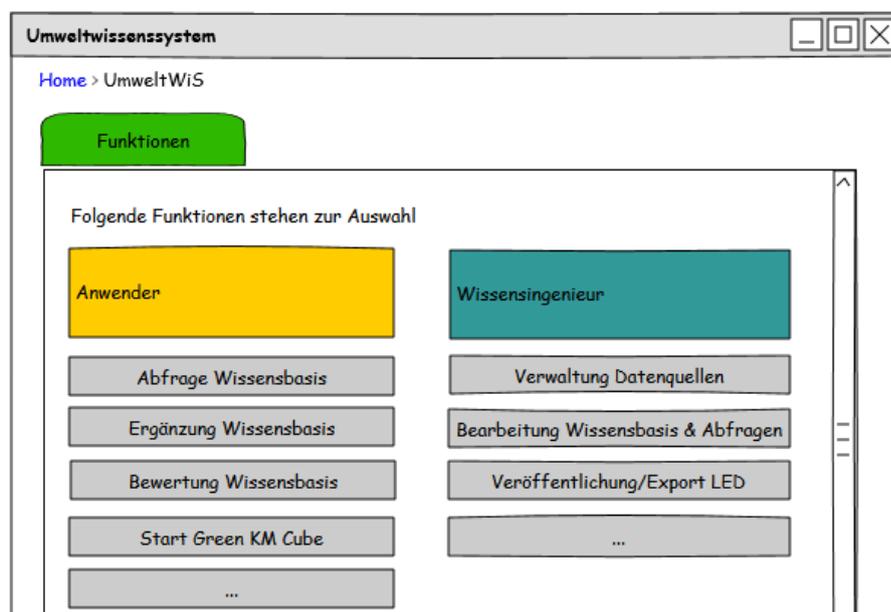


Abbildung 67 - Mockup - Dialog - UmweltWiS – Startmenü, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)³⁸

³⁸ Alle vorhanden Mockup-Dialoge wurden mit der Software Pencil (Open Source GUI-Prototyping Tool) erstellt (Evolus: Pencil, 2016)

Die oben dargestellte Mockup-Abbildung der Dialogschnittstelle zeigt eine mögliche Einstiegsmaske und die damit verbundenen Funktionen. Der Anwender erhält hiermit ein Interface zur Abfrage der bestehenden Wissensbasis sowie zur Ergänzung und Bewertung der selbigen. Ebenso hat er die Möglichkeit die Green KM Cube Oberfläche zu starten. Diese wird in → *Kapitel 6.3* eingehender betrachtet. Der Wissensingenieur wiederum hat Funktionen zur Verwaltung und Ergänzung von neuen Datenquellen via der oben beschriebenen Mechanismen zum Import von Daten, zur Bearbeitung der semantischen Wissensbasis oder auch zur Vordefinition von Anwender-Reports. Gleiches gilt für die Vordefinition von Abfrage-Fragmenten, also SPARQL- oder SWRL-Ausdrücken, zur späteren Ausführung durch den Endanwender. Ebenso sollte der Wissensingenieur über eine Funktion zur Auswahl und dem Export bzw. der Veröffentlichung von bestehenden LOD verfügen. Die ... -Schaltflächen deuten die Erweiterbarkeit der Funktionen anhand der Anforderungen der Endanwender und des Wissensingenieurs an.

5.7.1 Anwender-Ansicht

In den folgenden drei Mockups werden schematisch die Funktionen zur Abfrage, dem Upload und der Bewertung der Wissensbasis durch den Anwender dargestellt.

Abfrage Wissensbasis: Die Abfrage der Wissensbasis ist dabei funktional der aufwändigste Prozess. Die Darstellung zeigt eine Suchmaske welche sowohl Freitextsuche nach einem bestimmten Begriff aber auch eine SPARQL- oder SWRL-Suche zulassen soll. Hierbei können beispielsweise Ansätze der semantischen Suche (u.a. (Dengel, 2012, S. Kapitel 9)), wie eine *Formularbasierte Suche* oder ein *Faceted Browsing* zum Einsatz kommen. Interessant wäre dabei wenn der Anwender durch ein Hilfsfenster die von dem Wissensingenieur vordefinierten SPARQL- oder SWRL-Fragmente auswählen könnte, um anhand deren Suchergebnisses weiter zu navigieren.

Nach Ausführung der Suche werden die zutreffenden Kategorien in dem Ontologie-Klassenbaum visuell hervorgehoben, der Graph-Ausschnitt als Ergebnisgraph dargestellt und die ermittelten Instanzen werden in Form einer Tabelle mit direktem Link zu den zugehörigen Dateien oder Links in Karte oder Web ausgegeben. Die Kartendarstellung ist rechts unten angedeutet, sollte aber so realisiert werden das diese in einem separaten Fenster vergrößert ausgegeben werden kann. Rechts oben wiederum kann eingeschränkt werden ob nur die Grundvariante des UmweltWiS abgefragt werden soll oder ob weitere Quellen, lokal oder via SPARQL-Endpunkt bei der Suche und nachfolgenden Ergebnisdarstellung mit eingebunden werden. Auf diese Weise erhält der Anwender eine Mashup-Darstellung im Überblick. Die mobile Darstellung wäre über ein responsive Design abzubilden.

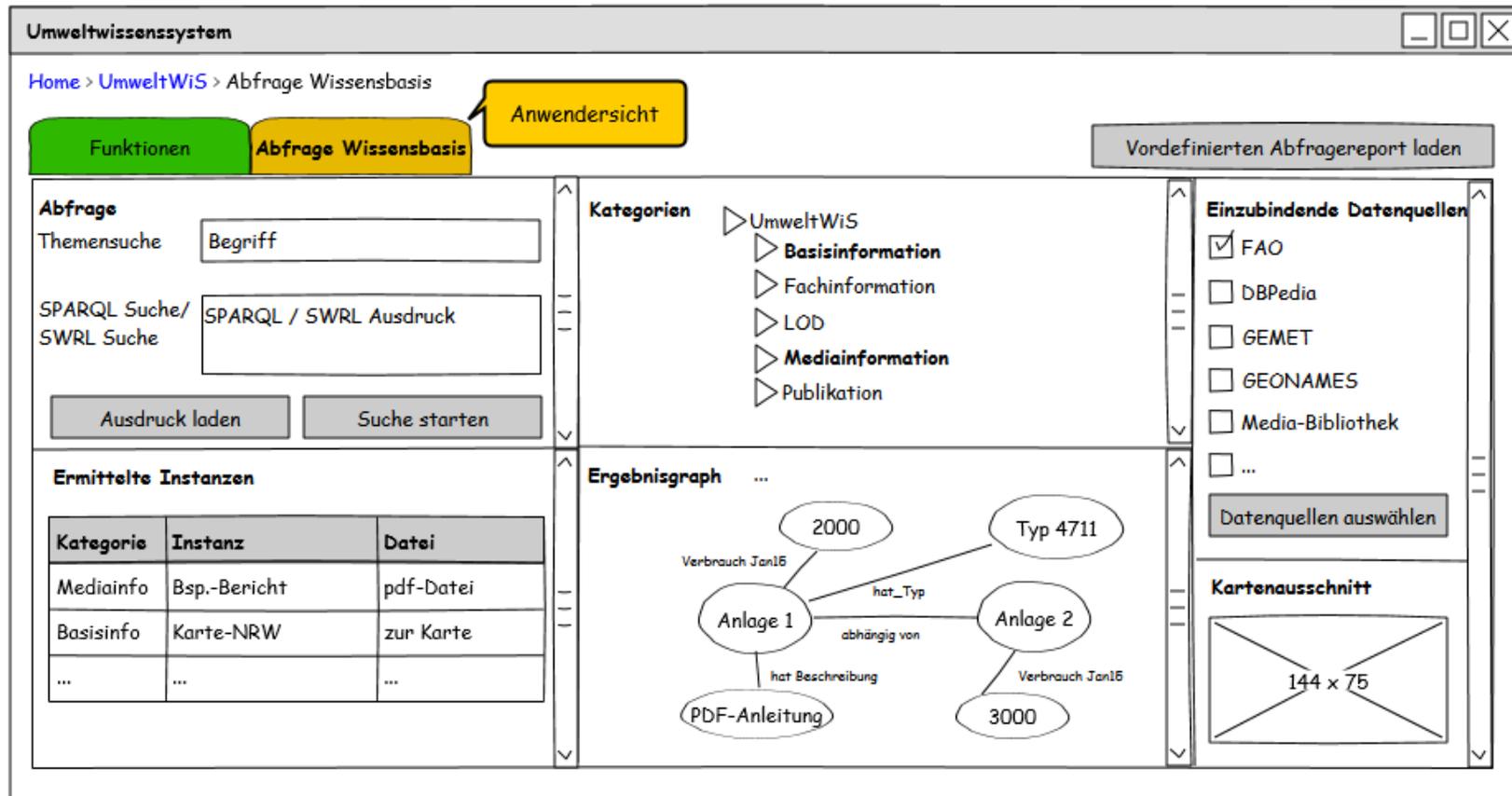


Abbildung 68 - Mockup - Dialog - UmweltWiS - Abfrage Wissensbasis, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)

Ergänzung Wissensbasis: Die unten dargestellte Ergänzung der Wissensbasis baut sich ähnlich zu dem gerade betrachteten Dialog der Abfrage der Wissensbasis auf, wobei zusätzlich Einzeldialoge integriert werden:

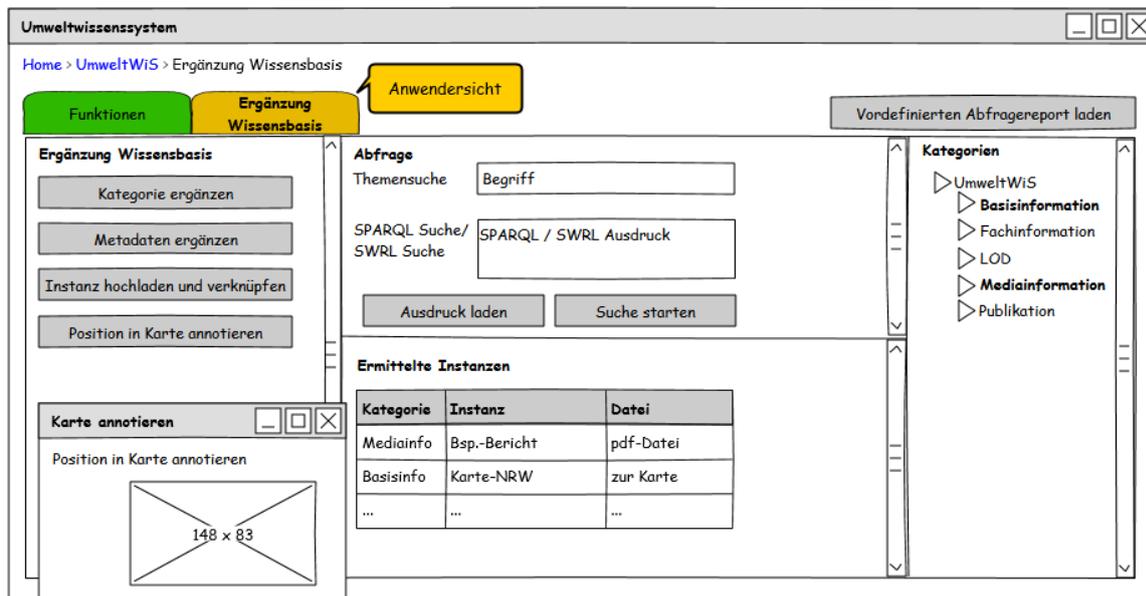


Abbildung 69 - Mockup - Dialog - UmweltWiS - Ergänzung Wissensbasis, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)

- Der erste Dialog *Kategorie ergänzen* erlaubt die Erweiterung der Wissensbasis um neue Kategorien (bzw. Klassen). Hierbei ist darauf zu achten, dass die Ontologie nicht inkonsistent wird, sprich bestehende Knoten können nicht gelöscht werden, sondern nur der Vorschlag für die Ergänzung neuer Knoten gemacht werden. Der Wissensingenieur kann diese dann in seiner Ansicht bestätigen oder ablehnen.
- Mittels *Metadaten ergänzen* wird die Funktion der Annotation der Wissensbasis durch einen Anwender vorgesehen, wobei hier Angaben zu dem Zeitpunkt und dem Namen der Person mit erfasst werden sollten, um so nachvollziehbar zu machen aus welcher Perspektive die Annotation durchgeführt wurde.
- Der dritte Dialog *Instanz hochladen und verknüpfen* sieht den Upload neuer Instanzen in die Wissensbasis vor. Dies können Dateien, URLs oder einfache Literale sein. Es ist dabei genau zu spezifizieren mit welchen Knoten der Wissensbasis diese Instanz verknüpft sein soll und welche Metadaten diese beschreiben. Durch den Upload der Instanzen ist es zudem möglich im Sinne von Social Media Bild- und Videomaterial zu einzelnen Vorgängen zu ergänzen, in der Karte die zugehörigen Positionen zu ermitteln und durch Metadaten zu kommentieren. Publikationen oder Artikel können direkt hochgeladen oder per URL referenziert werden. In einem weiteren Schritt ist zu überlegen inwiefern ein internes Soziales Netzwerk integriert werden sollte, so dass sich die einzelnen Anwender gegenseitig anschreiben und Nachrichten austauschen oder über neue Instanzen informieren können.
- Der vierte Dialog *Position in Karte annotieren* geht davon aus das eine Kartenanwendung in dem Umweltwissenssystem enthalten ist und dass der Anwender

einen Vorgang oder ein Thema durch markieren mit einer Kategorie oder Instanz verknüpfen oder mittels Metadaten annotieren möchte.

Bewertung Wissensbasis: Neben den Funktionen zur Ergänzung der Wissensbasis lassen sich durch die Bereitstellung der Abfragemaske, der Tabelle der Instanzen und des Kategorienbaums die gemachten Änderungen im Nachhinein abfragen und überprüfen. Die Bewertung der Wissensbasis geht ebenfalls von dem Abfragedialog aus, sprich es wird eine Abfrage durchgeführt und die hierzu ermittelten Suchergebnisse bewertet.

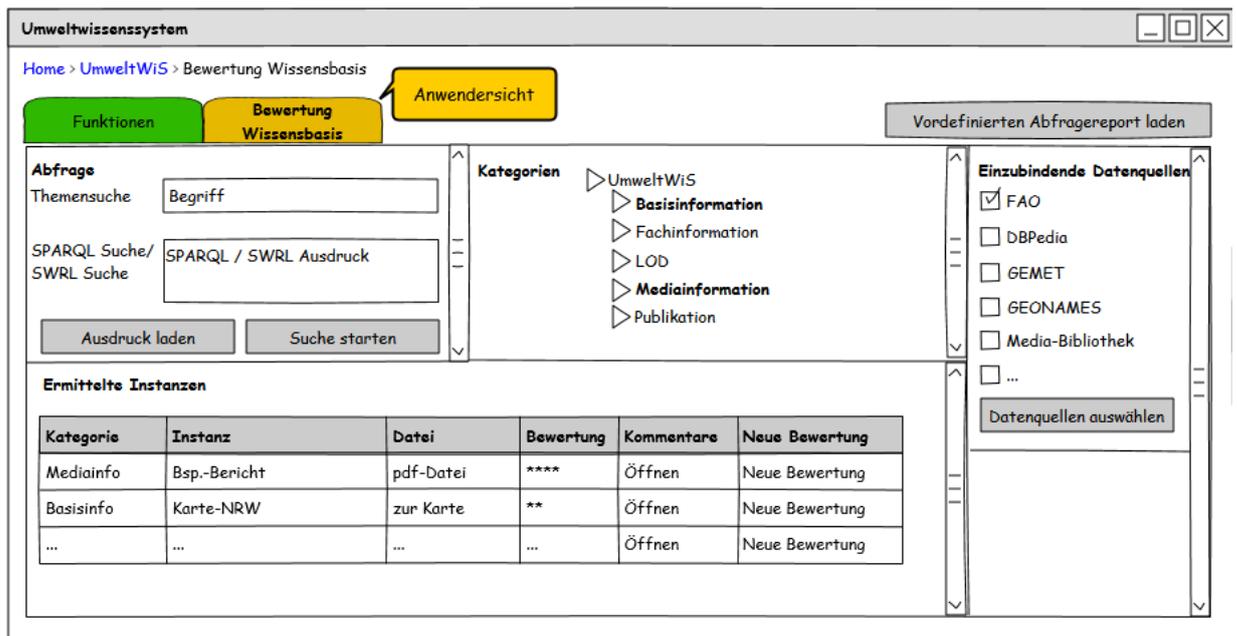


Abbildung 70 - Mockup - Dialog - UmweltWiS - Bewertung Wissensbasis, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)

Hierzu werden bisherige Bewertungen und Kommentare mit ausgegeben und es besteht die Möglichkeit eine neue Bewertung anzulegen. Wird eine Instanz als „irrelevant“ also beispielsweise von mehreren Nutzern nur mit einem Stern versehen, so sinkt ihre Priorität innerhalb der Suchergebnisse ab. Ebenso ist es denkbar eine Logik umzusetzen welche neben dem Suchkriterium eine weitere Abfrage nachschaltet in welcher nur hoch bewertete Instanzen ausgegeben werden oder hoch bewertete Instanzen in einer Form von Empfehlungssystem dem Anwender als besonders interessant dargestellt werden. Innerhalb eines Review-Vorgangs sollte der Wissensingenieur in definierten Zeiträumen die als niedrig bewerteten Instanzen durchsehen und ggf. aus der Wissensbasis nehmen oder einen Aktualisierungsvorgang zur Verbesserung der Qualität durchführen.

5.7.2 Wissensingenieur-Ansicht

Die Ansicht des Wissensingenieurs ist an sich eher technisch-funktional ausgelegt. Der Wissensingenieur ist dabei dafür zuständig neue Datenquellen in die Wissensbasis einzubinden. Dies können entweder bestehende SPARQL-Serviceendpunkte, importierte RDF- oder OWL-Datenquellen oder Verweise auf bestehende Dateiverzeichnisse sein. Das Thema des Imports neuer Datenquellen wurde entsprechend in → Kapitel 5.4 eingehend betrachtet.

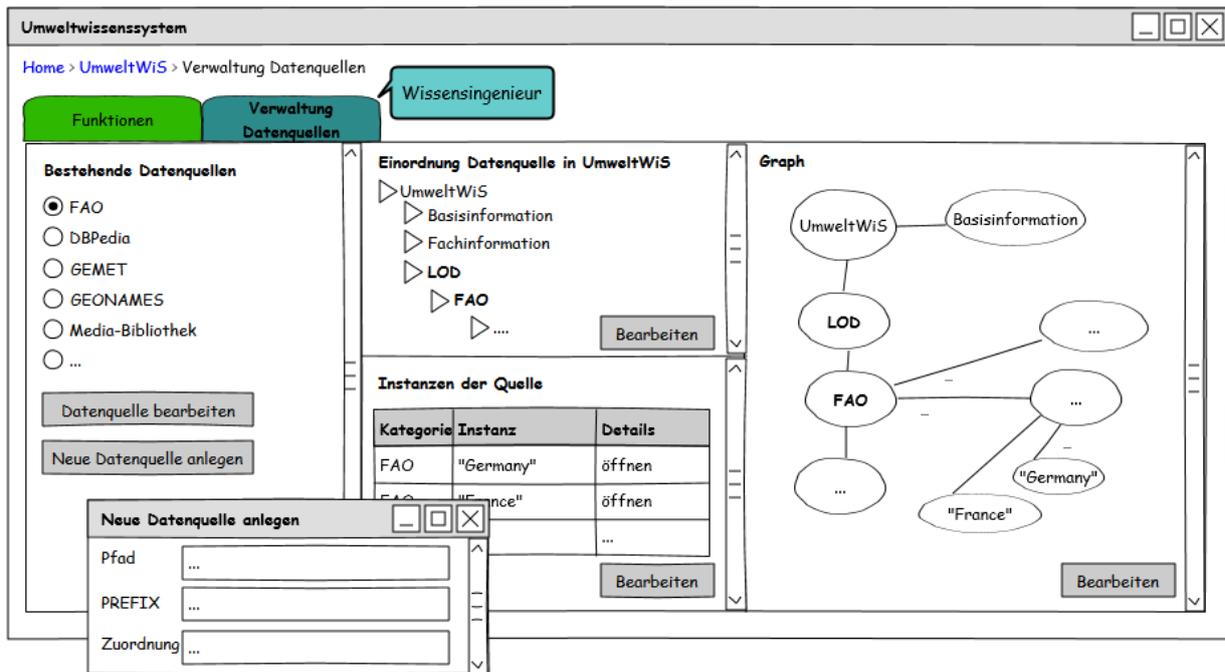


Abbildung 71 - Mockup - Dialog - UmweltWiS - Verwaltung Datenquellen, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)

Verwaltung Datenquellen: Die Darstellung oben skizziert auf der linken Seite die bereits vorhandenen Datenquellen und die Option zur Bearbeitung oder zur Anlage einer neuen Datenquelle. Im mittleren Teil der Abbildung werden die Bereiche der Ontologie markiert in welcher die aktuell ausgewählte Datenquelle integriert ist sowie die Option zur Bearbeitung geboten. Ebenso werden die zu der aktuell gewählten Datenquelle hinterlegten Instanzen ausgegeben. Auf der rechten Seite wird der Graph-Ausschnitt der gewählten Quellen heraus dargestellt.

Ergänzung Wissensbasis: Neben der Verwaltung und Einbindung neuer Datenquellen sollte der Wissensingenieur verschiedene Funktionen zur Ergänzung und Bearbeitung der Wissensbasis bestehend aus der Freigabe vorgeschlagener Anwenderkategorien, der Ergänzung von Metadaten, dem hochladen und verknüpfen neuer Instanzen (z.B. Media-Dateien) sowie der Annotation von Vorkommnissen in dem vorhandenen Kartenmaterial erhalten. Zur vereinfachten Abfrage der Wissensbasis durch den Anwender besteht für den Wissensingenieur die Möglichkeit SPARQL-Abfragen (siehe Abbildung unten) zu definieren und abzuspeichern. Gleiches ist für SWRL-Regeln denkbar, so dass der Anwender wenn er selbst geringe Erfahrung mit diesen Abfragesprachen hat diese vorausgewählt nutzen kann. Ausgehend von diesem Set von Abfragen und den daraus ermittelten Kategorien, Vernetzungszusammenhängen, Teilgraphen, Instanzen und Kartenausschnitten lassen sich Abfragereports zusammenstellen, welche dem Anwender ebenso vordefiniert zur Verfügung gestellt werden können. Ein solcher Abfragereport sollte einen thematischen Hintergrund haben z.B. „Abfragereport der Umweltaktionen 2016“ einer Organisation und das Management oder Entscheidungssituationen unterstützen. Schlussendlich wird ein Knopf zur Ausgabe des hinterlegten RDF- bzw. OWL-Quelltexts dargestellt.

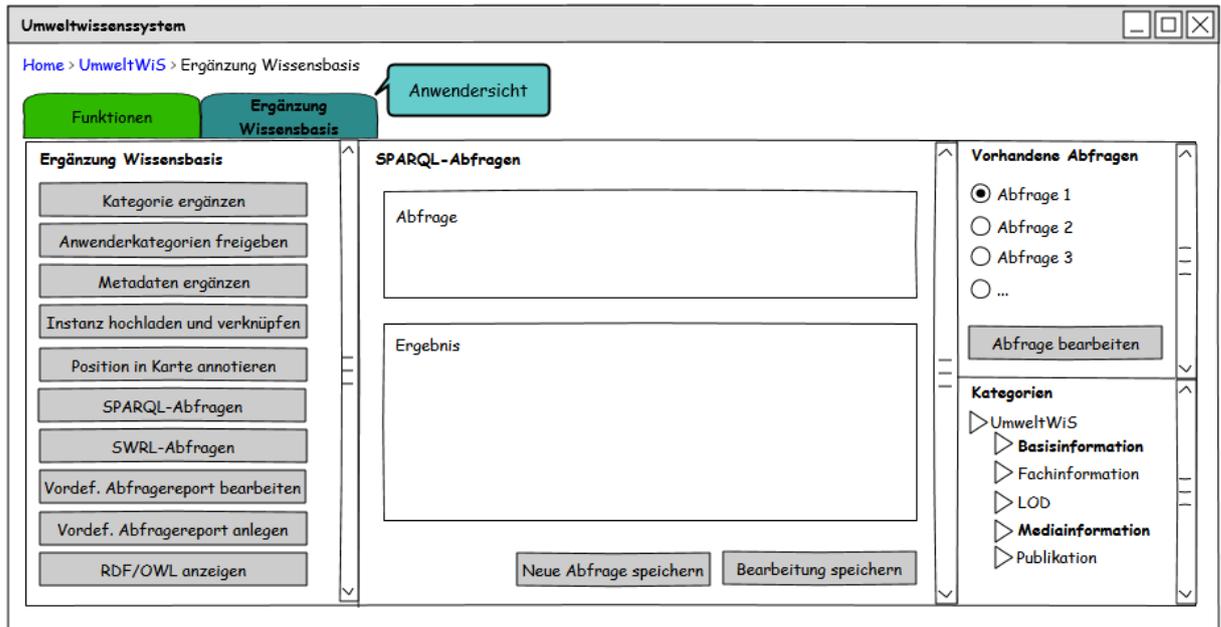


Abbildung 72 - Mockup - Dialog - UmweltWiS – Ergänzung Wissensbasis – WI, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)

Export LED: Abschließend erhält der Wissensingenieur eine Funktionsübersicht mit welcher er in der Lage ist Linked Environment Data des UmweltWiS zu exportieren. Hierbei kann entweder eine Auswahl anhand der vorhandenen Klassen (in der Abbildung als Kategorien bezeichnet) mit oder ohne der zugehörigen Instanzen erfolgen. In der mittleren Darstellung ist eine alleinige Auswahl der Instanzen möglich, während in der rechten Spalte eine Auswahl der zu exportierenden Daten anhand der Graph-Darstellung möglich ist.

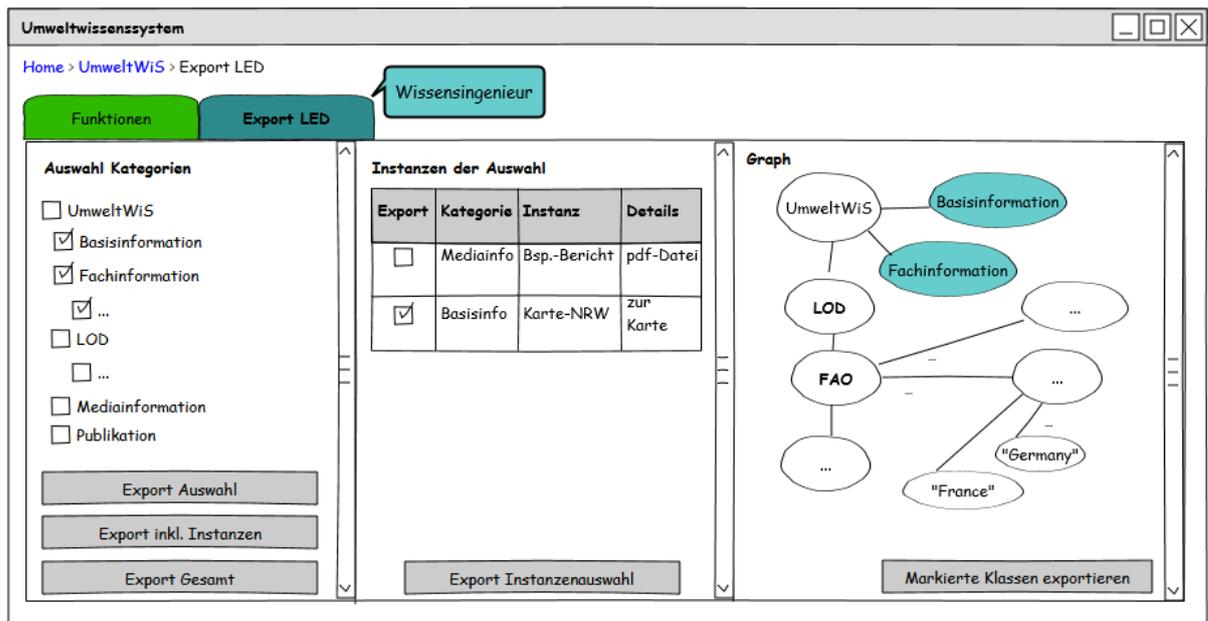


Abbildung 73 - Mockup - Dialog - UmweltWiS – Export LED, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)

5.8 Zusammenfassung & Ausblick

Blickt man am Ende dieses Kapitels zusammenfassend auf das in den vorangegangenen Teilkapiteln vorgestellte Modell des Umweltwissenssystem, so wurde ein Modell vorgestellt welches in Grundzügen auf den bestehenden Architekturen für Umweltinformationssysteme aufsetzt, aber gezielt die Logikebene um eine semantische Wissensbasis erweitert und so zusätzliche Verknüpfungen zwischen vorhanden Umweltdaten und zusätzlichen Materialien wie Mediendaten oder Publikationen ermöglicht. Es wurde dabei darauf geachtet die einzelnen Ebenen und Funktionen modular und aufeinander aufbauend zu gestalten. Ebenso wurde bei dem Aufbau der Wissensbasis mittels semantischer Technologie darauf geachtet eine flexible Erweiterbarkeit zu ermöglichen. Dies gilt ebenso für die vorhandenen Analysebausteine, wie auch für die Visualisierungs- und Auswertungsmöglichkeiten auf der obersten Ebene der Anwendungsoberfläche. Zudem wurde beispielhaft gezeigt wie eine Einbindung einer extern bereitgestellten Linked Open Data Sammlung in diese Struktur umgesetzt werden kann und wie flexible Abfragen auf Basis SPARQL und SWRL formuliert werden können, um auf diese Weise ein Reasoning zu ermöglichen.

In dem folgenden → *Kapitel 6* wird anhand von drei Anwendungsfällen gezeigt wie die Architektur des Umweltwissenssystems flexibel auf öffentliche und industrielle Kontexte adaptiert werden kann. Ebenso wird demonstriert wie der zuvor vorgestellte Green Knowledge Management Cube in das Umweltwissenssystem integriert werden kann, um so ein Entscheidungs- und Planungsinstrument in die Architektur zu integrieren. Inhärent wird dabei auch der Ansatz des „Recyclings von Wissen“ verfolgt, da auf diese Weise eine Wiederverwendung bestehenden Wissens in unterschiedlichen Auswertungen und Planungsszenarien ermöglicht wird. Das Recycling von Wissen und die Reduktion von redundantem Wissen werden abschließend in → *Kapitel 7* betrachtet.

6 Anwendungsfälle

Nach der Konzeption und Spezifikation der Struktur eines Umweltwissenssystems werden im Folgenden drei verschiedene Anwendungsfälle beleuchtet. Einer dieser Anwendungsfälle adressiert den öffentlichen Sektor, im Speziellen die Forstwirtschaft. Die beiden anderen Anwendungsfälle fokussieren den betrieblich industriellen Kontext. Dabei werden der Einsatz in modernen Industrie 4.0 Produktionsunternehmen und die Erforschung & Entwicklung von Materialinnovationen für den Einsatz des UmweltWiS betrachtet. Zum Abschluss des Kapitels wird die Green KM Cube Ontologie vorgestellt, welche zur Integration des Konzeptes des Green KM Cubes in das Umweltwissenssystem entwickelt wurde.

6.1 Öffentlicher Anwendungsfall - Einsatz eines UmweltWiS in der Forstwirtschaft

Es wurde sich bei dem öffentlichen Anwendungsfall dazu entschieden das Themengebiet „Forstwirtschaft“ aufzugreifen, da speziell in diesem Bereich der Ursprung des Begriffes „Nachhaltigkeit“ liegt und zudem anhand vorhandener Recherchen eine geeignete Datenbasis öffentlicher Datenquellen ermittelt werden konnte. Die folgende Beschreibung des Anwendungsszenarios basiert auf einem konzeptuellen Kurzbeitrags zu der 36. GIL Jahreskonferenz in 2016 (Dornhöfer, Holland, & Fathi, Ein Umweltwissenssystem zur semantischen Vernetzung forstwirtschaftlicher Datenquellen, 2016b) und wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit weiter ausgeführt und durch Umsetzungsausschnitte des Umweltwissenssystems ergänzend dargestellt. Während der generischen Betrachtung der Konzeption des Umweltwissenssystems im vorherigen Kapitel wurde der öffentliche Anwendungsfall bereits in einzelnen Beispielen angedeutet.

Das gewählte Anwendungsgebiet „Forstwirtschaft“ stellt eine Vielzahl vorhandener Abhängigkeiten und Schnittstellen mit anderen Umweltthemen im Hinblick auf die Nutzung von Holz sowie mögliche Waldschäden bereit. Es gibt also nicht „den einen Wald“ und „die eine Nutzung“. Dieses Anwendungsfeld bietet sich zudem an, da verschiedene öffentlich frei verfügbare Statistiken vorliegen, auch in globalem Kontext. Zudem wird die Entwicklung und Nutzung des Waldes von natürlichen, aber auch von industriellen, politischen und gesellschaftlichen Faktoren beeinflusst. Äußere natürliche Einflüsse können etwa der Klimawandel, die Veränderung von Wetterlagen, Stürme, Trockenheit oder Hochwasser sein. Durch einen direkten (z.B. Umbettung oder Trockenlegung von Flüssen) oder indirekten Eingriff (z.B. Saurer Regen in Folge von erhöhten Schadstoffen in der Luft) des Menschen in das Ökosystem ergeben sich kurz- oder langfristige Veränderungen in der Waldentwicklung einer Region. Trends im Bereich der Baubranche, der Möbelindustrie oder ein Preisanstieg bei fossilen Brennstoffen, wie Öl oder Gas, beeinflussen ebenso direkt die Nachfrage nach Holz für unterschiedliche Anwendungszwecke. Auch die Politik beeinflusst die Entwicklung, wenn z.B. eine Förderung von Null-Energiehäusern auf Basis von Holzbauweise stattfindet oder eine Nutzung von nachwachsenden Rohstoffen als Teil der Heizstrategie für Privathäuser. Industrielle Trends welche schnell nachwachsende Rohstoffe erfordern erzeugen wiederum die Gefahr von Monokulturen, welche ggf. schneller Ertrag und somit Umsatz liefern, aber auch ein

Ungleichgewicht in das Ökosystem bringen und für Tiere und Umwelt unvorteilhaft sind. Zudem sind z.B. Fichtenmonokulturen weniger resistent gegen Stürme als Mischwälder, so dass es hier häufiger zu Windbruch kommen kann. Die angemarkten Aspekte sind dabei nur beispielhaft zu sehen und es wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Die folgende Abbildung zeigt die zuvor genannten Zusammenhänge in Form einer thematischen Vernetzung.

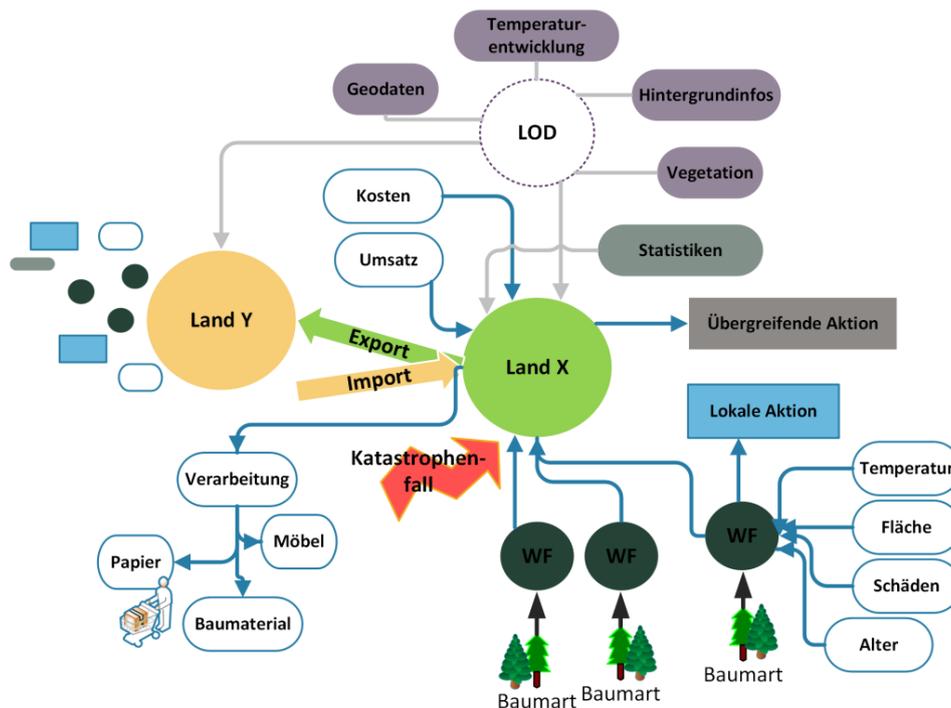


Abbildung 74 - Anwendungsfall (öffentlich) – Forstwirtschaft, publiziert in (Dornhöfer, Holland, & Fathi, 2016b)

Dabei wird der Fokus auf die Länderebene gelegt und von dort auf die Forstregionen oder direkten Waldflächen herunter gebrochen. Jedes Land kumuliert dabei einen Import und Export von Holz pro Zeiteinheit. Import und Export hängen von den Waldbeständen und der Baumart ab. Je nach Art existieren unterschiedliche Nutzungsalternativen und es ergeben sich ggf. unterschiedliche Umweltaspekte und Umweltauswirkungen. Entwickelt man also aus vorliegenden öffentlichen Umweltdaten eine Linked Data Struktur zur semantischen Vernetzung, so zentriert sich der Graph um das jeweilige Land herum. Dabei lässt sich im Idealfall ableiten für welche Anwendungszwecke ein Land die ihm zur Verfügung stehenden Waldressourcen nutzt oder zu welchem Zweck die importierten Hölzer aus anderen Ländern dienen. Da diese Betrachtung jedoch mehr in die Richtung der ökonomischen Nachhaltigkeit tendiert, werden im Bezug auf die ökologische Nachhaltigkeit die natürlichen äußeren Einflüsse betrachtet welche sich etwa aus Temperatur, Regen- oder Windmessungen ergeben und so eine direkte Beeinflussung des Waldes durch Wetterveränderungen oder Klimawandel aufzeigen sollen. Auch durch den Mensch oder Technik hervorgerufene Schadstoffe spielen bei dieser Entwicklung eine Rolle. Neben den Einflussfaktoren auf den Wald sollten auch die durchgeführten Aktionen zur Verbesserung der Waldqualität und zur Vermeidung von Belastungen berücksichtigt werden. Über die Einbindung von Linked Open Data ist eine Anreicherung der Daten durch Hintergrundinformationen (z.B. in Form von Lexikoneinträgen aus DBPedia zu Baumarten) und

Geodaten zur Darstellung von Zusammenhängen in geographischen Karten denkbar. Die oben dargestellte Vernetzung lässt sich nur erzeugen wenn die entsprechenden Datenquellen in die UmweltWiS-Struktur integriert werden. *Abbildung 75* zeigt daher eine Anpassung des generischen UmweltWiS Konzepts (*→Abbildung 34*) für den Anwendungsfall Forstwirtschaft, wobei die gerade vorgestellte Vernetzungsstruktur (*→Abbildung 74*) die semantische Repräsentationsschicht im UmweltWiS darstellt. Auf der linken Seite sieht man eine Anpassung der Umweltquellen dargestellt welche als Basis für die Etablierung dieser semantischen Repräsentationsschicht dienen. Hierzu müssen die eventuell tabellarisch vorliegenden Rohdaten in semantische Daten transformiert und vernetzt werden. Mittels der Integration von bestehenden Geodaten ist zudem die Anreicherung der Daten um die angesprochenen Geopositionen der betroffenen Regionen oder Orte gegeben, so dass eine Darstellung mittels Karten möglich wird. Die Anwendungsoberfläche sollte zudem eine Abfrage der RDF-Strukturen mittels SPARQL-Ausdrücken ermöglichen. Die zuvor erwähnten Aktionen lassen sich mit dem UmweltWiS entweder in historischen Abfolgen darstellen oder mit Hilfe von Regeln umsetzen. Dies wäre ein zweiter Schritt der anhand aktueller Datenlagen Aktionen oder Präventivmaßnahmen vorschlägt, welche wiederum zur akuten oder zukünftigen Verbesserung der Situation beitragen können.

6.1.1 Umsetzungsansatz mittels UmweltWiS

Reflektiert man an dieser Stelle die in *→ Kapitel 5* vorgestellten Prozesse für den Anwendungsfall, so können die einzelnen Phasen folgendermaßen erfüllt werden:

6.1.1.1 UmweltWiS-Arbeitsschritte

In den zuvor theoretisch beschriebenen Arbeitsschritten wird davon ausgegangen das ein Umweltmanagementprozess nach DIN 14001 als Grundlage dient und dort die UmweltWiS-Prozessschritte eingebunden werden. Dieser Referenzprozess ist in seiner Entstehung für die Umsetzung eines Umweltmanagements in einer Organisation und weniger in einem natürlichen Raum vorgesehen. Wenn man die Prozesse jedoch auf ein bestimmtes Gebiet (sei es ein Land, ein Bundesland, ein Forstgebiet) herunterbricht, so lassen sich auch für diesen begrenzten Raum eine Umweltpolitik definieren und Umweltmessungen durchführen, Umweltindikatoren ermitteln und schlussendlich Maßnahmen als Präventivmaßnahme oder Folgeaktion umsetzen.

6.1.1.2 UmweltWiS-Import- & -Datenhaltung

Für das vorgestellte Szenario können grundsätzlich die *→ in Kapitel 5* benannten LOD-Datenquellen herangezogen werden. Eine Erweiterung auf weitere öffentlich verfügbare forstwirtschaftliche Datenquellen ist natürlich möglich. Hierbei stellt sich jedoch die Schwierigkeit dass diese mitnichten für kleinere Waldgebiete und Forstbereiche vorliegen. Die Ermittlung der Daten für den lokalen Kontext erfordert eine eigenständige Installation von Messstationen in dem betroffenen Waldgebiet, welche Umgebungsparameter erfassen. Deutschlandweit existiert der statistikbezogene Ansatz der „Waldinventur“ zur Ermittlung eines repräsentativen Gesamtzustands des Waldes. Diese Art der Inventur wurde bislang jedoch aufgrund seines hohen manuellen Aufwandes erst drei Mal durchgeführt. Ebenso muss auf Basis von repräsentativen Stichproben gearbeitet werden, da nicht jeder Baum erfasst werden kann. Um diese Daten im Zuge des UmweltWiS effektiv einsetzen zu können, müsste man die Datenquelle

anbinden (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.), 2014), da der reine Auswertungsreport schon zu viele erfasste Daten konsolidiert. Daten zu den vorhergehenden Waldinventuren können heruntergeladen werden (Thünen Institut für Waldökosysteme: 1.+ 2. Waldinventur, 2016), die Daten zur aktuellen Inventur sind über eine interaktive Ergebnisdatenbank (Thünen Institut für Waldökosysteme: 3. Waldinventur, 2014) einsehbar. Das das Vorhaben des UmweltWiS mit der Verfolgung eines semantischen Ansatzes auf dem richtigen Weg ist, zeigen auch die Entwicklungen des Thünen Instituts, welches aktuell eine Geodateninfrastruktur entwickelt und damit eine Transparenz und Vernetzung der in den eigens oder mit Forschungspartnern erarbeiteten Geodaten anstrebt, um so eine „*Verfügbarkeit von Geodaten für eine grenzüberschreitende Nutzung in Europa*“ zu realisieren. (Thünen Institut für Waldökosysteme: Thünen-GDI, 2016). Im Bezug auf die Forstwirtschaft besteht ein eigenes Datenzentrum Wald, welches die Geodateninfrastruktur unterstützt (Thünen Institut für Waldökosysteme: Datenzentrum Wald, 2016).

Dass Forscher an dieser Stelle bereits einen Schritt weiter gehen um die Gesundheit und Entwicklung von Bäumen zu ermitteln, zeigt das TreeWatch.net Projekt. TreeWatch.net hat an vier Standorten in Belgien und Deutschland Bäume derart vernetzt, dass diese über ihren eigenen Zustand Daten liefern und im Falle des Standorts Britz³⁹ kontinuierlich Twitter-Nachrichten abgeben. Es wird dabei der Saftfluss innerhalb der Bäume, die Entwicklung des Baumumfangs und Umgebungsparameter wie Temperatur und Trockenheit von Luft und Boden erfasst. Auf diese Weise lassen sich für die Öffentlichkeit und Forscher schnell erkennen wie der aktuelle Zustand des Baumes ist (Universität Gent, 2016), (Twitter: TreeWatchNet, 2016). Das Projekt ist in den europäischen Forschungsverbund *STReESS - Studying Tree Responses to extreme Events: a SynthesiS* eingebunden, welches untersucht inwiefern Bäume im Zuge des Klimawandels „Stress“ ausgesetzt sind (STReSS Forschungsverbund, 2016). Dieses Beispiel allein zeigt bereits, dass die Modellierung und Vernetzung mit Medieninformationen und Publikationen aus Forschungsprojekten Sinn macht. Durch den Hashtag #TwitteringTree werden zudem weitere Social Media Inhalte mit den Posts des Baumes verknüpft und liefern auf diese Weise weitere assoziierte Daten.

Zusammenfassend kann daher resümiert werden das mit den bestehenden Ansätzen aus den Bereichen der Geodaten und Umweltinformationen im Bezug auf öffentliche Ökosysteme immer weitere Möglichkeiten zu Datenerhebung, -vernetzung und -auswertung bestehen. Voraussetzung für deren Nutzung bilden standardisierte Verfahren wie die zu Beginn bereits angesprochene INSPIRE Richtlinie, aber auch die detaillierten semantischen Verfahren.

6.1.1.3 UmweltWiS-Semantische Repräsentation

Ausgehend von dem in → *Kapitel 5* vorgestellten Vernetzungsschema des UmweltWiS und der schematischen → *Abbildung 75* wird der Fokus auf die Klassen und Instanzen gelenkt welche im Zusammenhang mit dem Thema „Forstwirtschaft“ stehen. Hierzu bietet sich die *EnvO Ontologie* an, da diese sowohl die Umweltumgebung eines Waldes beschreibt als auch zugehörige

³⁹ Dieser Standort gehört zu einem „Testwald“ des zuvor angesprochenen Thünen-Instituts, des Bundesforschungsinstituts für Ländliche Räume, Wald und Fischerei.

Prozesse zur Aufforstung. Als Beispiel eines Umweltproblems wurden Instanzen für Stürme und Hochwasser modelliert. *Abbildung 76* und *Abbildung 77* zeigen das Beispielszenario, wobei die erste Abbildung die Verlinkungen in der Klassenstruktur darstellt, während die zweite Abbildung die generierten Instanzen und deren Verbindungen dokumentiert:

Abbildung 76: Zeigt einen Ausschnitt aus den Klassen welche in der EnvO (EnvO: The Environment Ontology, 2016) zur Modellierung und Verknüpfung im Rahmen des Szenarios „Forstwirtschaft“ enthalten sind. Es sollen dazu im Folgenden nur die zum Verständnis aussagekräftigsten Klassen betrachtet werden. Ausgehend von dem zentralen Konzept `envo.material entity` bestehen folgende Subklassen-Beziehungen:

- `envo.environmental material` \sqsubseteq `envo.material entity`
- `envo.environmental feature` \sqsubseteq `envo.material entity`
- `envo.environmental system` \sqsubseteq `envo.material entity`

Formel 22 - LOD – Auszug Environmental Ontology (EnvO) Konzepte basierend auf (EnvO: The Environment Ontology, 2016)

In `envo.environmental material` ist ebenfalls als Subklasse `envo.organic material` und darunter wiederum `envo.wood` einsortiert, also Holz als organischer Rohstoff.

Unter `envo.environmental feature` lassen sich `envo.environmental zone` und davon ausgehend `envo.vegetated area` und schließlich `envo.forest` finden. `envo.forest` gehört als Beziehung zu `envo.forest biome`, welches über mehrere Subklassenbeziehungen `envo.system` zugeordnet werden kann. Der Wald ist somit Teil eines Ökosystems.

Die bestehende Klasse `envo.environmental system process` wiederum beinhaltet verschiedene Subkonzepte welche Prozesse beschreiben die den Wald beeinflussen können. Hierzu gehören `envo.deforestation`, `envo.revegetation`, `envo.reforestation`, `envo.forest area expansion`, aber auch negative Einflüsse wie `envo.environmental pollution`. Der Wald selbst wird in verschiedene Waldarten klassifiziert. Dies wird durch die Unterklassen von `envo.forest` abgebildet, wie etwa `envo.needleleaf forest` oder `envo.broadleaf forest`.

Anhand der Beispiele wird deutlich dass die EnvO-Ontologie Konzepte bereitstellt welche das Ökosystem Wald und teilweise beeinflussende Faktoren auf dieses Ökosystem beinhalten. Mittels der zusätzlichen geographischen Angaben des UmweltWiS unter Basisinformation und FAO (\rightarrow *Kapitel 5.4.4*) lassen sich somit der Ort und die Beschaffenheit eines Waldes abbilden. Anhand Umweltproblem und Umweltaktion lassen sich wiederum beeinflussende Faktoren auf den Wald und präventive oder behebende Maßnahmen verknüpfen. Gleiches gilt für die Beziehungen hin zu den beschreibenden Klassen wie Publikation oder Medieninformation. Die in einem Wald ermittelten Messwerte lassen sich wiederum über die Fachinformationen einbinden.

Abbildung 77 zeigt einen exemplarischen Auszug der angelegten Instanzen, da eine weiterführende Ergänzung durch neue Instanzen, Object Property Assertions und Data Property Assertions immer möglich ist. Die zentrale Beispielinstantz ist `Kyrill`, welche als ein gut dokumentierter Sturm in dessen Folge erhebliche Waldschäden entstanden sind, gut zur beispielhaften Darstellung der Zusammenhänge geeignet erscheint. Neben der Modellierung der beiden Stürme `Kyrill` (generelle Informationen zu diesem Sturm u.a. in (Wikipedia: Orkan Kyrill, 2016)) und `Niklas` (generelle Informationen u.a. in (Wikipedia: Orkan Niklas, 2016)) wurden die drei beispielhaften Hochwasser (`Elbe-Hochwasser`, `Donau-Hochwasser` und `Oder-Hochwasser`) als Hilfsinstanzen angelegt, um ein paralleles Umweltproblem innerhalb desselben Gebietes darstellen zu können.

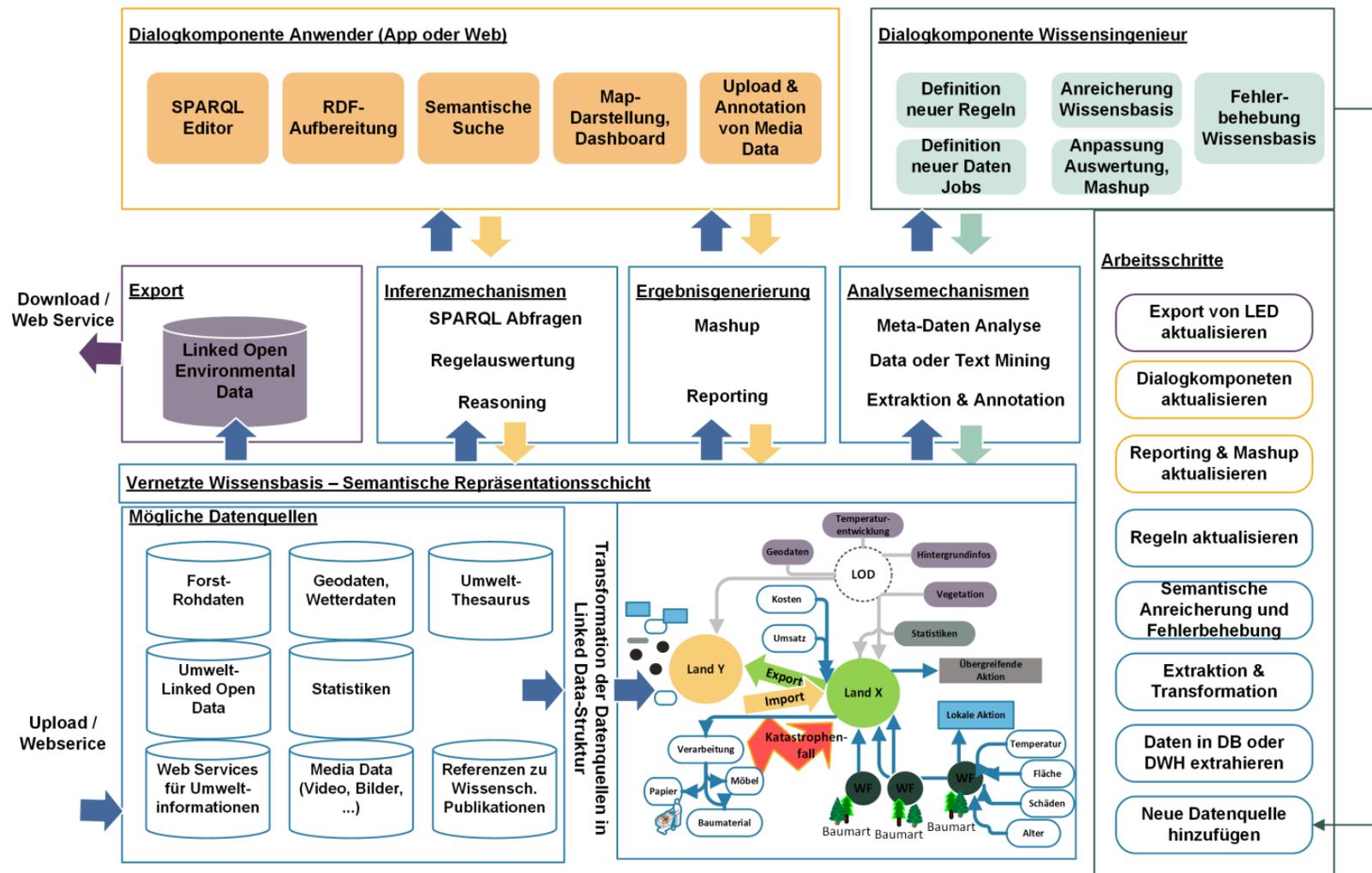


Abbildung 75 - Umweltwissenssystem - Anwendungsfall Forstwirtschaft, publiziert in (Dornhöfer, Holland, & Fathi, 2016b)

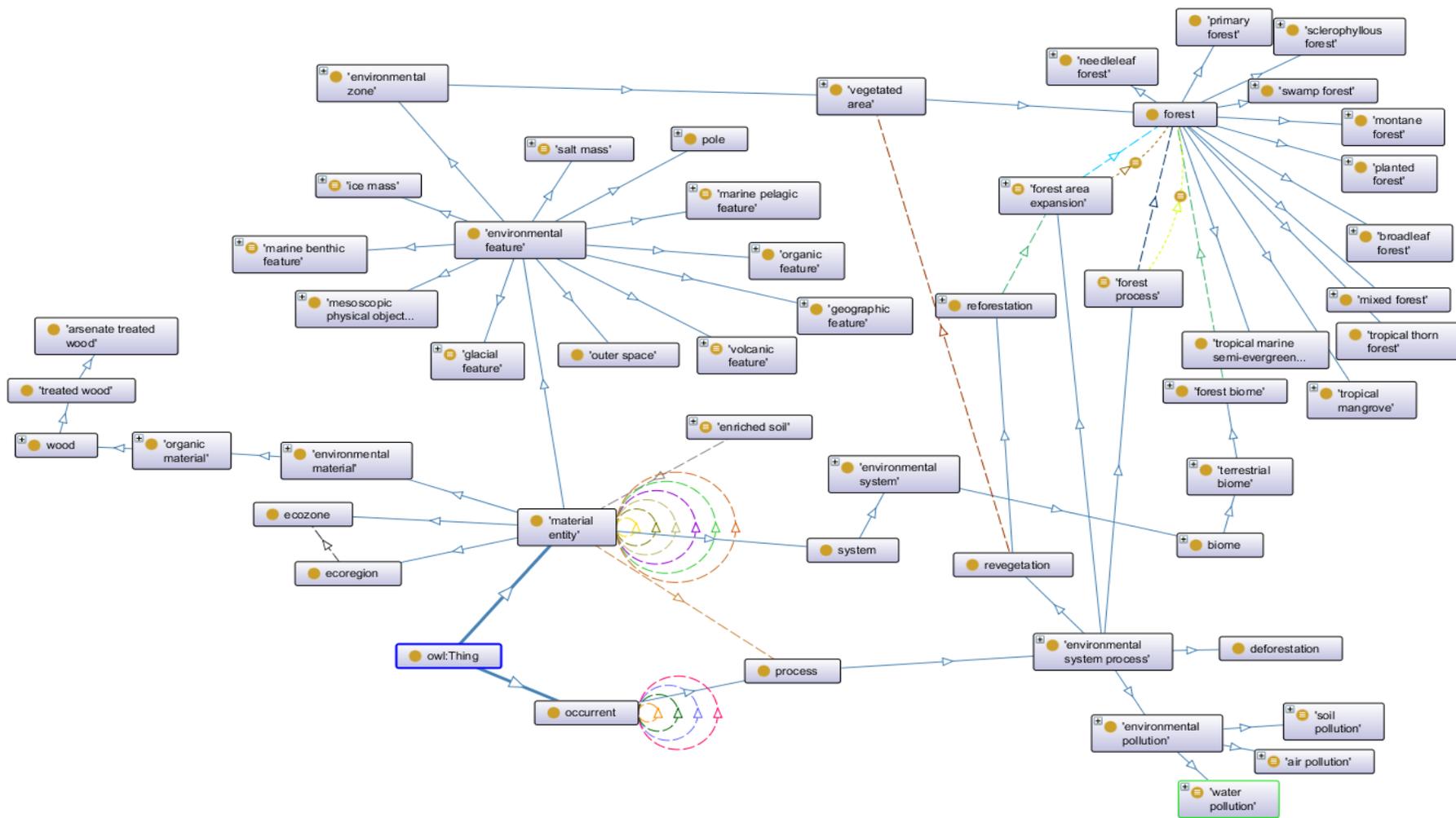


Abbildung 76 - Anwendungsfall "Forstwirtschaft" – Auszug LOD Klassen Environmental Ontology EnvO (EnvO: The Environment Ontology, 2016), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)

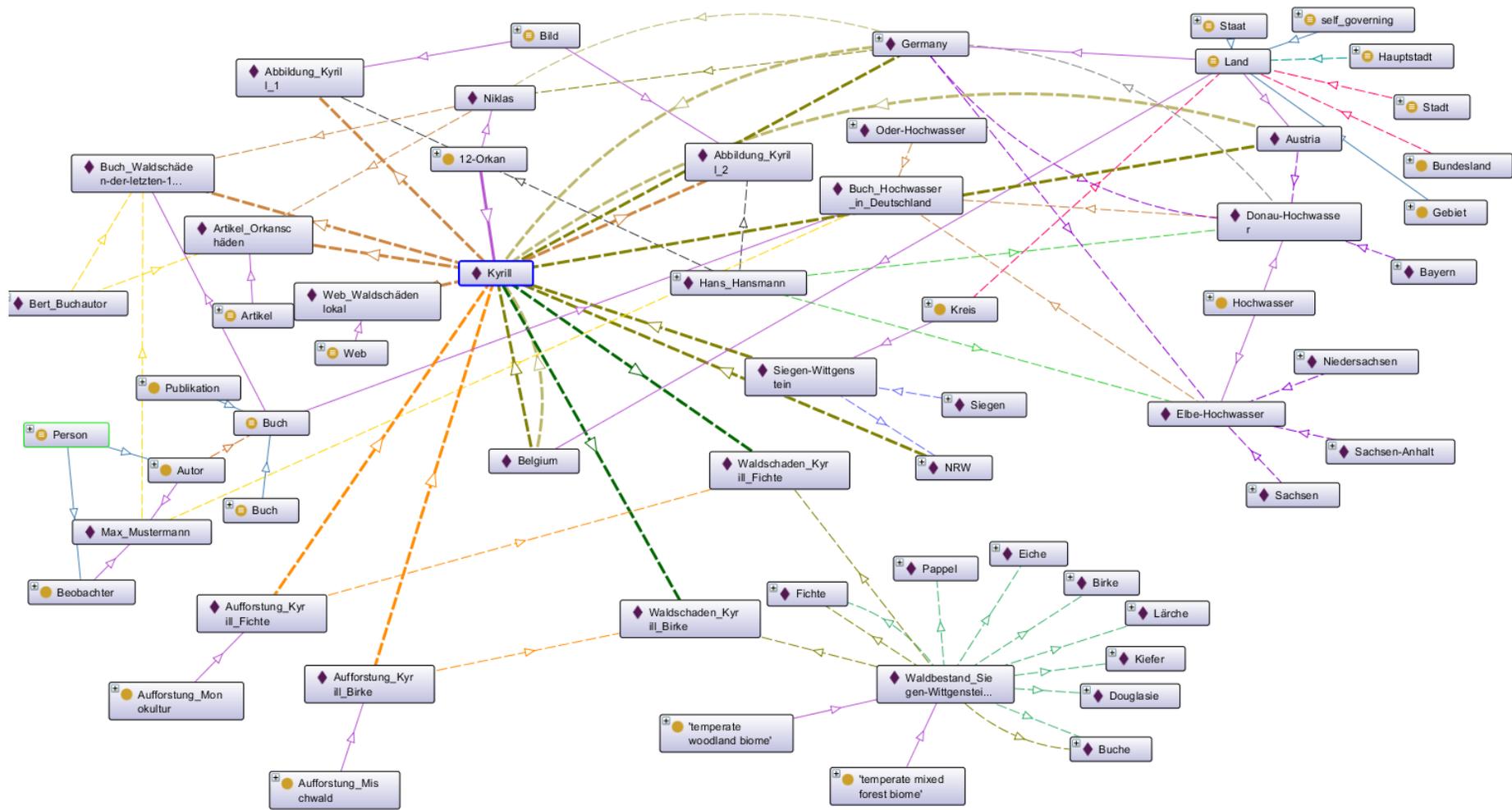


Abbildung 77 - Anwendungsfall "Forstwirtschaft" –UmweltWis Klassen und Instanzen, teilweise verknüpft mit EnvO- (EnvO: The Environment Ontology, 2016), und FAO-Klassen (FAO: Geopolitical Ontologie, 2016), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)

6.1.1.4 UmweltWiS-Inferenz & Analyse

Anhand der Modellierung lassen sich beispielhafte Anfragen und Reasoning mittels eines Regelsets auf die Ontologie und deren Instanzen ausführen. Die folgende beispielhafte SPARQL-Abfrage zeigt die Abfrage nach Umweltproblemen, dem zugehörigen Gebiet und Bundesland, vorhandenen Publikationen und deren Autoren:

```
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX umweltwis: http://www.semanticweb.org/mareike/ontologies/2016/5c/umweltwis#

SELECT ?umweltproblem ?gebiet ?bundesland ?publikation ?autor
WHERE {{?bundesland umweltwis:hat_Waldschaden ?umweltproblem.
?bundesland umweltwis:bundesland_von ?gebiet.
?umweltproblem umweltwis:beschrieben_In ?publikation.
?autor umweltwis:ist_Autor_von ?publikation.}
UNION
{?bundesland umweltwis:hat_hochwasser ?umweltproblem.
?bundesland umweltwis:bundesland_von ?gebiet.
?umweltproblem umweltwis:beschrieben_In ?publikation.
?autor umweltwis:ist_Autor_von ?publikation.}}
```

Formel 23 - UmweltWiS – Forstwirtschaft – SPARQL-Abfrage – Beispiel

Die SPARQL-Abfrage und das zugehörige Ergebnis sind in der nachfolgenden Darstellung abgebildet.

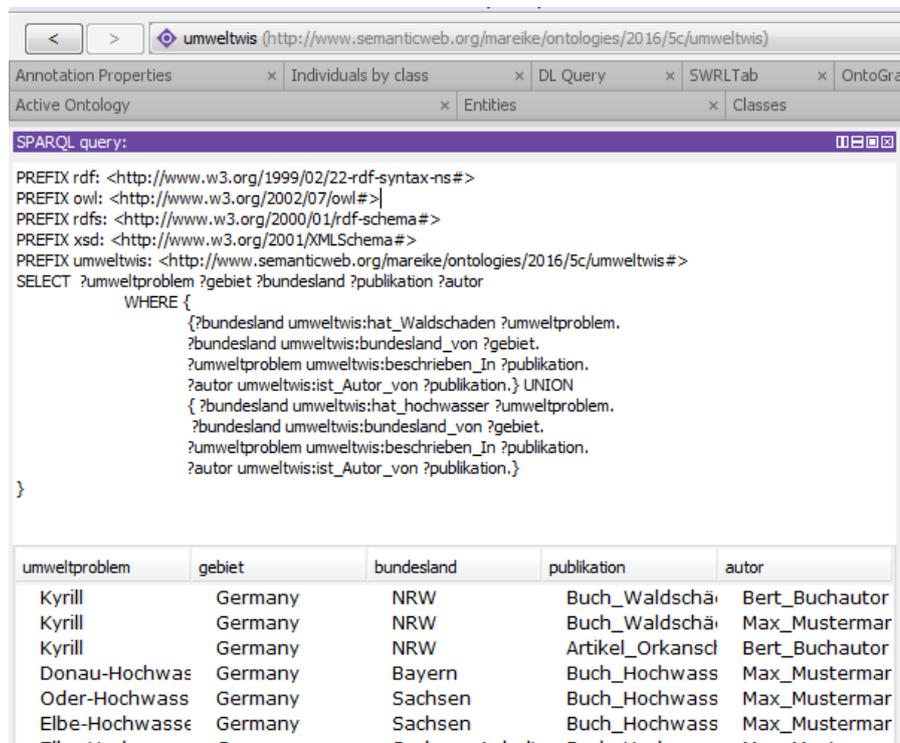


Abbildung 78 - SPARQL Abfrageergebnis UmweltWiS – Forstwirtschaft, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016)

Durch die einschränkende Bedingung des Bundeslandes werden nur Ergebnisse von Kyrill in Deutschland ausgegeben. Für die Instanzen Austria und Belgium fehlt aktuell die Modellierung der Bundesländer, wodurch diese in dem dargestellten Beispiel nicht enthalten sind. Weitere SPARQL Abfragen und beispielhafte Regeln zur Umsetzung von Reasoning werden für den genannten Anwendungsfall in → Kapitel 5.5 dargestellt.

6.1.2 Praxisbeispiel: Alternativer Umsetzungsansatz

Neben der eigenen Arbeit an dem UmweltWiS Vernetzungsschema und den zugehörigen Anwendungsfällen, wurde eine studentische Projektgruppe am Lehrstuhl für Wissensbasierte Systeme & Wissensmanagement der Universität Siegen Semester⁴⁰ betreut. Diese hatte ebenfalls die Aufgabe der Umsetzung eines Prototypen eines Umweltwissenssystems für den Anwendungsfall der Forstwirtschaft. Aufgrund der Einarbeitungszeit und der Ermittlung passender Datenquellen wurde zum Zeitpunkt der Abgabe der Arbeit die semantische Schicht des Umweltwissenssystems noch nicht vollständig implementiert. Es wurde vielmehr zu Beginn ein Import und Modellierung der Quellen in einer graphbasierten Datenbank (OrientDB, 2016) durchgeführt und dort strukturiert. Als Datenquellen wurden zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Arbeit folgende Quellen durch die Studenten ausgewählt:

Organisation	Dateninhalt	Quelle
Global Forest Watch	Die Datenquelle basiert auf einem mit Google durchgeführten Projekt zur Ermittlung von Umwelteinformationen.	(Global Forest Watch, 2016) unter der Lizenz (Creative Commons:4.0, 2016)
FAOSTAT – Datensammlungen der Food and Agriculture Organization of the United Nations	Forestry production and trade – Produktion, Import und Export, Statistiken seit 1961 Forestry trade flows - Bilaterale Holzhandel Statistiken seit 1997	(FAOSTAT, 2016) Copyrightinformationen, unter: http://www.fao.org/contact-us/terms/en/ (Abruf 25.09.2016)

Tabelle 8 - Alternativer Umsetzungsansatz UmweltWiS - Datenquellen

Die Abbildung der Daten in der Graph-Datenbank erfolgt mittels Knoten und Kanten. Es wurde ein zentraler ForestManager, Country, TreeData, TradeItem, TypeOfTrade, TreeLoss und BaseCover für das Datenbankschema herangezogen und in ähnlicher Form mittels Java-Klassen abgebildet. Die Java-basierte Logikschicht umfasst passende Methoden zur Verarbeitung der Importquellen und passenden Abbildung in der Graphdatenbank. Auf diese Weise konnte die Datenbank initialisiert werden. Die Klasse ForestManager ist hier ein Hilfskonstrukt zum Management aller Funktionen und Abfragen. Zur Abfrage der Datenbank werden Javascript Funktion mit eingebettetem SQL erzeugt und im JSON (JavaScript Object Notation) Format zurückgeliefert. Die Oberfläche wird mittels des Content Management Systems (WordPress, 2016) entwickelt. Im nächsten Schritt ist eine Integration und Erweiterung der

⁴⁰ Zum Zeitpunkt der Arbeit lief die Projektgruppe seit dem Sommersemester 2015

Anwendung unter Einbezug von LOD geplant. Unabhängig von dem forstwirtschaftlichen Anwendungsszenario wurde in einer anderen vorherigen Arbeit von SOORI ein Ansatz zur semantischen Erweiterung eines Umweltinformationssystems durch die Einbindung von DBPedia, tabellarischer Luftdaten, Wetterdaten und einer Kartenanwendung untersucht (Soori, 2015).

6.2 Betriebliche Anwendungsfälle

Im Hinblick auf die betrieblichen Anwendungsfälle werden zwei Beispiele zur Anwendung des UmweltWiS Konzept vorgestellt. Das erste Beispiel betrachtet die Unterstützung der Materialinnovation durch das UmweltWiS, während der zweite Anwendungsfall moderne Industrie 4.0 Produktionsumgebungen und die dort umfangreich anfallenden Daten betrachtet.

6.2.1 Einsatz eines UmweltWiS zur Unterstützung der Materialkunde

Der erste betriebliche Anwendungsfall betrachtet die wissensbasierte Unterstützung von Materialinnovation, aber auch allgemein von Produktionsprozessen. Die folgende Betrachtung basiert auf einem wissenschaftlichen Beitrag zum Thema *Knowledge Based Technologies for Promoting Innovation in Material Science* welcher durch die Autoren DORNHÖFER, HOLLAND und FATHI erstellt wurde und im Rahmen des 20. Material Science Forums erschienen ist (Dornhöfer, Holland, & Fathi, 2015). Die Entwicklung von heutigen Materialien wird nicht mehr ausschließlich durch ihre Funktionalität bestimmt, sondern es spielen auch Faktoren wie Innovativität, Qualität, Langlebigkeit oder Recycling eine bedeutende Rolle. Sogenannte „enabling technologies“ (Hocke, Bräutigam, Fleischer, & Schleisiek, 2011, S. 2) oder smarte Materialien bestimmen zudem moderne Ansätze der Materialinnovation. Um aus einem Material ein „Smart Material“ zu erzeugen, werden Eigenschaften hinzugefügt welche das Material z.B. auf äußere Begebenheiten reagieren lassen. Äußere Einflüsse könnten UV-Strahlen, Wasser- oder Temperaturänderungen sein (Krause & Schlebe, 2010, S. 125-138). Im Zuge einer Materialinnovation obliegt es dem Entwickler die passenden Datenbanken und Testergebnisse nach ähnlichen oder für das spätere Material gewünschten Eigenschaften zu durchsuchen. Der Prozess der Materialinnovation kann beliebig aufwändig sein, abhängig davon in welchen Strukturen oder Datenbanken die auf dem Markt vorhandenen Materialien, Eigenentwicklungen und zugehörigen Informationen aus Entwicklungsschritten und Testreihen abgelegt sind.

Für das UmweltWiS sind in diesem Kontext die umweltbezogenen Eigenschaften von Materialien im Hinblick auf die bei der Erzeugung entstehenden Emissionen oder Umweltbelastungen und ein späteres Recycling von besonderer Relevanz. FRATILA fasst dies in ihrer Darstellung typischer Lebenszyklusabschnitte, wie der Entstehung, dem Recycling oder der Entsorgung innerhalb des Produktlebenszyklus zusammen. Diese werden durch primäre Material- und Produktflüsse, sekundäre Flüsse aus Recycling, Remanufacturing und Reuse und schließlich parallele Input- und Abfallflüsse beeinflusst. Für die Autorin ist dabei besonders interessant, inwiefern ein „Sustainable Manufacturing Process“ etabliert werden kann und inwiefern dieser sich zu einem klassischen Produktionsprozess absetzen muss. (Fratila, 2013, S. 3) BAUERNHANSL ET AL. adressieren dahingehend die Frage wie eine Veränderung des Konsumkreislaufs stattfinden kann, so dass alle Material-Recycling-Kreisläufe geschlossen werden und weniger Abfälle

produziert werden (Bauernhansl, ten Hompel, & Vogel-Heuser, 2014, S. 12). In diesem Zusammenhang sind z.B. die in *Kapitel* → 3.1.4 angesprochenen Phasen eines Green Engineerings bedeutsam, da diese den gesamten Produktlebenszyklus inkl. Material- und Energie-Input sowie die verschiedenen Nachhaltigkeitsdimensionen betrachten (Anastas & Zimmerman, 2003). Neben dem Green Engineering Gedanken lässt sich die Entwicklung von neuen Materialien auch durch die Anwendung von wissensbasierten Methoden unterstützen. Bestehende Materialdatenbanken fokussieren häufig nur eine Art von Material (z.B. Polymere oder Keramiken) und werden durch verschiedene Institutionen etabliert und betrieben. Dies hindert die Integration und Vernetzung, die Schaffung einer einheitlichen Struktur, die Verwendung genormter Begriffe und in der Konsequenz eine breite und effektive Suche nach den notwendigen Informationen. Ein Ansatz mit welchem dieser Vielfalt begegnet wird ist die Etablierung von Ontologien welche den Materialingenieur und die Vereinheitlichung der Bezeichnungen unterstützen soll (z.B. (Schmalenbach, 2013)⁴¹, (Rahmani, 2014)). Beispielprojekte in diesem Zusammenhang sind Material Ontologies (MatOnto, 2016), Material Ways (Kno.e.sis Center, Wright State University, 2015) oder Ansätze des NIST (U.S. National Institute of Standards and Technology) (Campbell, Kattner, Dima, & Bartolo, 2013). Neben den Nachhaltigkeitsfaktoren sind auch die Aspekte der Qualität und Innovation entscheidend für die Entwicklung eines neuen Materials, so dass diese drei Dimensionen zusätzlich in die Betrachtung mit einbezogen werden sollten.

Ausgehend von dieser Situation wurde durch die Autoren DORNHÖFER, HOLLAND und FATHI das MatProSQI Framework (Dornhöfer, Holland, & Fathi, 2015) entwickelt, welches die einzelnen Informationsquellen zu einem Material zusammenführt und semantisch miteinander vernetzt. Das **MatProSQI Framework** kann als eine Art Vorläufer oder Variante des UmweltWiS gesehen werden. Dass der vorgestellte Ansatz Verbindungen zu dem UmweltWiS bildet deutet sich in der Anwendungsschicht an, welche bereits das Thema Umweltinformationssysteme aufgreift. Im Hinblick auf die Prozesse wurde der Fokus neben der Nachhaltigkeit auf die angesprochenen Aspekte der Qualität und Innovation erweitert. Die logische Schicht bildet sich aus Ontologien und Inferenz-Mechanismen. Zusätzlich werden die Verfahren Text Mining zur Extraktion von Wissen aus Texten (z.B. Materialbeschreibungen) und Case Based Reasoning (CBR) zum Vergleich von ähnlichen Materialbeschreibungen und Einsatzzwecken vorgesehen. CBR ist eine Wissensrepräsentationsform welche Probleme in Fallbeschreibungen ablegt und bei neu vorliegenden Problemen die bestehende Fallbasis auf vergleichbare Problemstellungen durchsucht. Anhand der Resultate werden deren zugehörige Lösungsbeschreibungen auf Anwendbarkeit geprüft und identisch oder in adaptierter Form zur Lösung des vorliegenden Problems verwendet. Abschließend findet wiederum eine Dokumentation der Inhalte statt. (Bodendorf, 2006, S. 148-151) Auf diese Weise werden alle Materiallebenszyklusinformationen, Anwendungsfelder, Anforderungen und ökologischen Auswirkungen miteinander verknüpft dargestellt.

⁴¹ Diese Arbeit entstand vor dem Hintergrund des SFB 483 des Karlsruher Instituts für Technologie

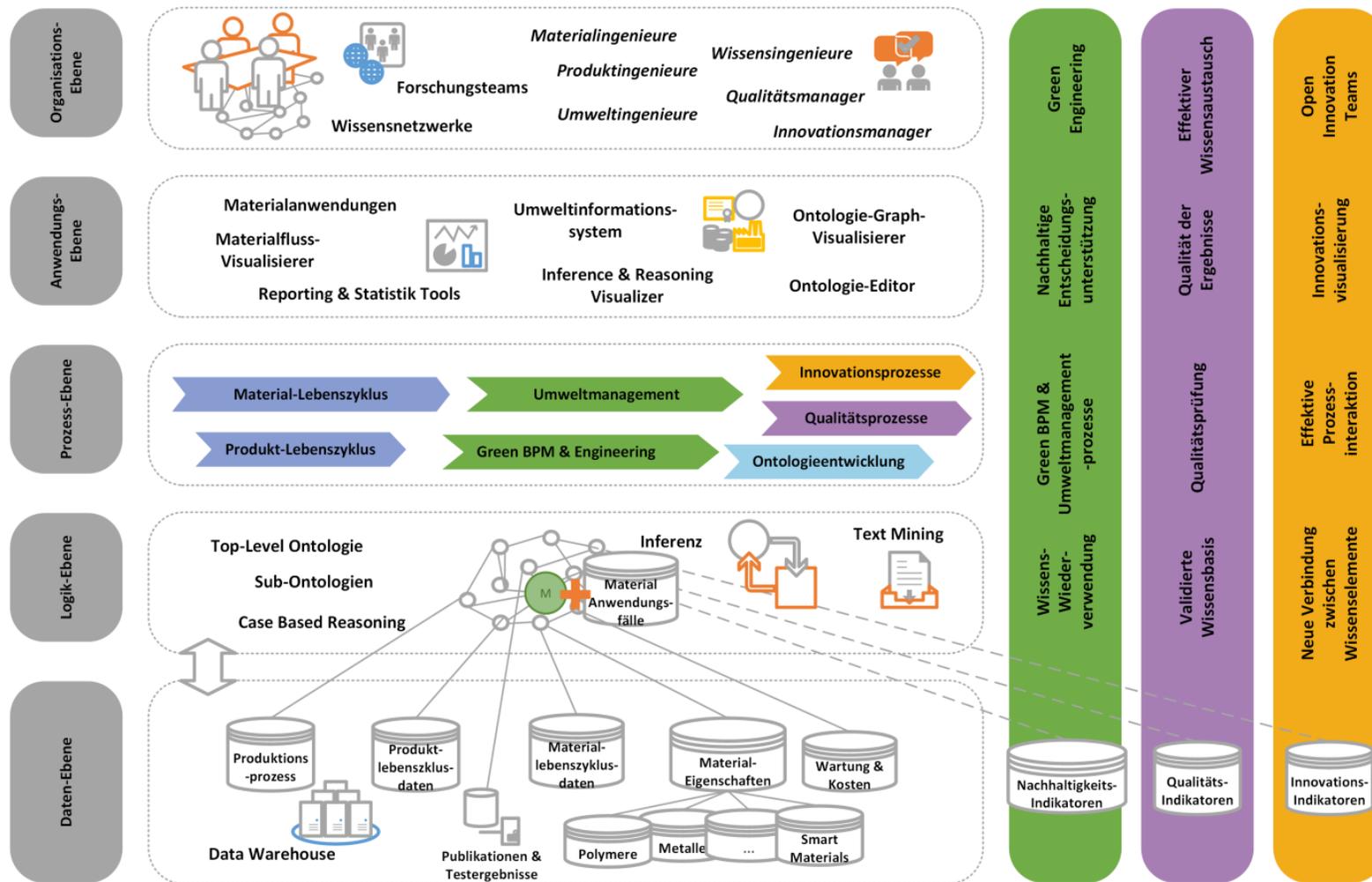


Abbildung 79 - Anwendungsfall (betrieblich) – MatProSQI Konzept, Materialkunde, publiziert in (Dornhöfer, Holland, & Fathi, 2015)

Abbildung 80 zeigt die beiden Konzeptbilder (UmweltWiS → *Abbildung 34* und MatProSQI → *Abbildung 79*) nebeneinander angeordnet, so dass eine Spiegelung der Ebenen sichtbar wird. In der *Datenschicht* werden die existierenden Datenquellen aus Material- und Produktlebenszyklus, Produktionsprozess, Instandhaltung, Testreihen oder Indikatoren aus den Bereichen Nachhaltigkeit, Qualität und Innovation aufgegriffen und anhand einer definierten Struktur (z.B. einer Ontologie) miteinander vernetzt. Die möglichen Datenquellen links und die Datenebene in der rechten Bildhälfte unterscheiden sich lediglich hinsichtlich der enthaltenen Inputquellen. Die rechts dargestellte Logikebene fasst die semantische Vernetzung enger zusammen, während diese auf der linken Seite in eine Semantische Repräsentation, Inferenz, Ergebnisgenerierung und Analyse aufgeteilt wird.

Die Prozessschritte des MatProSQI-Ansatzes sowie die Querschnittsfunktionen hinsichtlich Nachhaltigkeit, Qualität und Innovation können in gewissem Maße auf die Arbeitsschritte des UmweltWiS-Konzepts gespiegelt werden. Hierbei ist allerdings zu beachten dass die UmweltWiS-Arbeitsschritte technischer und konkreter formuliert sind. Die Dialogkomponenten für Anwender und Wissensingenieur lassen sich mit der Anwendungsebene im MatProSQI-Ansatz vergleichen. Die Organisationsebene, also die Anwender im MatProSQI Konzept sind implizit Anwender der zuvor angesprochenen Dialogkomponente des UmweltWiS:

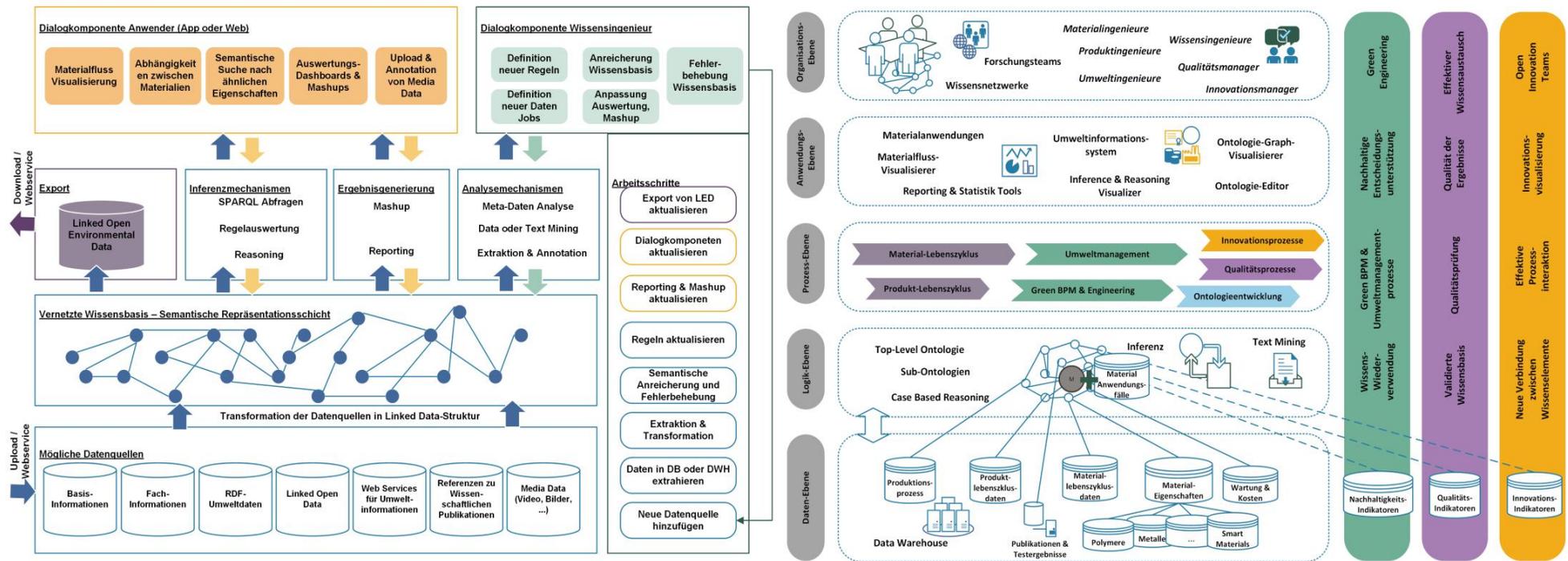


Abbildung 80 - Anwendungsfall (betrieblich) – Materialkunde, links UmweltWiS, publiziert in (Dornhöfer & Fathi, 2015), rechts MatProSQL, publiziert in (Dornhöfer, Holland, & Fathi, 2015)

Die *Logikschicht* des MatProSQI-Konzepts auf der rechten Seite der Abbildung verbindet die Ontologien oder Datenquellen über eine übergeordnete Ontologie, auch als Top-Level-Ontologie bezeichnet, wobei der Anker der Vernetzung die eindeutige Materialbezeichnung sein sollte. Es lassen sich bspw. über Äquivalenzbeziehungen alternative Bezeichnungen hinterlegen. Die zentrale Ontologie kann an dieser Stelle als Material-Ontologie (MO) bezeichnet werden. Ein Verfahren zur Erstellung ist auch die Konvertierung einer bestehenden Materialdatenbank z. B. in Form einer relationalen Datenbank in eine semantische Repräsentation. Zu einer Materialontologie lassen sich alternative Namen der Materialien, Eigenschaften, Verarbeitungsverfahren, zugehörige Einsatzzwecke oder auch Referenzen auf Publikationsmaterial oder andere Referenzen ergänzen. SCHMALENBACH (Schmalenbach, 2013) sieht für eine Reduktion der Komplexität der Ontologien und der damit verbundenen Wissensmodellierung den Einsatz von einzelnen Materialontologien für die unterschiedlichen Materialgruppen als vorteilhaft. Durch die semantische Aufbereitung der Zusammenhänge in Form der angesprochenen Ontologien lassen sich in der Folge Abfragen und Extraktionen ermöglichen.

Neben der Modellierung der Material Ontologien ist auch eine Modellierung von Ontologien für den Produktlebenszyklus und für Produktionsprozesse denkbar. Diese lassen sich wiederum verlinken, um so die Konzepte miteinander zu verbinden. Um diesen Gedanken fortzuführen erscheint eine Entwicklung von Sub-Ontologien für Qualitäts-, Innovations- und Nachhaltigkeitsfaktoren und deren Verknüpfung sinnvoll. Das Thema Nachhaltigkeit wurde bereits durch die UmweltWiS Ontologie adressiert, wird aber später im Zuge der Green KM Cube Ontologie (→ Kapitel 6.3.2) noch einmal aufgegriffen. Ebenso ist die Verknüpfung mit Fällen des oben angesprochenen Case Based Reasoning denkbar in welchen z.B. das betrachtete Material eingesetzt wurde und welche Rahmenbedingungen sich für den Einsatz oder auch dessen Abbau und ökologische Auswirkungen ergeben.

Da ein Gedanke hinter dem in *Abbildung 80* links dargestellten UmweltWiS Konzept die Weiterverwendung von existierendem Wissen ist, soll auch im Rahmen von MatProSQI auf bestehende Wissensquellen oder bereits existierende Ontologien aufgesetzt werden, welche entweder direkt in die Datenhaltungsschicht importiert oder per Interface angebunden werden. RAHMANI (Rahmani, 2014) betrachtet z.B. in ihrer Arbeit ein semantisches Wissensmanagement zur umweltgerechten Produktentwicklung und wie Ökobilanzen oder Materialflussanalysen mit einbezogen werden können. Zur Auswertung und Analyse vorhandener Texte ist auch der Einsatz von Text Mining Methoden denkbar, mit welchen Assoziationen zwischen Begriffen (Uhr, 2014) (z.B. Materialien) ermittelt werden können oder einer Analyse von Instandhaltungsberichten (Ansari, Uhr, & Fathi, 2014). Durch die ermittelten Assoziationen ist eine Suche nach häufig gemeinsam verwendeten Materialien, deren Anwendungskontext oder generellen Abhängigkeiten möglich. Diese Assoziationen lassen sich in der Folge innerhalb der Ontologie überprüfen oder ergänzen, falls bislang kein Zusammenhang zwischen den betroffenen Materialien erkennbar war. Wurden keine Assoziationen ermittelt, so besteht entweder wirklich keine Zusammenhänge zwischen den Materialien oder dieser konnten anhand der vorhandenen bzw. modellierten Wissensbasis nicht ermittelt werden.

Die *Prozessschicht* betrachtet die Interaktion zwischen den Prozessen des Materiallebenszyklus, des Produktlebenszyklus und der Green Business Prozesse ebenso wie die Abhängigkeiten zu Umwelt-, Qualitäts- und Innovationsmanagement. Als Hilfsmittel zur Etablierung der Logik sind die Prozesse zur Etablierung einer Ontologie und zur Validierung der Logikschicht zu berücksichtigen. Diese Schritte werden beispielsweise in dem in *Abbildung 80* links angeordneten UmweltWiS-Ansatz dokumentiert.

Die *Anwendungsschicht* des MatProSQI-Konzepts soll verschiedene Methoden und Applikationen zur Anpassung, Aktualisierung oder Visualisierung von Wissen bereitstellen. Ebenso wie bei dem UmweltWiS Konzept ist die Art der Anwendungen offen gehalten, so dass mit Hilfe der modularen Struktur der Architektur flexibel neue Applikationen vorgeschaltet werden können. Grundsätzlich sollen die Anwendungen jedoch die Suche, Inferenz und das damit verbundene Reasoning von Wissen unterstützen. Ebenso ist eine Visualisierung und Veröffentlichung von Berichten zu unterstützen. Die Anpassung und Visualisierung kann z.B. mittels eines Ontologie-Editors umgesetzt werden. Sollen Case Based Reasoning und Text Mining eingesetzt werden, so sind ebenso Anwendungen oder Editoren für diese Methoden einzubinden. Die Abbildung von Nachhaltigkeits-, Qualitäts-, und Innovationsaspekten ist in die bereits erwähnten Applikationen zu integrieren, so dass diese indirekt bei jeder Modellierung oder Auswertung mit betrachtet werden.

Auf der obersten Ebene befindet sich die *organisationale Schicht*. Diese wird explizit in dem UmweltWiS Konzept nicht benannt bildet sich aber bei MatProSQI durch die Beteiligung der unterschiedlichen Stakeholder, sprich die Material-, Produkt-, Umwelt-Ingenieure sowie die etablierten Managementvorgaben und Richtlinien für Innovation, Qualität und Wissen. Es ist dabei darauf zu achten, dass die Disziplinen und Stakeholder nicht autark agieren, sondern in Teams einen ganzheitlichen Ansatz verfolgen. So sind z.B. Marktanforderungen bzgl. nachhaltiger oder Smarter Materialien zu erfassen, deren Qualitätsanforderungen zu definieren und das notwendige Wissen zur Entwicklung und dem Einsatz der Materialien zusammenzuführen. Im Idealfall entstehen neben neuen Materialien am Ende auch Testberichte und Publikationen zur Entwicklung und Einsatzmöglichkeiten, um die Wissensbasis intern, aber auch extern weiter anzureichern. Anhand von Green Engineering Aspekten, werden die Qualität und Anforderungen bzgl. Nachhaltigkeit kontinuierlich verbessert und fließen in die dargestellten Querschnittsfunktionen ein.

Umsetzungsansatz mittels UmweltWiS

Bevor der zweite betriebliche Anwendungsfall betrachtet wird, soll untersucht werden wie das MatProSQI Konzept mit Hilfe des UmweltWiS Konzeptes und weiterer Ontologien realisiert werden kann. Es wird dabei von folgender These ausgegangen: „*The core of knowledge engineering is the study of the methodologies and technologies for capturing and re-using product and processing engineering knowledge.*“ (Cheng, Hu, & Li, 2014) Hierzu bietet es sich an die vorab adressierten unterschiedlichen Materialdatenbanken in semantische Strukturen umzuwandeln oder bereits bestehende Material-Ontologien einzubinden. Eine Umwandlung einer relationalen Datenbankstruktur in eine semantische Struktur lässt sich beispielweise mit entsprechenden Tools durchführen. In der Literatur lassen sich verschiedene Material-Ontologie-

Ansätze ermitteln welche nicht den Anspruch der Vollständigkeit haben, aber dennoch einen guten Überblick zu den unterschiedlichen Ansätzen geben:

- Der erste Ansatz einer betrachteten Material-Ontologie basiert auf einem japanischen Forschungsprojekt. Die „*Materials Ontology*,“ [...] *consists of several sub ontologies corresponding to substance, process, environment, and property...*“ (Ashino, 2010). ASHINO benennt vier Hauptontologien bestehend aus einer Ontologie für Substanzen, einer für Prozesse, einer zur Abbildung von Eigenschaften und einer „Enviroment“ Ontologie. Hiermit ist aber nicht die Umwelt im Sinne der ökologischen Umwelt gemeint, sondern die der Umgebungsparameter der Materialien während Verarbeitung oder Tests, wie etwa der Temperatur. Des Weiteren bestehen eine *Materials Information Ontology*, eine Ontologie zur Beschreibung von Maßeinheiten und schließlich eine Ontologie über physikalische Konstanten. RAHMANI greift einen vorherigen Ansatz von ASHINO auf und erweitert diesen um Umweltkennwerte, Normen und Standards, um so eine Ontologie zu erhalten welche als Mittler zwischen einer Materialdatenbank, Umweltdatenbank und einem PLM (Product Lifecycle Management) System eingesetzt werden kann. (Rahmani, 2014, S. 118-123)
- CHEUNG ET AL. haben in zwei Arbeiten (Cheung, Drennan, & Hunter, 2008), (Cheung, Hunter, & Drennan, 2009) die Material Ontologie **MatOnto** sowie ein zugehöriges Suchverfahren **MatSeek** vorgestellt. Die Autoren setzen dabei auf bereits bestehende Ontologien auf, um daran anschließend eine konkrete Material Ontologie für den Anwendungskontext „Materialien mit Kristallstrukturen“ zu entwickeln. „*Auf diese Weise wird eine Integration und Mapping zwischen getrennten Datenbanken innerhalb der Materialwissenschaft angestrebt*“ (Übersetzung aus dem Englischen von (Cheung, Drennan, & Hunter, 2008)). Die MatOnto Ontologie modelliert u.a. die Materialfamilie, die -eigenschaften, -prozesse, -struktur und -messung sowie deren Subkonzepte. MatSeek erlaubt die Durchsuchung der Datenbank und die zugehörigen Auswertungen
- Die Co-Autorin HUNTER in (Cheung, Drennan, & Hunter, 2008), (Cheung, Hunter, & Drennan, 2009) unterstützt das industrielle Projektvorhaben der Firma iNovex (iNovex: MatOnto, 2015) welches eine Bereitstellung von Tools und Services zur Etablierung einer Material Ontologie vorsieht und die in der Konsequenz auf einem kollaborativen Ansatz basiert. „*MatOnto links native materials data sources into a semantic web*“, wobei die Daten mit Prozessen und Konzepten verknüpft werden sollen. Das Projekt bzw. die Ontologie wird durch eine Community entwickelt, so dass die Materialdaten als „*global grid of materials knowledge*“ verbunden werden können. Die Materialdaten werden dabei so abgebildet das diese inkl. Kontext und Bedeutung dargestellt werden. Aktuell zeigt die Webseite ein Demo-Video, die Anwendung bzw. Ontologie ist für Mitte 2016 angekündigt. (MatOnto, 2016)
- Die Autoren (Cheng, Hu, & Li, 2014) stellen ein Framework vor, welches wissenschaftliche Materialdaten mittels einer Austauschplattform bereitstellt. Als Datenquellen können Datenbanken, XML-Strukturen oder Bilder vorliegen welche über Wrapper in eine Ontologie-Struktur eingebunden werden können, um dann mittels Mapping und Regeln Verknüpfungen und Ableitungen von Wissen zu realisieren. Auf diese Weise wird der MEA (Materials Engineering Application) Prozess unterstützt. Hierzu merken die Autoren an, dass ein Aktualisierungs- und Feedbackmechanismus

zwingend notwendig ist, da sich in kurzen Abständen neue Informationen zu Materialien oder neue Materialien ergeben. Ebenso wird eine intelligente Materialauswahl angestrebt, welche von den Anforderungen an dessen Verwendung, Eigenschaften, Material, Struktur und Verbindungsmöglichkeiten abhängig ist. Die vorgeschlagene Architektur baut auf einer fünf-Schichten Architektur auf, welche als Cloud realisiert werden soll.

- Der Ansatz von HE ET AL. analysiert das Zusammenspiel und gemeinsame Verständnis der Entwicklung von Bauteilen mittels bestimmter Prozesse und Werkzeuge. Hierzu werden mit Hilfe von Ontologien die drei Aspekte: Bauteile, Prozess und Werkzeuge (Tools) betrachtet, wobei die Prozess-Ontologie den Schnittpunkt zwischen Bauteil- und Tool-Ontologie bildet. Mittels „correlation rules“ werden Verbindungen zwischen Bauteil, Prozess und Werkzeug hergestellt. Das verwendete Material ist Teil der Bauteil-Ontologie, steht aber nicht im Zentrum der Betrachtung der Ontologie, sondern könnte als eigenständige Ontologie modelliert werden. (He, Ming, Ni, Li, Zheng, & Xu, 2015)
- GIOVANNINI ET AL. stellen ein Wissensbasiertes System vor welches ein nachhaltiges „*Manufacturing Engineering*“ im Hinblick auf Design und Prozess fokussiert und im Zuge eines Forschungsprojektes erarbeitet wurde. Hierzu wird durch den Einsatz einer Ontologie zur Wissensrepräsentation nachhaltiges Wissen zu dem Manufacturing Vorgang mit einzelnen Konzepten, Prozessen, Produkten und Funktionen verbunden. Reasoning und Abfragen ermöglichen so eine nachhaltige Produktentwicklung und die Bereitstellung von „*manufacturing sustainability knowledge*“ wird unterstützt. Anhand der Modellierung von funktionalen und nachhaltigen Anforderungen lassen sich nachhaltige Alternativen zu Design oder Produkt ableiten (Giovannini, Aubry, Panetto, Dassisti, & El Haouzi, 2012) Während der Ansatz und das Modell sehr ausführlich dargestellt sind, ist der Aspekt der Material Ontologie ebenso wie bei (He, Ming, Ni, Li, Zheng, & Xu, 2015) eher Teil des Vorgangs und weniger im Fokus. Dieser liegt auf dem gesamten Design- und Produktionsprozess.
- LI ET AL. haben in einer vorherigen Veröffentlichung (Li, Raskin, & Ramani, 2007) ebenso die Entwicklung einer Engineering Ontologie angestrebt. Die Autoren zeigten dabei auf wie sich diese u.a. aus einzelnen Taxonomien zusammensetzt, welche Funktionen, Produkte/Devices, Material, Prozesse, Maßeinheiten, Eigenschaften, Standards, die Produktumgebung und Wertebereiche umfassen.

Ausgehend von den oben beschriebenen beispielhaften Ansätzen zur Umsetzung semantischer Strukturen in der Materialkunde ist erkennbar, dass der Bedarf an semantischen Verknüpfungen zwischen Materialdaten vorhanden ist. Zudem ist anzunehmen dass sich die Materialdatenbanken von heute in diese Richtung weiterentwickeln werden. Ebenso ist erkennbar dass Experten im Bereich der Materialkunde an Ansätzen arbeiten diese Strukturen zu realisieren. Bestehende und veröffentlichte Materialontologien lassen sich somit in der Konsequenz in das UmweltWiS-Konzept integrieren. Die Hauptfaktoren eines nachhaltigen Produktionsprozesses umfassen die Produktionskosten, die Umweltauswirkungen, den Energieverbrauch, Abfallmanagement, betriebliche Sicherheit und die persönliche Gesundheit der Produktionskräfte (Fratila, 2013, S. 12). Dementsprechend müsste das UmweltWiS-Vernetzungsschema erweitert werden, so dass nicht nur die Umweltfaktoren Berücksichtigung finden, sondern auch die Produktionsverfahren, deren Kosten und Umweltauswirkungen. FRÖTSCH ET AL. modellieren das Zusammenspiel

zwischen Unternehmen, Produktionsprozess und Umwelt durch die vier Kennzahlenklassen Produktionsfaktor, Produkt, Umweltaspekte und Bezugsgrößen (Frötsch & Meinholz, 2014, S. 273), welche im Falle des Produktionsfaktors und der Umweltaspekte bereits durch verschiedene Konzepte in der Struktur des UmweltWiS abgebildet sind. Dies macht Sinn, da auf diese Weise Produktionsprozesse, Materialien und deren Umweltauswirkungen in einer Anwendung modelliert werden könnten. Nachteil an dieser Stelle ist sicherlich der Aufwand, welcher sich durch die Vielzahl der Materialien, deren Eigenschaften und der genutzten Produktionsverfahren ergibt. Ebenso müsste immer direkt zuordbar sein welche Emissionen durch welche Produktionsvorgänge bei welchen Materialien entstehen.

Zum Abschluss dieses Kapitels soll ein kurzes Praxisbeispiel zu diesem Anwendungsfall vorgestellt werden, welches auf Basis einer eigens ausgeschriebenen und betreuten Abschlussarbeit am Lehrstuhl entstanden ist.

Praxisbeispiel: Während der Erarbeitung der vorliegenden Dissertation wurden verschiedene Studien oder Abschlussarbeiten fachlich betreut. KLEIN (Klein, 2016) hat vor dem Hintergrund des beschriebenen Anwendungsfalls eine Ontologie entwickelt, welche die Abhängigkeiten zwischen Kunststoffprodukt, Kunststoffsorte, Produktionsverfahren (Verfahren), Emissionen und deren Auswirkungen auf die Umwelt beispielhaft erarbeitet. Die hierzu eingesetzten Regeln berücksichtigen u.a. den Energie- und Wasserverbrauch der Sorten und Verfahren sowie deren Auswirkungen. Wenngleich die Ontologie aufgrund der Vielzahl von existierenden Kunststoffsorten nicht vollständig sein kann, wurde dennoch das Prinzip der Modellierung und der zugehörigen SWRL-Regeln und Inferenz sichtbar gemacht. Folgende Abbildung zeigt einen Überblick der erarbeiteten Ontologie inkl. der angedeuteten Object Properties und Sub-Klassen-Beziehungen. Wie auch im Falle des UmweltWiS hat der Student mit dem Tool Protégé (siehe Anhang C:) gearbeitet:

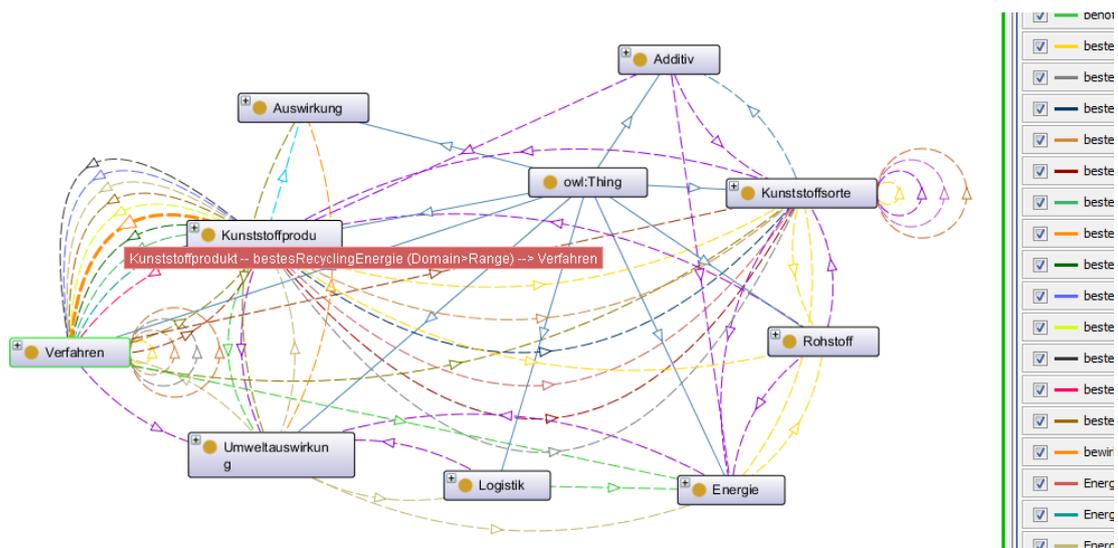


Abbildung 81 - Anwendungsfall Kunststoffproduktion – Ontologie von (Klein, 2016), OntoGraf-Darstellung in (Stanford University: Protégé, 2016)

Auf diese Ontologie lassen sich anhand der modellierten Object Properties, Data Properties und Instanzen (z.B. Kunststoffsortel) entsprechend SPARQL-Anfragen und ein regelbasiertes Reasoning durchführen. Folgender Ausschnitt zeigt eine eigene beispielhafte SPARQL-Anfrage, welche die vorhandenen Erzeugnisse (Kunststoffprodukt oder Kunststoffsorte), deren Bestandteile und die eingesetzten Verfahren ermittelt. Hierzu wird anhand des Namens (wird via Data Property vergebenen) nach der Kunststoffsorte „PET“ gefiltert und die Ergebnisse nach dem Erzeugnisnamen sortiert:

<pre> PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#> PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> PREFIX : <http://www.semanticweb.org/bk/ontologies/2016/3/ISUC#> SELECT DISTINCT ?Erzeugnis_name ?Bestandteil_name ?Eingesetztes_Verfahren WHERE { {?Verfahren :produziert ?Erzeugnis. ?Bestandteil :ist_Bestandteil_von ?Erzeugnis. ?Bestandteil :Kunststoffsorte_name ?Bestandteil_name. ?Erzeugnis :Kunststoffprodukt_name ?Erzeugnis_name. ?Verfahren :Verfahren_name ?Eingesetztes_Verfahren. } UNION {?Verfahren :produziert ?Erzeugnis. ?Bestandteil :ist_Bestandteil_von ?Erzeugnis. ?Bestandteil :Rohstoff_name ?Bestandteil_name. ?Erzeugnis :Kunststoffsorte_name ?Erzeugnis_name. ?Verfahren :Verfahren_name ?Eingesetztes_Verfahren. } FILTER (?Bestandteil_name = "PET" ?Erzeugnis_name ="PET") } ORDER BY ?Erzeugnis_name </pre>		
Erzeugnis_name	Bestandteil_name	Eingesetztes_Verfahren
Flasche^^xsd:string	PET^^xsd:string	Thermoformen^^xsd:string
Flasche^^xsd:string	PET^^xsd:string	Spritzguß^^xsd:string
Flasche^^xsd:string	PET^^xsd:string	Spritzblasformen^^xsd:string
Flasche^^xsd:string	PET^^xsd:string	Rotationsformen^^xsd:string
PET^^xsd:string	Erdöl^^xsd:string	Polykondensation^^xsd:string
PET^^xsd:string	Erdöl^^xsd:string	Cracken^^xsd:string
PET^^xsd:string	Erdöl^^xsd:string	Destillation^^xsd:string

Tabelle 9 - Anwendungsf. Kunststoffprod. - SPARQL-Abfrage (1) der Ontologie von (Klein, 2016)

Eine weitere SPARQL-Abfrage ermittelt die Emissionen (in diesem Fall die CO₂-Emissionen während der Herstellung) zu dem Erzeugnis und dessen Bestandteilen. So ist erkennbar dass *Kunststoffprodukt1* aus drei Kunststoffsorten bestehen kann und diese verschiedene Emissionen verursachen.

<pre> PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#> PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> PREFIX : <http://www.semanticweb.org/bk/ontologies/2016/3/ISUC#> SELECT DISTINCT ?Erzeugnis ?Bestandteil ?Emission WHERE { {?Verfahren :produziert ?Erzeugnis. ?Bestandteil :ist_Bestandteil_von ?Erzeugnis. ?Bestandteil :hatCO2Herstellung ?Emission.} } ORDER BY ?Emission </pre>		
Erzeugnis	Bestandteil	Emission
Kunststoffprodukt1	Kunststoffsorte1	1800000
Kunststoffprodukt1	Kunststoffsorte2	2200000
Kunststoffprodukt1	Kunststoffsorte3	2200000
...		

Tabelle 10 - Anwendungsf. Kunststoffprod. -SPARQL-Abfrage (2) der Ontologie von (Klein, 2016)

Führt man diesen Ansatz weiter, so ermöglicht SPARQL nicht nur reine textuelle Abfragen, sondern auch den Einsatz von Summenbildung, Durchschnittsberechnung oder Minimum/Maximum Bestimmung. Die folgende Abfrage liefert daher die entstehenden CO₂-Emissionen sowie den Wasserverbrauch während der Herstellung für das Kunststoffprodukt zurück. An dieser Stelle wird davon ausgegangen, dass das Produkt aus allen drei Sorten besteht und so die Werte aufsummiert werden können.

<pre> PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#> PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> PREFIX : <http://www.semanticweb.org/bk/ontologies/2016/3/ISUC#> SELECT ?Erzeugnis (SUM (?emission) AS ?Gesamtemission) (SUM (?wasser) AS ?Gesamtwasser) WHERE { ?Bestandteil :ist_Bestandteil_von ?Erzeugnis. ?Bestandteil :hatCO2Herstellung ?emission. ?Bestandteil :hatWasserHerstellung ?wasser. } GROUP BY ?Erzeugnis </pre>		
Erzeugnis	Gesamtemission	Gesamtwasser
Kunststoffprodukt1	6200000	52000
...

Tabelle 11 - Anwendungsf. Kunststoffprod. - SPARQL-Abfrage (3) der Ontologie von (Klein, 2016)

Wie bereits in → Kapitel 5.5 betrachtet, besteht neben der SPARQL-Abfrage von semantischen Strukturen auch die Möglichkeit des Einsatzes von Regeln zur Ausführung von

Inferenz und Reasoning. Der umgesetzte Reasoning-Ansatz von (Klein, 2016) umfasst die Definition von SWRL-Regeln. Mittels dieser werden teilweise Zwischensummen der Emissionen der einzelnen Verfahren und Sorten berechnet, um eine Aussage zu machen, welche Verfahren in welchen Fällen bzgl. des Recyclings von Wasser oder des Energieverbrauchs am besten geeignet sind. Dies konnte nur quantitativ anhand von Beispielzahlen (wurden u.a. durch verschiedene veröffentlichte Umwelterklärungen ermittelt) bewertet werden. Es sollen beispielhaft drei Regeln betrachtet werden:

Regelname: KPverursachtAuswirkung
Beschreibung: Gibt die Auswirkungen von Emissionen eines Kunststoffproduktes an
Regel: <code>verursachtEmission(?P, ?x) \wedge bewirkt(?x, ?y) -> verursachtAuswirkung(?P, ?y)</code>
Interpretation: Die Regel ermittelt inwiefern ein Kunststoffprodukt ?P eine Emissionen ?x verursacht. Sollte dies der Fall sein, wird geprüft, welche Auswirkungen der ermittelten Emissionsart zugeordnet werden (<code>bewirkt (?x, ?y)</code>). Daraus lässt sich Schlussfolgern, dass das Kunststoffprodukt diese Auswirkung ebenfalls verursacht.

Tabelle 12 - Anwendungsf. Kunststoffprod. - Regel (1) der Ontologie von (Klein, 2016)

Mit Hilfe von SPARQL lassen sich Auswirkungen und Emissionen ebenso ermitteln, jedoch erfolgt kein automatischer Inferenzvorgang.

<pre> PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#> PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#> PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#> PREFIX : <http://www.semanticweb.org/bk/ontologies/2016/3/ISUC#> SELECT DISTINCT ?Produkt ?Emission_name ?Auswirkung_name WHERE { ?Produkt :verursachtEmission ?Emission. ?Emission :bewirkt ?Auswirkung. ?Emission :Emission_name ?Emission_name. ?Auswirkung :Auswirkung_name ?Auswirkung_name. } ORDER BY ?Emission_name </pre>		
Produkt	Emission_name	Auswirkung_name
Kunststoffprodukt1	Kohlenstoffdioxid^^xsd:string	Klimaerwärmung^^xsd:string
...

Tabelle 13 - Anwendungsf. Kunststoffprod. - SPARQL-Abfrage (4) der Ontologie von (Klein, 2016)

Eine weitere Regel untersucht, welches Kunststoffprodukt eine bestimmte Emission verursacht. Im Beispiel wird die Regel zur Ermittlung von *Emission1* (CO_2) beispielhaft dargestellt:

Regelname: KPverursachtEmission1
Beschreibung: Emissionen die im Produktlebenszyklus des Kunststoffprodukts auftreten
<p>Regel: besteKunststoffsorteEmissionen(?P, ?S) \wedge besteVerarbeitungEmissionen(?P, ?V) \wedge hatCO2Herstellung(?S, ?x1) \wedge hatCO2(?V, ?x2) \wedge swrlb:greaterThan(?x1, 0) \wedge swrlb:greaterThan(?x2, 0) \rightarrow verursachtEmission(?P, Emission10)</p>
<p>Interpretation: Die Regel ermittelt anhand besteKunststoffsorteEmissionen die zu einem konkreten Kunststoffprodukt gehörige beste Kunststoffsorte hinsichtlich der entstehenden Emissionen sowie den besten Emissionswert bei der Verarbeitung zwischen Produkt und Verfahren. Da es sich bei der betrachteten Emission um CO₂ handelt werden die Werte für die CO₂Herstellung bei einer Sorte und per hatCO2 bei einem Verfahren ermittelt. Anschließend mittels der SWRL Funktion greaterThan wird für beide ermittelten Werte überprüft, inwiefern diese größer als 0 sind. Per und Verknüpfung aller Konditionen kann abgeleitet werden, dass das Kunststoffprodukt die Emission CO₂ verursacht.</p>

Tabelle 14 - Anwendungsf. Kunststoffprod. - Regel (2) der Ontologie von (Klein, 2016)

Als letzte Regel soll beispielhaft die Auswertung des Wasserverbrauchs der Kunststoffsorten betrachtet werden:

Regelname: WasserHerstellung_Vergleich1
Beschreibung: Gibt die Kunststoffsorte mit dem niedrigsten Wasserverbrauch aus.
<p>Regel: Kunststoffsorte(Kunststoffsorte1) \wedge Kunststoffsorte(Kunststoffsorte2) \wedge Kunststoffsorte(Kunststoffsorte3) \wedge hatWasserHerstellung(Kunststoffsorte1, ?w1) \wedge hatWasserHerstellung(Kunststoffsorte2, ?w2) \wedge hatWasserHerstellung(Kunststoffsorte3, ?w3) \wedge swrlb:lessThanOrEqual(?w1, ?w3) \wedge swrlb:lessThanOrEqual(?w1, ?w2) \rightarrow besteKunststoffsorteWasser(Kunststoffprodukt1, Kunststoffsorte1)</p>
<p>Interpretation: Die Regel vergleicht die drei Kunststoffsorten und deren Wasserverbrauch bei der jeweiligen Herstellung. Über swrlb:lessThanOrEqual wird verglichen inwiefern bei der Herstellung von Kunststoffsorte1 der geringste Wasserverbrauch entsteht. Speziell bei dieser Regel ist die Skalierbarkeit der Anwendung in Betrachtung zu ziehen. Bei den angedeuteten drei Kunststoffsorten kann für jede Sorte eine Regel nach diesem Muster aufgebaut werden. Werden jedoch z.B. 300 Kunststoffsorten betrachtet, so ist eine Optimierung der Regelbasis notwendig, so dass sich die Regeln möglichst aufeinander aufbauen und nicht für jede Sorte eine Regel angelegt werden muss. Es würde sich in diesem Fall anbieten immer zwischen zwei Kunststoffsorten den kleineren Verbrauch zu ermitteln, um diese danach mit einer weiteren Sorte zu vergleichen. Hierbei können entsprechende algorithmische Sortierverfahren im Rahmen der Regelauswertung Anwendung finden.</p>

Tabelle 15 - Anwendungsf. Kunststoffprod. - Regel (3) der Ontologie von (Klein, 2016)

Abschließend soll noch eine eigene wissenschaftliche Arbeit erwähnt werden in welcher mit HOLLAND und FATHI ein „*Knowledge Based Innovation Detection and Control Framework*“ zur Unterstützung von wissenschaftlicher Forschung im Bereich der Material- und Werkstoffkunde vorgestellt wurde. Dieses bildet nicht direkt eine Schnittstelle mit dem UmweltWiS, kann jedoch als Ansatz zur Innovationsförderung gemeinsam mit dem UmweltWiS umgesetzt werden. (Dornhöfer, Holland, & Fathi, 2012) Das Framework sieht hierzu die gemeinsame Betrachtung von Projekt-, Wissens-, Qualitäts- und Innovations-Management vor. Die folgende Abbildung zeigt die vier Themenbereiche welche über Kollaboration, Feedback und Adaption miteinander verknüpft sind. Den zentralen Punkt bildet hier die "*Knowledge based material innovation method*".

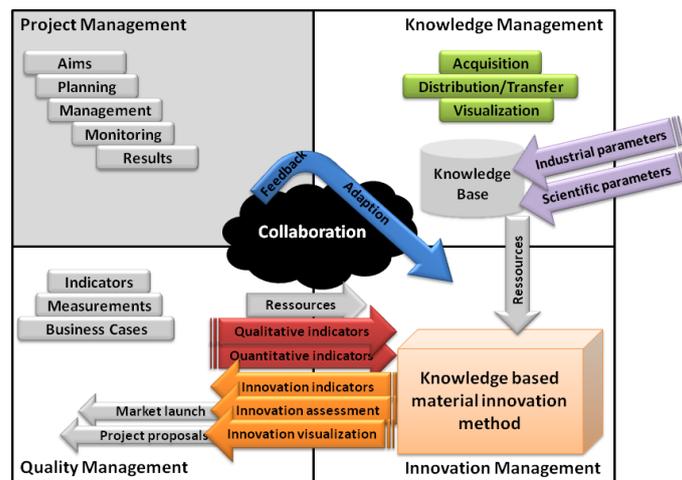


Abbildung 82 - Integration der wissensbasierten Materialinnovations-Methode in das wissensbasierte Innovations-Framework (1), publiziert in (Dornhöfer, Holland, & Fathi, 2012)

Entsprechende Parameter fließen in die wissensbasierte Materialinnovationsmethode ein und führen zu Innovationsindikatoren, Innovationsassessments und Innovationsvisualisierung. Durch einen Feedback-Zyklus werden Optimierungen vorgenommen und anhand Indikatoren bewertet.

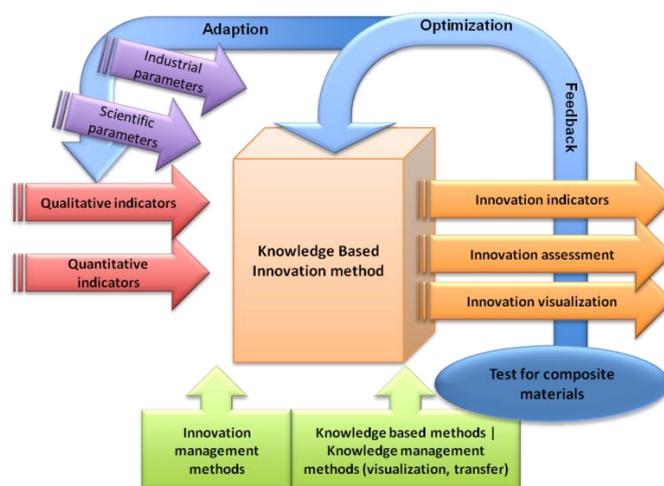


Abbildung 83 - Integration der wissensbasierten Materialinnovationsmethode in das wissensbasierte Innovations-Framework (2), publiziert in (Dornhöfer, Holland, & Fathi, 2012)

Zur Verknüpfung mit dem Themenfeld Umweltwissenssystem würde sich eine Erweiterung der Methode und des Frameworks um das Umweltmanagement anbieten. Auf diese Weise wäre eine ganzheitliche Betrachtung unter Berücksichtigung der Umweltauswirkungen von „neuen“ oder angepassten Materialien erreichbar.

6.2.2 Einsatz eines UmweltWiS zur Unterstützung von Industrie 4.0 Produktionsumgebungen

Eine aktuelle Thematik im Bereich des Wissensmanagements ist, inwiefern die vorhandenen Mechanismen die Herausforderungen von sogenannten Industrie 4.0 Umgebungen erfüllen können und welche Verfahren z.B. zur Analyse der anfallenden Datenmengen hierzu eingesetzt werden können. ANSARI, DORNHÖFER und FATHI haben dieses in dem wissenschaftlichen Beitrag *Ein meta-analytischer Ansatz zur kontinuierlichen Verbesserung der Wissensqualität aus Cyber-physikalischen Produktionssystemen* analysiert (Ansari, Dornhöfer, & Fathi, 2016). Die folgende Beschreibung greift Teile dieses Beitrages auf und setzt diese in Verbindung mit dem UmweltWiS Konzept:

Industrie 4.0 Umgebungen sehen sogenannte Cyber-Physikalische Produktionssysteme⁴² als Zentrum zukünftiger Produktionsumgebungen, welche in der Lage sind gewisse Arbeitsschritte und Korrekturaktionen autonom auszuführen, sprich ohne eine direkte Aktion des Maschinenbedieners. Industrie 4.0 Umgebungen adressieren nicht ausschließlich Produktionsumgebungen, sondern der Begriff umfasst auch weitere Anwendungsfelder wie Logistik, Gebäude, Verkehrsmittel oder andere kommunizierende Objekte (Bauernhansl, ten Hompel, & Vogel-Heuser, 2014, S. 13-14). Hierzu findet zumeist eine Erfassung und Auswertung von Sensorwerten als Feedback-System statt, so dass je nach erfasstem Wert eine bestimmte Aktion ausgelöst werden kann. Sensoren und Aktoren sind dabei in einem Informationsverbund eingebunden und liefern bzw. nutzen kontinuierliche Daten, so dass dem CPPS durch laufende Dokumentation sein eigener Zustand immer bewusst ist und durch den Bediener ausgelesen werden kann (Lüder, 2014, S. 495; 498). Nach BAUERNHANSL ET AL. können CPPS *„ihre Umwelt unmittelbar mit ihrer entsprechenden Sensorik erfassen, sie mit Hilfe weltweit verfügbarer Daten und Dienste auswerten, speichern und sie können mit Hilfe von Aktoren auf die physikalische Welt einwirken.“* (Bauernhansl, ten Hompel, & Vogel-Heuser, 2014, S. 16). Geht man von einem ganzheitlichen Ansatz aus, so ist das CPPS in die Produktionsprozesse eingebettet, von diesen abhängig, aber genauso beeinflusst es diese durch seine ausgeführten Aktionen.

Der Produktionsleiter oder -manager bedient dabei einen Verbund von CPPS, welche durch Sende- und Empfangseinrichtungen miteinander bzw. mit den Erfassungssystemen kommunizieren können. Es ist somit denkbar das Kommunikationsverbindungen entlang der Produktionsprozesse oder sternförmig um die CPPS herum angeordnet werden. Ein CPPS kann somit etwa Ware nachbestellen, Informationen über eine Fertigstellung eines

⁴² Der englische Begriff Cyber-Physical Production Systems (CPPS) wird im Deutschen sowohl mit Cyber-Physische, als auch Cyber-Physikalische Produktionssysteme übersetzt. Zur Vereinheitlichung des Sprachgebrauchs innerhalb der Arbeit wurde der Begriff Cyber-Physikalische Produktionssysteme gewählt, unabhängig von der Schreibweise der referenzierten Autoren.

Produktionsvorgangs an das Warenlager oder die Logistik geben. Als Querschnittsfunktionen erhalten die Qualitätssicherung, Instandhaltung und Umweltmanagement Informationen zum Zustand der CPPS und der laufenden Produktion, um ggf. gegensteuernde oder korrigierende Maßnahmen einzuleiten. Diese Zusammenhänge werden in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt. Speziell die Rolle und Möglichkeiten zur Unterstützung des Umweltingenieurs sollen nachfolgend eingehender untersucht werden. Wie an dem verwendeten Icon erkennbar, verfügt der Umweltingenieur über eine Bedienungseinheit (mobil oder stationär), über welche er den Zustand der ökologischen Umweltparameter planen, überwachen und kontrollieren bzw. zu einem späteren Zeitpunkt adaptieren kann. Bei einem vorhandenen Umweltproblem des CPPS (z.B. erhöhte Schadstoffkonzentration in dem abfließenden Wasser oder der Abluft) kann so eine autonome Aktion oder ein Eingriff durch den Umweltingenieur erfolgen.

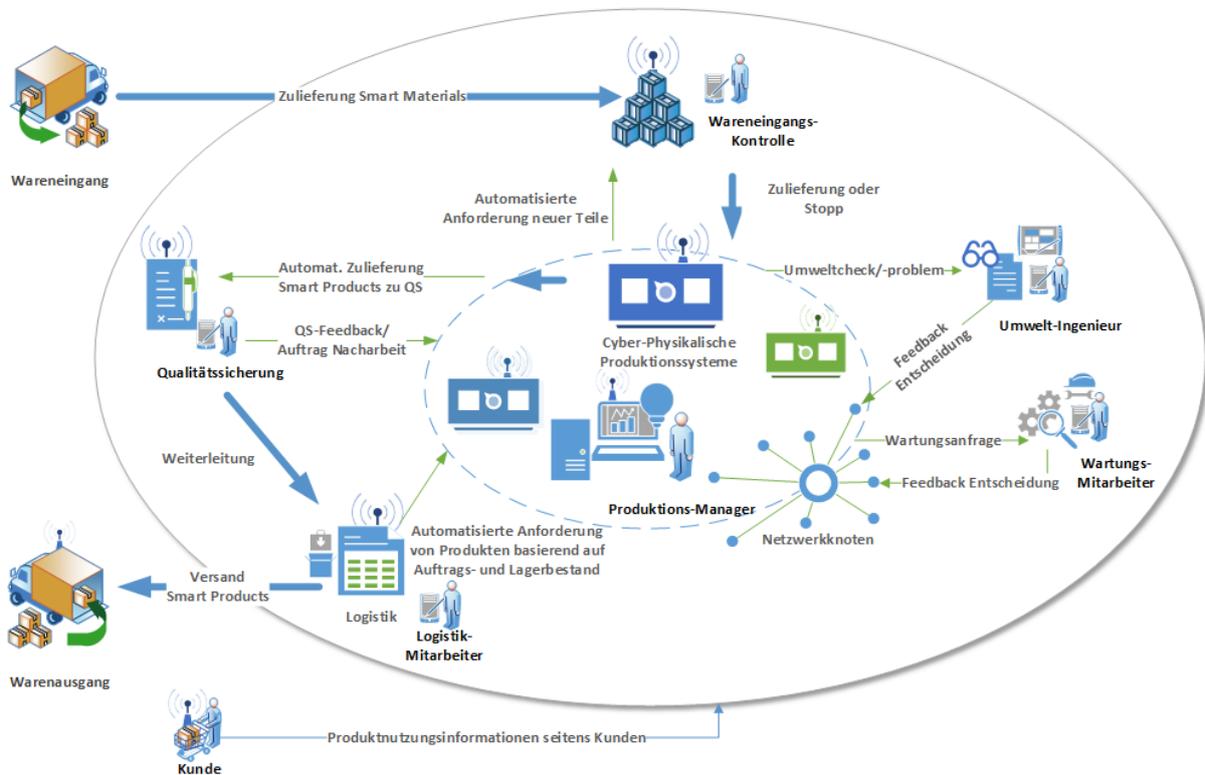


Abbildung 84 - Anwendungsfall (betrieblich) - Industrie 4.0 (1), publiziert in (Ansari, Dornhöfer, & Fathi, 2016)

Zur Abbildung dieses Anwendungsfalles wurde ein meta-analytischer Ansatz zur kontinuierlichen Verbesserung der Wissensqualität aus CPPS erarbeitet, um so zu demonstrieren wie Wissensmanagement zur Zusammenführung und Auswertung von CPPS Daten genutzt werden kann. Der meta-analytische Ansatz wurde dabei sowohl für den Bereich Instandhaltung als auch für den Bereich der Umweltauswirkungen eines CPPS betrachtet. (Ansari, Dornhöfer, & Fathi, 2016) Im Rahmen dieser Arbeit wird der Bereich der Umweltauswirkungen fokussiert, wobei im Zuge der Analyse der Daten ebenfalls ein semantischer Ansatz gewählt wurde und somit eine Schnittstelle zu dem UmweltWiS etabliert wird, dessen Repräsentationsschicht auf der semantischen Verknüpfung von Daten beruht.

Umsetzungsansatz mittels UmweltWiS

Ebenso wie bei den zwei zuvor vorgestellten Anwendungsfällen zur Forstwirtschaft (→ Kapitel 6.1) und Materialkunde (→ Kapitel 6.2.1) ist es auch hier notwendig das UmweltWiS auf die vorhandenen Anforderungen des Umweltingenieurs „zuzuschneiden“ und die semantische Repräsentationsschicht sowie die Dialogkomponenten zielgerichtet zu entwickeln. *Abbildung 85* detailliert das auf den Anwendungsfall adaptierte UmweltWiS. Da es sich bei dem Umweltingenieur gleichzeitig um den Bediener der Anwendung und um den Experten handelt, wurde auf eine Zweiteilung der Dialogkomponenten verzichtet. Es ist entsprechend denkbar dass der Umweltingenieur und der Wissensingenieur gemeinsam die hinterlegten Regeln und Aktionen anpassen. Neben diesen beiden könnte auch der Produktionsleiter die Interfaces nutzen.

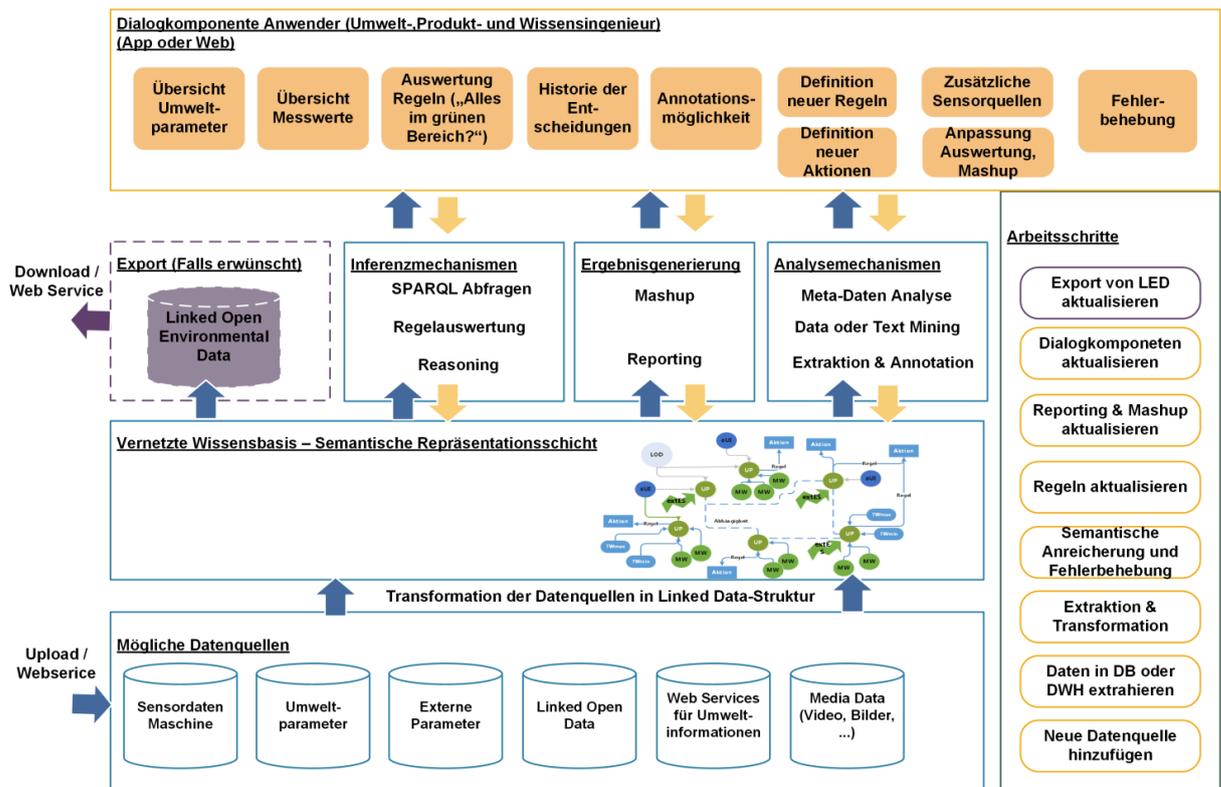


Abbildung 85 - Anwendungsfall (betrieblich) - Industrie 4.0 (2)

Das Ziel der Anwendung ist es den Nutzern sowohl ein Planungs-, Monitoring- als auch Controlling-Instrument zur Verfügung zu stellen. Die Planung bezieht sich auf die Definition der Toleranzwerte einzelner Umweltparameter, die Definition von Regeln und zugehöriger Aktionen bei Über- oder Unterschreitung bestimmter Toleranzen. Der Feedback-Charakter des CPPS wird dahingehend aufgegriffen, dass das CPPS eine Abweichung erkennt und die anstehende Aktion dem Umweltingenieur meldet. Ist dieser mit der gewählten Aktion einverstanden, bestätigt er den Vorgang. Erkennt er weitere zu berücksichtigende Faktoren die eine andere Aktion besser erscheinen lassen, so lehnt er die vorgeschlagene Aktion des CPPS über die UmweltWiS-Anwendung ab und leitet eine Alternativaktion ein oder definiert diese über die Dialogkomponente neu. Um einen Lernzyklus zu schaffen, sollte diese abweichende Entscheidung für den nächsten Planungszyklus Anwendung finden. Auf diese Weise lernt das

CPPS aus vergangenen Aktionen und ist so immer besser in der Lage die passenden Aktionen auszuwählen. Handelt es sich um eine Gefahrensituation sollten die Regeln und zugehörigen Aktionen so ausgelegt sein, dass keine vorherige Bestätigung des Umweltingenieurs notwendig wird, sondern das eine direkte Abschaltung oder Instandsetzungsmaßnahme ausgelöst wird (Ansari, Dornhöfer, & Fathi, 2016). Die Möglichkeit der Annotation von bestimmten Begebenheiten reichert die vorhandene Wissensbasis an, so dass aus getroffenen Entscheidungen Erkenntnisse für zukünftige Abläufe gewonnen werden können.

Die möglichen Datenquellen weichen zu den im generischen Ansatz des UmweltWiS genannten Quellen ab, da hier das CPPS der zentrale Datenlieferant ist. Die vorhandenen Sensoren liefern kontinuierlich Messwerte welche Umweltparametern zugeordnet werden können. Externe Parameter sind ein Platzhalter für relevante Daten aus externen Systemen, wie etwa die Produktionsdatenbank oder nur indirekt zugehörige Daten wie Instandhaltungsparameter. Umweltdaten aus der LOD Cloud lassen sich ebenso integrieren wie Richtwerte oder andere Daten aus öffentlichen Umweltinformationssystemen. Für die Aktionen oder ausgeführten Umweltmaßnahmen können neben den zuvor bereits erwähnten semantischen Annotationen auch Media-Daten hinzugefügt werden. Hier empfehlen sich besonders automatisiert erfasste Bilder zu den Sensorwerten, so dass eine direkte Entscheidung durch den Umweltingenieur auf Basis von Messwerten und Bildmaterial leichter fällt.

Um die zuvor beschriebenen Mechanismen umsetzen zu können ist ein entscheidender Faktor die Realisierung der semantischen Repräsentationsschicht. Da diese in der vorherigen Abbildung nur schematisch erkennbar ist, soll diese im Folgenden noch einmal detaillierter betrachtet werden:

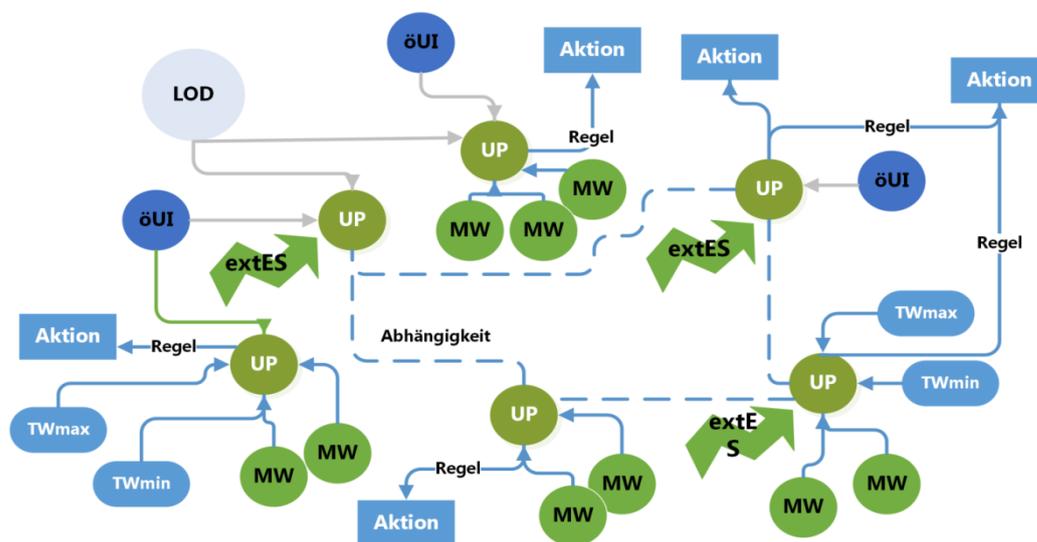


Abbildung 86 - Anwendungsfall (betrieblich) - Industrie 4.0 (3), publiziert in (Ansari, Dornhöfer, & Fathi, 2016)

Der zentrale Anker zur Vernetzung der vorhandenen Datenquellen sind die zu definierenden ökologischen Umweltparameter (UP). Die Betonung liegt auf ökologischen Umweltparametern, da z.B. nach (Lüder, 2014) Umweltparameter die Summe aller die CPPS umgebenden oder mit diesen assoziierten Parameter darstellen. Wird in der Folge des Textes von Umweltparameter

gesprächen, so sind immer implizit ökologische Umweltparameter gemeint. Jedem Umweltparameter werden kontinuierlich die durch diesen erfassten Messwerte (MW) zugeordnet. Anhand der vorherigen Definition von minimalen und maximalen Toleranzwerten (TW) kann eine spätere Zuordnung von Regeln und Aktionen stattfinden. Dabei werden die Regeln die Mess- und Toleranzwerte aus und es werden 1..n Aktionen für bestimmte Messwertbereiche definiert. Des Weiteren werden die über die eingebundenen Linked Open Data identifizierten Zusatzinformationen sowie die aus öffentlichen Umweltinformationssystemen erfassten Informationen dem jeweiligen Umweltparameter zugeordnet. Dabei kann es durchaus möglich sein, dass einzelne Informationen mehreren Umweltparametern zugeordnet werden können. Die aus externen Systemen oder als extern deklarierten Parameter werden ebenso zugeordnet. Obgleich jeder Umweltparameter für sich autonom definiert wird, bestehen gewisse Abhängigkeiten zwischen diesen, so dass sich implizite Aktionen ergeben können, wenn ein abhängiger Parameter nicht im Toleranzbereich liegt. (Ansari, Dornhöfer, & Fathi, 2016)

Geht man von der Vernetzungsstruktur des UmweltWiS aus, so würden die Messwerte über die Subkonzepte der Fachinformation mittels Sensortechnologie erfasst und als Umweltkennzahlen bewertet (→ Kapitel 5.4.4.2.4). Die Aktionen lassen sich mit Hilfe der beiden Konzepte Umweltproblem und Umweltaktion abbilden und mit den erfassten Umweltkennzahlen in Kontext setzen. Durch die Erfassung von Medieninformation und Publikation ist zudem eine Anreicherung des Vorgangs mittels z.B. Bildmaterial möglich.

Erweitert man die Ontologie um Konzepte, so bietet sich die Einbindung der *Internet of Things Lite* Ontologie an, welche dem W3C als Member Submission vorliegt (W3C:IoT, 2015), (Compton, et al., 2012):

Die IoT-Umgebung baut sich dabei aus `ssn:System`, `iot-lite:Object` und `iot-lite:Service` auf, wobei das System wiederum aus `ssn:Device` (`iot-lite:Tag Device`, `ssn:Sensing Device` und `iot-lite:Actuating Device`) besteht. Des Weiteren bestehen die Klassen `iot-lite:Attribute`, `ssn:Sensor`, `iot-lite:Metadata`, `iot-lite:Coverage`, `iot-lite:Circle`, `iot-lite:Polygon`, `iot-lite:Rectangle`, `geo:Point` und `qu:QuantityKind` sowie `qu:Unit`. Das Präfix `ssn` steht an dieser Stelle für Klassen aus der Ontologie Semantic Sensor Network (W3C:SSN, 2011), `qu` für Klassen aus der Quantity Unit Ontologie (W3C:QU, 2011) und `geo` für Klassen aus dem Geo Positioning RDF Vokabular (W3C:WGS84, 2009). Vor allem die Semantic Sensor Network Ontologie, welche durch eine W3C Incubator Group entwickelt wurde, ist dabei eine generische Sensorontologie die in verschiedenen Anwendungskontexten eingebunden werden kann. Die Autoren (Barnaghi, et al., 2011) haben dabei das Ziel verfolgt einen semantischen Abstraktionslevel für Sensorumgebungen zu schaffen, welcher auf Domänen-Konzepten arbeitet. (Compton, et al., 2012) Hierzu wurden zu Beginn der Entwicklung bereits bestehende Ansätze für Sensor- und Observation-Ontologien anhand von eigens definierten Qualitätskriterien analysiert (Barnaghi, et al., 2011, S. Kapitel 4). Im Zuge der Entwicklung der SSN Ontologie bildet das Konzept `Sensor` den Mittelpunkt der Betrachtung, wobei allgemein das Stimulus-Sensor-Observation-Pattern verfolgt wird, welches durch zwei Co-Autoren

(JANOWICZ und COMPTON⁴³) publiziert wurde. `Sensor` wird in diesem Zusammenhang als ein physikalisches Gerät, aber auch eine Methode, Laborumgebung oder ein manueller Vorgang zur Erfassung (`Sensing`) definiert, wobei jeder `Sensor` eine Erfassungsmethode umsetzt und so Eigenschaften (`Property`) eines Zielobjektes (`FeatureOfInterest`) überwacht (frei übersetzt nach (W3C:SSN, 2011)). Die weiteren Klassen, welche im Kern der Betrachtung stehen sind `SensingDevice`, `SensorOutput`, `SensorInput`, `Sensing`, `Stimulus`, `Property`, `FeatureOfInterest` und `Observation`. Die gewählten Namen geben bereits eine gute Einordnung des Anwendungszwecks und werden an dieser Stelle nicht eingehender beschrieben. Messeinheiten oder Hierarchien der Sensortypen werden weniger fokussiert ebenso stehen `Property` und `FeatureOfInterest` als Platzhalter, unter welchen eigene Ontologien eingebunden werden können, je nach Anwendungskontext: “...*knowledge engineers would include the SSN ontology, suitable units, location and feature ontologies, and link via subclassing or equivalence relations.*” (Compton, et al., 2012) Gerade diese Flexibilität erlaubt eine Weiterentwicklung als W3C Standard und den Einsatz der Ontologie in unterschiedlichen Anwendungskontexten, wie etwa dem UmweltWiS zur Erfassung von sensor-basierten Umweltdaten in unterschiedlichen Anwendungskontexten. ATEMEZING ET AL. beschreiben so etwa die Anwendung der SSN Ontologie in einem meteorologischen Anwendungskontext in welchem auf Basis der SSN-Konzepte bestehende Messdaten in Linked Data transformiert werden. Die Ontologie teilt sich dabei in Time, Location, Sensor und Measurement Anteile auf (Atemezing, et al., 2013).

Eine derartige Umsetzung bzw. Anwendung der SSN Ontologie ist auch für die Implementation des Umweltwissenssystems denkbar, da verschiedene Sensoren zur Erfassung der Messwerte unter `Fachinformation` denkbar sind. Dabei kann zwischen Sensoren zur Erfassung von Emissionen in einem Industriekontext und Sensoren zur Erfassung von öffentlichen Umweltdaten (z.B. im Zuge des Anwendungsfalls Forstwirtschaft) differenziert werden. Der Anwendungskontext lässt sich dabei wie angedeutet über `ssn:Property` und `ssm:FeatureOfInterest` abbilden.

Allein dieser relativ kurze Einblick in bestehende Referenzontologien im Bereich Sensorik und Industrie 4.0 zeigt die Vorteile der Wiederverwendung von semantischen Konzepten und einer konsistenten Definition von semantischen Strukturen, da diese eine standardisierte Modellierung von Internet of Things Umgebungen und der eingebundenen Sensoren ermöglichen. Gleichzeitig bieten die Konzepte einen Anknüpfungspunkt zur Umsetzung eines Umweltwissenssystems, im Speziellen zur Erfassung der Messwerte (z.B. durch die Einbindung des Konzeptes `ssn:MeasurementProperty` \sqsubseteq `ssn:Property`) im Bereich der Fachinformation.

⁴³ (Compton, et al., 2012) verweisen hier auf die Publikation der Co-Autoren Janowicz, K., Compton, M.: *The Stimulus-Sensor-Observation Ontology Design Pattern and its Integration into the Semantic Sensor Network Ontology*, in 3rd International workshop on Semantic Sensor Networks, vol. 668. CEUR-WS. 2010

6.3 Zusammenführung von Green KM Cube und Umweltwissenssystem

6.3.1 Integration von Green KM Cube und UmweltWiS

Bevor abschließend ein Resümee der konzeptuellen Betrachtung und der Anwendungsfälle gezogen wird, besteht der Anspruch die Konzepte des Green Knowledge Management Cube's (→ *Kapitel 4.2*) und des Umweltwissenssystems (→ *Kapitel 5*) in eine Architektur zusammenzuführen. Diese Zusammenführung verändert die Architektur des UmweltWiS nicht grundlegend, sondern fokussiert vor allem die Logik und Dialogschnittstelle, so dass das UmweltWiS auch als Entscheidungsinstrument Anwendung finden kann. Wie in → *Kapitel 4.2* vorgestellt, wurden drei Umsetzungsmöglichkeiten für den Green KM Cube gesehen, wobei zwei Varianten beispielhaft umgesetzt wurden. Das Umweltwissenssystem setzt in seiner Architektur darauf verschiedene Datenquellen zu einer Wissensbasis zusammengeführt bzw. vernetzt werden und sich darauf aufbauend mittels semantischer Abfragen zusätzliches Wissen bilden lässt. Bei einer Kombination des UmweltWiS Ansatzes und des Green KM Cubes würde es sich daher anbieten dieses Wissen zur Bewertung der Wissensziele einzusetzen und darauf aufbauend die Strategien zur Wissensentwicklung, dem Wissenstransfer, der Wissensnutzung und Wissensbewertung auszulegen. In diesem Kapitel soll daher aufgezeigt werden wie auch das Konzept des Green Knowledge Management Cube in Form einer Ontologie umgesetzt werden kann, um dann als Erweiterung des UmweltWiS-Vernetzungsschemas zu dienen. Hierzu sind zwei Ausgangssituationen zu berücksichtigen:

- (1) Es bestehen bislang keine Green Maßnahmen innerhalb der Organisation. In diesem Fall müsste anhand öffentlich verfügbarer Referenzdaten, Publikationen und der persönlichen Einschätzung der Experten, die Bewertung der Wissensziele erfolgen. Dies wäre also eine Einschätzung unter Unsicherheit.
- (2) Auf der anderen Seite kann die Ausgangssituation auch die Analyse und Anpassung bereits bestehender Green Maßnahmen betreffen. Dementsprechend sollten in das UmweltWiS die aus dem Betrieb der Green Maßnahmen ermittelten Kenngrößen und qualifizierten Bewertungen oder Meinungen der Nutzer erfasst und in das UmweltWiS eingespeist werden. Dies könnten zum Beispiel im Sinne von Green ICT Energieverbrauchswerte oder hinsichtlich der Prozesse die anfallenden Abfallprodukte sein. Die Idealsituation würde sich dann ergeben wenn neben den aktuellen Werten auch Referenzwerte aus der Betriebszeit ohne Umsetzung der Green Maßnahmen bestehen würden. Daraus abgeleitet ließe sich bewerten inwiefern die Maßnahmen effektiv umgesetzt wurden und ob die Wissensziele ggf. angepasst werden müssten.

Die folgende Abbildung zeigt schematisch die Integration des Green KM Cube's in die Architektur des UmweltWiS. Die Dialogkomponente ist um eine Ansicht zur Bewertung der Wissensziele der einzelnen Green Ebenen für die vier Wissensphasen zu erweitern. Ebenso ist die Logik zur Abspeicherung und Auswertung der quantifizierten und qualifizierten Bewertung umzusetzen. Dieser Baustein (in grün hinterlegt) sollte in die Ergebniserzeugung integriert werden. Die semantische Repräsentationsschicht ist hierzu ebenfalls durch eine Green KM Cube Ontologie zu ergänzen.

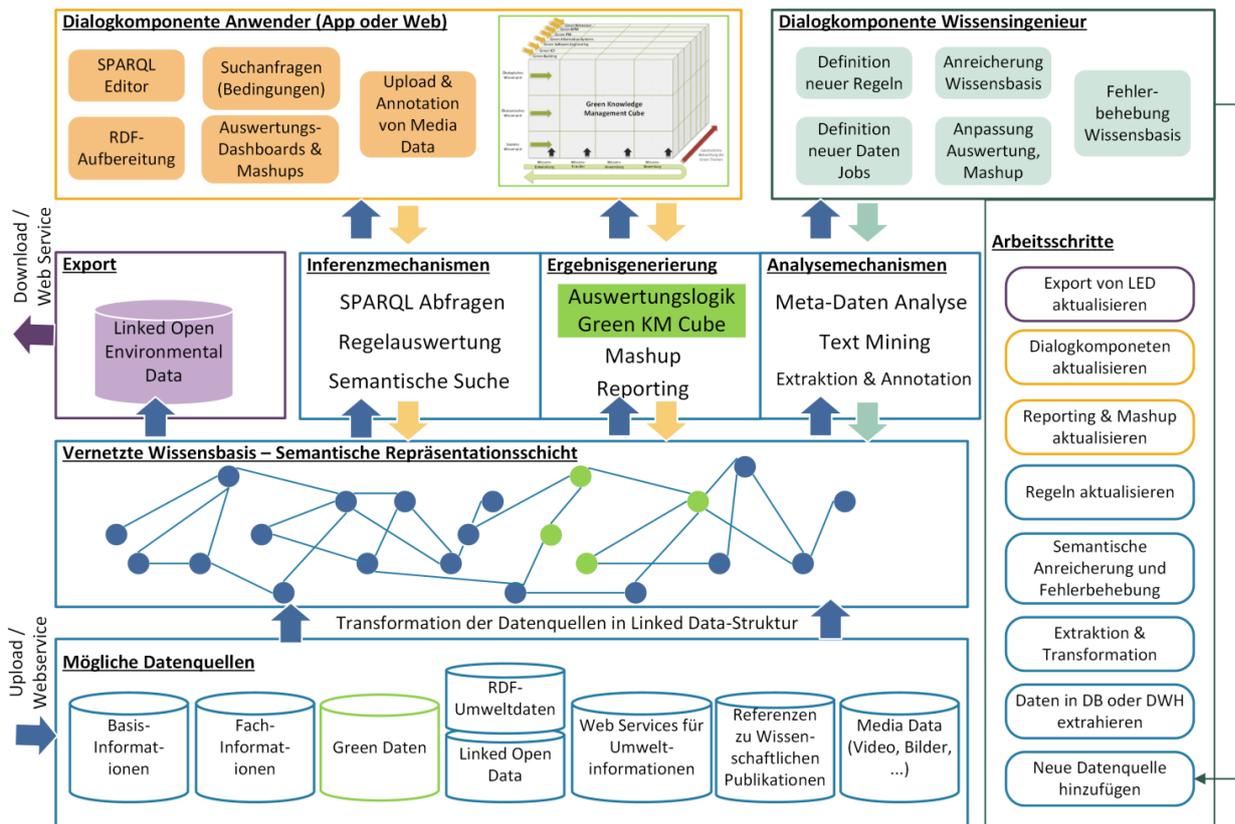


Abbildung 87 - Umweltwissenssystem inkl. Green KM Cube

6.3.2 Green KM Cube Ontologie

Zur Erweiterung der UmweltWiS-Vernetzungslogik wurde der Ansatz des Ontology Engineerings verfolgt, welcher u.a. nach (Stuckenschmidt & van Harmelen, 2005) oder (Gavrilova, Leshcheva, & Strakhovich, 2015) in \rightarrow Kapitel 5.4.4.1 beschrieben wird. Das sich ein Würfel in Form einer Ontologie abbilden lässt, zeigt u.a. das RDF Data Cube Vocabulary (W3C:RDF Data Cube Vocabulary, 2016) des W3C zur Abbildung statistischer Daten (z.B. Messwerte). Dieses wäre auch als Erweiterung des UmweltWiS denkbar, um so etwa die Messwerterfassung der Fachinformationen abzubilden und mit Hilfe einer Data-Warehouse Architektur zusammenzuführen, wie von (Bayerl & Granitzer, 2014) beschrieben. Zur Abbildung des Green KM Würfels (\rightarrow Abbildung 21), welcher weniger statistische Werte in Verbindung setzt als vielmehr inhaltliche Zusammenhänge zwischen Wissensmanagement, Nachhaltigkeitszielen und Green Ansätzen, wurden im ersten Schritt die Ebenen des Würfels aufgeklappt und als eine tabellarische Aufstellung abgebildet (\rightarrow Tabelle 16, Anhang D:).

Dies wurde abweichend zu der Umsetzung in \rightarrow Kapitel 4.2.2.1 realisiert, da an dieser Stelle der Fokus auf der Erarbeitung der Zusammenhänge und Abhängigkeiten der Elemente der drei Ebenen im Vordergrund steht. Jedes Kriterium aus dem Würfel wird als eine Zeile bzw. Spalte abgebildet, um so eine Matrix zu bilden. Diese wiederum hilft dabei zu analysieren welche Verbindungen zwischen den einzelnen Themen bestehen und wie diese einander beeinflussen (in „grün“ dargestellt). In der späteren Überführung in die Green KM Cube Ontologie werden diese

als Klassen (Green_Ebene) und Subklassen (z.B. Green_Building) modelliert, so dass Green_Building \sqsubseteq Green_Ebene.

Die Verbindungen zwischen den Kriterien werden in der tabellarischen Aufstellung so ermittelt, dass sich die Frage gestellt wird welche Verbindung besteht zwischen Zeile und Spalte. Es würde sich also die Verbindung bewertet_Vorhaben (Green_Building, Vorhaben) ergeben oder auch beeinflusst_Green_Behavior (Green_Building, Green_Behavior). Da Green_Building aber gleichzeitig auch ein Subkonzept von Green_Ebene ist, kann stattdessen die Verbindung bewertet_Vorhaben (Green_Ebene, Vorhaben) modelliert werden, um dann anhand der Ontologie mittels Inferenz ableiten zu können das alle Subklassen von Green_Ebene ebenfalls die Beziehung bewertet_Vorhaben (?x, Vorhaben) umsetzen. Alle derartigen Zusammenhänge werden in \rightarrow *Anhang D*: aufgeschlüsselt und können im folgenden Schritt als Object Properties in die GreenKMCube-Ontologie übertragen werden. Bei erstmaligem Auftreten eines Zusammenhangs wurde dieser blau hinterlegt dargestellt.

Green KM Cube	Vorhaben	Green Ebene	Green Building	Green
Vorhaben	beeinflusst_durch_Vorhaben	bewertet_durch_Green_Ebene	bewertet_durch_Green_Ebene	bewertet_durch_
Green Ebene	bewertet_Vorhaben	---	---	---
Green Building	bewertet_Vorhaben	Subclass	---	---
Green ICT	bewertet_Vorhaben	Subclass	---	---
Green SE	bewertet_Vorhaben	Subclass	---	---
Green InfoSys	bewertet_Vorhaben	Subclass	---	---
Green BPM	bewertet_Vorhaben	Subclass	---	---
Green Behavior	bewertet_Vorhaben	Subclass	beeinflusst_durch_Green_Building	---
Wissensphase	bewertet_Vorhaben	bewertet_Green_Ebene	bewertet_Green_Building	bewertet_G
Wissensentwicklung	bewertet_Vorhaben	bewertet_Green_Ebene	bewertet_Green_Building	bewertet_Gi
Wissenstransfer	bewertet_Vorhaben	bewertet_Green_Ebene	bewertet_Green_Building	bewertet_Gi
Wissensanwendung	bewertet_Vorhaben	bewertet_Green_Ebene	bewertet_Green_Building	bewertet_Gi
Wissensbewertung	bewertet_Vorhaben	bewertet_Green_Ebene	bewertet_Green_Building	bewertet_Gi
Wissensziel	wird_definiert_durch_Vorhaben	beeinflusst_Green_Ebene	beeinflusst_Green_Building	beeinflusst_C
Soziales Wissensziel	wird_definiert_durch_Vorhaben	beeinflusst_Green_Ebene	beeinflusst_Green_Building	beeinflusst_C
Ökologisches Wissensziel	wird_definiert_durch_Vorhaben	beeinflusst_Green_Ebene	beeinflusst_Green_Building	beeinflusst_C
Ökonomisches Wissensziel	wird_definiert_durch_Vorhaben	beeinflusst_Green_Ebene	beeinflusst_Green_Building	beeinflusst_C
Nachhaltigkeitsmgmt	beeinflusst_Vorhaben	beeinflusst_Green_Ebene	beeinflusst_Green_Building	beeinflusst_C
Umweltmanagement	beeinflusst_Vorhaben	beeinflusst_Green_Ebene	beeinflusst_Green_Building	beeinflusst_C

Tabelle 16 - Ontology Engineering –Object Properties für die Green KM Cube Ontologie (Auszug)

Bildet man im Anschluss die Tabelle in Protégé ab, so ergibt sich die folgende Aufstellung bestehend aus Klassen, Object Properties und Data Properties. Letztgenannte wurden definiert, um die Beschreibung sowie inhaltliche und monetäre Bewertung der Green Vorhaben abzubilden.

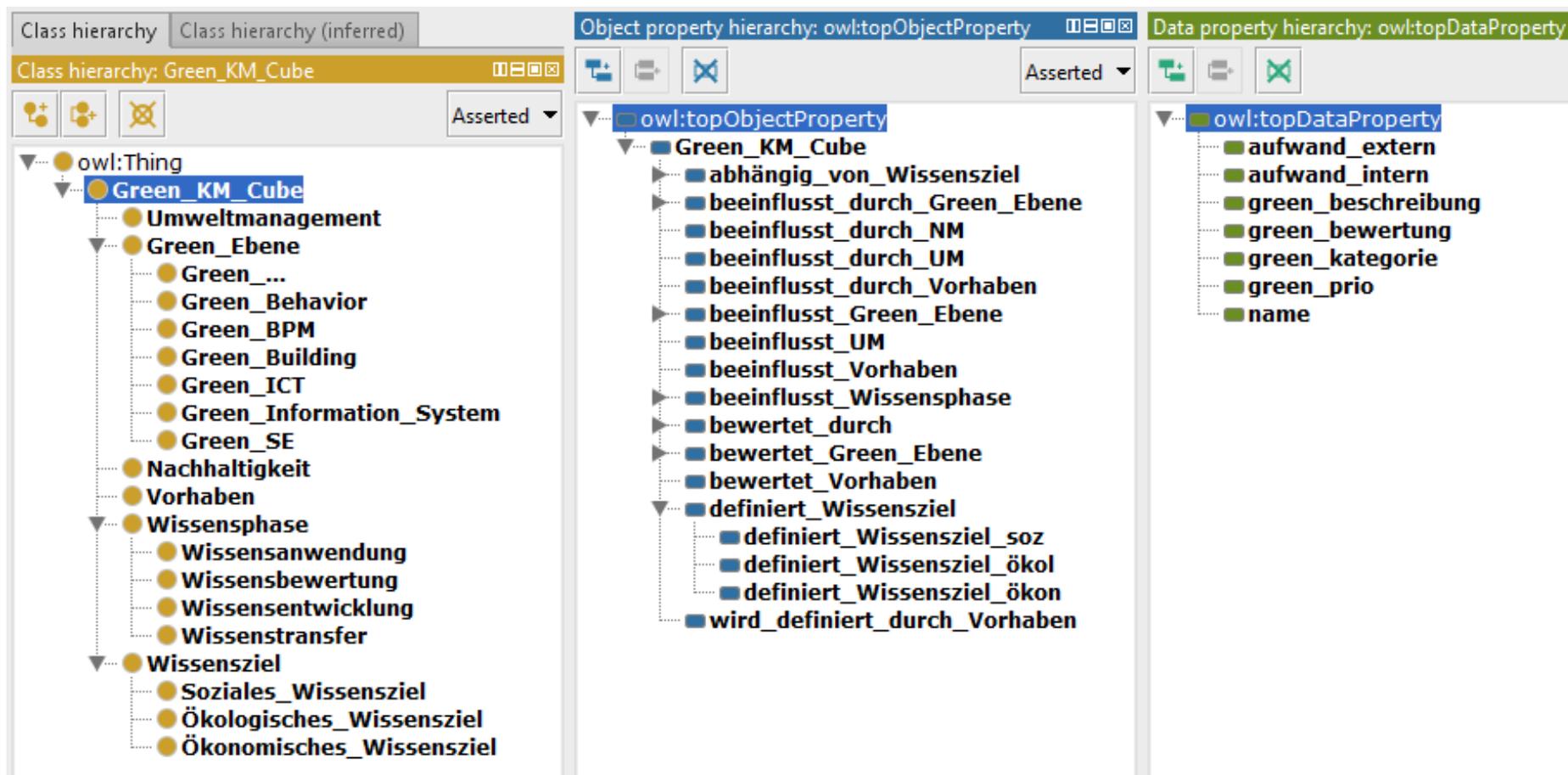


Abbildung 88 - Green KM Cube Ontologie, Eigene Entwicklung, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016), Übersicht Klassen, Object Properties und Data Properties

Die folgende Abbildung zeigt eine Darstellung von Individuen welche zur Bewertung der einzelnen Kombinationen angelegt werden können. Die linke Seite zeigt dabei Individuen (oder Fakten der Wissensbasis), in der Mitte sind die dem ausgewählten Individuum zugeordneten Klassen und darunter die abgeleiteten Klassenzugehörigkeiten dargestellt. Auf der rechten Seite der Abbildung sind die zugeordneten Object und Data Properties des jeweiligen Individuums abgebildet. Durch die Verwendung des Datentyps xsd:float für aufwand_intern und aufwand_extern lassen sich in der Folge auch Berechnungen durchführen.

Abbildung 89 - Green KM Cube Ontologie, Eigene Entwicklung, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016), Ansicht Individuen

Neben der Modellierung der Klassen, Object Properties, Data Properties und Individuen wurden beispielhafte Regeln modelliert, über welche z.B. die Individuen mit initialen Properties befüllt werden können.

```

Rules:
Rules +
Green_ICT(?x) -> green_kategorie(?x, "Green ICT"^^xsd:string)
Green_Ebene(?x) -> green_prio(?x, "Normal"^^xsd:string)
Green_Information_System(?x) -> green_kategorie(?x, "Green Information System"^^xsd:string)
Green_ICT(?x), Soziales_Wissensziel(?x), Wissensanwendung(?x) -> name(?x, "G-ICT, W-ANW, SOZ"^^xsd:string)
Green_SE(?x), Ökologisches_Wissensziel(?x), Wissensanwendung(?x) -> name(?x, "G-SE, W-ANW, ÖKOL"^^xsd:string)
Green_ICT(?x), Ökologisches_Wissensziel(?x), Wissensanwendung(?x) -> name(?x, "G-ICT, W-ANW, ÖKOL"^^xsd:string)
Green_ICT(?x), Ökologisches_Wissensziel(?x), Wissensentwicklung(?x) -> name(?x, "G-ICT, W-ENTW, ÖKOL"^^xsd:string)
Green_Ebene(?x) -> green_bewertung(?x, "Noch keine Bewertung vorhanden"^^xsd:string)
Green_Building(?x) -> green_kategorie(?x, "Green Building"^^xsd:string)
Green_SE(?x) -> green_kategorie(?x, "Green Software Engineering"^^xsd:string)
Green_ICT(?x), Soziales_Wissensziel(?x), Wissensbewertung(?x) -> name(?x, "G-ICT, W-BEWERT, SOZ"^^xsd:string)
Green_Behavior(?x) -> green_kategorie(?x, "Green Behavior"^^xsd:string)
Green_ICT(?x), Ökologisches_Wissensziel(?x), Wissenstransfer(?x) -> name(?x, "G-ICT, W-TRANS, ÖKOL"^^xsd:string)
Green_SE(?x), Ökonomisches_Wissensziel(?x), Wissensanwendung(?x) -> name(?x, "G-SE, W-ANW, ÖKON"^^xsd:string)
Green_ICT(?x), Ökonomisches_Wissensziel(?x), Wissensentwicklung(?x) -> name(?x, "G-ICT, W-ENTW, ÖKON"^^xsd:string)
Green_Ebene(?x) -> green_beschreibung(?x, "Noch keine Beschreibung vorhanden"^^xsd:string)
Green_SE(?x), Soziales_Wissensziel(?x), Wissensanwendung(?x) -> name(?x, "G-SE, W-ANW, SOZ"^^xsd:string)

```

Abbildung 90 - Green KM Cube Ontologie, Eigene Entwicklung, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016), Ansicht Rules

Betrachtet man das Individuum `Green_ICT_W-ENTW_ÖKOL_Neue_Heizung` als das Bewertungselement für eine neue Heizstrategie, welches die Auswirkungen aus Blickwinkel Green ICT unter dem Gesichtspunkt des ökologischen Wissensziels für die Phase der Wissensentwicklung betrachtet, so gehört dieses zu den drei Dimensionen und damit drei Klassen `Green_ICT`, `Wissensentwicklung` und `Ökologisches_Wissensziel` des Green KM Cubes. Dahingehend feuern folgende Regeln im Zuge der Inferenz.

```

R1: Green_ICT(?x) -> green_kategorie(?x, "Green ICT")
R2:   Ökologisches_Wissensziel(?x)   ^   Wissensentwicklung(?x)   ^
Green_ICT(?x) -> name(?x, "G-ICT, W-ENTW, ÖKOL")
R3:   Green_Ebene(?x)   ->   green_beschreibung(?x,   "Noch   keine
Beschreibung vorhanden")
R4: Green_Ebene(?x) -> aufwand_intern(?x, 0.0)
R5: Green_Ebene(?x) -> aufwand_extern(?x, 0.0)
R6: Green_Ebene(?x) -> green_prio(?x, "Normal")
R7: Green_Ebene(?x) -> green_bewertung(?x, "Noch keine Bewertung
vorhanden")

```

Formel 24 - Greem KM Cube Ontologie, Regeln zur Initialisierung (Beispiel)

Die Regeln R1 und R2 werten explizit die Klassenzugehörigkeit des Individuums aus und ordnen daraufhin die passende `green_kategorie` und `name` als Data Property zu. Die Regeln R3 bis R7 werden ausgeführt, da `Green_ICT` \sqsubseteq `Green_Ebene`. Mittels dieser Regeln werden also alle Individuen der Subklassen von `Green_Ebene` mittels der Data Property Zuordnungen `green_beschreibung`, `aufwand_intern`, `aufwand_extern`, `green_bewertung` und der in den Regeln genannten Werte vorbelegt. Dies reduziert den manuellen Schreibaufwand bei der Anlage eines Individuums, da die Properties automatisch zugeordnet werden. Im Nachhinein können die Werte aktualisiert werden, speziell bei

aufwand_intern und aufwand_extern, welche die monetären Aufwände in € abbilden. Ebenso ist es möglich diese mehrfach anzulegen und so unterschiedliche Einschätzungen der anfallenden Kosten zu erfassen. Gleiches gilt für die green_bewertung.

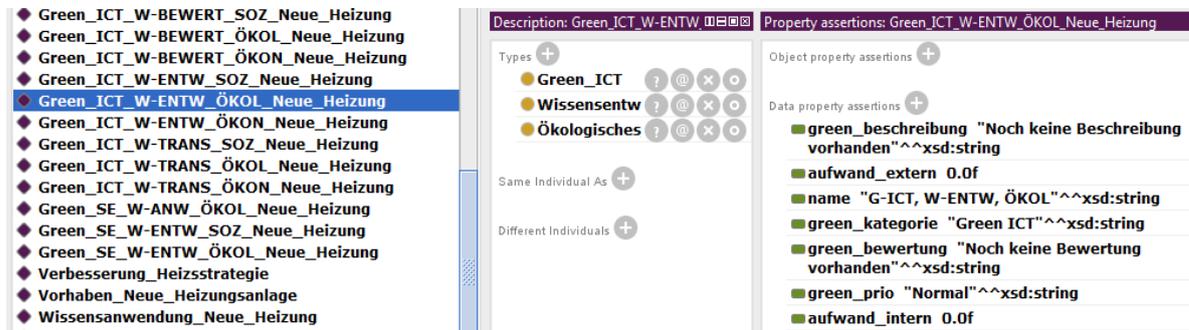


Abbildung 91 - Green KM Cube Ontologie, Eigene Entwicklung, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016), Ansicht Rules

Nachdem die Green KM Cube Ontologie umgesetzt, die passenden Individuen angelegt und die Regelbasis aufgebaut wurde, besteht die Möglichkeit Auswertungen der Wissensbasis anhand von SPARQL-Abfragen zu generieren. Reflektiert man diesen Schritt mit der Umsetzung des Green KM Cubes in \rightarrow Kapitel 4.2.2, so ist dies in gewissem Sinne der Schritt der Reportgenerierung. Hierbei ergibt sich der Vorteil dass SPARQL-Abfragen flexibel die Auswertungen zusammenführen und z.B. aufsummieren können. Folgende Abfrage zeigt ein Beispiel zur Auswertung eines angelegten Projektvorhabens. Dieses muss nicht explizit benannt werden, sondern es werden alle bestehenden Beziehungen zu bewertet_Green_Ebene ermittelt, wobei hierbei implizit alle Subproperty Beziehungen (z.B. bewertet_Green ICT \sqsubseteq bewertet_Green_Ebene) mit in die Auswertung einbezogen werden.

```

PREFIX : <http://www.semanticweb.org/mareike/GreenKMCube#>
PREFIX owl: <http://www.w3.org/2002/07/owl#>
PREFIX rdf: <http://www.w3.org/1999/02/22-rdf-syntax-ns#>
PREFIX xsd: <http://www.w3.org/2001/XMLSchema#>
PREFIX xml: <http://www.w3.org/XML/1998/namespace>
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>

SELECT ?Projekt ?Thema ?Ebene (SUM (?aufwand_intern) AS
?Interner_Gesamtaufwand) (SUM (?aufwand_extern) AS
?Externer_Gesamtaufwand)
WHERE {
  {?subject :bewertet_Green_Ebene ?object.
  ?subject :name ?Projekt.
  ?object :aufwand_intern ?aufwand_intern.
  ?object :aufwand_extern ?aufwand_extern.
  ?object :green_kategorie ?Thema.
  ?object :name ?Ebene.}
}
GROUP BY ?Projekt ?Thema ?Ebene
ORDER BY ?Thema
  
```

Formel 25 - Green KM Cube Ontologie, SPARQL Abfrage (1)

Die folgende Abbildung zeigt einen Ausschnitt des Rückgabergebnisses in tabellarischer Aufstellung anhand der abgefragten Kriterien und der über die Data Properties hinterlegten Namen.

```
SELECT ?Projekt ?Thema ?Ebene (SUM (?aufwand_intern) AS ?Interner_Gesamtaufwand) (SUM (?aufwand_extern) AS
?Externer_Gesamtaufwand)
WHERE { {?subject :bewertet_Green_Ebene ?object.
?subject :name ?Projekt.
?object :aufwand_intern ?aufwand_intern.
?object :aufwand_extern ?aufwand_extern.
?object :green_kategorie ?Thema.
?object :name ?Ebene.}
}
GROUP BY ?Projekt ?Thema ?Ebene
ORDER BY ?Thema
```

?Projekt	?Thema	?Ebene	?Interner_Gesamtaufwand	?Externer_Gesamtaufwand
Proj. "Neue Heizung"@de	Green BPM^^xsd:string	G-BPM, W-ANW, SOZ@de	1000.0	20000.0
Proj. "Neue Heizung"@de	Green BPM^^xsd:string	G-BPM, W-ANW, ÖKOL@de	6200.0	6000.0
Proj. "Neue Heizung"@de	Green BPM^^xsd:string	G-BPM, W-ANW, ÖKON@de	10000.0	7000.0
Proj. "Neue Heizung"@de	Green BPM^^xsd:string	G-BPM, W-ENTW, ÖKOL@de	2000.0	10000.0
Proj. "Neue Heizung"@de	Green BPM^^xsd:string	G-BPM, W-ENTW, ÖKON@de	0.0	6000.0
Proj. "Neue Heizung"@de	Green BPM^^xsd:string	G-BPM, W-ENTW, SOZ@de	4000.0	30000.0
Proj. "Neue Heizung"@de	Green Behavior^^xsd:string	G-Behavior, W-TRANS, ÖKOL@...	20000.0	5000.0
Proj. "Neue Heizung"@de	Green Behavior^^xsd:string	G-Behavior, W-BEWERT, ÖKON@...	6000.0	60000.0

Abbildung 92 - Green KM Cube Ontologie, Eigene Entwicklung, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016), SPARQL-Abfragebeispiel (1)

Hierbei lässt sich abhängig von den Abfragekriterien unterschiedliche Granularität abfragen. Folgende Abfrage liefert beispielsweise den Gesamtaufwand für bewertete Projektvorhaben.

```
SELECT ?Projekt (SUM (?aufwand_intern) AS ?Interner_Gesamtaufwand)
(SUM (?aufwand_extern) AS ?Externer_Gesamtaufwand)
WHERE { {?subject :bewertet_Green_Ebene ?object.
?subject :name ?Projekt.
?object :aufwand_intern ?aufwand_intern.
?object :aufwand_extern ?aufwand_extern.
} } GROUP BY ?Projekt
```

Formel 26 - Green KM Cube Ontologie, SPARQL Abfrage (2)

```
SELECT ?Projekt (SUM (?aufwand_intern) AS ?Interner_Gesamtaufwand) (SUM (?aufwand_extern) AS ?Externer_Gesamtaufwand)
WHERE { {?subject :bewertet_Green_Ebene ?object.
?subject :name ?Projekt.
?object :aufwand_intern ?aufwand_intern.
?object :aufwand_extern ?aufwand_extern.
} }
GROUP BY ?Projekt
```

?Projekt	?Interner_Gesamtaufwand	?Externer_Gesamtaufwand
Proj. "Neue Heizung"@de	203312.0	318668.0

Abbildung 93 - Green KM Cube Ontologie, Eigene Entwicklung, Umsetzung in (Stanford University: Protégé, 2016), SPARQL-Abfragebeispiel (2)

Die Green KM Cube Ontologie lässt sich in der Folge in die bestehende UmweltWiS-Ontologie importieren und mit denn dort hinterlegten Umweltkonzepten (z.B. Umweltaktion)

oder Konzepten zur Beschreibung der Vorhaben via der importierten LOD, Publikation oder Mediainformation verknüpfen. Über Fachinformation vorhandene Messwerte können ebenso als Referenzdaten mit den Green KM Cube Bewertungen einbezogen werden.

6.3.3 Erweiterung Benutzeroberfläche

Die Umsetzung der Benutzeroberfläche würde sich ähnlich zu den Beispielumsetzungen in → Kapitel 4.2 gestalten, allerdings würde die Umsetzung einer Web-basierten Oberfläche durch den Einsatz von CSS zusätzliche Design-Möglichkeiten bieten. Ebenso wäre eine derartige Dialogschnittstelle flexibler gestaltbar, als die einer innerhalb der vorgegebenen Struktur eines Tabellenkalkulationsprogramms oder einer integrierten Datenbankanwendung. Folgende Oberfläche ist hierzu denkbar:

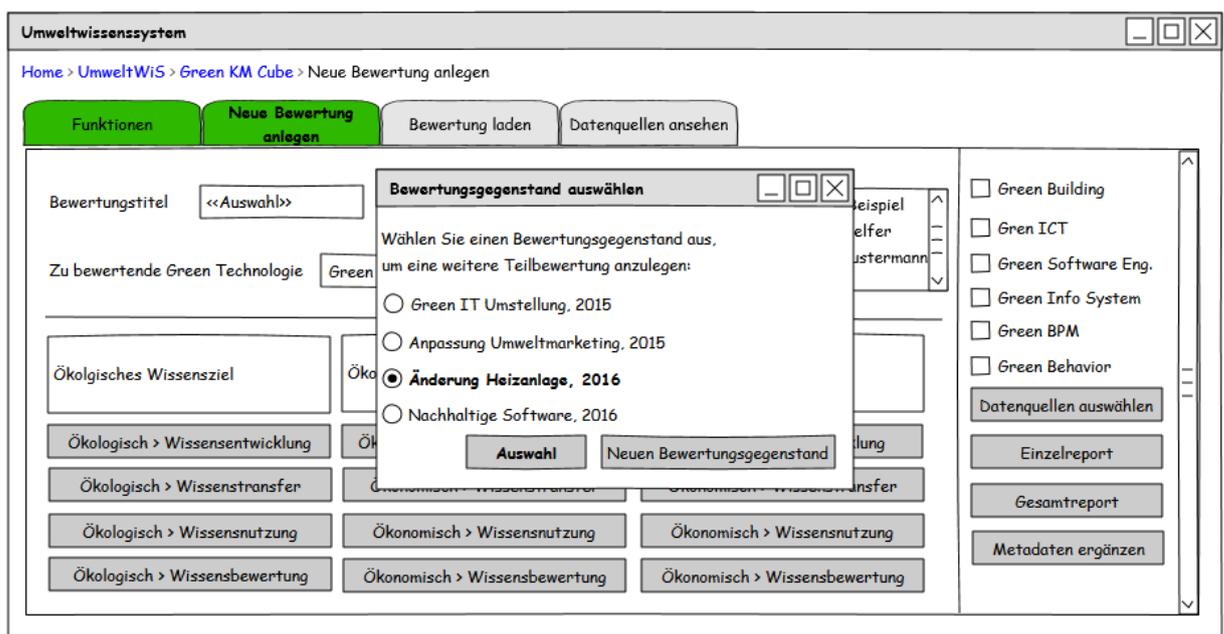


Abbildung 94 - Mockup Green KM in UmweltWiS – Bewertungsgegenstand auswählen, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)

Der GreenKM Cube bietet zwei Hauptansichten, „Neue Bewertung anlegen“ oder „Bewertungsüberblick“. Erstere fragt bei Aufruf ab inwiefern ein bereits bestehender Bewertungsgegenstand durch eine neue Einzelbewertung ergänzt werden soll oder ob ein neuer Bewertungsgegenstand angelegt werden soll. Zu jedem Bewertungsgegenstand können wiederum beliebig viele Einzelbewertungen angelegt werden. Auf diese Weise ist es flexibel möglich einen Bewertungsgegenstand (hier die Änderung der Heizanlage) in nachhaltiger Weise durch verschiedene Stakeholder bewerten zu lassen. Es ist somit für den jeweiligen Anwender möglich die Einzelbewertung über den Knopf „Einzelreport“ einzusehen oder über „Gesamtreport“ alle aktuell für den Report angelegten Bewertungen einzusehen. Möchte man den aktuellen Bewerter dazu animieren seine Bewertung unabhängig von den bereits existierenden Bewertungen durchzuführen, so ist es zu empfehlen die Funktion „Gesamtreport“ erst aktiv zu schalten nachdem die eigene Einzelbewertung angelegt wurde.

Über die Funktion „Datenquellen auswählen“ ist es wiederum möglich die im UmweltWiS hinterlegten Datensammlungen einzusehen und dort zu dem Bewertungsgegenstand passende Quellen als relevant auszuwählen. Auf diese Weise kann eine direkte Abhängigkeit zwischen der Bewertung eines Gegenstands und der Datengrundlage hergestellt werden. Ebenso soll es über Metadaten anlegen möglich sein, dass zu jeder Bewertung ergänzende Metadaten angelegt werden, welche die Bewertung in den semantischen Kontext des UmweltWiS einfügt. In diesem Zusammenhang ist sicherlich zu argumentieren, dass eine Einbindung der Bewertungen in die semantische Struktur kritisch zu sehen ist, da diese als Strategiebewertungen nicht durch alle Anwender sichtbar sein sollten. Ebendies ist in der Logik des UmweltWiS zu verhindern, so dass nur diejenigen Benutzer mit der Berechtigung für den Green KM Bereich des UmweltWiS Einsicht in diese Bewertungsreports erlangen.

Nach Auswahl des Gegenstands öffnet sich die Bewertungsansicht über welche der aktuelle Bewerter ausgewählt werden kann. Alternativ könnte diese Funktion auch durch ein vorheriges anmelden des Benutzers an der Anwendung realisiert werden, so dass immer implizit klar ist wer der momentane Bewerter ist. Nach der Auswahl oder Anmeldung des aktuellen Bewerter ist zudem die zu bewertende Green Technologie auszuwählen, um so Bewertungen aus dem jeweiligen Blickwinkel erzeugen zu können. Die bereits vorhandenen Teilbewertungen werden auf der rechten Seite dargestellt. In dem dargestellten Beispiel wird somit aktuell eine Teilbewertung aus Sicht Green BPM für die Änderung der Heizungsanlage vorgenommen, während bereits Bewertungen zu Green Building und Green Information System durch den aktuellen Bewerter angelegt wurden.

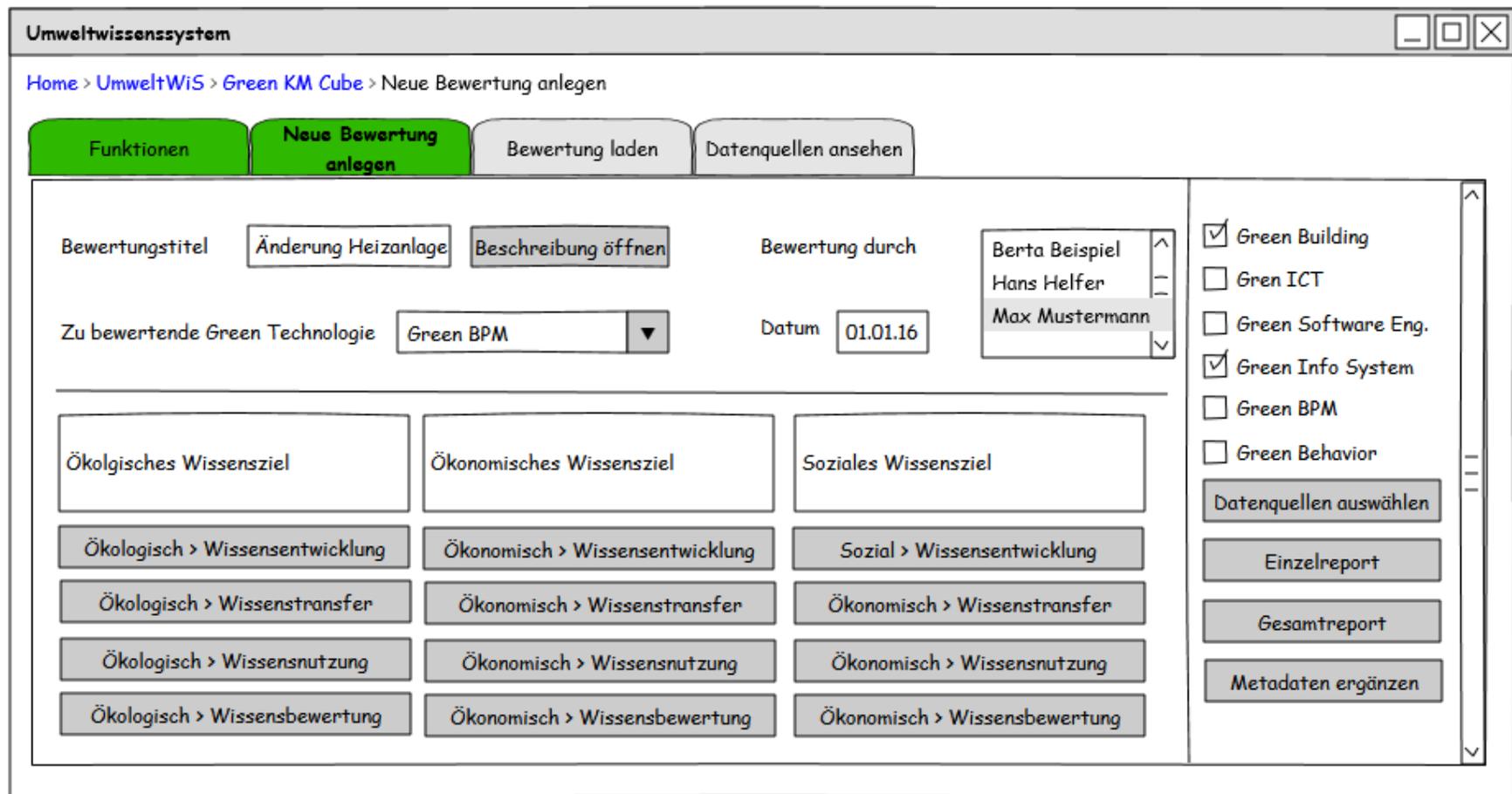


Abbildung 95 - Mockup Green KM in UmweltWiS – Funktionsübersicht, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)

Nachdem der Bewertungsgegenstand neu angelegt oder ein bestehender Bewertungsgegenstand ausgewählt wurde, kann der Anwender im nächsten Schritt die notwendigen Datenquellen auswählen. Diese werden durch das UmweltWiS gespeist. Bei einem Klick auf den Button „Datenquellen auswählen“ könnten somit in einem weiteren Fenster die vorhandenen Datenquellen eingesehen und ausgewählt werden. Dabei bietet es sich an diese sowohl als Graph-Darstellung als auch in tabellarischer Form oder (falls vorhanden) als Diagramm darzustellen. Auf diese Weise hat der Bewerter visuelle Zusammenhänge und Entwicklungen einfacher im Blick, als bei einer reinen textuellen Ausgabe.

Mit der Auswahl der Datenquellen wird das Ziel verfolgt die in der Bewertung gemachten Aussagen durch vorhandenes Material zu unterlegen oder auf Abweichungen hinzuweisen welche durch die Umsetzung der Maßnahme behoben werden können. In den späteren Reportingmöglichkeiten besteht dann die Möglichkeit zu wählen ob die Bewertung mit oder ohne die gewählten Referenzdaten ausgegeben werden soll. Durch die Bereitstellung der Daten soll die Bewertung von einer reinen subjektiven Einschätzung durch den Bewerter auf eine qualifizierte Einschätzung durch hinterlegtes Wissen im UmweltWiS gehoben werden. Dies greift auch implizit den bereits adressierten Aspekt eines Planungs-, Monitoring- und Kontroll-Kreislaufes wieder auf, so dass die bereits bestehenden Wissensartefakte in dem UmweltWiS zur Planung weiterer Green Maßnahmen herangezogen werden können.

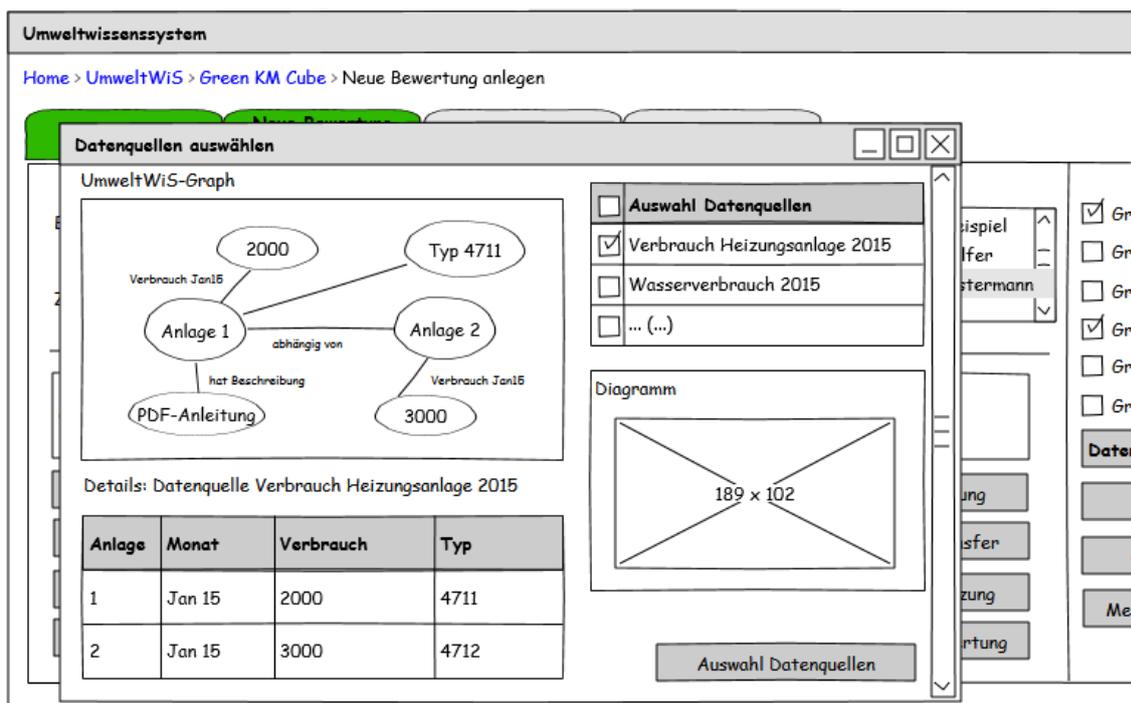


Abbildung 96 - Mockup Green KM in UmweltWiS – Auswahl Datenquellen, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)

Zur Durchführung einer Bewertung kann jeder Bewertungsgegenstand mit Hinblick auf die gewählte Green Technologie anhand ökologischer, ökonomischer und sozialer Wissensziele und hiermit zugehöriger Elemente der Wissensentwicklung, des Wissenstransfers, der Wissensnutzung und Wissensbewertung beschrieben und bewertet werden. Neben der

qualifizierten Beschreibung durch den Bewerter, kann dieser zudem die etwaigen intern und extern entstehenden Kosten abschätzen. Ebenso kann er bewerten mit welcher Priorität der gerade betrachtete Teilschritt (z.B. ökologische Wissensentwicklung für den Bewertungsgegenstand) zu bewerten ist. Diese Bewertungskriterien sind beispielhaft zu sehen, so dass bei der Umsetzung des Konzeptes durchaus zu überlegen ist, inwiefern weitere Faktoren zur Bewertung herangezogen werden sollen.

The screenshot shows a software interface for evaluating Green KM. At the top, it displays 'Zu bewertende Green Technologie: Green BPM', 'Datum: 01.01.16', and the user 'max mustermann'. A modal window titled 'Ökologisch > Wissensentwicklung' is open, showing the following details:

- Beschreibung:** Anforderungen zum Austausch ...
- Aufwand intern in €:** 5000,00 €
- Aufwand extern in €:** 2000,00 €
- Priorität:** Niedrig Normal Hoch
- Bewertung durch:** Berta Beispiel, Max Mustermann
- Zwischenaufwand in €:** 7000,00 €

In the background, a sidebar lists other evaluation criteria: 'Ökologisches Wissensziel', 'Ökologisch > Wissensentwicklung', 'Ökologisch > Wissenstransfer', 'Ökologisch > Wissensnutzung', and 'Ökologisch > Wissensbewertung'.

Abbildung 97 - Mockup Green KM in UmweltWiS – Teilbewertungen anlagen, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)

Die oben genannten 12 Teilschritte der Bewertung je Green Ebene (Ökologisch > Wissensentwicklung, Ökologische Wissenstransfer, ...) können durch den Bewerter flexibel ausgewählt und befüllt werden, sprich der Bewerter muss nicht alle Teilschritte ausfüllen. Lässt er jedoch einzelne Schritte aus, so werden diese in seiner Gesamtbewertung automatisch mit einem Aufwand von 0,00 € kalkuliert. Daher sollte dieser genau abschätzen welche Phasen voraussichtlich nicht vorkommen werden. Nachdem der Bewerter seine Einzelbewertung angelegt hat, kann er über die Funktion „Einzelreport“ die zugehörige Auswertung abrufen. Um dies flexibel zu gestalten, ist in einem weiteren Fenster die Auswahl der Teilschritte vorgesehen welche in dem Report ausgegeben werden sollen. Es gibt dabei die Option nur die ausgewählten Bewertungskriterien auszugeben, diese inkl. der ausgewählten Referenzdaten auszuwählen oder die gesamte Einzelbewertung inkl. Referenzdaten als pdf-Report generieren zu lassen.

The screenshot shows the 'Einzelreport generieren' dialog box. It contains a list of evaluation criteria with checkboxes:

- Auswahl Bewertungskriterien
- Ökologisch > Wissensentwicklung
- Ökonomisch > Wissensentwicklung
- ... (...)

Below the list are three buttons: 'Report (Auswahl)', 'Report (Auswahl) inkl. Referenzdaten', and 'PDF-Report Einzelbewertung'. The background shows the same sidebar as in the previous screenshot, with additional options like 'Green Software I', 'Green Info Systeme', 'Green BPM', and 'Green Behavior' visible.

Abbildung 98 - Mockup Green KM in UmweltWiS – Einzelreport, Darst. mit (Evolus: Pencil, 2016)

Neben dem Einzelreport wird zusätzlich die Funktion eines Gesamtreports für einen Bewertungsgegenstand vorgesehen. Hierzu kann in einem Auswahlfenster festgelegt werden inwiefern ein Report über verschiedene Auswahlkriterien generiert wird, ob dieser inkl. der Referenzdaten generiert wird oder ob ein Gesamtreport aller Teilbewertungen inkl. gewählter Referenzdaten erfolgen soll. Speziell der Gesamtreport hat den Vorteil, dass für jede Teilbewertung eingesehen werden kann welche unterschiedlichen Ansichten die Bewerter zu dem jeweiligen Bereich des Bewertungsgegenstands haben.

Abschließend kann jeder Bewerter zu seiner Bewertung Metadaten ergänzen. Auf diese Weise kann er in Form von Tags die für ihn wichtigsten Aspekte der Bewertung hinzufügen. Dies unterstützt wiederum die Anreicherung der Wissensbasis im UmweltWiS und die Suche nach Bewertungen zu einem bestimmten Thema. Diese Suche kann etwa in dem in der oberen Navigation angedeuteten "Bewertungsübersicht" umgesetzt werden. Wie bereits zuvor angedeutet, ist für die Bewertungsübersicht ein Rechteschema zu definieren, so dass nur die jeweils berechtigten Bewerter die Bewertungen einsehen können. Jeder Bewertungsgegenstand sollte somit mit einer entsprechenden Klassifizierung versehen werden. Ebenso ist darüber nachzudenken inwiefern sich Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Bewertungen ergeben können, so dass bestimmte Vorhaben nur umgesetzt werden können falls andere bereits umgesetzt wurden oder vorab umgesetzt werden. Eine Verknüpfung mit Medainformationen und Publikationen sind ebenso anzustreben.

6.4 Resümee

In den vorherigen Kapiteln wurden mit dem Szenario Forstwirtschaft, dem MatProSQI Konzept und dem der Vernetzung von Daten aus modernen Industrie 4.0 Umgebungen, drei Anwendungsszenarien für den Einsatz des entwickelten UmweltWiS Konzeptes vorgestellt. Bei allen drei steht die Vernetzung anfallender Datenmengen aus ggf. unterschiedlichen Quellen hin zu einer gemeinsamen Wissensbasis im Vordergrund der Betrachtung. Auf Basis einer vernetzten Wissensbasis sind in der Folge die Abfrage und ein Reasoning möglich, welches zuvor durch die getrennten Daten- oder Wissensquellen nicht möglich war. Die Zusammenhänge oder Abhängigkeiten erfasster Waldentwicklungen, gemeinsam eingesetzter Materialien oder gemessener Sensorwerte bieten somit einen Mehrwert, welcher eine fundiertere Entscheidung von folgenden Umweltmaßnahmen nach sich ziehen kann. Es hat sich gezeigt, dass das UmweltWiS-Konzept flexibel auf verschiedene Anwendungskontexte eingesetzt bzw. adaptiert werden kann. Dies wird hauptsächlich durch den modularen Aufbau sowie die Einbindung von externen LOD Quellen ermöglicht. Liegt die semantische Struktur einmal vor, so lässt sich diese beliebig erweitern und durch neue Abfragen ergänzen.

Die Verbindung zwischen den vorgestellten Konzepten des UmweltWiS und des Green KM Cubes ermöglicht zudem die Etablierung eines Entscheidungsunterstützungsinstruments, in welchem diskutierte Umweltmaßnahmen durch unterschiedliche Stakeholder bewertet werden können und dabei die vorhandene Wissensbasis des UmweltWiS als Bewertungsgrundlage mit einbeziehen können. Die entwickelte Green KM Cube Ontologie lässt sich dabei flexibel auch in anderen Kontexten als semantisches Bewertungsinstrument einbeziehen.

7 Re-Usability, Recycling und Reduktion von Wissen

Green KM, Punkt (5): Re-use, Recycling und Reduktion von Wissen

7.1 Definition von Re-use, Recycling und Reduktion von Wissen

In einem abschließenden inhaltlichen Kapitel soll betrachtet werden wie Aspekt 5 der Definition von *Green Knowledge Management*, eine Wiederverwendung, ein Recycling aber auch eine Reduktion von „überflüssigem“ Wissen adressiert werden kann. Recycling selbst kann übersetzt sowohl als Wiederverwendung, Weiterverwendung oder Weiterverwertung definiert werden (Gabler Wirtschaftslexikon: Recycling, 2016). Obgleich die Quelle eine Definition des Wertstoffrecyclings adressiert, kann diese ebenso auf die Wiederverwendung, Weiterverwendung oder Weiterverwertung von Wissen bezogen werden. Die drei Teilaspekte werden daher im Rahmen der vorliegenden Arbeit folgendermaßen interpretiert.

- Die **Wiederverwendung** von Wissen umfasst eine mehrfache oder wiederholte Anwendung von Elementen der Wissensbasis in demselben Anwendungskontext oder demselben thematischen Zusammenhang zu unterschiedlichen Zeitpunkten t .
 - Beispiel: Textblöcke eines Projektantrages zum Zeitpunkt t werden auch in einem Folgeantrag zum Zeitpunkt $t + 1$ wiederverwendet.
- Die **Weiterverwendung** von Wissen kann als eine wiederholte Anwendung von Elementen der Wissensbasis in einem abweichenden Zusammenhang interpretiert werden. Bestehen mehrere Wissensbasen, so kann es auch als die Weiterverwendung eines Wissenslements von Wissensbasis 1 in Wissensbasis 2 aufgefasst werden.
 - Beispiel: Weiterverwendung eines Textblocks einer Produktbeschreibung zum einen im Zuge einer Angebotserstellung, aber auch als Erklärung zu dem Produkt in einer FAQ Seite der Produktwebseite.
- Die **Weiterverwertung** von Wissen wird als eine teilweise oder andersartige Nutzung bestehender Wissenslemente der Wissensbasis in einem anderen thematischen Zusammenhang oder einer anderen Wissensbasis interpretiert.
 - Beispiel: Teile eines Textblocks aus einem Angebot für Produkt 1 werden für die Angebotserstellung von Produkt 2 weiterverwendet und ggf. mit anderen Wissenslementen kombiniert, so das ggf. neues Wissen entsteht.
- Die in der Definition genannte **Reduktion von Wissen** wiederum betrifft die Analyse der Wissensbasis hinsichtlich redundanter, veralteter oder falscher Wissensfragmente.

Die folgende Abbildung visualisiert die zuvor beschriebenen Zusammenhänge:



Abbildung 99 - Re-use, Recycling und Reduktion von Wissen

Eine bestehende Wissensbasis wird hinsichtlich der Elemente untersucht welche wiederverwendet werden können, um in der bestehenden Anwendung bzw. dem bestehenden thematischen Zusammenhang erneut eingesetzt werden zu können. Dies sollte das Kernanliegen einer jeden Wissensbasis sein, die Wiederverwendung der vorhandenen Wissens-elemente. Zusätzlich wird im Zuge von neuen Anwendungskontexten betrachtet inwiefern das Wissen in einer neuen Wissensbasis weiterverwendet werden kann. Die Weiterverwertung von Wissen kann Fragmente umfassen welche sowohl für den bestehenden thematischen Zusammenhang als auch für den neuen Anwendungskontext abweichend verarbeitet eingesetzt werden können. Letztendlich ist in regelmäßigen Abständen eine Untersuchung der Wissensbasis auf veraltetes oder für den bestehenden Arbeitskontext nicht mehr relevantes Wissen zu untersuchen. Dieser Schritt unterstützt das zuvor in der Arbeit untersuchte Thema Green ICT, da durch kleinere Wissensbasen weniger Speicherplatz belegt werden muss und somit Energie bei dem Betrieb der Wissensbasis eingespart werden kann. Ebenso wird durch die Untersuchung und Bewertung der Wissensbasis auf Relevanz, Redundanz und Aktualität die Sicherstellung einer hohen Qualität der Wissensbasis realisiert. Obwohl durch die schier unbegrenzten Wissensquellen in heutiger Zeit Wissen leicht verfügbar ist, ergeben sich durch die auch als „Informationsflut“ bezeichnete Menge an Daten, Informationen und schlussendlich Wissen neue Herausforderungen für das Wissensmanagement. So sind vor allem im Zuge von Big Data und der damit anfallenden großen Menge an zumeist unstrukturierten Daten, Mechanismen zu finden wie diese Datenmengen leicht durchsucht, analysiert und als Teilgraphen veröffentlicht werden können.

Im Zuge der Aktualisierung der DIN ISO Norm 9001:2015 für das Qualitätsmanagement wurde die Ressource Wissen und deren Qualität für die Organisation als ein entscheidender Wettbewerbsfaktor identifiziert (North, Brandner, & Steininger, 2016, S. 9). Es wird dabei aber eine Einschränkung auf relevantes Wissen vorgenommen, indem empfohlen wird nur das Wissen

zu berücksichtigen „*das für die Organisation von Bedeutung ist*“ (North, Brandner, & Steininger, 2016, S. 9) und den gestellten Anforderungen gerecht wird (North, Brandner, & Steininger, 2016, S. 15). Hierbei ergibt sich eine direkte Verbindung zu den Kernkompetenzen der Organisation (North, Brandner, & Steininger, 2016, S. 17). Die Autoren NORTH ET AL. fassen entsprechend die in der ISO entwickelten Anforderungen an das Wissen in drei Kategorien zusammen, so dass im ersten Schritt das Prozesswissen und das Wissen welches für die Dienstleistungen und Produkte relevant ist identifiziert wird. Danach wird im zweiten Schritt die Anforderung gemacht das Wissen entsprechend zu bewahren und situationsbezogen zur Verfügung zu stellen. Der abschließende Punkt ist im Sinne der vorliegenden Betrachtung entscheidend, da die ISO dort fordert das bei Änderungen innerhalb der Organisation oder der Anforderungen an die Produkte und Services eine Betrachtung der notwendigen Aktualisierung des Wissens oder Akquirierung von Zusatzwissen stattfinden muss. (North, Brandner, & Steininger, 2016, S. 10)

Wie bereits im Vergleich der Wissensmanagementmodelle ersichtlich, sehen z.B. PROBST ET AL. (→ 3.2) den Schritt der Wissensbewahrung und Wissensbewertung als Feedbackmechanismus für die Relevanz und ggf. notwendige Anpassung der Wissensziele. So steht in deren Modell im Sinne der Bewahrung zu Anfang eine Selektion des relevanten Wissens. Erst danach wird eine Speicherung oder Ablage des Wissens vorgesehen und schließlich die Umsetzung von Aktualisierungsmechanismen. Mittels Indikatoren oder anderer Verfahren wird das Wissen bewertet und eine Entscheidung getroffen inwiefern die Wissensziele angepasst werden müssen. (Probst, Raub, & Romhardt, 2012) Genau diese Bewertung welches Wissen das Potential der Wiederverwendung, Weiterverwendung oder Weiterverwertung hat, ist im Sinne der Nachhaltigkeit von Wissen zu untersuchen. Gemäß LEHNER sind eine Bewertung der Wissensbasis, der Wissensarbeiter, der Prozesse, Projekte und Systeme im Wissensmanagement möglich (Lehner F. , 2009, S. 219-220). Hierbei nennt er z.B. die Balanced Score Card oder das Benchmarking als Verfahren zur Bewertung des Wissens.

7.2 Realisierung auf strategischer, operativer und technischer Ebene

Anhand der zuvor erarbeiteten Definition für das Recycling und die Reduktion von Wissen kann resümiert werden, das beide Aspekte, wie auch im umgekehrten Fall bei der Erweiterung des Wissens, auf der strategischen, operativen und technischen Ebene zu betrachten sind. „*Nicht nur die Bewahrung von bestehendem Wissen ist wichtig, es kann auch das gezielte „Verlernen“ ein entscheidender Erfolgsfaktor sein*“ (North, Brandner, & Steininger, 2016, S. 36). Hierzu ist eine Bewertung oder Messung von Wissen und dessen Auswirkungen auf den Geschäftserfolg notwendig. Nach PROBST ET AL. (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. 53) setzt sich eine derartige Bewertung von Wissen aus der Betrachtung zusammen inwiefern das vorhandene Wissen einen Wissensvorsprung gegenüber den Wettbewerbern bereitstellt und ob das eigene Wissen effektiv genutzt wird. Spiegelt man die vier durch die Autoren genannten Wissens-Einstufungen “Brachliegende Fähigkeit”, “Hebelfähigkeit”, “Wertlose Fähigkeit” und “Basisfähigkeit” an der nachhaltigen Ausrichtung der Wissensnutzung, so ergeben sich folgende Zusammenhänge: Existiert in der Organisation theoretisch ein hoher Wissensvorsprung, das Wissen liegt jedoch brach und wird nur unzureichend eingesetzt, so findet keine nachhaltige Anwendung des Wissens statt. Das Wissen wird entsprechend nur unzureichend wiederverwendet, weiterverwendet oder -verwertet. Wird ein Teil des Wissens in der Organisation hingegen als “wertlose Fähigkeit”

eingestuft, so ist dieses im Sinne der Wiederverwendung, Weiterverwendung oder Weiterverwertung höchstwahrscheinlich unwichtig und eine nachhaltige Nutzung birgt keinen Wettbewerbsvorteil gegenüber der Konkurrenz. Besteht ein hoher Wissensvorsprung durch das eigene Wissen und das Unternehmen setzt dieses gleichzeitig effektiv ein, so existiert bereits eine hohe Wissensnutzung und ein hohes Potential für eine nachhaltige Anwendung und Weiterentwicklung dieses Wissens. Im Sinne von Green KM ist dies vor allem in den Situationen interessant in denen die ermittelten Kennzahlen aus Umweltmanagement und Umweltbilanzierung in Kontext mit diesem "Hebelwissen" gesetzt werden können. Das ermittelte Umweltwissen sollte entsprechend nicht nur zur Aufstellung statistischer Berichte, sondern vor allem zu einer nachhaltigen Gestaltung der eigenen Produkte und Services sowie zur Reduzierung der damit verbundenen Umweltauswirkungen herangezogen werden. Auf diese Weise lassen sich die Kernprodukte oder Kerndienstleistungen der Organisation aus Blickwinkel Wissens- und Umweltmanagement weiterentwickeln und stellen so nachhaltige Services für den Kunden bereit. Handelt es sich schlussendlich bei dem identifizierten Wissen um eine "Basisfähigkeit", so ist zu bewerten inwiefern diese durch Wiederverwendung, Weiterverwendung oder Weiterverwertung zu einer Hebefähigkeit und somit zu einem wettbewerbsentscheidenden Produkt des Unternehmens weiterentwickelt werden kann.

Obgleich sich die vorhergehenden Betrachtungen als einfach und logisch anhören, ist dennoch die Messung von Wissen aufgrund des immateriellen Charakters schwierig. NORTH kritisiert das die Messung von Wissen (wenn überhaupt) zu einfach gemacht wird und nur die Indikatoren gemessen werden die in das System einfließen, aber weniger der Nutzen oder die Beeinflussung des Geschäftserfolgs durch dieses Wissen. Ebenso merkt er an, dass wenn eine Messung stattfindet eher das Individualwissen und nicht das Kollektivwissen und die Abhängigkeiten zwischen den Mitarbeitern gemessen und bewertet werden (North, 2016, S. 206). Ist es also notwendig eine Einschätzung zu erlangen welches Wissen für eine Organisation nicht mehr notwendig ist, so ist vorgeschaltet eine Wissensmessung oder Wissensbewertung durchzuführen, um auf diese Weise zu ermitteln welches Wissen eher niedrig priorisiert ist und an welchen Stellen erfolgskritisches Wissen vorliegt das idealerweise in unterschiedlichen Anwendungszusammenhängen recycelt und angewendet werden kann.

Die strategische Management-Ebene muss im Rahmen des Wissensmanagements vorgeben in welche Richtung sich die Organisation weiter entwickeln möchte und wo in Zukunft die Kernkompetenzen liegen werden (North, Brandner, & Steininger, 2016, S. 17). Dementsprechend ist abzuleiten oder zu selegieren (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. 203-204) welches Wissen weiter ausgebaut werden muss und welches Wissen im Gegenzug reduziert werden kann. Zudem ist zu bewerten welches aktuell vorhandene Wissen für diese neuen Anforderungen in gleicher oder abweichender Weise weiterverwendet oder weiterverwertet werden kann. Dies würde sich zum Beispiel ergeben wenn ein bestehendes Produkt in anderer Form weiterentwickelt werden soll und das bestehende Wissen für diese Weiterentwicklung ebenfalls weiterverwendet oder weiterverwertet wird.

Folgende Ideen zur Einordnung des Wissens im Bezug auf dessen Recycling lassen sich für die strategische Ebene ableiten:

Zur Bewertung des bestehenden Wissens empfiehlt es sich ein Bewertungsschema zu etablieren, so dass Wissen z.B. anhand einer Priorisierung herauf oder herabgestuft werden kann. Hierzu sind entsprechende Indikatoren zu definieren. Im Zuge der Wissensbilanzierung wird etwa eine Unterteilung in "*deduktiv summarische*" und "*induktiv analytische*" Ansätze genannt, wobei erstere ableiten inwiefern ein Unterschied zwischen "*Marktwert und Buchwert*" der immateriellen Güter einer Organisation liegt, während der induktiv analytische Ansatz herausarbeitet wie die Wissensselemente hinsichtlich ihrer Entwicklung beeinflusst werden und auf operativer und strategischer Ebene gesteuert werden können (North, 2016, S. 210-211). Durch den Einsatz oder die Ergänzung von Meta-Daten zu dem Wissen lassen sich zudem Einsatzzwecke oder Themenfelder zuordnen, um so direkt filtern zu können in welchen Kontexten das Wissen weiterverwendet oder weiterverwertet werden kann. Mittels der Definition von KPI's lassen sich Wissensthemen bewerten und deren Kosten bzw. Nutzen für die bestehende Organisation und die Produkte gegenüberstellen. Eine Reflektion eines abgeschlossenen Projektes oder entstandenen Produktes hinsichtlich des entstandenen Wissens und dessen Recycling in einem Folgeprojekt oder Folgeprodukt sind daher empfehlenswert. Es kann eine Risiko-Analyse z.B. mittels einer Wissensbilanzierung durchgeführt werden, um auf diese Weise zu bewerten welches Wissen bei Verlust relevant ist. Hieraus lässt sich im Umkehrschluss ableiten welches Wissen als eher unkritisch eingestuft werden kann und wo Wissenslücken identifiziert werden können.

Zur Bewertung des Wissens lassen sich neben Verfahren wie der WISSENSBILANZ-TOOLBOX (Wissensbilanz-Toolbox, 2016) auch Synergien mit den zuvor hinsichtlich des Umweltcontrollings oder Nachhaltigkeitscontrollings vorgeschlagenen Methoden aufbauen. Im Sinne des Wissensmanagements wird die Wissensbewertung auf strategischer, operationaler und technischer Ebene durchgeführt. Bei den Umwelt- und Nachhaltigkeitscontrolling-Instrumenten wird ebenso klassifiziert inwiefern das Instrument eher strategisch oder operativ eingesetzt werden kann oder sollte. *Abbildung 100* zeigt eine Zusammenfassung von operativen und strategischen Instrumenten, welche in verschiedenen Literaturquellen zu dem Bereich des Umweltcontrollings gezählt werden. Die Auflistung erhebt nicht den Anspruch auf Vollständigkeit, sondern hat das Ziel einen Überblick zu den verfügbaren Instrumenten zu geben. Da sich die Quellen z. T. bzgl. der Einteilung unterscheiden, lassen sich einzelne Methoden sowohl auf operativer als auch auf strategischer Ebene einordnen. Zusätzlich lassen sich die durch COLSMAN genannten Instrumente des Nachhaltigkeitscontrollings heranziehen: *Nachhaltigkeitscheckliste, Benchmarking, Stakeholderdialog, Kennzahlen, Szenarioanalyse, ABC/XYZ Analyse, Früherkennung, Sustainability Balanced Scorecard, Nachhaltigkeitsbezogene Produktlinienanalyse, EFQM Sustainability Excellence, Input - Output - Outcome - Impact, Nachhaltige Prozesskostenrechnung* (Colsman, 2013, S. 58-78). Wie man erkennen kann überlappen sich die Methoden teilweise. Die ABC(D) Analyse bietet sich speziell bei der Klassifizierung des Wissens in die oben von PROBST ET AL. benannten vier Wissens-Fähigkeiten der Organisation an. Blickt man zudem auf die in (North, 2016, S. 210-224) und (Probst, Raub, & Romhardt, 2012, S. Kapitel 11) genannten Methoden zur Messung von Wissen, so wird in beiden Quellen die Balanced Scorecard genannt. Da sich hier eine Überschneidung hinsichtlich der Sustainability Balanced Scorecard ergibt soll kurz betrachtet werden welche Möglichkeiten diese Methode zur Messung und Bewertung des vorliegenden Wissens hinsichtlich seiner Wiederverwendung, Weiterverwendung bzw. Weiterverwertung aber auch Reduktion bietet. Die Balanced Scorecard ist ein Verfahren welches eine Organisation aus verschiedenen Perspektiven

betrachtet und bewertet: *“der Kundenperspektive, der finanziellen Perspektive, der Perspektive der internen Geschäftsprozesse und der Perspektive des Lernens und des Wachstums.”* (North, 2016, S. 216) Die Erweiterung zu einer Sustainability Balanced Scorecard ergänzt diese vier Perspektiven um die drei Perspektiven der Nachhaltigkeit, wobei SOMMER anmerkt das in der Literatur unterschiedliche Ansätze zur Integration bestehen (Sommer P. , 2010, S. 363). Es ergibt sich daraus zum Beispiel eine kombinierte Betrachtung der drei Nachhaltigkeitsebenen mit den vier Perspektiven der klassischen Balanced Scorecard, von denen eine Kombination die Betrachtung zwischen Lernen/Wissen und ökologischer, ökonomischer und sozialer Nachhaltigkeit ist. Neben der Erweiterung um eine fünfte Ebene haben BUTLER ET AL. zwei weitere Ansätze zur Realisierung einer Green Balanced Scorecard in ihrer Analyse ermittelt: Zum einen die Entwicklung einer Sustainability Variante der BSC welche Nachhaltigkeit fokussiert und die Integration von Nachhaltigkeitsfaktoren in die bestehende BSC-Struktur. Die Autoren sehen als Vorteil die Korrelation von qualitativen und quantitativen Metriken zur nachhaltigen Bewertung einer Thematik und resümieren allgemein dass *„[i]deally, sustainability measures should be woven throughout day-to-day operations, and integrating sustainability measures.“* (Butler, Henderson, & Raiborn, 2011) An diesen Ansätzen erkennt man wie auf unterschiedlichen Ebenen einer Organisation die bestehenden Modelle und Verfahren um den Faktor Nachhaltigkeit erweitert oder direkt integriert werden. Diesen Gedanken verfolgt auch Green Knowledge Management, da eine separate Etablierung einer grünen Wissenmanagementvariante nicht erfolgreich werden kann wenn diese nicht mit den weiteren Betriebs- und Managementaktivitäten einer Organisation verwoben wird.

Umweltcontrollinginstrumente		
Operativ	Strategisch	Operativ/Strategisch
Ökobilanz	Cross-Impact-Analyse	Öko-Benchmarking
Stoffstromanalyse / Input-Output-Analyse	Ökologieorientierte Früherkennungssysteme	Technologiefolgenabschätzung
Umwelt-Audit	Ökologisches Risikioanagement	Umweltchecklisten
Umweltbudgetrechnung	Szenarioanalyse	Umweltorientierte ABC Analyse
Umwelterklärung	Sustainability Balanced Score Card	Umweltorientierte Nutzwertanalyse
Umweltkennzahlensysteme	Umweltorientierte Portfolioanalyse	Umweltverträglichkeitsprüfung
Umweltkostenrechnung		

Abbildung 100 - Zusammenfassender Überblick von Umweltcontrollinginstrumenten nach (Baumast & Pape, 2008, S. 107-111), (Tschandl & Posch, 2012, S. 19-20), (Sommer P. , 2010, S. 333-336), (Schaltegger, Hertzog, Kleiber, Klinke, & Müller, 2007)

Reflektiert man die kombinierte Betrachtung zwischen Nachhaltigkeit und Wissen, so ist diese ebenso Bestandteil des Green KM Cubes (→ *Abbildung 21*) im Zuge der Wissensbewertung, wobei zusätzlich die unterschiedlichen Green Perspektiven betrachtet werden. Hinsichtlich des Recyclings von Wissen lässt sich somit auch der Green KM Cube als ein Instrument einsetzen. Abhängig von den Green Perspektiven (z.B. Green ICT) lässt sich identifizieren ob das vorliegende Wissen geeignet ist oder auch für andere Anwendungszwecke weiterverwendet werden kann.

Nach der Betrachtung der strategischen Ebene sind in der Konsequenz auf organisatorischer Ebene Prozesse und ggf. weitere Controllinginstrumente zu implementieren, welche zum einen das zuvor identifizierte „wertlose Wissen“ reduzieren, zum anderen aber auch das bisher vorhandene Wissen hinsichtlich dessen Recycling einordnen. Ein Wissensmanagementmodell welches sehr auf die Qualität des Wissens ausgerichtet ist und hier Anwendung finden könnte ist beispielsweise das BITKOM Modell (→ *Kapitel 3.2*), (BITKOM, 2009).

Zu der **Reduktion** des Wissens gehört auch das „Verlernen“ von „wertlosem Wissen“ welches durch technologische Weiterentwicklungen obsolet ist oder bislang falsch angewendet wurde und keinen Wettbewerbsvorteil gegenüber den Konkurrenten bietet. Eine Reduktion von Wissen ist kein einfaches Abschalten einer Datenbank. Hierbei handelt es sich auch um prozessuale Veränderungen, da an der Reduktion des Wissens die Mitarbeiter beteiligt sein müssen, ansonsten würde das bestehende und eventuell veraltete Wissen weiter angewendet, obgleich die strategische Ausrichtung eine andere darstellt. Es handelt sich hierbei entsprechend um einen Ansatz bei welchem das Wissen der Organisation und der Mitarbeiter „umzustellen“ ist. Erst wenn die operativen Prozesse etabliert wurden kann die Wissensreduktionsstrategie in den technischen Systemen umgesetzt und an die Wissensnutzerguppen kommuniziert werden. Hierzu sollte Schrittweise vorgegangen werden, da ansonsten bei den Mitarbeitern Zweifel hinsichtlich der Richtigkeit und Aktualität des Wissens aufkommen können. Das **Recycling** von Wissen wiederum kann nur durch verbesserte Wissensverteilungsprozesse realisiert werden, da Mitarbeiter nur in der Lage sind bestehendes Wissen erneut oder in einem anderen Kontext anzuwenden, wenn sie dieses auf einfache Weise erhalten oder aus bestehenden Systemen abrufen können. Die technischen Systeme sind der „Enabler“ eines einfachen Wissensrecyclings. Da nur bei leichter Auffindbarkeit durch die Mitarbeiter gewisse Textblöcke oder Wissensfragmente recycelt eingesetzt und nicht neu erstellt werden. Folgende Ideen zur Einordnung des Wissens hinsichtlich einer Wiederverwendung, Weiterverwendung oder Weiterverwertung lassen sich ableiten:

Zur Bewertung des bestehenden Wissens empfiehlt es sich dieses durch mehrere Mitarbeiter durchführen zu lassen und nicht nur durch die subjektive Einschätzung einer Person. Dabei sollte versucht werden diesen Vorgang in den Arbeitsalltag zu integrieren, um hier keinen weiteren Arbeitsaufwand zu erzeugen. Es liese sich so z.B. ein Bewertungsschema etablieren, so dass Wissen z.B. anhand einer Priorisierung herauf oder herab gestuft werden kann. Dieses ist den Anwendern aufgrund von Social Media Erfahrungen bzgl. „like“ und „dislike“ Buttons bereits bekannt, so dass eine Bewertung von Wissen relativ einfach erscheint. Ein reines „like“ oder „dislike“ erscheint an dieser Stelle aber nicht aussagekräftig genug, es müsste stattdessen eine feinere Bewertung eines Wissensartefakts möglich werden, wie etwa durch:

- **Korrekt** (Bewertung durch Leser, dass das Wissen inhaltlich korrekt)
- **Überarbeiten** (Bewertung, dass das Wissen inhaltlich fehlerhaft und zu überarbeiten ist)
- **Recyclen** (Bewertung, dass das Wissen anderweitig verwertet werden kann)
- **Alt** (Bewertung bei veraltetem Wissen)
- **Irrelevant** (Bewertung bei nicht relevantem Wissen: „Überflüssiges Wissen“)
- ...

Durch den Einsatz oder die Ergänzung von Meta-Daten zu dem Wissen lassen sich zudem Einsatzzwecke oder Themenfelder zuordnen oder auswerten, um so direkt filtern zu können in welchen Kontexten das Wissen weiterverwendet oder weiterverwertet werden kann. Im Zuge des vorgestellten Umweltwissensystems wurde der Einsatz von semantischen Technologien zur Umsetzung und Strukturierung der Wissensbasis vorgestellt. Dies hat auch im Zuge des Reuse und Recyclings von Wissen einen entscheidenden Vorteil. Wissen welches bereits in Graphstrukturen vorstrukturiert und vernetzt ist kann in kleinere Teilgraphen aufgeteilt und weiterverwendet werden. Die folgende Abbildung zeigt dies schematisch indem aus dem bereits zuvor dargestellten Graphen ein Teilgraph als Block genutzt und in einem neuen Kontext weiterverwendet werden kann.

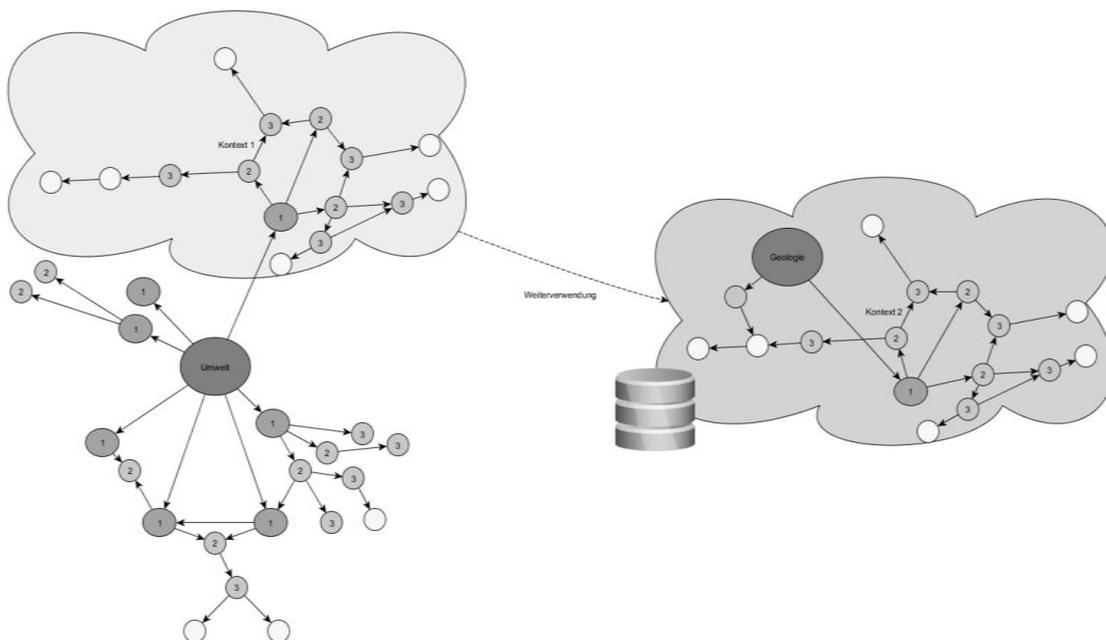


Abbildung 101 - Teilgraphen der Wissensbasis

Hierzu ist es notwendig entsprechende Anknüpfungspunkte zu finden. Dies ist bei einer semantischen Strukturierung aber relativ einfach, da durch die Erzeugung einer neuen Kante in dem vorhandenen Graph dieser Anknüpfungspunkt geschaffen werden kann. Betrachtet man das UmweltWiS als vorhandenes Wissensbasiertes System für die Verwaltung der Wissensartefakte bzw. -elemente, so ist es denkbar den bestehenden semantischen Graph zu analysieren und auf diese Weise zu ermitteln welche Teile des Graphen ggf. seit langer Zeit nicht mehr aktualisiert wurden, welche ggf. nicht mehr erreichbar sind oder in der Zwischenzeit an den äußeren Rand

gerückt sind. Interessant ist auch wo die neusten Wissensinhalte und die meisten Änderungen im Graph vorgenommen werden. Durch die Einbindung der Stakeholder oder Autoren in die Betrachtung des Wissensgraphen lassen sich zusätzlich Erkenntnisse ermitteln welche Autoren in welchen Themengebieten Experten sind und welche Themen miteinander in Zusammenhang stehen. Wie aus den Anwendungsfällen ersichtlich, lassen sich gänzlich unterschiedliche Themen vor dem Hintergrund des Umweltmanagements betrachten und miteinander in Verbindung setzen. Ein Einsatz von unterschiedlichen Varianten von Wissenskarten (Arten siehe u.a. (Lehner F. , 2009, S. 192-197)) ist hier denkbar. *Wissensanlagekarten* oder Knowledge Asset Maps werden etwa zur Abbildung des Wissensbestands angewendet, während *Wissensstrukturkarten* zur Darstellung logischer Zusammenhänge dienen. *Wissensanwendungskarten* ordnen Wissens Elemente Geschäftsvorfällen oder Prozessschritten zu.

Technische Systeme wie Datenbanksysteme oder Content Management Systeme unterstützen die Einordnung bzgl. der Aktualität des abgelegten Wissens zusätzlich durch den Einsatz von Versionierung, Änderungshistorien oder Sortiermechanismen. Dies kann den Vorgang der Wissensreduktion unterstützen, indem mittels eigener Algorithmen längere Zeit nicht geänderte oder betrachtete Inhalte als potentiell "veraltet" oder "irrelevant" klassifiziert werden. Im Anschluss müssten Experten einen Lösch- oder Archivvorgang durchführen bei dem das klassifizierte Wissen betrachtet und verschoben wird. Das Recycling von Wissen wiederum lässt sich technisch durch den Einsatz von Data oder Text Mining Ansätzen unterstützen indem die Verfahren auf die bestehende Wissensbasis angewendet werden, um Inhalte mit ähnlichem Kontext zu ermitteln und dann zu extrahieren und in neuem Kontext einzusetzen.

Resümierend ist zusammenzufassen, dass bereits Ansätze zur Bewertung von Wissen bestehen, aber auch Methoden aus den Bereichen Umweltcontrolling und Nachhaltigkeitsmanagement zu einer Einschätzung hinsichtlich Reusability, Recycling und Reduktion von Wissen Anwendung finden können. Als ein Faktor der Definition von Green Knowledge Management ist sicherlich im Hinblick auf immer größer werdende Datenmengen und eine Unübersichtlichkeit des eigenen Wissens eine Forschung in diesem Themengebiet weiter zu verfolgen, um so auch praktische Ansätze in Organisationen auszurollen welche möglichst automatisiert eine Bewertung und Priorisierung von Wissen durchführen können.

8 Fazit & Ausblick

Die vorgelegte Arbeit fokussiert die Herleitung und Definition eines Green Knowledge Managements, also eines „Grünen Wissensmanagements“. Dabei handelt es sich um eine Variante des Wissensmanagements welche die Unterstützung von ökologischer Nachhaltigkeit, Umweltmanagement und Green Ansätzen fokussiert. Zur Entwicklung von Green KM wurden daher zu Beginn der Arbeit die Themen Nachhaltigkeit, im Speziellen ökologische Nachhaltigkeit, Umweltmanagement und Umweltinformationssysteme und deren Einsatz im öffentlichen und betrieblichen Umfeld gelegt. In diesem Zusammenhang wurde der Stand der Forschung aufbereitet, um in der Folge die Schwachstellen hinsichtlich der Wissensnutzung innerhalb dieser Verfahren aufzuarbeiten. In der anschließenden Betrachtung von Green Technologien wurde dieses Vorgehen ebenso verfolgt. Während in der recherchierten Literatur häufig nur ein bis zwei der adressierten Green Technologien fokussiert werden, wurde an dieser Stelle herausgearbeitet wie diese innerhalb einer Organisation miteinander interagieren sollten, um einen optimalen Nutzen der Green Maßnahmen zu erlangen, da die Fokussierung auf eine der Technologien (z.B. Green ICT) nicht zwingend die Nachhaltigkeit der gesamten Organisation verbessert. Ein Grund liegt darin, dass die Maßnahmen oder das Verständnis für derartige Ansätze auf einen Bereich oder ein Themenfeld beschränkt bleiben und das notwendige Wissen nicht ausreichend zwischen den Abteilungen verteilt wird. Zur Schaffung eines aus Sicht des Wissensmanagements ganzheitlichen Ansatzes wurden daher bestehende Modelle des Wissensmanagements analysiert und miteinander verglichen, um auf Basis dieser Untersuchung die wichtigsten Schritte des Wissensmanagements für das spätere Green Knowledge Management abzuleiten. Die erarbeitete Definition von Green Knowledge Management setzt sich dabei aus fünf Teilaspekten zusammen, welche in der Konsequenz eingehender betrachtet wurden:



Abbildung 102 - Fazit Green KM

- Green KM (1): Unterstützung des bestehenden Umweltmanagements durch passende Wissensmanagementtechniken.* Der erste Teilaspekt von Green KM wurde mittels einer theoretischen Analyse einer möglichen Interaktion zwischen Umweltmanagement, Green Technologien und Wissensmanagement realisiert. Hierzu wurde auch analysiert wie Wissensmanagementsysteme oder Wissensbasierte Systeme in diesem Kontext Anwendung finden können und welcher Nutzen sich für das spätere Umweltwissenssystem hieraus ziehen lässt.
- Green KM (2): Einbringung von ökologisch nachhaltigen Ansätzen in bestehende Wissensmanagementmodelle und –methoden.* Zur Umsetzung dieses Aspektes wurde analysiert wie anhand der verglichenen Wissensmanagementmodelle die wichtigsten Wissensmanagementschritte mittels Faktoren aus dem Umweltmanagement ergänzt oder kombiniert werden können, um so Nachhaltigkeit und Umweltmanagement durch ein angepasstes Grünes Wissensmanagement direkt unterstützen zu können.
- Green KM (3): Integration von Green X Technologien in ein ganzheitliches Modell, um so redundante oder sich widersprechende Nachhaltigkeitsmaßnahmen zu vermeiden und Entscheidungsunterstützung zu ermöglichen.* Der dritte Aspekt von Green KM wurde ausführlich betrachtet indem ein Green KM Cube entwickelt wurde welcher eine Zusammenführung der einzelnen Green X Technologien in ein Modell betrachtet. Der Green KM Cube hat dabei drei Dimensionen welche eine (1) gleichzeitige Betrachtung von Green X Technologien, (2) Wissensmanagementphasen zur Unterstützung der Umsetzung der ausgewählten Technologien und (3) die drei Säulen der Nachhaltigkeit in einem Modell umfassen. Auf diese Weise ist eine Bewertung und Interaktion von Green X im Zuge von Umweltmanagementmaßnahmen ganzheitlich durch Unterstützung von Green KM möglich. Die Bewertung kann dabei qualitativ und quantitativ erfolgen und wurde mit Hilfe von zwei entwickelten Prototypen demonstriert, welche mit Hilfe von Tabellenkalkulations- und Datenbanksoftware umgesetzt wurden. Im späteren Verlauf erfolgt ebenso eine Umsetzung in Form einer Ontologie als Erweiterung zu dem in (4) entwickelten Umweltwissenssystem.
- Green KM (4): Erweiterung von Umweltinformationssystemen hin zu Umweltwissenssystemen durch den Einsatz von semantischen Technologien.* Der Hauptfokus der Betrachtung von Green KM liegt auf der Konzeption und Entwicklung eines Umweltwissenssystems als Erweiterung bestehender Konzepte für Umweltinformationssysteme. Das UmweltWiS setzt dabei auf den Einsatz von semantischen Technologien zur Anreicherung und Vernetzung von Datenquellen unterschiedlicher Herkunft. Hierzu wurden Verfahren aus dem Bereich der Linked Open Data Verarbeitung untersucht und einzelne Prozessbausteine des UmweltWiS-Modells auf Basis bestehender Literatur erarbeitet und detailliert. Mit Hilfe von Anwendungsfällen aus dem öffentlichen (Forstwirtschaft) und betrieblichen (Materialkunde und Cyberphysikalische Produktionssysteme) Umfeld wurde die flexible Einsatzfähigkeit des erarbeiteten Modells demonstriert, wobei die Logikschicht hinsichtlich der Vernetzung und Anreicherung beispielhaft dargestellt wurden. Ein Aspekt der Betrachtung war dabei wie die Wissensqualität in CPPS durch die Umsetzung der semantischen Vernetzung verbessert werden kann, um so letztendlich fundiertere Entscheidungen treffen zu können.

Green KM (5): **Re-use, Recycling und Reduktion von Wissen.** Der abschließende Teilaspekt von Green KM umfasst die Wiederverwendung, aber auch Reduktion von nicht mehr relevantem oder aktuellem Wissen. Hierzu wurden im ersten Schritt aktuelle Erkenntnisse zum Stand der Forschung hinsichtlich der Wiederverwendung und der Reduktion von Wissen untersucht. Zusätzlich wurde die praktische Umsetzung im Zuge einer Szenariobetrachtung einer modernen Produktionsumgebung analysiert, in welcher bewertet wurde welches Wissen noch von Relevanz ist und wo ein Vergessen, eine Archivierung oder lediglich Ausblendung von Produktinformationen zur Reduktion von Wissen empfehlenswert ist.

Zusammenfassend wurde das Thema *Green Knowledge Management* als neuer Ansatz zur Unterstützung ökologischer Nachhaltigkeit und Umweltmanagement durch die Bereitstellung, Vernetzung und Anreicherung geeigneten Umweltwissens erarbeitet. Die fünf vorgestellten Themen des Green KM wurden im Rahmen der Arbeit konzeptuell und mit Hilfe von Anwendungsfällen und prototypischen Umsetzungen unterlegt.

Als Ausblick der Arbeit ist natürlich eine Weiterführung des Green Knowledge Management Gedankens und eine umfassendere Umsetzung der Prototypen anzustreben ebenso wie eine Vorstellung und Einbringung des Konzeptes in eine Organisation oder im Rahmen der Verbesserung eines öffentlichen Umweltinformationssystems. Durch eine Umsetzung eines umfassenden Umweltwissenssystems mit Hilfe eines Praxispartners ergeben sich ggf. notwendige Verfeinerungen und Ergänzungen der Architektur des Umweltwissenssystems. Ebenso besteht das Potential den vorgestellten Green Knowledge Management Cube im Rahmen eines Data Warehouses in einer umfangreicheren Realisierung umzusetzen oder in Anlehnung an → *Kapitel 6.3* in das Umweltwissenssystem zu integrieren und als ein Bestandteil zur Entscheidungsunterstützung zu realisieren. Auch eine Formalisierung und Publikation der Green KM Cube Ontologie ist eine anzustrebende Zielsetzung.

Im Hinblick auf das in → *Kapitel 7* beschriebene Recycling und die Reduktion von Wissen ergeben sich Potentiale zur weiteren wissenschaftlichen Forschung. Es stellt sich zum Beispiel die offene Forschungsfrage wie Wissen automatisiert klassifiziert und bewertet werden kann, um einzuordnen ob dieses für eine Wiederverwendung, Weiterverwendung oder Weiterverwertung geeignet ist oder ob dieses anhand verschiedener Faktoren veraltet ist und ein Kandidat zur Reduzierung der Wissensbasis ist.

Abschließend wird zudem mit der Veröffentlichung von Publikationen und der vorliegenden Arbeit die Hoffnung verbunden den Begriff des Green Knowledge Managements bzw. des Grünen Wissensmanagement als ein Teilgebiet des Wissensmanagements bekannt zu machen und in den kommenden Jahren als Schnittstelle zwischen Umweltmanagement und Wissensmanagement zu etablieren.

Literaturverzeichnis

- Abecker, A., Heidmann, C., Hofmann, C., & Kazakos, W. (2013). Veröffentlichung von Umweltdaten als Open Data. In Umweltbundesamt (Hrsg.), *Umweltinformationssysteme - Wege zur Open Data - Mobile Dienste und Apps*, 20. Workshop des Arbeitskreises "Umweltinformationssysteme" der Fachgruppe "Informatik und Umweltschutz" (S. 67-83). Berlin: Umweltbundesamt.
- Abecker, A., Kazakos, W., Nagypal, G., & Valikov, A. (2011). Semantische Technologien und Geodaten - das HIPPOLYTOS-Projekt. In J. Strobl, T. Blaschke, & G. Griesebner (Hrsg.), *Angewandte Geoinformatik 2011* (S. 716-721). Berlin/Offenbach: Herbert Wichmann Verlag, VDE VERLAG GMBH.
- Agenda 21. (1992). *Agenda 21 - Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung, Vollständige Fassung als PDF*. Abgerufen am 08. 08 2016 von http://www.un.org/depts/german/conf/agenda21/agenda_21.pdf
- AGROVOC:Aufbau. (2016). *AGROVOC Aufbau*. (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)) Abgerufen am 17. 05 2016 von Agricultural Information Management Standards: <http://aims.fao.org/aos/agrovoc/void.ttl>
- AGROVOC:Beispiel "Forestry". (2016). *Nutzung AGROVOC zur Begriffsdefinition, Beispiel "Forestry"*. (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)) Abgerufen am 06. 05 2016 von SKOSMOS: http://oek1.fao.org/skosmos/agrovoc/en/page/c_3055
- AGROVOC:Linked-Data. (2016). *AGROVOC - Linked Data*. (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)) Abgerufen am 21. 04 2016 von Agricultural Information Management Standards: <http://aims.fao.org/standards/agrovoc/linked-open-data>
- AGROVOC:SPARQL-Endpunkt. (2016). *AGROVOC, SPARQL-Endpunkt*. (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)) Abgerufen am 17. 05 2016 von <http://202.45.139.84:10035/catalogs/fao/repositories/agrovoc>
- Anastas, P., & Zimmerman, J. B. (2003). Design through the Twelve Principles of Green Engineering. *Env. Sci. Tech.* 2003 , 37 (5), S. 94A-101A.
- Ansari, F., Dornhöfer, M., & Fathi, M. (2016). Ein meta-analytischer Ansatz zur kontinuierlichen Verbesserung der Wissensqualität aus Cyber-physikalischen Produktionssystemen. In R. R. al. (Hrsg.), *Qualitätsmanagement 4.0 - Status Quo ! Quo vadis?, Bericht der GQW-Jahrestagung 2016, 25-26. Februar 2016, Bd. 6 (S. 187-206)*. Kassel: Universität Kassel.**
- Ansari, F., Uhr, P., & Fathi, M. (2014). Textual Meta-analysis of Maintenance Management's Knowledge Assets. *International Journal of Services, Economics and Management (IJSEM), Inderscience Enterprises Ltd.* , 6 (1), S. 14-37.
- Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland. (2016). *ALKIS® - was ist das?* Abgerufen am 08. 08 2016 von Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem (ALKIS®): <http://www.adv-online.de/ADV-Produkte/Liegenschaftskataster/ALKIS/>
- Ashino, T. (08. 07 2010). Materials Ontology: An Infrastructure for Exchanging Materials Information and Knowledge. *Data Science Journal* , 9, S. 54-61.
- Atemezing, G., Corcho, O., Garijo, D., Mora, J., Poveda-Villalón, M., Rozas, P., et al. (2013). Transforming Meteorological Data into Linked Data. *Semantic Web Journal* , 4 (3), S. 285-290.
- Athan, T., Boley, H., & Paschke, A. (2015). RuleML 1.02: Deliberation, Reaction, and Consumer Families. In N. Bassiliades et al. (Hrsg.), *Proceedings of the RuleML 2015 Challenge, the Special Track on Rule-based Recommender Systems for the Web of Data, the Special Industry Track and the RuleML 2015 Doctoral Consortium hosted by the 9th International Web Rule Symposium (RuleML 2015)*. Berlin, 2-5 August 2015, Abgerufen am 08.08.2016 von CEUR Workshop Proceedings: <http://ceur-ws.org/Vol-1417/paper6.pdf>.
- Auer, S. (2014). Introduction to LOD2. In S. Auer, V. Bryl, & S. Tramp (Hrsg.), *Linked Open Data - Creating Knowledge Out of Interlinked Data - Results of the LOD2 Project* (S. 1-17). Heidelberg: Springer-Verlag, LNCS 8661.
- Auer, S., Bryl, V., & Tramp, S. (Hrsg.). (2014). *Linked Open Data - Creating Knowledge Out of Interlinked Data - Results of the LOD2 Project*. Heidelberg: Springer-Verlag, LNCS 8661.
- Auer, S., Lehmann, J., & Ngonga Ngomo, A.-C. (2011). Introduction to Linked Data and Its Lifecycle on the Web. In A. Polleres, C. d'Amato, M. Arenas, S. Handschuh, P. Kroner, S. Ossowski, et al. (Hrsg.),

- Reasoning Web. Semantic Technologies for the Web of Data.* (S. 1-75). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, LNCS 6848.
- Auer, S., Pietzsch, R., & Unbehauen, J. (2014). Datenintegration im Unternehmen mit Linked Enterprise Data. In T. Pellegrini, H. Sack, & S. Auer (Hrsg.), *Linked Enterprise Data. Management und Bewirtschaftung vernetzter Unternehmensdaten mit Semantic Web Technologien* (S. 85-101). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, X.media.press.
- Back, A., Gronau, N., & Tochtermann, K. (Hrsg.). (2009). *Web 2.0 in der Unternehmenspraxis. Grundlagen, Fallstudien und Trends zum Einsatz von Social-Software* (2. Ausg.). München: Oldenbourg.
- Bandholtz, T., & Fock, J. (2012). Linked Environment Data - Getting Things Connected. *Proceedings of the First European Data Forum (EDF), June 6-7 2012*. Kopenhagen, Dänemark, Abgerufen von <http://ceur-ws.org/Vol-877/poster1.pdf>.
- Bandholtz, T., Rüther, M., & Fock, J. (2013). Datenintegration durch semantische Normalisierung. In Umweltbundesamt (Hrsg.), *Umweltinformationssysteme - Wege zur Open Data - Mobile Dienste und Apps, 20. Workshop des Arbeitskreises "Umweltinformationssysteme" der Fachgruppe "Informatik und Umweltschutz"* (S. 99-107). Berlin: Umweltbundesamt.
- Barnaghi, P., Compton, M., Corcho, O., García Castro, R., Graybeal, R., Herzog, A., et al. (28. 06 2011). *Semantic Sensor Network XG Final Report, W3C Incubator Group Report 28 June 2011*. (L. Lefort, C. Henson, & K. Taylor, Hrsg.) Abgerufen am 11. 07 2016 von W3C: <https://www.w3.org/2005/Incubator/ssn/XGR-ssn-20110628/>
- Barth, M., Joeres, T., & Kleinschmidt, H. (2010). Betriebliches Gesundheitsmanagement - Gesundes und kreatives Arbeiten im Büro. In D. Spath, W. Bauer, & S. Rief (Hrsg.), *Green Office. Ökonomische und ökologische Potenziale nachhaltiger Arbeits- und Bürogestaltung* (S. 301-317). Wiesbaden: Gabler Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Bauer, A., & Günzel, H. (Hrsg.). (2013). *Data Warehouse Systeme - Architektur, Entwicklung, Anwendung* (4. Ausg.). Heidelberg: dpunkt.verlag.
- Bauer, F., & Kaltenböck, M. (2011). *Linked Open Data: The Essentials - A Quick Start Guide for Decision Makers*. Wien: edition mono/monochrom.
- Bauer, W., Rief, S., & Jurecic, M. (2010). Ökonomische und ökologische Potenziale nachhaltiger Arbeits- und Bürogestaltung. In D. Spath, W. Bauer, & S. Rief (Hrsg.), *Green Office - Ökonomische und ökologische Potentiale nachhaltiger Arbeits- und Bürogestaltung* (S. 13-35). Wiesbaden: Gabler Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Bauernhansl, T., ten Hompel, M., & Vogel-Heuser, B. (Hrsg.). (2014). *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Baumann, W., Kössler, W., & Promberger, K. (2005). *Betriebliche Umweltmanagementsysteme - Anforderungen - Umsetzung - Erfahrungen* (Bde. Management und Unternehmenskultur - Schriftenreihe der Europäischen Akademie Bozen). Wien: Linde.
- Baumast, A., & Pape, J. (Hrsg.). (2008). *Betriebliches Umweltmanagement - Nachhaltiges Wirtschaften im Unternehmen* (3. Ausg.). Stuttgart: Ulmer.
- Bayerl, S., & Granitzer, M. (2014). Linked Enterprise Data - Management und Bewirtschaftung vernetzter Unternehmensdaten mit Semantic Web Technologien. In T. Pellegrini, H. Sack, & S. Auer (Hrsg.), *Linked Data Warehousing* (S. 177-192). Berlin, Heidelberg: Springer Verlag, X.media.press.
- Beierle, C., & Kern-Isberner, G. (2014). *Methoden wissensbasierter Systeme - Grundlagen, Algorithmen, Anwendungen* (5. Ausg.). Wiesbaden: Vieweg + Teubner, GWV Fachverlage GmbH.
- Berkhout, F., & Hertin, J. (2001). *Impacts of Information and Communication Technologies on Environmental Sustainability: speculations and evidence*. University of Sussex, United Kingdom.
- Berners-Lee, T. (2006/2009). *Linked Data - Design Issues*. Abgerufen am 08. 08 2016 von W3C: <http://www.w3.org/DesignIssues/LinkedData.html>
- Binner, H. F. (2007). *Pragmatisches Wissensmanagement - Systematische Steuerung des intellektuellen Kapitals* (Bde. REFA - Fachbuchreihe Unternehmensentwicklung). Weinheim/Bergstraße: Hanser Verlag.
- Bioportal: EnvO. (2016). *Environment Ontology*. Abgerufen am 17. 05 2016 von Bioportal: <https://bioportal.bioontology.org/ontologies/ENVO>

- Bischof, C., & Winkler, H. (2012). Zeitgemäßes Umweltcontrolling mit SAP. In M. Tschandl, & A. Posch (Hrsg.), *Integriertes Umweltcontrolling - Von der Stoffstromanalyse zum Bewertungs- und Informationssystem* (S. 207-230). Wiesbaden: Gabler Verlag, Springer Fachmedien.
- BITKOM. (2009). *Wissensmanagement-Prozess-Systematik - Überblick und Checkliste für die Aktivitäten von Wissensmanagement in Organisationen*. Berlin: Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V., Abgerufen am 08.08.2016 von: <https://www.bitkom.org/Publikationen/2009/Leitfaden/Wissensmanagement-Prozess-Systematik/091113-WM-Prozess-Systematik.pdf>.
- Bleicher, K. (2004). *Das Konzept integriertes Management: Visionen - Missionen - Programme* (7. Ausg.). Frankfurt a.M.: Campus Verlag.
- Blumauer, A. (2014). Linked Data in Unternehmen. Methodische Grundlagen und Einsatzszenarien. In T. Pellegrini, H. Sack, & S. Auer (Hrsg.), *Linked Enterprise Data. Management und Bewirtschaftung vernetzter Unternehmensdaten mit Semantic Web Technologien* (S. 3-20). Berlin Heidelberg: Springer Verlag, X.media.press.
- Bodendorf, F. (2006). *Daten- und Wissensmanagement* (2. Ausg.). Berlin/Heidelberg: Springer.
- Bohlouli, M., Dalter, J., Dornhöfer, M., Zenkert, J., & Fathi, M. (2015). Knowledge Discovery from Social Media using Big Data provided Sentiment Analysis (SoMABiT). *Journal of Information Science*, Vol. 41 (6), S. 779–798, DOI: 10.1177/0165551515602846.**
- Boley, H., Athan, T., Paschke, A., Giurca, A., Bassiliades, N., Governatori, G., et al. (23. 06 2016). *Specification of Deliberation RuleML 1.02*. Abgerufen am 08. 08 2016 von RuleML: http://wiki.ruleml.org/index.php/Specification_of_Deliberation_RuleML_1.02
- Boley, H., Athan, T., Paschke, A., Guirca, A., Bassiliades, N., Governatori, G., et al. (12. 10 2015). *Specification of Consumer RuleML 1.02*. Abgerufen am 15. 04 2016 von RuleML: http://wiki.ruleml.org/index.php/Specification_of_Consumer_RuleML_1.02
- Brauweiler, J. (2010). Umweltmanagementsysteme nach ISO 14001 und EMAS. In M. Kramer (Hrsg.), *Integratives Umweltmanagement - Systemorientierte Zusammenhänge zwischen Politik, Recht, Management und Technik* (S. 279-320). Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Breitman, K. K., Casanova, M. A., & Truszkowski, W. (2007). *Semantic Web. Concepts, technologies and applications*. New York: Springer-Verlag.
- Bretz, H. (14. 10 2008). *Müllwelten: Fakten, Hintergründe, Beispiele - Materialien für Schule und Unterricht - 5.1 Müll in aller Welt*. Abgerufen am 08. 08 2016 von Stadt Köln, Umwelt- und Verbraucherschutzamt (Hrsg.): <http://www.stadt-koeln.de/mediaasset/content/pdf57/65.pdf>
- Bryl, V., Bizer, C., Isele, R., Verlic, M., Gill Hong, S., Jang, et al. (2014). Interlinking and Knowledge Fusion. In S. Auer, V. Bryl, & S. Tramp (Hrsg.), *Linked Open Data - Creating Knowledge Out of Interlinked Data - Results of the LOD2 Project*. Heidelberg: Springer-Verlag, LNCS 8661.
- BUND - Friends of the Earth Germany. (2012). *"Green Economy", was ist das eigentlich?* Abgerufen am 08. 08 2016 von BUND: http://www.bund.net/themen_und_projekte/internationaler_umweltschutz/un_konferenz_rio_20/green_economy/
- Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffkunde. (2015). *Informationsgrundlagen im Fachinformationssystem Bodenkunde (FISBo BGR)*. Abgerufen am 08. 08 2016 von http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Informationsgrundlagen/informationsgrundlagen_node.html
- Bundesministerium des Inneren. (2014). *Nationaler Aktionsplan der Bundesregierung zur Umsetzung der Open-Data-Charta der G8, Programm Digitale Verwaltung 2020*. Abgerufen am 08. 08 2016 von BMI: <http://www.bmi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschuere/2014/aktionsplan-open-data.pdf>
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (Hrsg.). (2014). *Der Wald in Deutschland - Ausgewählte Ergebnisse der dritten Bundeswaldinventur*. Abgerufen am 16. 06 2016 von https://www.bundeswaldinventur.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Dokumente/Downloads/BMEL_Wald_Broschuere.pdf
- Bundesministerium für Justiz und Verbraucherschutz. (2005). *Umweltinformationsgesetz*. Abgerufen am 10. 08 2016 von Gesetze im Internet: http://www.gesetze-im-internet.de/uig_2005/_3.html
- Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2016). *IT2Green.de*. Abgerufen am 08. 08 2016 von Energieeffiziente IKT für Wirtschaft, Verwaltung und Wohnen: <http://www.it2green.de>

- Bundesregierung: Nachhaltigkeitsstrategie. (30. 05 2016). *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie - Neuauflage 2016 (ENTWURF)*. Abgerufen am 11. 08 2016 von Bundesregierung: <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/StatistischeSeiten/Breg/Nachhaltigkeit/0-Buehne/2016-05-31-download-nachhaltigkeitsstrategie-entwurf.pdf>
- Bundesregierung: Perspektiven. (2002). *Perspektiven für Deutschland - Unsere Strategie für eine nachhaltige Entwicklung*. Abgerufen am 08. 08 2016 von Rat für Nachhaltige Entwicklung: http://www.nachhaltigkeitsrat.de/fileadmin/user_upload/dokumente/pdf/Nachhaltigkeitsstrategie_komplett.pdf
- Bundesumweltministerium:2050. (23. 12 2015). *Treibhausgasneutrales Deutschland 2050*. Abgerufen am 17. 05 2016 von Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit: <http://www.bmub.bund.de/themen/klima-energie/klimaschutz/nationale-klimapolitik/klimaschutzplan-2050/>
- Bundesumweltministerium:UFOPLAN. (2012). *Forschungsrahmen des Bundesumweltministeriums und Umweltforschungsplan (UFOPLAN) 2012*. Abgerufen am 10. 08 2016 von Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Forschung/ufoplan_2012.pdf
- Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt (Hrsg.). (2001). *Handbuch Umweltcontrolling* (2. Ausg.). München: Vahlen Verlag.
- Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt (Hrsg.). (1996). *Handbuch Umweltkostenrechnung*. München: Vahlen Verlag.
- Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt (Hrsg.). (1997). *Leitfaden - Betriebliche Umweltkennzahlen*. Abgerufen am 09. 08 2016 von Umweltbundesamt: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/publikationen/leitfaden_betriebliche_umweltkennzahlen.pdf
- Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt (Hrsg.). (2003). *Leitfaden: Betriebliches Umweltkostenmanagement*. Abgerufen am 09. 08 2016 von Umweltbundesamt: <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/2292.pdf>
- Butler, J. B., Henderson, S. C., & Raiborn, C. (2011). Green Balanced Scorecard. Integrating Green Measures into Business Reporting. *Accounting Management Quarterly*, 12 (2), S. 1-10.
- Buttigieg, P. L., Morrison, N., Smith, B., Mungall, C. J., Lewis, S. E., & ENVO, C. (2013). The environment ontology: contextualising biological and biomedical entities. *Journal of Biomedical Semantics*, 4 (43).
- Calero, C., & Piattini, M. (Hrsg.). (2015). *Green in Software Engineering*. Cham: Springer International Publishing Switzerland.
- Calero, C., Moraga, M. Á., Bertoa, M. F., & Duboc, L. (2015). Green Software and Software Quality. In C. Calero, & M. Piattini (Hrsg.), *Green in Software Engineering* (S. 231-260). Cham: Springer International Publishing Switzerland.
- Campbell, C., Kattner, U., Dima, A., & Bartolo, L. (09. 05 2013). *Data Informatics and Tools, NIST Diffusion Workshop*. Abgerufen am 27. 09 2016 von http://www.nist.gov/mml/msed/thermodynamics_kinetics/upload/Diffusion-2013-campbell-final.pdf
- Cao, W., Cudney, H. H., & Wasser, R. (20. 07 1999). Smart Materials and Structures. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 96 (15), S. 8330-8331.
- Caracciolo, C., Stellato, A., Morshed, A., Johannsen, G., Rajbhandari, S., Jaques, Y., et al. (2013). The AGROVOC Linked Dataset. (P. Hitzler, & K. Janowicz, Hrsg.) *Semantic Web*, 4(3), S. 341-348.
- CEH: EnvThes. (17. 10 2014). *Center for Ecology and Hydrology (CEH) Vocabularies, EnvThes*. Abgerufen am 08. 08 2016 von <http://vocabs.lter-europe.net/evn/tbl/envthes.evn>, <http://vocabs.lter-europe.net/EnvThes/10000>
- Chasin, F. (2014). Sustainability: Are We All Talking About the Same Thing? - State-of-the-Art and Proposals for an Integrative Definition of Sustainability in Information Systems. In M. Höjer, P. Lago, & J. Wangel (Hrsg.), *Proceedings of the 2014 conference ICT for Sustainability*. Atlantic Press, doi:10.2991/ict4s-14.2014.42.
- Cheng, X., Hu, C., & Li, Y. (27. 04 2014). A semantic-driven knowledge representation model for the material engineering application. *Data Science Journal*, 13, S. 26-44.
- Cheremisinoff, N. P., & Bendavid-Val, A. (2001). *Green Profits - The Manager's Handbook für ISO 14001 and Pollution Prevention*. Boston: Butterworth Heinemann, Elsevier Science.

- Cheung, K., Drennan, J., & Hunter, J. (2008). Towards an Ontology for Data-driven Discovery of New Materials. *Proceedings AAAI Spring Symposium Semantic Scientific Knowledge Integration 2008*, S. 9-14.
- Cheung, K., Hunter, J., & Drennan, J. (January/February 2009). MatSeek: An Ontology-Based Federated Search Interface for Materials Scientists;. *Semantic Scientific Knowledge Integration*, S. 47-56.
- Colsman, B. (2013). *Nachhaltigkeitscontrolling - Strategien, Ziele, Umsetzung*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Complexible Inc. (2016). *Pellet OWL 2 DL Reasoner*. Abgerufen am 02. 05 2016 von <https://github.com/Complexible/pellet>
- Compton, M., Barnaghi, P., Bermudez, L., García-Castro, R., Corcho, O., Cox, S., et al. (2012). The SNN Ontology of the W3C Semantic Sensor Network Incubator Group. *Web Semantics: Science, Services and Agents on the World Wide Web*, 17, S. 25-32.
- Creative Commons: 2.0. (2016). *Creative Commons Attribution-ShareAlike 2.0 Generic*. Abgerufen am 22. 09 2016 von <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.0/>
- Creative Commons:3.0. (2016). *Creative Commons Attribution 3.0 Uported*. Abgerufen am 11. 08 2016 von <https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/legalcode>, DE: <https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/de/>
- Creative Commons:4.0. (2016). *Creative Commons Attribution 4.0 International Public License*. Abgerufen am 11. 08 2016 von <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/legalcode>
- Davies, T. (05. 05 2011). *Elements of the Linked Open Data Puzzle, Draft 3*. Abgerufen am 02. 06 2015 von <http://www.timdavies.org.uk/wp-content/uploads/Diagrams-Elements-of-the-Linked-Open-Data-Puzzle-Draft-3.png>
- Davies, T. (31. 10 2013). *Open Data Barometer - Global Report 2013, 1. Edition*. Abgerufen am 27. 09 2016 von <http://www.opendataresearch.org/dl/odb2013/Open-Data-Barometer-2013-Global-Report.pdf>
- DBpedia: About. (2016). *The DBpedia Knowledge Base*. Abgerufen am 10. 08 2016 von <http://wiki.dbpedia.org/about>
- DBpedia: Dataset 10/2015. (2015). *DBpedia - Downloads 2015-10*. (D. Association, M. Freudenberg, D. Kontokostas, & S. Hellmann, Herausgeber) Abgerufen am 02. 07 2016 von <http://wiki.dbpedia.org/dbpedia-dataset-version-2015-10>, <http://wiki.dbpedia.org/Downloads2015-10>
- DBpedia: Datasets. (2016). *DBpedia*. Abgerufen am 17. 05 2016 von <http://wiki.dbpedia.org/datasets>
- DBpedia: Ontologie. (10 2015). *DBpedia Ontologie, Stand 10/2015*. Abgerufen am 06. 08 2016 von http://downloads.dbpedia.org/2015-10/dbpedia_2015-10.owl
- DBpedia: SPARQL Endpunkt. (2016). *Virtuoso SPARQL Query Editor*. Abgerufen am 17. 05 2016 von <http://dbpedia.org/sparql>
- Debatin, J. F., Goyen, M., & Kirstein, A. (Hrsg.). (2011). *Alles grün ... auch im Krankenhaus - Green Hospital - Wege zur effektiven Nachhaltigkeit*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Dedrick, J. (2010). Green IS: Concepts and Issues for Information Systems Research. *Communications of the Association for Information Systems*, 27 (1/Artikel 11), S. 173-184, Abgerufen am 10.08.2016 von <http://aisel.aisnet.org/cais/vol27/iss1/11>.
- Demuth, F. (2014). *Einsatz und Anwendung von semantischen Technologien im Bereich des ökologischen Nachhaltigkeitsmanagements*. Universität Siegen: Bachelorarbeit am Lehrstuhl für Wissensbasierte Systeme und Wissensmanagement, **Fachliche Betreuung durch Mareike Dornhöfer**.
- Dengel, A. (Hrsg.). (2012). *Semantische Technologien - Grundlagen - Konzepte - Anwendungen*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V. - Arbeitsgruppe Wissensmanagement (Hrsg.). (2008). *Erfolgreiches Wissensmanagement - Methoden und Verfahren anhand von Praxisbeispielen* (Bde. DQG-Band 13-01). Frankfurt: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 14001 - v2015. (2015). *DIN EN ISO 14001: Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 14001:2015)*. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 14001. (2009). *DIN EN ISO 14001: Umweltmanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 14001:2004 + Cor 1:2009) - Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14001:2004 + AC:2009*. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag.

- DIN EN ISO 14004. (2010). *DIN EN ISO 14004: Umweltmanagementsysteme - Allgemeiner Leitfaden über Grundsätze, Systeme und unterstützende Methoden (ISO 14004:2004) - Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14004:2010*. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 14031:2013-12. (2013). *DIN EN ISO 14031:2013-12 - Umweltmanagement - Umweltleistungsbewertung - Leitlinien*. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 14040:2009-11. (2009). *DIN EN ISO 14040:200911 - Umweltmanagement - Ökobilanz - Grundsätze und Rahmenbedingungen*. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 14044:2006-10. (2006). *DIN EN ISO 14044:2006-10 - Umweltmanagement - Ökobilanz - Anforderungen und Anleitungen*. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag.
- DIN EN ISO 14050:2010. (2010). *Umweltmanagement – Begriffe (ISO 14050:2009); Dreisprachige Fassung EN ISO 14050:2010*. Deutsches Institut für Normung e.V. Berlin: Beuth Verlag.
- Dornhöfer, M., & Fathi, M. (2016a). **Green Knowledge Management – Eine grüne Form des Wissensmanagements**. In V. Nissen, D. Stelzer, S. Straßburger, & D. Fischer (Hrsg.), *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2016 (MKWI 2016), 09.03-11.03.2016, Band II* (S. 889 – 900). Illmenau: Universitätsverlag Ilmenau.
- Dornhöfer, M., & Fathi, M. (2015). **UmweltWiS: Von Umweltinformationssystemen zu "Umweltwissenssystemen"?** In Umweltbundesamt (Hrsg.), *Umweltinformationssysteme – Big Data – Open Data – Data Variety - Ergebnisse des 22. Workshops des Arbeitskreises "Umweltinformationssysteme"*, Nr. 58/2015, 07.-08.05.2015, *Universität Kassel* (S. 127-139). Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, ISSN 2199-6571, Abgerufen am 08.08.2016 von <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltinformationssysteme-5>.
- Dornhöfer, M., Holland, A., & Fathi, M. (2016b). **Ein Umweltwissenssystem zur semantischen Vernetzung forstwirtschaftlicher Datenquellen**. In A. Ruckelshausen, A. Meyer-Aurich, T. Rath, G. Recke, & B. Theuvsen (Hrsg.), *Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, Fokus: Intelligente Systeme – Stand der Technik und neue Möglichkeiten, Referate der 36. GIL Jahrestagung, 22.-23.02.2016* (S. 41-44, LNI P253). Osnabrück: Hochschule Osnabrück.
- Dornhöfer, M., Holland, A., & Fathi, M. (2012). **Knowledge Based Innovation Detection and Control Framework to Foster Scientific Research Projects in Material Science**. *Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (IEEE SMC 2012), Seoul, Südkorea, 14.-17. Oktober 2012* (S. 3197-3202). DOI: 10.1109/ICSMC.2012.6378283.
- Dornhöfer, M., Holland, A., & Fathi, M. (2015). **Knowledge Based Technologies for Promoting Innovation in Material Science**. *Materials Science Forum – 20th Symposium on Composites. Vols. 825-826, Akzeptiert, 25.03.2015, Online: 13.07.2015, S. 1080-1087*. Schweiz: Trans Tech Publications, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.825-826.1080.
- Drabent, W., Eiter, T., Ianni, G., Krennwallner, T., Lukasiewicz, T., & Małuszyński, J. (2009). **Hybrid Reasoning with Rules and Ontologies**. In F. Bry, & J. Małuszyński (Hrsg.), *Semantic Techniques for the Web - The REVERSE Perspective* (S. 1-49). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, LNCS 5500.
- DuCharme, B. (2013). *Learning SPARQL* (2. Ausg.). USA: O'Reilly Media.
- Düppeier, C., Greceanu, C., Schlachter, T., Schmitt, C., Weidemann, R., Chaves, F., et al. (2014). *WebUIS 3.0 - Empfehlungen für eine zukunftsfähige Neuausrichtung der webbasierten Informationssysteme des UIS Baden-Württemberg*. Baden-Württemberg: LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz, Abgerufen am 09.08.2016 von <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/112353/11-iai-webuis.pdf?command=downloadContent&filename=11-iai-webuis.pdf>.
- Dyckhoff, H. (2000). *Umweltmanagement - Zehn Lektionen umweltorientierter Unternehmensführung*. Berlin: Springer-Verlag.
- EEA: Data Dictionaries. (2016). *European Environment Agency - EIONET - Data Dictionary*. Abgerufen am 09. 08 2016 von <http://dd.eionet.europa.eu/>
- EEA: GEMET. (2016). *European Environment Agency - EIONET - General Multilingual Environmental Thesaurus (GEMET)*. Abgerufen am 08. 09 2016 von <http://www.eionet.europa.eu/gemet/>, <http://www.eionet.europa.eu/gemet/en/about/>
- EEA: Semantic Data Service Principles. (2016). *European Environment Agency - Semantic Data Service - General Principles*. Abgerufen am 08. 09 2016 von <http://semantic.eea.europa.eu/documentation/generalprinciples>

- EEA: Semantic Web Datasets. (2016). *European Environment Agency - Semantic Data Service Datasets*. Abgerufen am 09. 08 2016 von <http://semantic.eea.europa.eu/browseDatasets.action>
- EEA: Semantic Web. (2016). *European Environment Agency - What is Semantic Data Service?* Abgerufen am 09. 08 2016 von <http://semantic.eea.europa.eu/>
- EEA: SPARQL Endpunkt. (2016). *European Environment Agency - EIONET - SPARQL Endpunkt*. Abgerufen am 09. 08 2016 von <http://sparqlclient.eionet.europa.eu/>
- Ehrig, M., & Studer, R. (2006). Wissensvernetzung durch Ontologien. In T. Pellegrini, & A. Blumauer (Hrsg.), *Semantic Web - Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft* (S. 469-484). Berlin: Springer-Verlag.
- EMASIII. (22. 12 2009). *Verordnung (EG) Nr. 1221/2009 des Europäischen Parlaments und Rates vom 25. November 2009 über die freiwillige Teilnahme von Organisationen an einem Gemeinschaftssystem für Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung ...* Abgerufen am 08. 10 2016 von <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32009R1221&from=EN>
- EMAS-Register. (2016). *EMAS Register - Umwelterklärungen*. Abgerufen am 27. 09 2016 von <http://www.emas.de/teilnahme/umwelterklaerungen/sammlung/>
- Engelfried, J. (2011). *Nachhaltiges Umweltmanagement* (2. Ausg.). München: Oldenbourg Verlag.
- EnvO Community. (2016). *EnvO*. Abgerufen am 21. 04 2016 von EnvironmentalOntology: <http://www.environmentontology.org/>
- EnvO: The Environment Ontology. (2016). *The Environment Ontology*. Abgerufen am 17. 05 2016 von <https://github.com/EnvironmentOntology/envo>, <http://purl.obolibrary.org/obo/envo.owl>
- Eppler, M. J. (2003). *Managing Information Quality – Increasing the Value of Information in Knowledge-intensive Products and Processes*. Berlin: Springer-Verlag.
- Europäische Kommission:2020. (10. 08 2016). *Klima- und Energiepaket 2020*. Abgerufen am 11. 08 2016 von Europäische Kommission: http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020/index_de.htm
- Europäische Kommission:2030. (10 2014). *Rahmen für die Klima- und Energiepolitik bis 2030*. Abgerufen am 11. 08 2016 von Europäische Kommission: http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2030/index_de.htm
- Europäische Kommission:2050. (08. 03 2011). *MITTEILUNG DER KOMMISSION AN DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT, DEN RAT, DEN EUROPÄISCHEN WIRTSCHAFTS- UND SOZIALAUSSCHUSS UND DEN AUSSCHUSS DER REGIONEN Fahrplan für den Übergang zu einer wettbewerbsfähigen CO2-armen Wirtschaft bis 2050, Dok.-Nr. 52011DC0112*. Abgerufen am 11. 08 2016 von Europäische Kommission: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=CELEX:52011DC0112>
- Europäische Kommission:INSPIRE. (2016). *INSPIRE - Infrastructure for spatial information in Europe*. Abgerufen am 12. 06 2016 von Europäische Kommission: <http://inspire.ec.europa.eu/>
- Europäische Kommission:SEIS. (25. 01 2013). *Arbeitsunterlage der Kommissionsdienststellen - Gemeinsames Umweltinformationssystem EU (SEIS) - Perspektiven für die Umsetzung*. Abgerufen am 11. 08 2016 von Europäische Kommission: http://ec.europa.eu/environment/seis/pdf/seis_implementation_de.pdf
- Europäische Kommission:SEIS. (08. 05 2015). *Shared Environmental Information System - What is the Shared Environmental Information System?* Abgerufen am 11. 08 2016 von Europäische Kommission: <http://ec.europa.eu/environment/archives/seis/what.htm>
- Europäische Union, Publication Office: EuroVoc. (2015). *EuroVoc*. Abgerufen am 02. 06 2015 von <http://eurovoc.europa.eu/drupal/>
- European Information Technology Observatory. (2002). *The impact of ICT on sustainable development. European Information Technology Observatory Yearbook 2002*, S. 250-283.
- Evolus: Pencil. (2016). *Pencil Project*. Abgerufen am 16. 08 2016 von <http://pencil.evolus.vn>
- Faber, S. (2007). Entwicklung eines integrativen Referenzmodells für das Wissensmanagement in Unternehmen. In F. Schober, & J. Ruhland (Hrsg.), *Informationsmanagement und strategische Unternehmensführung* (Bd. 11). Frankfurt a.M.: Peter Lang.
- Faerber, M., Archne, O., Jochaud, F., & Jablonski, S. (2009). KnowledgeNavigator: Ontologiebasierte Datenintegration in der Umweltforschung. In Umweltbundesamt (Hrsg.), *Umweltinformationssysteme - Suchmaschinen und Wissensmanagement - Methoden und Instrumente 01/2009, Workshop des Arbeitskreises "Umweltdatenbanken/Umweltinformationssysteme" der Fachgruppe "Informatik im Umweltschutz", 05.-06. Juni 2008* (Bde. 01/09, ISSN 1862-4804, S. 21-30). Dessau-Roßlau, Abgerufen

- am 11.08.2016 von
<http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3694.pdf>.
- FAO: Geopolitical Ontologie. (2016). *Geopolitical Ontology*. Abgerufen am 17. 05 2016 von Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO):
<http://www.fao.org/countryprofiles/geoinfo/geopolitical/resource/>,
<http://aims.fao.org/aos/geopolitical.owl>, <http://www.fao.org/countryprofiles/geoinfo/en/?lang=en>
- FAO: SPARQL-Endpunkt. (2016). *FAO SPARQL Endpunkt, SPARQLer - General purpose processor*. Abgerufen am 17. 05 2016 von Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO):
<http://fao.270a.info/sparql>
- FAOSTAT. (2016). *Forestry Production and Trade Data*. Abgerufen am 18. 07 2016 von Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO): http://faostat3.fao.org/download/F/*/*E
- Farkisch, K. (2011). *Data-Warehouse-Systeme kompakt - Aufbau, Architektur, Grundfunktionen*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Fensel, D., Lausen, H., Polleres, A., de Bruijn, J., Stollberg, M., Roman, et al. (2007). *Enabling Semantic Web Services - The Web Service Modeling Ontology*. Berlin: Springer-Verlag.
- Fischer-Stabel, P. (Hrsg.). (2013). *Umweltinformationssysteme - Grundlegende Konzepte und Anwendungen* (2. Ausg.). Berlin: Wichmann, VDE Verlag GmbH.
- FOAF. (14. 01 2014). *FOAF Vocabulary Specification 0.99*. Abgerufen am 08. 05 2016 von <http://xmlns.com/foaf/spec/>, http://xmlns.com/foaf/spec/#term_Person
- Fratila, D. (2013). Sustainable Manufacturing Through Environmentally-Friendly Machining. In J. P. Davim (Hrsg.), *Green Manufacturing Processes and Systems* (Bde. Material Forming, Machining and Tribology, S. 1-21). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
- Frey-Luxemburger, M. (2014). *Wissensmanagement - Grundlagen und praktische Anwendung. Eine Einführung in das IT-gestützte Management der Ressource Wissen*. (2. Ausg.). Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Frötsch, G., & Meinholz, H. (2014). *Handbuch Betriebliches Umweltmanagement* (2. Ausg.). Wiesbaden: Springer Spektrum.
- Gabler Wirtschaftslexikon: Greenwashing. (2014). *Springer Gabler Verlag (Hrsg.), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Greenwashing*. Abgerufen am 12. 01 2014 von <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/9119/greenwashing-v7.html>
- Gabler Wirtschaftslexikon: Informationssysteme. (2016). *Springer Gabler Verlag (Hrsg.), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Informationssysteme*. Abgerufen am 15. 06 2016 von <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/9241/informationssystem-v14.html>
- Gabler Wirtschaftslexikon: Ökobilanz. (2013). *Springer Gabler Verlag (Hrsg.), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Ökobilanz*. Abgerufen am 27. 09 2016 von <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/57090/oekobilanz-v13.html>
- Gabler Wirtschaftslexikon: Ökocontrolling. (2014). *Springer Gabler Verlag (Hrsg.), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Ökocontrolling*. Abgerufen am 27. 09 2016 von <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/13514/oekocontrolling-v12.html>
- Gabler Wirtschaftslexikon: Ökologische Nachhaltigkeit. (2016). *Springer Gabler Verlag (Hrsg.), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: ökologische Nachhaltigkeit*. Abgerufen am 08. 08 2016 von <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/21339690/oekologische-nachhaltigkeit-v2.html>
- Gabler Wirtschaftslexikon: Recycling. (2016). *Springer Gabler Verlag (Hrsg.), Gabler Wirtschaftslexikon, Stichwort: Recycling*. Abgerufen am 06. 03 2016 von <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Archiv/5527/recycling-v10.html>
- Galinski, C. (2006). Wozu Normen? Wozu semantische Interoperabilität? In T. Pellegrini, & A. Blumauer (Hrsg.), *Semantic Web - Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft* (S. 47-72). Berlin: Springer-Verlag.
- Gavrilova, T., Leshcheva, I., & Strakhovich, E. (2015). Gestalt principles of creating learning business ontologies for knowledge codification. *Knowledge Management Research & Practice*, S. 418-428.
- GeoKnow Projekt. (2015). *Projektwebseite GeoKnow*. Abgerufen am 18. 05 2016 von <http://geoknow.eu/Welcome.html>

- GeoNames. (2016). *GeoNames*. Abgerufen am 10. 09 2016 von GeoNames: <http://www.geonames.org/>, <http://www.geonames.org/ontology/documentation.html>, http://www.geonames.org/ontology/ontology_v3.1.rdf
- GeoNames: Stadt Siegen. (2016). *Stadt Siegen*. Abgerufen am 17. 05 2016 von GeoNames: <http://www.geonames.org/6557696/siegen.html>, <http://sws.geonames.org/2832495/about.rdf>
- Geyer-Hayden, B. (2009). Wissensmodellierung im Semantic Web. In A. Blumauer, & T. Pellegrini (Hrsg.), *Social Semantic Web - Web 2.0 – Was nun?* (S. 127-146). Berlin: Springer-Verlag.
- GGC-Lab. (2014). *Government Green Cloud Laboratory (Akronym: GGC-Lab)*. Abgerufen am 27. 09 2016 von Projektwebseite GGC-Lab: <http://www.ggc-lab.de/index.html>
- Giovannini, A., Aubry, A., Panetto, H., Dassisti, M., & El Haouzi, H. (2012). Ontology-Based System for supporting Manufacturing Sustainability. *Annual Reviews in Control, Elsevier*, 36 (2), S. 309-317, doi: 10.1016/j.arcontrol.2012.09.012, hal-00728192.
- GISWIKI. (05. 03 2006). *Fachinformationssystem*. Abgerufen am 27. 09 2016 von GISWIKI: <http://www.giswiki.org/wiki/Fachinformationssystem>
- Glimm, B. (2011). Using SPARQL with RDFS and OWL Entailment. In A. Polleres, C. d'Amato, M. Arenas, S. Handschuh, P. Kroner, S. Ossowski, et al. (Hrsg.), *Reasoning Web - Semantic Technologies for the Web of Data - 7th International Summer School 2011, Galway, Ireland, 23.-27. Aug. 2011, Tutorial Lectures* (S. 137-201). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, LNCS 6848.
- Global Forest Watch. (2016). *Global Forest Watch Open Data*. Abgerufen am 18. 07 2016 von <http://data.globalforestwatch.org/>
- GNU: Free Documentation License. (2008). *GNU Free Documentation License*. Abgerufen am 25. 07 2016 von http://en.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Text_of_the_GNU_Free_Documentation_License
- Gocke, P. (2011). Grüne IT. In J. F. Debatin, M. Goyen, & A. Kirstein (Hrsg.), *Alles grün ... auch im Krankenhaus - Green Hospital - Wege zur effektiven Nachhaltigkeit* (S. 90-101). Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Gräuler, M., & Teuteburg, F. (2013). Experimental Evaluation of a Process Benchmarking Tool in a Green Business Process Management Context. *Wirtschaftsinformatik Proceedings 2013* (68), S. 1083-1097, Abgerufen am 11.08.2016 von <http://aisel.aisnet.org/wi2013/68>.
- Gräuler, M., Teuteburg, F., Mahmoud, T., & Marx Gómez, J. (2012). Anforderungspriorisierung und Designempfehlungen für Betriebliche Umweltinformationssysteme der nächsten Generation – Ergebnisse einer explorativen Studie. In Mattfeld, D. Christian, & S. Robra-Bissantz (Hrsg.), *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2012 : Tagungsband der MKWI 2012* (S. 1531-1543). Braunschweig: Institut für Wirtschaftsinformatik.
- Grechenig, T., Bernhart, M., Breiteneder, R., & Kappel, K. (2010). *Softwaretechnik*. München: Pearson.
- Greiner, W. (2010). Die grünende IT- Wie die Computerindustrie das Energiesparen erfand. In F. Lampe (Hrsg.), *Green-IT, Virtualisierung und Thin Clients - Mit neuen IT-Technologien Energieeffizienz erreichen, die Umwelt schonen und Kosten sparen* (S. 3-16). Wiesbaden: Vieweg + Teubner, GWV Fachverlage GmbH.
- Gronau, N. (2009). *Wissen prozessorientiert managen*. München: Oldenbourg.
- Gruber, T. R. (1993). A Translation Approach to Portable Ontology Specifications. *Knowledge Acquisition*, 5 (2), S. 199-220.
- Günther, E. (2008). *Ökologieorientiertes Management*. Stuttgart: Lucius & Lucius Verlag.
- Guo, Y. (2016). *Simulation eines Wissensmarkts zur Wissensakquise und -verteilung im Umweltmanagement*. Universität Siegen: Masterarbeit am Lehrstuhl für Wissensbasierte Systeme und Wissensmanagement, **Fachliche Betreuung durch Mareike Dornhöfer**.
- Hadoop. (2016). *Apache Hadoop Produktseite*. Abgerufen am 20. 06 2016 von <http://hadoop.apache.org/>
- Hardenack, S. (April 2014). *Analyse von toolunterstützten Geschäftsprozessmodellierungsmöglichkeiten und Umsetzung eines Beispielszenarios im Bereich Umweltmanagement in Maschinenbauunternehmen*. Universität Siegen: Bachelor-Projektseminararbeit am Lehrstuhl für Wissensbasierte Systeme und Wissensmanagement, **Fachliche Betreuung durch Mareike Dornhöfer**.
- Hardenack, S. (September 2014). *Erfassung und Modellierung von Lagerprozessen zur Bereitstellung umweltrelevanter Informationen - Umsetzung des Green BPM Ansatzes am Anwendungsbeispiel des Studentenwerks Siegen*. Universität Siegen: Bachelorarbeit am Lehrstuhl für Wissensbasierte Systeme und Wissensmanagement, **Fachliche Betreuung durch Mareike Dornhöfer**.

- Haubach, C. (2013). *Umweltmanagement in globalen Wertschöpfungsketten - Eine Analyse am Beispiel der betrieblichen Treibhausgasbilanzierung*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Haufe.de, Online Redaktion. (2015). *Green Controlling*. Abgerufen am 10. 08 2016 von Haufe: <http://www.haufe.de/thema/green-controlling/>
- He, L., Ming, X., Ni, Y., Li, M., Zheng, M., & Xu, Z. (2015). Ontology-based information integration and sharing for collaborative part and tooling development. *Concurrent Engineering: Research and Applications*, 23 (3), S. 199–212, DOI:10.1177/1063293X15580857.
- Heath, T., & Bizer, C. (2011). *Linked Data: Evolving the Web into a Global Data Space, Synthesis Lectures on the Semantic Web: Theory and Technology* (1:1, S. 1-136, Online-Version: <http://linkeddatabook.com/editions/1.0/> Ausg.). San Rafael: Morgan & Claypool Publishers.
- Heisig, P. (2009). *Geschäftsprozessorientiertes Wissensmanagement – kurz GPO-WM®*, *methodenfinder.de - Methoden und Werkzeuge für den Umgang mit Wissen*. Abgerufen am 27. 09 2016 von <http://www.methodenfinder.de>
- Heisig, P. (2009). Harmonisation of knowledge management - comparing 160 KM frameworks around the globe. *Journal of Knowledge Management*, 13 (4), S. 4-31.
- Helbig, H. (2008). *Wissensverarbeitung und die Semantik der natürlichen Sprache - Wissensrepräsentation mit MultiNet* (2. Ausg.). Berlin: Springer-Verlag.
- Hellmann, S., Bryl, V., Bühmann, L., Dojchinovski, M., Kontoskastas, D., Lehmann, J., et al. (2014). Knowledge Base Creation, Enrichment und Repair. In S. Auer, V. Bryl, & S. Tramp (Hrsg.), *Linked Open Data - Creating Knowledge Out of Interlinked Data - Results of the LOD2 Project* (S. 45-69). Heidelberg: Springer-Verlag, LNCS 8661.
- Hilty, L. M. (2014). History and Definition of Environmental Informatics. In V. Wohlgemuth, K. Voigt, & W. Pillmann (Hrsg.), *Umweltinformatik – Einblick in drei Jahrzehnte der Entwicklung einer Wissenschaftsdisziplin* (S. 13-19). Deutschland: Shaker Verlag.
- Hilty, L. M. (2013). How to improve the contribution of ICT to sustainability. In L. M. Hilty, B. Aebischer, G. Andersson, & W. Lohmann (Hrsg.), *Proceedings of the First International Conference on Information and Communication Technologies for Sustainability, APPENDIX* (S. 283-287). Zürich: E-Collection ETH Institutional Repository, ETH Zürich.
- Hilty, L. M. (2008). *Information Technology and Sustainability - Essays on the Relationship between Information Technology and Sustainable Development*. Norderstedt: Books on Demand GmbH.
- Hilty, L. M., & Aebischer, B. (2015). ICT for Sustainability: An Emerging Research Field. In L. M. Hilty, & B. Aebischer (Hrsg.), *ICT Innovations for Sustainability* (Bd. Advances in Intelligent Systems and Computing 310, S. 3-36). Springer International Publishing.
- Hilty, L. M., & Lohmann, W. (2011). The Five Most Neglected Issues in "Green IT". (J.-C. López-López, G. Sissa, & L. Natvig, Hrsg.) *The European Journal for the Informatics Professional, Green ICT: Trends and Challenges, CEPIS UPGRADE*, XII (4), S. 11-15.
- Hilty, L. M., Hischier, R., Ruddy, T. F., & Som, C. (2008). Informatics and the Life Cycle of Products. In M. Sánchez-Marré, J. Béjar, J. Comas, A. Rizzoli, & G. Guariso (Hrsg.), *Integrating sciences and information technology for environmental assessment and decision making*. Proceedings of the iEMSS 2008 (International Congress on Environmental Modelling and Software): International Environmental Modelling and Software Society.
- Hinge, K. G., Ghose, A. K., & Koliadis, G. (2009). Process SEER: a tool for semantic effect annotation of business process models. *Enterprise Distributed Object Computing Conference, 2009. EDOC '09. IEEE International*, S. 54-63, doi: 10.1109/EDOC.2009.24.
- Hitzler, P., Krötzsch, M., Rudolph, S., & Sure, Y. (2008). *Semantic Web. Grundlagen*. Berlin: Springer-Verlag.
- Hocke, P., Bräutigam, K.-R., Fleischer, T., & Schleisiek, A. (2011). Zur Zielsetzung der Studie und ihrem Projektdesign. In K.-R. Bräutigam, & A. Gerybadze (Hrsg.), *Wissens- und Technologietransfer als Innovationstreiber – Mit Beispielen aus der Materialforschung* (S. 2-15). Berlin: Springer-Verlag.
- Hodge, G. (2000). *Systems of Knowledge Organization for Digital Libraries: Beyond Traditional Authority Files*. Washington D.C.: Digital Library Federation Council on Library and Information Resources.
- Hoesch-Klohe, K., & Ghose, A. (2012). Making use of scenarios for environmentally aware system desing. In R. Bertsson Svensson, D. Berry, M. Daneva, J. Dörr, S. A. Fricker, A. Herrmann, et al. (Hrsg.), *18th International Working Conference on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality*.

- Proceedings of the Workshops RE4SuSy, REEW, CreaRE, RePriCo, IWSPM and the Conference Related Empirical Study, Empirical Fair and Doctoral Symposium (52). ICB-Research Report 2012 No. 52, S. 20-25.* Universität Duisburg-Essen: Institut für Informatik und Wirtschaftsinformatik.
- Horrocks, I., Kutz, O., & Sattler, U. (2006). The Even More Irresistible SROIQ. *Proceedings of the 10th International Conference on Principles of Knowledge Representation and Reasoning (KR 2006)*. AAAI Press.
- Hüttenegger, G. (2006). *Open Source Knowledge Management*. Berlin/Heidelberg: Xpert.press - Springer.
- Iglesias-Sucasas, M., Kim, S., & Viollier, V. (2013). The FAO Geopolitical Ontology: a reference for country-based information. (S. Kim, M. Iglesias-Sucasas, & V. Viollier, Hrsg.) *Journal of Agricultural & Food Information*, 14 (1), S. 50-65.
- InGrid. (2016). *InGrid (Informationgrid) - Indexieren, Recherchieren, Visualisieren, Teilen*. Abgerufen am 17. 05 2016 von <http://www.ingrid-oss.eu/3.6.0/index.html>
- iNovex: MatOnto. (2015). *iNovex Wins SBIR Phase II Award*. Abgerufen am 27. 05 2016 von iNovex: <http://www.inovexcorp.com/index.php/86-news/109-inovex-wins-sbir-award-2>
- Institut der deutschen Wirtschaft Köln (Hrsg.). (2012). *Auf dem Weg zu mehr Nachhaltigkeit - Erfolge und Herausforderungen 25 Jahre nach dem Brundtland-Bericht*. Köln: Institut der deutschen Wirtschaft Köln Medien GmbH.
- Isele, R. (2014). Methoden der Linked Data Integration. In T. Pellegrini, H. Sack, & S. Auer (Hrsg.), *Linked Enterprise Data. Management und Bewirtschaftung vernetzter Unternehmensdaten mit Semantic Web Technologien* (S. 103-120). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, X.media.press.
- ISO 19115. (08. 12 2008). *ISO 19115 - Geographic Information Metadata, Deutsche Übersetzung der Metadatenfelder der ISO 19115*. (Koordinierungsstelle GDI-DE) Abgerufen am 17. 05 2016 von Geoportal, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie: http://www.geoportal.de/SharedDocs/Downloads/DE/GDI-DE/Deutsche_Uebersetzung_der_ISO-Felder.pdf
- Junker, H., Marx Gómez, J., & Lang, C. V. (2010). Betriebliche Umweltinformationssysteme. In M. Schumann, L. M. Kolbe, M. H. Breitner, & A. Frerichs (Hrsg.), *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2010: Tagungsband der MKWI 2010, Betriebliches Umwelt- und Nachhaltigkeitsmanagement* (S. 1045-1062). Göttingen: Universitätsverlag Göttingen.
- Kern, E., Dick, M., Naumann, S., Guldner, A., & Johann, T. (2013). Green Software and Green Software Engineering - Definitions, Measurements, and Quality Aspects. In L. M. Hilty, B. Aebischer, G. Andersson, & W. Lohmann (Hrsg.), *ICT4S 2013: Proceedings of the First International Conference on Information and Communication Technologies for Sustainability, 12-14 Februar 2013* (S. 87-94). ETH Zürich.
- Kern, E., Dick, M., Naumann, S., Johann, T., Giesselmann, M., & Lang, P. (2012). Green Requirements Engineering with the GREENSOFT Model - Taking the whole Lifecycle of Software into Account. In R. Berntsson Svensson, D. Berry, M. Daneva, J. Dörr, S. A. Fricker, A. Herrmann, et al. (Hrsg.), *18th International Working Conference on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality. Proceedings of the Workshops RE4SuSy, REEW, CreaRE, RePriCo, IWSPM and the Conference Related Empirical Study, Empirical Fair and Doctoral Symposium (52). ICB-Research Report No. 52, S. 26-27.* Universität Duisburg-Essen: Institut für Informatik und Wirtschaftsinformatik.
- Kern, E., Naumann, S., & Dick, M. (2015). Processes for Green and Sustainable Software Engineering. In C. Calero, & M. Piattini (Hrsg.), *Green in Software Engineering* (S. 61-82). Cham: Springer International Publishing Switzerland.
- Kirstein, A., & Waldmann, M. (2011). Grünes Management im Krankenhaus. In J. F. Debatin, M. Goyen, & A. Kirstein (Hrsg.), *Alles grün .. auch im Krankenhaus - Green Hospital - Wege zur effektiven Nachhaltigkeit* (S. 5-21). Stuttgart: Thieme Verlag.
- Klein, B. (2016). *Konzeption und Implementierung eines Intelligenten Systems als Umwelt-Controlling-Instrument*. Universität Siegen: Diplomarbeit am Lehrstuhl für Wissensbasierte Systeme und Wissensmanagement, **Fachliche Betreuung durch Mareike Dornhöfer**.
- Knermann, C. (2010). Ökologische Aspekte von Thin Clients. In F. Lampe (Hrsg.), *Green-IT, Virtualisierung und Thin Clients - Mit neuen IT-Technologien Energieeffizienz erreichen, die Umwelt schonen und Kosten sparen* (S. 127-140). Wiesbaden: Vieweg + Teubner, GWV Fachverlage GmbH.
- Knetsch, G., & Fock, J. (2013). Open Government Data - Zugang zu Umwelt- und Gesundheitsdaten. (Umweltbundesamt, Hrsg.) *UMID*, 3, S. 20-24, Abgerufen von

- https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/360/publikationen/open_government_data_s_20_24n.pdf.
- Kno.e.sis Center, Wright State University. (2015). *MaterialWays Prokjekt*. Abgerufen am 27. 09 2016 von <http://wiki.knoesis.org/index.php/MaterialWays>
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften. (01. 02 2008). *Mitteilung der Kommission an den Rat, das europäische Parlament, den europäischen Wirtschafts- und Sozialausschuss und den Ausschuss der Regionen - Hin zu einem gemeinsamen Umwelteinformationssystem (SEIS)*. Abgerufen am 08. 10 2016 von <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:52008DC0046&from=EN>
- Konstantinidis, S. (17. 03 2010). *Erfassung von Metadaten im UDK mit dem InGrid® Editor*. Abgerufen am 07. 08 2016 von Koordinierungsstelle PortalU: http://numis.niedersachsen.de/gp-numis/data/_uploaded/file/Schulung_ingrid_Bremen_ko_03_2010.pdf
- Koordinierungsstelle PortalU. (13. 05 2013). *Anleitung zur Erfassung von Metadaten im InGrid® Editor*. Abgerufen am 17. 05 2016 von Koordinierungsstelle PortalU im Niedersächsischen Ministerium für Umwelt, Energie und Klimaschutz: http://numis.niedersachsen.de/gp-numis/data/_uploaded/file/Erfassungsanleitung_InGridEditor_v16.pdf
- Kosch, B., & Wagner, H. (2010). Alles im grünen Bereich – Mit Green IT zu Energieeffizienz und Nachhaltigkeit. In D. Spath, W. Bauer, & S. Rief (Hrsg.), *Green Office - Ökonomische und ökologische Potenziale nachhaltiger Arbeits- und Bürogestaltung* (S. 205-212). Wiesbaden: Gabler Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Krämer, P. (2015). *Interaktion von Green Project Management und Green BPM Ansätzen, zur nachhaltigen Planung und Ausführung eines IT-Großprojektes*. Universität Siegen: Diplomarbeit am Lehrstuhl für Wissensbasierte Systeme und Wissensmanagement, **Fachliche Betreuung durch Mareike Dornhöfer**.
- Krause, D., & Schlebe, D. (2010). Smart Materials und neue Werkstoffe für nachhaltigere Bürogebäude von übermorgen. In D. Spath, W. Bauer, & S. Rief (Hrsg.), *Green Office - Ökonomische und ökologische Potenziale nachhaltiger Arbeits- und Bürogestaltung* (S. 125-138). Wiesbaden: Gabler Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Krisnadhi, A., Maier, F., & Hitzler, P. (2011). OWL and Rules. In A. Polleres, C. d'Amato, M. Arenas, S. Handschuh, P. Kroner, S. Ossowski, et al. (Hrsg.), *Reasoning Web - Semantic Technologies for the Web of Data, 7th International Summer School 2011, Galway, Irland, 23.-27. Aug. 2011, Tutorial Lectures* (S. 382-415). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, LNCS 6848.
- Krivaneck, T., Eifler, P., & Kramer, M. (2003). Umweltcontrolling und Umweltkennzahlensysteme. In M. Kramer, H. Strebel, & G. Keyser (Hrsg.), *Internationales Umweltmanagement, Bd. III* (S. 445-480). Wiesbaden: Gabler.
- Krötzsch, M., Rudolph, S., & Hitzler, P. (2013). Complexities of Horn Description Logics. *ACM Trans. Comput. Logic*, 14 (1, Art. 2), S. 1-36, DOI: 10.1145/2422085.2422087.
- Lampe, F. (Hrsg.). (2010). *Green-IT, Virtualisierung und Thin Clients*. Wiesbaden: Springer.
- Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg. (2016). *LUBW Umwelteinformationssystem*. Abgerufen am 11. 08 2016 von <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/startseite>, <https://www.umwelt-bw.de/>
- Laudon, K. C., Laudon, J. P., & Schoder, D. (2010). *Wirtschaftsinformatik - Eine Einführung* (2. Ausg.). München: Pearson.
- Le Grand, B., & Soto, M. (2006). Topic Maps, RDF Graphs, and Ontologies Visualization. In V. Geroimenko, & C. Chen (Hrsg.), *Visualizing the Semantic Web - XML-Based Internet and Information Visualization* (2. Ausg., S. 59-79). London: Springer-Verlag.
- Lehmann, J., & Bühmann, L. (2014). Linked Data Reasoning. In T. Pellegrini, H. Sack, & S. Auer (Hrsg.), *Linked Enterprise Data - Management und Bewirtschaftung vernetzter Unternehmensdaten mit Semantic Web Technologien* (S. 193-208). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, X.media-press.
- Lehmann, J., Athanasiou, S., Both, A., Gracia Rojas, A., Giannopoulos, G., Hladky, D., et al. (2015b). Managing Geospatial Linked Data in the GeoKnow Project. In T. Narock, & P. Fox (Hrsg.), *The Semantic Web in Earth and Space Science, Current Status and Future Directions* (S. Kapitel 4, 51-77). Berlin: AKA Verlag.
- Lehmann, J., Isele, R., Jakob, M., Jentzsch, A., Kontokostas, D., Mendes, P. N., et al. (2015a). DBPedia - A Large-scale, Multilingual Knowledge Base Extracted from Wikipedia. *Semantic Web*, 6 (2), S. 167-195, ISO Press, DOI: 10.3233/SW-140134.

- Lehner, F. (2009). *Wissensmanagement. Grundlagen, Methoden und technische Unterstützung* (3. Ausg.). München, Wien: Hanser Verlag.
- Lehner, F. (2012). *Wissensmanagement. Grundlagen, Methoden und technische Unterstützung*. (4. Ausg.). München, Wien: Hanser Verlag.
- Lexikon der Nachhaltigkeit: Abkommen seit 1992. (03. 11 2015). *Übersichtstafeln zu Abkommen und Bündnisse seit 1992*. Abgerufen am 15. 06 2016 von Lexikon der Nachhaltigkeit: http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/abkommen_und_buendnisse_seit_1990_1436.htm
- Lexikon der Nachhaltigkeit: Enquete1992. (29. 09 2015). *Schutz des Menschen und der Umwelt, Enquete-Kommission 1992*. Abgerufen am 07. 08 2016 von Lexikon der Nachhaltigkeit: http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/12_bt_ek_mensch_und_umwelt_660.htm
- Lexikon der Nachhaltigkeit: Enquete1995. (14. 10 2015). *Schutz des Menschen und der Umwelt: Ziele und Rahmenbedingungen, Enquete-Kommission 1995*. Abgerufen am 07. 08 2016 von Lexikon der Nachhaltigkeit: http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/13_bt_ek_mensch_umwelt_664.htm
- Lexikon der Nachhaltigkeit: Greenwashing. (12. 11 2015). *Stichwort: Greenwashing*. Abgerufen am 07. 08 2016 von Lexikon der Nachhaltigkeit: http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/greenwashing_1710.htm
- Lexikon der Nachhaltigkeit: Nachhaltigkeitsdreieck. (26. 08 2015). *Stichwort: Nachhaltigkeitsdreieck*. Abgerufen am 07. 08 2016 von Lexikon der Nachhaltigkeit: http://www.nachhaltigkeit.info/artikel/nachhaltigkeitsdreieck_1395.htm
- Li, Z., Raskin, V., & Ramani, K. (2007). A Methodology of Engineering Ontology Development for Information Retrieval. *Proceedings International Conference on Engineering Design (ICED)*, 28.08.-31.08-2007, Cite des science et de l'industrie, Paris, Frankreich , S. 1-12.
- LinkedGeoData Projekt. (2016). *About LinkedGeoData Projekt*. Abgerufen am 18. 05 2016 von <http://linkedgeo.org/About>
- lodlive: Anfrage "Forest". (2016). *lodlive – Beispielanfrage DBPedia Begriff "Forest"*. Abgerufen am 17. 05 2016 von <http://en.lodlive.it/?http://dbpedia.org/resource/Forest>
- lodlive: Anfrage "Siegen". (2015). *lodlive - Beispielanfragen DBPedia Begriff "Siegen"*. Abgerufen am 01. 06 2015 von <http://en.lodlive.it/?http://dbpedia.org/resource/Siegen>
- Loos, P., Nebel, W., Marx Gómez, J., Hasan, H., Watson, R. T., vom Brocke, J., et al. (2011). Green IT: A Matter of Business and Information Systems Engineering? *Business & Information Systems Engineering Journal (BISE)* , 3 (4), S. 245-252, Abgerufen am 10.08.2016 von <http://aisel.aisnet.org/bise/vol3/iss4/7>.
- López-López, J.-C., Sissa, G., & Natvig, L. (2011). Green ICT: The Information Society's Commitment for Environmental Sustainability. (J.-C. López-López, G. Sissa, & L. Natvig, Hrsg.) *The European Journal for the Informatics Professional, Green ICT: Trends and Challenges, CEPIS UPGRADE* , XII (4), S. 2-5.
- Lüder, A. (2014). Integration des Menschen in Szenarien der Industrie 4.0. In T. Bauernhansl, M. ten Hompel, & B. Vogel-Heuser (Hrsg.), *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- Mahmoud, S. S., & Ahmad, I. (2013). A Green Model for Sustainable Software Engineering. *International Journal of Software Engineering and Its Applications* , 7 (4), S. 55-74.
- Maier, R. (2007). *Knowledge Management Systems - Information and Communication Technologies for Knowledge Management* (3. Ausg.). Berlin: Springer-Verlag.
- Maier, R., Hädrich, T., & Peinl, R. (2009). *Enterprise Knowledge Infrastructures* (2. Ausg.). Berlin: Springer-Verlag.
- Mangold, T. (2012). *Social Media im Nachhaltigkeitsmarkenmanagement - Ein anwendungsorientiertes Modell*. Lüneburg: Leuphana Universität Lüneburg.
- Marx Gómez, J. C. (23. 08 2012). *Betriebliches Umweltinformationssystem*. Abgerufen am 10. 08 2016 von Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik: <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/wi-enzyklopaedie/lexikon/informationssysteme/Sektorspezifische-Anwendungssysteme/Umweltinformationssystem%2C-betriebliches/index.html>
- MatOnto. (2016). *Materials Ontology - MatOnto*. Abgerufen am 24. 05 2016 von iNovex: <http://matonto.org/>
- Melillo, J. M., Richmond, T. C., & Yohe, G. W. (Hrsg.). (2014). *Climate Change Impacts in the United States: The Third National Climate Assessment*. USA: U.S. Global Change Research Program, doi:10.7930/J0Z31WJ2.

- Melville, N. P. (März 2010). Information Systems Innovation for Environmental Sustainability. *MIS Quarterly*, 34 (1), S. 1-21.
- Merkel, A. (03. 05 2013). *Rede von Bundeskanzlerin Merkel beim 34. Evangelischen Kirchentag*. Abgerufen am 07. 08 2016 von <https://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/Reden/2013/05/2013-05-03-rede-merkel-kirchentag.html>, siehe auch http://www.die-klimaschutz-baustelle.de/klimawandel_zitate_aktuell.html
- Meyer, J., & Teuteburg, F. (2012). Nachhaltiges Geschäftsprozessmanagement - Status Quo und Forschungsagenda. In D. C. Mattfeld, & S. Robra-Bissantz (Hrsg.), *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2012 : Tagungsband der MKWI 2012* (S. 1515 - 1530). Braunschweig: Institut für Wirtschaftsinformatik.
- Mezaour, A.-D., van Nuffelen, B., & Blaschke, C. (2014). Building Enterprise Ready Applications Using Linked Open Data. In S. Auer, V. Bryl, & S. Tramp (Hrsg.), *Linked Open Data - Creating Knowledge Out of Interlinked Data - Results of the LOD2 Project* (S. 155-174). Heidelberg: Springer-Verlag, LNCS 8661.
- Mickoleit, A. (2010). Greener and Smarter: ICTs, the Environment and Climate Change. *OECD Green Growth Papers* (01/2010), S. 54, DOI: 10.1787/5k9h3635kdbt-en.
- Mika, P. (2007). *Social networks and the Semantic Web*. New York: Springer-Verlag.
- Ministerium für Klima, Umwelt und Energiewirtschaft Baden-Württemberg. (2011). *UIS BW - Umweltinformationssystem Baden-Württemberg*. Abgerufen am 10. 08 2016 von Umweltschutz Baden-Württemberg: http://www.umweltschutz-bw.de/PDF_Dateien/07_systeme_2011.pdf
- Möller, L. (2010). Nachhaltige Entwicklung – Wege zur ökologischen, ökonomischen und sozialen Zukunftsfähigkeit. In M. Kramer (Hrsg.), *Integratives Umweltmanagement - Systemorientierte Zusammenhänge zwischen Politik, Recht, Management und Technik* (S. 41-62). Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Moosmayer, V., Zippel, E., Lodigiani, M., & Koch, C. (06 2015). *Systematisches Umweltmanagement - Mit EMAS Mehrwert schaffen - Die Unterschiede zwischen EMAS und ISO 14001*. (Umweltgutachterausschuss, Hrsg.) Abgerufen am 10. 08 2016 von http://www.emas.de/fileadmin/user_upload/06_service/PDF-Dateien/Mit-EMAS-Mehrwert-schaffen_Vergleich-ISO14001.pdf
- Mösle, P., Bauer, M., Tzeschlock, P., & Käerner, H. (2010). Nachhaltiges Bauen und Bewirtschaften. In D. Spath, W. Bauer, & S. Rief (Hrsg.), *Green Office - Ökonomische und ökologische Potenziale nachhaltiger Arbeits- und Bürogestaltung* (S. 39-62). Wiesbaden: Gabler Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.
- Naumann, S., Kern, E., & Dick, M. (2013). Classifying Green Software Engineering - The GREENSOFT Model. In C. Bunse, M. Gottschalk, S. Naumann, & A. Winter (Hrsg.), *2nd Workshop EASED@BUISS 2013 - Energy Aware Software-Engineering and Development* (Bd. 4/2013). (Oldenburg Lecture Notes on Software Engineering) Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg, Software-Eingering.
- Naumann, S., Kern, E., Dick, Markus, & Johann, T. (2015). Sustainable Software Engineering: Process and Quality Models, Life Cycle, and Social Aspects. In L. M. Hilty, & B. Aebischer (Hrsg.), *ICT Innovations for Sustainability, Advances in Intelligent Systems and Computing 310* (S. 191-205). Schweiz: Springer International Publishing.
- Nonaka, I., & Takeuchi, H. (1997). *Die Organisation des Wissens – wie japanische Unternehmen eine brachliegende Ressource nutzbar machen*. Frankfurt a.M.: Campus Verlag.
- North, K. (2016). *Wissensorientierte Unternehmensführung - Wissensmanagement gestalten* (6. Ausg.). Wiesbaden: Springer Gabler.
- North, K., Brandner, A., & Steininger, T. (2016). *Wissensmanagement für Qualitätsmanager - Erfüllung der Anforderungen nach ISO 9001:2015*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Nowak, A. (2014). *Green Business Process Management: Methode und Realisierung*. Stuttgart: Universität Stuttgart, Dissertation.
- Nowak, A., & Leymann, F. (2013). Green Business Process Patterns - Part II. *Proceedings of the 6th IEEE International Conference on Service Oriented Computing & Applications, SOCA 2013 16-18 December 2013*. Kauai, Hawaii, USA: IEEE Computer Society.
- Nowak, A., Leymann, F., Schleicher, D., Schumm, D., & Wagner, S. (2011). Green Business Process Patterns. *Proceedings of the 18th Conference on Pattern Languages of Programs, PLoP 2011, October 21–23*. Portland, OR, USA: ACM.

- NRW. (2016). *Faltblatt - Regionalforstamt Siegen-Wittgenstein*. (Landesbetrieb Wald und Holz NRW) Abgerufen am 23. 09 2016 von https://www.wald-und-holz.nrw.de/fileadmin/Publikationen/Faltblaetter/Faltblatt_RFA_Siegen-Wittgenstein.pdf
- Obama, B. (29. 06 2013). *The president's climate action plan*. Abgerufen am 10. 08 2016 von US White House: <http://www.whitehouse.gov/sites/default/files/image/president27sclimateactionplan.pdf>
- OECD. (2013). Putting Green Growth at the Heart of Development. In *OECD Green Growth Studies* (S. 192). Paris: OECD Publishing, DOI: 10.1787/9789264181144-en.
- OECD. (2011). Towards Green Growth: Monitoring Progress - OECD INDICATORS. In *OECD Green Growth Studies* (S. 144). Paris: OECD Publishing, DOI: 10.1787/9789264111356-en.
- Open Geospatial Consortium. (10. 09 2012). *OGC GeoSPARQL - A Geographic Query Language for RDF Data*, OGC 11-052r4. (M. Perry, & J. Herring, Herausgeber) Abgerufen am 07. 08 2016 von <http://www.opengis.net/doc/IS/geosparql/1.0>
- OpenStreetMap. (2016). *About OpenStreetMap*. Abgerufen am 18. 05 2016 von <https://www.openstreetmap.org/about>
- OrientDB. (2016). *OrientDB - The World's First Distributed Multi-Model NoSQL Database with a Graph Database Engine*. Abgerufen am 16. 08 2016 von <http://orientdb.com/orientdb>
- Ortner, W., & Etlinger, M. (2012). Datenmanagement für stoffstromorientierte betriebliche Umweltinformationssysteme. In M. Tschandl, & A. Posch (Hrsg.), *Integratives Umweltcontrolling* (S. 255-274). Wiesbaden: Gabler Verlag, Springer Fachmedien.
- Ortwerth, K., & Teuteberg, F. (2012). Green IT/IS Forschung - Ein systematischer Literaturreview und Elemente einer Forschungsagenda. In D. C. Mattfeld, & S. Robra-Bissantz (Hrsg.), *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2012 : Tagungsband der MKWI 2012* (S. 1501 - 1514). Braunschweig: Institut für Wirtschaftsinformatik.
- Ottman, J. A. (2011). *The New Rules of Green Marketing: Strategies, Tools, and Inspiration for Sustainable Branding*. Sheffield, UK: Greenleaf Publishing.
- Paschke, A. (2011). Rules and Logic Programming for the Web. In A. Polleres, C. d'Amato, M. Arenas, S. Handschuh, P. Kroner, S. Ossowski, et al. (Hrsg.), *Reasoning Web - Semantic Technologies for the Web of Data, 7th International Summer School 2011, Galway, Ireland, 23.-27. Aug. 2011, Tutorial Lectures* (S. 326-381). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, LNCS 6848.
- Paschke, A., Kozlenkov, A., Boley, H., & Athan, T. (23. 05 2014). *Specification of Reaction RuleML 1.0*. Abgerufen am 15. 04 2016 von RuleML: http://wiki.ruleml.org/index.php/Specification_of_Reaction_RuleML_1.0
- Pawlowski, J., & Bick, M. (2012). The Global Knowledge Management Framework: Towards a Theory for Knowledge Management in Globally Distributed Settings. *The Electronic Journal of Knowledge Management*, 10 (1), S. 92-108, Academic Publishing International Ltd., Abgerufen am 07.08.2016 von www.ejkm.com/issue/download.html?idArticle=314.
- Pellegrini, T. (2014). Die Bewirtschaftung vernetzter Daten auf Basis von Linked Data Technologien. In A. Blumauer, H. Sack, & S. Auer (Hrsg.), *Linked Enterprise Data - Management und Bewirtschaftung vernetzter Unternehmensdaten mit Semantic Web Technologien* (S. 63-81). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, X.media.press.
- Pellegrini, T., & Blumauer, A. (2006). *Semantic Web - Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft*. Berlin: Springer-Verlag.
- Penzenstadler, B., Mahaux, M., & Salinesi, C. (2012). First International Workshop on Requirements Engineering for Sustainable Systems (RE4SuSy). In R. Berntsson Svensson, D. Berry, M. Daneva, J. Dörr, S. A. Fricker, A. Herrmann, et al. (Hrsg.), *18th International Working Conference on Requirements Engineering: Foundation for Software Quality. Prodeedings of the Workshops RE4SuSy, REEW, CreaRE, RePriCo, IWSPM and the Conference Related Empirical Study, Empirical Fair and Doctoral Symposium (52). ICB-Research Report 2012 No. 52*, S. 8-12. Universität Duisburg-Essen: Institut für Informatik und Wirtschaftsinformatik.
- Poth, M. (August 2015). *Green IT: Ein Empfehlungskatalog für den Einsatz nachhaltiger Hardware- und Softwarelösungen in Unternehmen unter Berücksichtigung von Wissensmanagementansätzen*. Universität Siegen: Diplomarbeit am Lehrstuhl für Wissensbasierte Systeme und Wissensmanagement, **Fachliche Betreuung durch Mareike Dornhöfer**.
- Prakash, S., Dehoust, G., Gsell, M., Schleicher, T., & Stamminger, R. (2015). *Einfluss der Nutzungsdauer von Produkten auf ihre Umweltwirkung: Schaffung einer Informationsgrundlage und Entwicklung von Strategien gegen „Obsoleszenz“, 10/2015*. (Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau) Abgerufen am 10. 08

- 2016 von http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_10_2015_einfluss_der_nutzungsdauer_von_produkten_auf_ihre_umwelt_obsoleszenz_17.3.2015.pdf
- Probst, G., Raub, S., & Romhardt, K. (2012). *Wissen managen - Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen* (7. Ausg.). Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Rahmani, T. (2014). *Semantisches Wissensmanagement im Produktentstehungsprozess am Beispiel umweltgerechter Produktentwicklung*. Wien: Dissertation, Technische Universität Wien.
- Rapidminer Studio. (2016). Abgerufen am 12. 06 2016 von <https://rapidminer.com/products/studio/>
- Rat für Nachhaltige Entwicklung: Bilanz. (19. 04 2012). *Zehn Jahre Nachhaltigkeitsstrategie: RNE zieht durchmischte Zwischenbilanz*. Abgerufen am 11. 08 2016 von Rat für Nachhaltige Entwicklung: <https://www.nachhaltigkeitsrat.de/aktuelles/aktuelle-meldungen/detailansicht/artikel/zehn-jahre-nachhaltigkeitsstrategie-rne-zieht-durchmischte-zwischenbilanz/>
- Rat für Nachhaltige Entwicklung: Kodex. (2012). *Der Deutsche Nachhaltigkeitskodex (DNK) - Empfehlungen des Rates für Nachhaltige Entwicklung und Dokumentation des Multistakeholderforums am 26.09.2011, Nr. 41/2012*. Abgerufen am 10. 08 2016 von Nachhaltigkeitsrat: http://www.nachhaltigkeitsrat.de/uploads/media/RNE_Der_Deutsche_Nachhaltigkeitskodex_DNK_texte_Nr_41_Januar_2012.pdf
- Rat für Nachhaltige Entwicklung: Kodex. (2015). *Der Deutsche Nachhaltigkeitskodex (DNK) - Maßstab für nachhaltiges Wirtschaften, 2. komplett überarbeitete Fassung 2015, Nr. 47/2015*. Abgerufen am 11. 08 2016 von Nachhaltigkeitsrat: http://kommunaldialog.nachhaltigkeitsrat.de/fileadmin/user_upload/dokumente/publikationen/broschueren/RNE_Der_Deutsche_Nachhaltigkeitskodex_DNK_texte_Nr_47_Januar_2015.pdf
- Rautenstrauch, C. (1999). *Betriebliche Umweltinformationssysteme - Grundlagen, Konzepte und Systeme*. Berlin: Springer-Verlag.
- Recker, J. (05. 07 2011). *Class Notes: BPM Research and Education - Green, Greener, BPM?* Abgerufen am 08. 08 2016 von BPTrends: <http://www.bptrends.com/publicationfiles/07-05-2011-COL-Class%20Notes--Green%20Greener%20BPM-Recker.pdf>
- Recker, J. (2012). Modeling and Analysing the Carbon Footprint of Business Processes. In J. vom Brocke, S. Seidel, & J. Recker (Hrsg.), *Green Business Process Management. Towards the Sustainable Enterprise* (S. 93-109). Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Reinmann-Rothmeier, G. (2001). Eine integrative Sicht auf das Managen von Wissen. *Wissensmanagement*, 5, S. 51-55.
- Rudolph, S. (2011). Foundations for Description Logics. In A. Polleres, C. d'Amato, M. Arenas, S. Handschuh, P. Kroner, S. Ossowski, et al. (Hrsg.), *Reasoning Web - Semantic Technologies for the Web of Data, 7th International Summer School 2011, Galway, Irland, 23.-27. Aug. 2011, Tutorial Lectures*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, LNCS 6848.
- Rüther, M., Fock, J., Hübener, J., Bandholtz, T., & Schulte-Coerne, T. (2010). Linked Environment Data. In K. Greve, & A. B. Cremers (Hrsg.), *EnviroInfo 2010: Integration of Environmental Information in Europe, Proceedings of the 24th International Conference on Informatics for Environmental Protection, Köln/Bonn, Deutschland* (S. 470-479). Aachen: Shaker-Verlag.
- Sack, H. (2014). Linked Data Technologien – Ein Überblick. In T. Pellegrini, H. Sack, & S. Auer (Hrsg.), *Linked Enterprise Data. Management und Bewirtschaftung vernetzter Unternehmensdaten mit Semantic Web* (S. 21-62). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, X.media.press.
- Sattler, U. (2007). Reasoning in Description Logics: Basics, Extensions, and Relatives. In G. Antoniou, U. Almann, C. Baroglio, S. Decker, N. Henze, P.-L. Patranjan, et al. (Hrsg.), *Reasoning Web, Third International Summer School 2007, Dresden, Germany, September 3-7, 2007, Tutorial Lectures* (S. 154-182). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, LNCS 4636.
- Schaltegger, S., Herzig, C., Kleiber, O., Klinke, T., & Müller, J. (2007). *Nachhaltigkeitsmanagement in Unternehmen - Von der Idee zur Praxis: Managementansätze zur Umsetzung von Corporate Social Responsibility und Corporate Sustainability*. (Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit; ecosense - Forum Nachhaltige Entwicklung der Deutschen Wirtschaft e.V. ; Center for Sustainability Management (CSM) der Leuphana Universität Lüneburg (Hrsg.)) Abgerufen am 10. 08 2016 von http://www.econsense.de/sites/all/files/nachhaltigkeitsmanagement_unternehmen.pdf
- Schentz, H., Peterseil, J., & Bertrand, N. (2013). EnvThes - interlinked thesaurus for long term ecological research, monitoring and experiments. In *EniroInfo 2013: Environmental Informatics and Renewable Energies*. Aachen: Shaker Verlag.

- Schlachter, T., Ebel, R., & Weidemann, R. (2009). Erschließen von Datenbank-Inhalten durch die Volltextsuche in Landes-Umweltportalen. In Umweltbundesamt (Hrsg.), *Umweltinformationssysteme - Suchmaschinen und Wissensmanagement - Methoden und Instrumente 01/2009, Workshop des Arbeitskreises "Umweltdatenbanken/Umweltinformationssysteme" der Fachgruppe "Informatik im Umweltschutz", Umweltbundesamt Dessau, 05.-06.06.08* (S. 1-8). Abgerufen am 11.08.2016 von <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3694.pdf>.
- Schlachter, T., Geiger, W., Weidemann, R., Zilly, G., Ebel, R., Tauber, M., et al. (2011). *LUPO - Bereitstellung flexibel nutzbarer Dienste in Landesumweltportalen*. Baden-Württemberg: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Abgerufen am 08.08.2016 von <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/100264/kewa6-iai-lupo.pdf?command=downloadContent&filename=kewa6-iai-lupo.pdf>.
- Schmachtenberg, M., Bizer, C., Jentzsch, A., & Cyganiak, R. (2014). *Linking Open Data cloud diagram 2014*. Abgerufen am 02. 05 2016 von Linked Opend Data Cloud: <http://lod-cloud.net>
- Schmalenbach, H. H. (2013). *Ontologien zum Bereitstellen von Gestaltungswissen am Beispiel von Ingenieurkeramik*. Karlsruhe: IPEK Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie.
- Schmick, M. A., & Kinderknecht, C. (März 2016). *Analyse von Wissensmanagement Modellen zur Unterstützung von Umweltmanagement und Green BMP*. Universität Siegen: Bachelor-Projektseminararbeit am Lehrstuhl für Wissensbasierte Systeme und Wissensmanagement, **Fachliche Betreuung durch Mareike Dornhöfer**.
- Schmick, M. A., & Kinderknecht, C. (September 2016). *Simulation eines Wissensmarkts zur Wissensakquise und -verteilung im Umweltmanagement*. Universität Siegen: Bachelor-Arbeit am Lehrstuhl für Wissensbasierte Systeme und Wissensmanagement, **Fachliche Betreuung durch Mareike Dornhöfer**.
- Schmidt, M. (2006). *Der Einsatz von Sankey-Diagrammen im Stoffstrommanagement* (Bd. Nr. 124). (A. Häfner, N. Jost, K.-H. Rau, R. Scherr, C. Wehner, & R. Maurer, Hrsg.) Pforzheim: Hochschule Pforzheim, Abgerufen von http://umwelt.hs-pforzheim.de/fileadmin/dokumente/2006/Nr_124-Der_Einsatz_von_Sankey-Diagrammen_im_Stoffstrommanagement.pdf.
- Schmidt, W. (2016). *Konzeption und Implementierung eines Environmental Data Warehouse zur Unterstützung des Umweltcontrolling in Industrieunternehmen*. Universität Siegen: Diplomarbeit am Lehrstuhl für Wissensbasierte Systeme und Wissensmanagement, **Fachliche Betreuung durch Mareike Dornhöfer**.
- Schultz, A., Matteini, A., Isele, R., Mendes, P., Bizer, C., & Becker, C. (2012). LDIF - A Framework for Large-Scale Linked Data Integration. *21st International World Wide Web Conference (WWW2012), Developers Track, April 2012*. Lyon, Frankreich, Abgerufen am 08.08.2016 von <http://wifo5-03.informatik.uni-mannheim.de/bizer/pub/Schultz-et-al-LDIF-WWW2012-DevTrack.pdf>.
- Seidel, E. (Hrsg.). (1999). *Betriebliches Umweltmanagement im 21. Jahrhundert - Aspekte, Aufgaben, Perspektiven*. Berlin: Springer-Verlag.
- Seidel, S., & Recker, J. (2012). Implementing Green Business Processes: The Importance of Functional Affordances of Information Systems. *23rd Australasian Conference on Information Systems, 3-5 Dez. 2012*, (S. 1-10). Geelong.
- Sissa, G. (2011). Utility Computing: Green Opportunities and Risks. (J.-C. López-López, G. Sissa, & L. Natvig, Hrsg.) *The European Journal for the Informatics Professional, Green ICT: Trends and Challenges, CEPIS UPGRADE, XII* (4), S. 16-21.
- Sommer, A. (2012). *Managing Green Business Model Transformations* (Bde. Sustainable Production, Life Cycle Engineering and Management - Dissertation, Leuphana Universität Lüneburg). (C. Herrmann, & S. Kara, Hrsg.) Berlin: Springer-Verlag.
- Sommer, P. (2010). Instrumente zur Unterstützung des Umweltmanagements. In M. Kramer (Hrsg.), *Integratives Umweltmanagement - Systemorientierte Zusammenhänge zwischen Politik, Recht, Management und Technik* (S. 321-384). Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Soori, H. A. (2015). *Konzeption und Umsetzung eines öffentlichen Umweltinformationssystems unter Verwendung semantikbasierter Technologien*. Universität Siegen: Diplomarbeit am Lehrstuhl für Wissensbasierte Systeme und Wissensmanagement, **Fachliche Betreuung durch Mareike Dornhöfer**.
- Spath, D., Bauer, W., & Rief, S. (Hrsg.). (2010). *Green Office. Ökonomische und ökologische Potenziale nachhaltiger Arbeits- und Bürogestaltung*. Wiesbaden: Gabler Verlag, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH.

- Spektrum Akademischer Verlag. (2001). *Lexikon der Kartographie und Geomatik - Basisinformationssysteme*. Abgerufen am 10. 08 2016 von Spektrum Lexikon: <http://www.spektrum.de/lexikon/kartographie-geomatik/basisinformationssysteme/399>
- Spindler, E. A. (2016). *Geschichte der Nachhaltigkeit - Vom Werden und Wirken eines beliebten Begriffes*. Abgerufen am 08. 08 2016 von Lexikon der Nachhaltigkeit: <http://www.nachhaltigkeit.info/media/1326279587phpeJPvC.pdf>
- Stadler, C., Lehmann, J., Höffner, K., & Auer, S. (2012). LinkedGeoData: A Core for a Web of Spatial Open Data. *Semantic Web Journal*, 3 (4), S. 333-354.
- Stanford University: Protégé. (2016). *Protégé*. (Stanford Center for Biomedical Informatics Research) Abgerufen am 04. 05 2016 von Protégé Software: <http://protege.stanford.edu/>, <http://protege.stanford.edu/about.php#citing>
- Statista - Kommunales Abfallaufkommen. (2014). *Kommunales Abfallaufkommen in den Ländern der EU-28 im Jahr 2014 (in Kilogramm pro Person)*. Abgerufen am 08. 08 2016 von Statista - Das Statistikportal: <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/152320/umfrage/kommunales-abfallaufkommen-in-der-eu-28/>
- Statistisches Bundesamt: IKT. (05. 03 2013). *IKT-Branche in Deutschland - Bericht zur wirtschaftlichen Entwicklung - Ausgabe 2013*. Abgerufen am 08. 08 2016 von Destatis, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UnternehmenHandwerk/Unternehmen/IKT_BrancheDeutschland5529104139004.pdf
- Statistisches Bundesamt: Indikatorenbericht. (27. 10 2014). *Nachhaltige Entwicklung in Deutschland - Indikatorenbericht 2014*. Abgerufen am 10. 08 2016 von Destatis, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/Umweltindikatoren/IndikatorenPDF_0230001.pdf
- Statistisches Bundesamt: Umweltnutzung und Wirtschaft. (17. 12 2013). *Umweltnutzung und Wirtschaft - Bericht zu den Umweltökonomischen Gesamtrechnungen 2013*. Abgerufen am 27. 09 2016 von Destatis - Statistisches Bundesamt, Wiesbaden: <https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/Querschnitt/UmweltnutzungundWirtschaftBericht5850001137004.pdf>
- Statistisches Bundesamt: Umweltökonomische Gesamtrechnungen. (18. 04 2016). *Umweltökonomische Gesamtrechnungen, Nachhaltige Entwicklung in Deutschland - Indikatoren zu Umwelt und Ökonomie*. Abgerufen am 10. 08 2016 von Destatis, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden: https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UmweltoekonomischeGesamtrechnungen/Umweltindikatoren/IndikatorenPDF_5850012.pdf
- STReSS Forschungsverbund. (2016). *Trees twitter current trim - European science network facilitates real-time reports*. Abgerufen am 16. 06 2016 von http://stress-cost.eu/images/stories/Documents/STReSS_press-release.pdf
- Stuckenschmidt, H. (2011). *Ontologien. Konzepte, Technologien und Anwendungen*. (2. Ausg.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Stuckenschmidt, H., & van Harmelen, F. (2005). *Information Sharing on the Semantic Web*. Berlin: Springer-Verlag.
- Taina, J. (2011). Good, Bad and Beautiful Software - In Search of Green Software Quality Factors. (J. C. López-López, G. Sissa, & L. Nativg, Hrsg.) *The European Journal for the Informatics Professional, Green ICT: Trends and Challenges, CEPIS UPGRADE*, XII (4), S. 22-27.
- Teschl, G., & Teschl, S. (2008). *Mathematik für Informatiker, Band 1: Diskrete Mathematik und Lineare Algebra* (3. Ausg.). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Thünen Institut für Waldökosysteme: 1.+ 2. Waldinventur. (2016). *Download der Daten des Thünen WMS - Waldinventur 2002 und 1987, Bundesinstitut Ländliche Räume, Wald und Fischerei*. Abgerufen am 16. 06 2016 von https://gdi.ti.bund.de/wo/bwi/bwi2009_download.php
- Thünen Institut für Waldökosysteme: 3. Waldinventur. (2014). *Dritte Bundeswaldinventur - Ergebnisdatenbank, Auftragskürzel 77V1PI_L244mf_0212_bi, Archivierungsdatum 2014-9-23 16:47:18.970, Überschrift: Index des Vorrates (Anfang der Auswertungsperiode = 100%) [%] nach Land und Baumartengruppe, Filter: 2002-2012*. Abgerufen am 16. 06 2016 von <https://bwi.info>
- Thünen Institut für Waldökosysteme: Datenzentrum Wald. (2016). *Datenzentrum Wald des Thünen Instituts, Bundesinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei*. Abgerufen am 18. 06 2016 von <https://www.thuenen.de/de/wo/arbeitsbereiche/datenzentrum-wald/>

- Thünen Institut für Waldökosysteme: Thünen-GDI. (2016). *Projekt Thünen-GDI, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei*. Abgerufen am 18. 06 2016 von <https://www.thuenen.de/de/wo/projekte/datenzentrum-wald/projekte-datenzentrum-wald/thuenen-gdi/>
- TimeKontor AG. (2015). *Green IT Cockpit*. Abgerufen am 10. 08 2016 von Projektwebseite: <http://www.greenit-cockpit.de/projekt.html>
- Tochtermann, K., & Maurer, H. (2006). Semantic Web - Geschichte und Ausblick einer Vision. In T. Pellegrini, & A. Blumauer, *Semantic Web. Wege zur vernetzten Wissensgesellschaft* (S. 1-6). Berlin: Springer-Verlag.
- Tschandl, M., & Posch, A. (Hrsg.). (2012). *Integriertes Umweltcontrolling - Von der Stoffstromanalyse zum Bewertungs- und Informationssystem* (2. Ausg.). Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Twitter: TreeWatchNet. (2016). *Twitter-Accounts des Projektes TreeWatch.net und des Baumes TreeWatchBritz*. Abgerufen am 16. 06 2016 von <https://twitter.com/TreeWatchNet>, <https://twitter.com/TreeWatchBritz>
- U.S. Geological Survey. (2016). *Geospatial Semantics and Ontology*. Abgerufen am 21. 04 2016 von U.S. Geological Survey - Center of Excellence for Geospatial Information Science: <http://cegis.usgs.gov/ontology.html>
- Uhr, P. (2014). *CIMAWA – Entwicklung und Anwendung einer textbasierten Assoziations-Berechnungsmethode*. Lehrstuhl für Wissensbasierte Systeme und Wissensmanagement. Siegen: Universität Siegen, Dissertation.
- UK Prime Minister's Office et al. (18. 06 2013). *2013 Lough Erne G8 Leaders' Communiqué, Policy Paper*. Abgerufen am 27. 09 2016 von GOV.UK, The communiqué was agreed to by G8 leaders at the 2013 summit.: <https://www.gov.uk/government/publications/2013-lough-erne-g8-leaders-communicue>
- Umweltbundesamt. (01/2009). *Umweltinformationssysteme - Suchmaschinen und Wissensmanagement - Methoden und Instrumente. Workshop des Arbeitskreises „Umweltdatenbanken/Umweltinformationssysteme“ der Fachgruppe „Informatik im Umweltschutz“, Dessau-Roßlau am 05. und 06. Juni 2008*. Abgerufen am 08. 08 2016 von Umweltbundesamt: <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3694.pdf>.
- Umweltbundesamt: "Haus 2019". (04. 03 2015). *Neubau Bürogebäude "Haus 2019" in Berlin-Marienfelde*. Abgerufen am 08. 08 2016 von Umweltbundesamt: <http://www.umweltbundesamt.de/neubau-buerogebaeude-haus-2019-in-berlin>
- Umweltbundesamt: EMAS. (11 2015). *Aktualisierte EMAS-Umwelterklärung 2015 des Umweltbundesamtes*. Abgerufen am 08. 08 2016 von Umweltbundesamt: http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/aktualisierte_emas-umwelterklaerung_des_umweltbundesamtes_2015_0.pdf
- Umweltbundesamt: LED. (02. 02 2016). *Zusammenbringen was zusammengehört - Linked Environment Data - „LED“*. Abgerufen am 08. 08 2016 von Umweltbundesamt: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/information-als-instrument/linked-environment-data>
- Umweltbundesamt: Semantische Webdienste. (04. 02 2016). *Daten und Informationen finden - Semantische Webdienste - SNS*. Abgerufen am 08. 08 2016 von Umweltbundesamt: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/information-als-instrument/daten-informationen-finden-semantische-webdienste>
- Umweltbundesamt: SNS. (04. 05 2010). *Semantic Network Service - Erläuterung*. Abgerufen am 08. 08 2016 von Umweltbundesamt: http://www.semantic-network.de/doc_intro.html
- Umweltbundesamt: UMTHESES. (2016). *Umweltthesaurus UMTHESES*. Abgerufen am 08. 08 2016 von Umweltbundesamt: <http://data.uba.de/umt/de.html>
- Umweltdatenbank.de. (2016). *Das Umwelt-Lexikon, Stichwort: Umweltmanagementsystem*. Abgerufen am 08. 08 2016 von Umweltdatenbank: <http://www.umweltdatenbank.de/cms/lexikon/lexikon-u/2520-umweltmanagementsystem.html>
- unilab AG: GreenPAD. (2011). *GreenPAD - Energieoptimierte IKT für regionale Wirtschafts- und Wissenscluster, Projektwebseite*. Abgerufen am 15. 06 2016 von <http://www.greenpad.de/projekt/index.html>
- United Nations. (25. 09 2015). *Sustainable Development Goals - 17 Goals to transform our World*. Abgerufen am 11. 08 2016 von <http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

- Universiteit Gent. (2016). *TreeWatch.Net*. (Laboratory of plant ecology) Abgerufen am 16. 06 2016 von <https://treewatch.net/>
- University of Manchester. (2016). *FACT++ OWL Reasoner*. Abgerufen am 02. 05 2016 von University of Manchester: <http://owl.man.ac.uk/factplusplus/>
- University of Oxford. (2016). *Hermit OWL Reasoner*. (University of Oxford - Information System Group - Knowledge Representation and Reasoning) Abgerufen am 02. 05 2016 von <http://www.hermit-reasoner.com/>
- van der Waal, S., Wechel, K., Ermilov, I., Janev, V., Milosevic, U., & Wainwright, M. (2014). Lifting Open Data Portals to the Data Web. In S. Auer, V. Bryl, & S. Tramp (Hrsg.), *Linked Open Data - Creating Knowledge Out of Interlinked Data - Results of the LOD2 Project* (S. 175-195). Heidelberg New York: Springer-Verlag, LNCS 8661.
- van Nuffelen, B., Janev, V., Martin, M., Mijovic, V., & Tramp, S. (2014). Supporting the Linked Data Life Cycle Using an Integrated Tool Stack. In S. Auer, V. Bryl, & S. Tramp (Hrsg.), *Linked Open Data - Creating Knowledge Out of Interlinked Data - Results of the LOD2 Project* (S. 108-129). Heidelberg: Springer-Verlag, LNCS 8661.
- VDI Norm 5610. (2014 (2009)). *VDI Norm 5610 - Wissensmanagement im Ingenieurwesen - Grundlagen, Konzepte, Vorgehen, Blatt 1*. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure e.V.
- VIRTUOSO. (2016). *Virtuoso SPARQL Query Editor*. Abgerufen am 12. 06 2016 von <http://dbpedia.org/sparql>
- vom Brocke, J., Seidel, S., & Recker, J. (Hrsg.). (2012). *Green Business Process Management: Towards the Sustainable Enterprise*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- W3C:IoT. (26. 11 2015). *IoT-Lite Ontology, W3C Member Submission*. (M. Bermudez-Edo, T. Elsaleh, P. Barnaghi, & K. Taylor, Herausgeber) Abgerufen am 11. 04 2016 von W3C: <https://www.w3.org/Submission/2015/SUBM-iot-lite-20151126/>
- W3C:LOD. (2014). *SweoIG/TaskForces/CommunityProjects/LinkingOpenData*. Abgerufen am 07. 12 2014 von W3C: <http://www.w3.org/wiki/SweoIG/TaskForces/CommunityProjects/LinkingOpenData>
- W3C:ManchesterSyntax. (05. 10 2012). *ManchesterSyntax*. (W3C - OWL Working Group) Abgerufen am 10. 04 2016 von W3C: <https://www.w3.org/2007/OWL/wiki/ManchesterSyntax>
- W3C:OWL2. (11. 12 2012). *OWL2 - OWL 2 Web Ontology Language, Document Overview (Second Edition), W3C Recommendation*. (W3C - OWL Working Group) Abgerufen am 02. 05 2016 von W3C: <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/>
- W3C:OWLReasoner. (2016). *Liste OWL Reasoner*. Abgerufen am 02. 05 2016 von W3C: <https://www.w3.org/2001/sw/wiki/OWL/Implementations>
- W3C:QU. (2011). *QU Ontology, Library for Quantity Kinds and Units: schema, based on QUDV model OMG SysML(TM), Version 1.2*. (H. P. de Koning, N. Rouquette, R. Burkhart, H. Espinoza, & L. Lefort, Herausgeber) Abgerufen am 08. 08 2016 von W3C: <https://www.w3.org/2005/Incubator/ssn/ssnx/qu/qu>, <http://purl.oclc.org/NET/ssnx/qu/qu>
- W3C:RDF Data Cube Vocabulary. (16. 01 2016). *The RDF Data Cube Vocabulary, W3C Recommendation 16 January 2014*. (R. Cyganiak, & D. Reynolds, Herausgeber) Abgerufen am 16. 07 2016 von W3C: <https://www.w3.org/TR/vocab-data-cube/#data-cubes>
- W3C:RDF(S). (25. 02 2014). *RDF(S): Ressource Description Framework (Schema), RDF Schema 1.1 Recommendation*. (D. Brickley, & R. Guha, Herausgeber) Abgerufen am 08. 08 2016 von W3C: <https://www.w3.org/TR/rdf-schema>
- W3C:RIF-Primer. (05. 02 2013). *RIF Primer (Second Edition) - W3C Working Group Note, 2. Edition*. (L. Morgenstern, C. Welty, H. Boley, & G. Hallmark, Herausgeber) Abgerufen am 15. 04 2016 von W3C: <https://www.w3.org/TR/rif-primer/>
- W3C:SemanticWeb. (28. 01 2014). *Semantic Web*. Abgerufen am 08. 08 2016 von W3C: http://www.w3.org/2001/sw/wiki/Main_Page
- W3C:SKOS. (18. 08 2009). *SKOS Simple Knowledge Organization System Reference, W3C Recommendation*. (A. Miles, & S. Bechhofer, Herausgeber) Abgerufen am 08. 08 2016 von W3C: <http://www.w3.org/TR/skos-reference>
- W3C:SPARQL. (21. 03 2013). *SPARQL, V1.1, Query Language, W3C Recommendation*. (S. Harris, & A. Seaborne, Herausgeber) Abgerufen am 08. 08 2016 von W3C: <https://www.w3.org/TR/2013/REC-sparql11-query-20130321/>

- W3C:SPARQL-UpdateLanguage. (21. 03 2013). *SPARQL 1.1 - Update Language, W3C Recommendation*. (P. Gearon, A. Passant, & A. Polleres, Herausgeber) Abgerufen am 08. 08 2016 von W3C: <https://www.w3.org/TR/2013/REC-sparql11-update-20130321/>
- W3C:SSN. (2011). *Semantic Sensor Network Ontology*. (W3C Semantic Sensor Network Incubator Group) Abgerufen am 08. 08 2016 von W3C: <https://www.w3.org/2005/Incubator/ssn/ssnx/ssn>, <http://purl.oclc.org/NET/ssnx/ssn>
- W3C:SWRL. (21. 05 2004). *SWRL: A Semantic Web Rule Language - Combining OWL and RuleML, W3C Member Submission*. (I. Horrocks, P. F. Patel-Schneider, H. Boley, S. Tabet, B. Grosz, & M. Dean, Herausgeber) Abgerufen am 11. 04 2016 von W3C: <https://www.w3.org/Submission/2004/SUBM-SWRL-20040521/>
- W3C:TurtleSyntax. (28. 03 2011). *Turtle Syntax - Terse RDF Triple Language, W3C Team Submission*. (D. Beckett, & T. Berners-Lee, Herausgeber) Abgerufen am 08. 08 2016 von W3C: <http://www.w3.org/TeamSubmission/turtle>
- W3C:WGS84. (20. 04 2009). *WGS84 Geo Positioning: an RDF vocabulary*. Abgerufen am 23. 05 2016 von W3C: https://www.w3.org/2003/01/geo/wgs84_pos
- Wagner, S. (2010). *Entscheidungsorientiertes Umweltkostenmanagement - Konzeption zur aktiven Gestaltung von Umweltkosten im betrieblichen Umweltmanagement*. Köln: Kölner Wissenschaftsverlag.
- Walther, D. (2009). *Green Business - das Milliardengeschäft - Nach den Dot-coms kommen jetzt die Dot-greens*. Wiesbaden: Gabler Verlag.
- Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). (2016). *Pegelonline - Gewässerkundliches Informationssystem*. (WSV im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Herausgeber) Abgerufen am 08. 08 2016 von Pegelonline: <https://www.pegelonline.wsv.de>
- Watson, R. T., Boudreau, M.-C., & Chen, A. J. (2010). Information Systems and Environmentally Sustainable Development: Energy Informatics and New Directions for the IS Community. *MIS Quarterly*, 34 (1), S. 23-38.
- WCED. (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future*. Abgerufen am 05. 08 2013 von UN Dokumente: <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>
- Weber, F. M. (2009). *Umweltmanagementsysteme im internationalen Kontext - Eine Analyse unter komparativen, institutionenökonomischen und systemischen Aspekten* (Bde. Schriften zur ökologischen Betriebswirtschaftslehre, Dissertation Universität Siegen). (E. Seidel, Hrsg.) Aachen: Shaker Verlag.
- Weiß, D., Müller, R., & Lössl, S. (07 2013). *Umweltkennzahlen in der Praxis - Ein Leitfaden zur Anwendung von Umweltkennzahlen in Umweltmanagementsystemen mit dem Schwerpunkt auf EMAS*. (Bundesumweltministerium-Umweltbundesamt, Herausgeber) Abgerufen am 08. 08 2016 von http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/umweltkennzahlen_in_der_praxis_leitfaden_barrierefrei.pdf
- Wietschel, M. (2002). *Stoffstrommanagement*. Frankfurt a.M.: Peter Lang Verlag.
- Wikipedia: Orkan Kyrill. (2016). *Orkan Kyrill*. Abgerufen am 18. 07 2016 von Wikipedia: https://de.wikipedia.org/wiki/Orkan_Kyrill
- Wikipedia: Orkan Niklas. (2016). *Orkan Niklas*. Abgerufen am 16. 07 2016 von Wikipedia: https://de.wikipedia.org/wiki/Orkan_Niklas
- Wissensbilanz-Toolbox. (2016). *Wissensbilanz-Toolbox*. (Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK)) Abgerufen am 22. 05 2016 von Arbeitskreis Wissensbilanzierung: <http://www.akwissensbilanz.org/wbtoolbox.htm>
- WordPress. (2016). Abgerufen am 18. 07 2016 von <https://de.wordpress.org>
- Zsifkovits, H., & Brunner, U. (2012). Konzeption und Planung von Umweltinformationssystemen. In M. Tschandl, & A. Posch (Hrsg.), *Integriertes Umweltcontrolling - Von der Stoffstromanalyse zum Bewertungs- und Informationssystem* (S. 232-253). Wiesbaden: Gabler Verlag, Springer Fachmedien.

Hinweise zum Literaturverzeichnis

Eigene Publikationen:

Die während der Dissertation entstandenen eigenen Publikationen werden in obiger Liste in fetter Schriftart gekennzeichnet. Weitere Publikationen im Rahmen von Projektstätigkeiten am Institut für Wissensbasierte Systeme & Wissensmanagement werden in **Anhang D** gelistet.

Studentische Arbeiten:

Alle referenzierten studentischen Arbeiten der Praxisbeispiele entstanden am Institut für Wissensbasierte Systeme & Wissensmanagement, Gutachter Prof. M. Fathi. Die Arbeiten wurden als Referenzen im Literaturverzeichnis gelistet und mit „**Fachliche Betreuung Mareike Dornhöfer**“ gekennzeichnet. Die Autorin bedankt sich an dieser Stelle bei den genannten Studenten für ihre Bereitschaft und ihren Einsatz die ausgeschriebenen Themen zu bearbeiten und so einzelne Themengebiete der Arbeit aus anderen Blickwinkeln zu betrachten.

Anhang A: Überblick ISO 14001 – Schema

Zusammenfassender Überblick DIN EN ISO 14001, nach (DIN EN ISO 14001 - v2015, 2015):



Abbildung 103: Zusammenfassender Überblick (DIN EN ISO 14001 - v2015, 2015)

Anhang B: Überblick EMAS-Schema

Durchführung einer (ersten) Umweltprüfung

- Anhang I, Basis für das Umweltmanagementsystem
- Erfassung aller relevanten Umweltrechtsvorschriften
- Erfassung der direkten /indirekten Umweltaspekte und ihrer Auswirkungen
- Kriterien zur Bewertung der Auswirkungen sowie Bewertung der bisherigen Vorfälle

Planung und Einführung eines Umweltmanagementsystems

- Anhang II
- Kernelemente sind die Anforderungen nach ISO 14001
- Umsetzung der erweiterten Anforderungen nach EMAS III - Anhang II

Durchführung einer Umweltbetriebsprüfung (Regelprüfung)

- Artikel 9, Anhang III
- Aufstellen eines Programms zum Umfang der Prüfung
- Kriterien für die Umweltleistung
- Kommunikation mit den Mitarbeitern
- Bewertung der ermittelten Ergebnisse & Dokumentation der Prüfung
- Interne Prüfung und Prüfung durch einen unabhängigen Prüfer

Erstellung einer Umwelterklärung

- Artikel 2.18, Anhang IV
- Auflistung wichtiger Kernindikatoren bezogen auf Energie, Material, Wasser, Abfall, biologische Vielfalt und Emissionen
- Beschreibung der Organisationsstruktur, der vorgegebenen Umweltpolitik und dem eingeführten Umweltmanagementsystem, sowie den erfassten Umweltaspekten und deren zugeordneten -auswirkungen, dem Umweltprogramm der Organisation inkl. Umweltziele, sowie der ermittelten Umweltleistung und eine Konformität zu bestehenden Umweltrichtlinien
- Validierung durch einen Prüfer

Registrierung der Organisation

- Artikel 5
- Voraussetzung für die Erstregistrierung: Validierte Umwelterklärung, Formular
- Die Organisation wird bei Positivprüfung in ein Register aufgenommen

Verlängerung der Registrierung

- Artikel 6:
 - Alle 3 Jahre eine vollständige Umweltbetriebsprüfung sowie Erstellung einer Umwelterklärung inkl. Validierung
 - Jedes Jahr eine Betriebsprüfung der Änderungen, sowie eine aktualisierte Version der Umwelterklärung inkl. Validierung
- Artikel 7: Bei KMUs können auf Antrag die Zyklen auf alle 4 anstatt 3 Jahre sowie jedes zweite anstelle jedes Jahres verlängert werden.

Veröffentlichung der Umwelterklärung

- Artikel 6, die Veröffentlichung erfolgt max. 1 Monat nach Registrierung bzw. Verlängerung

Abbildung 104: Überblick EMAS III Verordnung, (EMASIII, 2009)

Anhang C: Eingesetzte Softwarelösung zur Umsetzung der UmweltWiS-Ontologie

Bevor das UmweltWiS-Vernetzungsschema eingehender prototypisch betrachtet wird, soll kurz die eingesetzte Softwarelösung vorgestellt werden. Es wurde sich hier dazu entschieden die Software Protégé (Stanford University: Protégé, 2016) ⁴⁴ zur Modellierung der Umsetzungsbeispiele einzusetzen. Protégé wird durch die Universität Stanford herausgegeben und ist ein Community unterstützter Editor zur Modellierung und Auswertung von Ontologien bspw. mittels Logik und Regeln. Der Vorteil der Software liegt vor allem darin, dass verschiedene Reasoner und weitergehende Plugins etwa zur Visualisierung der Ontologie mittels interaktiver Graph-Darstellung möglich sind. Ebenso wird diese kontinuierlich aktualisiert und funktional erweitert wird. Dies war bei anderen frei verfügbaren Ontologie-Werkzeugen häufig nicht der Fall.

Ebenso lassen sich Abfragen der Ontologie und deren Instanzen mittels SPARQL stellen und in der Folge mittels Regeln Reasoningauswertungen umsetzen. Gemäß der Hersteller der Software ist so ein Aufbau von intelligenten Systemen möglich, wobei Protégé W3C Standards wie RDF (W3C:RDF(S), 2014) und OWL2 (W3C:OWL2, 2012) unterstützt (Stanford University: Protégé, 2016). Im Zuge der Modellierung der Ontologie findet ein implizites Rendering als RDF, OWL oder XML statt. Auf diese Weise lässt sich die dann erstellte Ontologie exportieren und bei Bedarf in einer anderen Anwendung einspielen oder als eigene Ontologie im Sinne von Linked Open Data publizieren. Es wird an dieser Stelle der Arbeit die semantische Logikschicht des UmweltWiS fokussiert. Bei einer umfangreichen Umsetzung des UmweltWiS-Konzeptes, wie in Abbildung 34 vorgestellt, wären sicherlich weitergehende Softwarelösungen notwendig, um die Datenhaltungsschicht, weitergehende Reporting- und Analysefunktionen und die Benutzeroberfläche für den Endanwender (z.B. mittels Content-Management-System) umzusetzen. Weitere Anmerkungen hierzu werden im Laufe des Kapitels 5 und im Zuge der Anwendungsfälle in Kapitel 6 beschrieben.

Abschließend zeigt folgende Abbildung die Oberfläche von Protégé inkl. der Visualisierung als Graph anhand eines kleinen Beispielszenarios bzgl. der Entitäten *Zeitung*, *Zeitungsthema* und *Region*⁴⁵ in der diese publiziert wird. Es wird darauf hingewiesen, das bei denen im Verlauf der Arbeit dargestellten Abbildungen nicht immer der gesamte Bildausschnitt aus Protégé gezeigt wird, sondern nur der gerade diskutierte Aspekt. Entitäten sind dabei visuell mit orangen Punkten  sichtbar, Individuen mittels einer lila Raute . Die mittels der Object Properties abgebildeten Abhängigkeiten zwischen Entitäten oder Individuen werden mittels gestrichelter farbiger Linien abgebildet. Direkte Subklassen-

⁴⁴ Zitierhinweis Protégé: „*This work was conducted using the Protégé resource, which is supported by grant GM10331601 from the National Institute of General Medical Sciences of the United States National Institutes of Health.*“ (Stanford University, 2016)

⁴⁵ In der Folge dieser Arbeit werden die Ontologie Entitäten oder Properties entsprechend abweichend zum Fließtext formatiert dargestellt, um so eine einfachere Lesbarkeit zu realisieren.

Beziehungen oder die Zuordnung eines Individuums zu einer Entität werden durch eine durchgezogene Linie dargestellt.

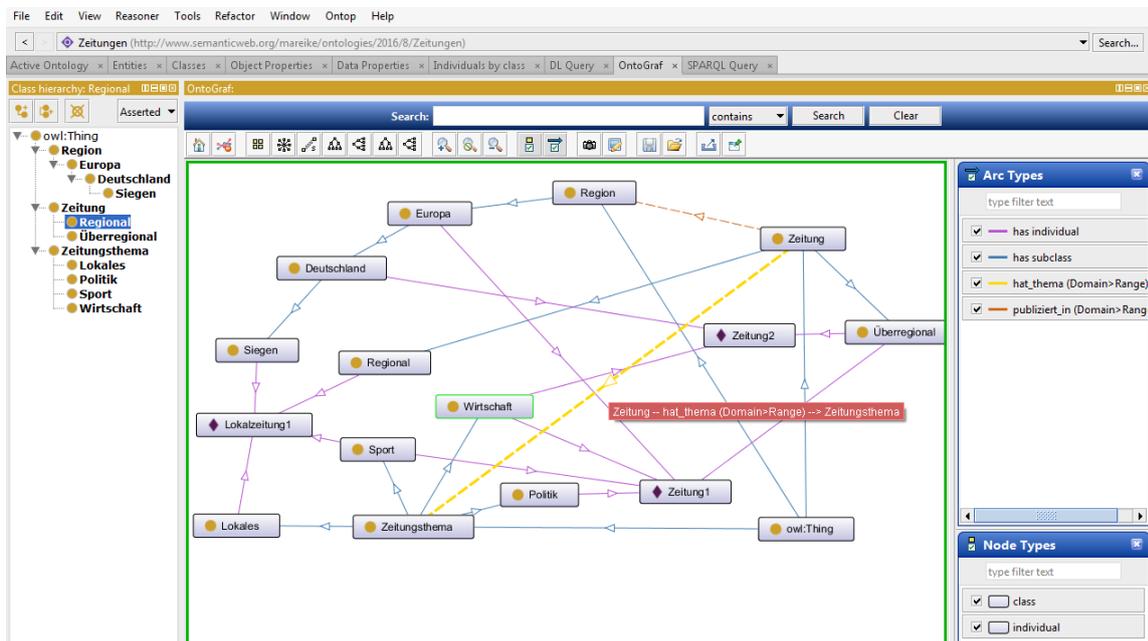


Abbildung 105 - Softwarelösung Protégé (Stanford University, 2016), eigenes Beispiel

Green KM Cube	Wissensziel	Soziales Wissensziel	Ökologisches Wissensziel	Ökonomisches Wissensziel	Nachhaltigkeit	Umweltmanagement
Vorhaben	definiert_Wissensziel	definiert_Wissensziel_soz	definiert_Wissensziel_ökol	definiert_Wissensziel_ökon	beeinflusst_durch_NM	beeinflusst_durch_UM
Green Ebene	abhängig_von_Wissensziel	abhängig_von_Wissensziel_soz	abhängig_von_Wissensziel_ökol	abhängig_von_Wissensziel_ökon	beeinflusst_durch_NM	beeinflusst_durch_UM
Green Building	abhängig_von_Wissensziel	abhängig_von_Wissensziel_soz	abhängig_von_Wissensziel_ökol	abhängig_von_Wissensziel_ökon	beeinflusst_durch_NM	beeinflusst_durch_UM
Green ICT	abhängig_von_Wissensziel	abhängig_von_Wissensziel_soz	abhängig_von_Wissensziel_ökol	abhängig_von_Wissensziel_ökon	beeinflusst_durch_NM	beeinflusst_durch_UM
Green SE	abhängig_von_Wissensziel	abhängig_von_Wissensziel_soz	abhängig_von_Wissensziel_ökol	abhängig_von_Wissensziel_ökon	beeinflusst_durch_NM	beeinflusst_durch_UM
Green InfoSys	abhängig_von_Wissensziel	abhängig_von_Wissensziel_soz	abhängig_von_Wissensziel_ökol	abhängig_von_Wissensziel_ökon	beeinflusst_durch_NM	beeinflusst_durch_UM
Green BPM	abhängig_von_Wissensziel	abhängig_von_Wissensziel_soz	abhängig_von_Wissensziel_ökol	abhängig_von_Wissensziel_ökon	beeinflusst_durch_NM	beeinflusst_durch_UM
Green Behavior	abhängig_von_Wissensziel	abhängig_von_Wissensziel_soz	abhängig_von_Wissensziel_ökol	abhängig_von_Wissensziel_ökon	beeinflusst_durch_NM	beeinflusst_durch_UM
Wissensphase	abhängig_von_Wissensziel	abhängig_von_Wissensziel_soz	abhängig_von_Wissensziel_ökol	abhängig_von_Wissensziel_ökon	beeinflusst_durch_NM	beeinflusst_durch_UM
Wissensentwicklung	abhängig_von_Wissensziel	abhängig_von_Wissensziel_soz	abhängig_von_Wissensziel_ökol	abhängig_von_Wissensziel_ökon	beeinflusst_durch_NM	beeinflusst_durch_UM
Wissenstransfer	abhängig_von_Wissensziel	abhängig_von_Wissensziel_soz	abhängig_von_Wissensziel_ökol	abhängig_von_Wissensziel_ökon	beeinflusst_durch_NM	beeinflusst_durch_UM
Wissensanwendung	abhängig_von_Wissensziel	abhängig_von_Wissensziel_soz	abhängig_von_Wissensziel_ökol	abhängig_von_Wissensziel_ökon	beeinflusst_durch_NM	beeinflusst_durch_UM
Wissensbewertung	abhängig_von_Wissensziel	abhängig_von_Wissensziel_soz	abhängig_von_Wissensziel_ökol	abhängig_von_Wissensziel_ökon	beeinflusst_durch_NM	beeinflusst_durch_UM
Wissensziel	abhängig_von_Wissensziel	abhängig_von_Wissensziel_soz	abhängig_von_Wissensziel_ökol	abhängig_von_Wissensziel_ökon	beeinflusst_durch_NM	beeinflusst_durch_UM
Soziales Wissensziel	SubClass	abhängig_von_Wissensziel_soz	abhängig_von_Wissensziel_ökol	abhängig_von_Wissensziel_ökon	beeinflusst_durch_NM	---
Ökologisches Wissensziel	SubClass	abhängig_von_Wissensziel_soz	abhängig_von_Wissensziel_ökol	abhängig_von_Wissensziel_ökon	beeinflusst_durch_NM	beeinflusst_durch_UM
Ökonomisches Wissensziel	SubClass	abhängig_von_Wissensziel_soz	abhängig_von_Wissensziel_ökol	abhängig_von_Wissensziel_ökon	beeinflusst_durch_NM	---
Nachhaltigkeitsgmt	definiert_Wissensziel	definiert_Wissensziel_soz	definiert_Wissensziel_ökol	definiert_Wissensziel_ökon	beeinflusst_durch_NM	beeinflusst_UM
Umweltmanagement	definiert_Wissensziel	---	definiert_Wissensziel_ökol	---	beeinflusst_durch_NM	---

Tabelle 17 - Ontology Engineering – Ermittlung Object Properties für die Green KM Cube Ontologie (1-3)

Anhang E: Eigene Publikationen

Während der Erarbeitung der vorliegenden Dissertation wurden durch die Autorin verschiedene Publikationen erarbeitet und vorgestellt. Diese sind größtenteils direkt auf das Dissertationsthema ausgerichtet, teilweise aber auch auf die im Zuge der Tätigkeit am Institut für Wissensbasierte Systeme & Wissensmanagement durchgeführte Projektforschung. Die direkt im Kontext der Arbeit relevanten Publikationen sind ebenfalls im Literaturverzeichnis aufgeführt und im Text referenziert:

- Dornhöfer, M., & Fathi, M. (2016).** Green Knowledge Management – Eine grüne Form des Wissensmanagements. In V. Nissen, D. Stelzer, S. Straßburger, & D. Fischer (Hrsg.), *Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2016*, 09.03-11.03.2016, Band II (S. 889 – 900). Illmenau: Universitätsverlag Ilmenau.
- Ansari, F., **Dornhöfer, M., & Fathi, M. (2016).** Ein meta-analytischer Ansatz zur kontinuierlichen Verbesserung der Wissensqualität aus Cyber-physikalischen Produktionssystemen. In R. Refflinghaus, C. Kern, & S. Klute-Wenig (Hrsg.), *Qualitätsmanagement 4.0 - Status Quo ! Quo vadis?, Bericht der QGW-Jahrestagung 2016*, 25-26. Februar 2016, Bd. 6 (S. 187-206). Kassel: Universität Kassel.
- Dornhöfer, M., Holland, A., & Fathi, M. (2016).** Ein Umweltwissenssystem zur semantischen Vernetzung forstwirtschaftlicher Datenquellen. In A. Ruckelshausen, A. Meyer-Aurich, T. Rath, G. Recke, & B. Theuvsen (Hrsg.), *Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, Fokus: Intelligente Systeme – Stand der Technik und neue Möglichkeiten*, Referate der 36. GIL Jahrestagung, 22.-23.02.2016 (S. 41-44, LNI P253). Osnabrück: Hochschule Osnabrück.
- Bohlouli, M., Dalter, J., **Dornhöfer, M.,** Zenkert, J., & Fathi, M. (2015). Knowledge Discovery from Social Media using Big Data provided Sentiment Analysis (SoMABiT). *Journal of Information Science*, 41(6), S. 779–798, DOI: 10.1177/0165551515602846.
- Dornhöfer, M., Holland, A., & Fathi, M. (2015).** Knowledge Based Technologies for Promoting Innovation in Material Science. *Materials Science Forum – 20th Symposium on Composites*. Vols. 825-826, S. 1080-1087. Schweiz: Trans Tech Publications, DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.825-826.1080, Akzeptiert, 25.03.2015, Online: 13.07.2015.
- Dornhöfer, M., & Fathi, M. (2015).** UmweltWiS: Von Umweltinformationssystemen zu "Umweltwissenssystemen"? In Umweltbundesamt (Hrsg.), *Umweltinformationssysteme – Big Data – Open Data – Data Variety - Ergebnisse des 22. Workshops des Arbeitskreises "Umweltinformationssysteme"*, Nr. 58/2015, 07.-08.05.2015, Universität Kassel (S. 127-139), Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, ISSN 2199-6571, Abgerufen am 08.08.2016 von <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltinformationssysteme-5>.
- El Moussaoui, A., Reuter, C., Wiegel, M., Unkauf, S., Wießmann, T., **Dornhöfer, M.,** Fathi, M. und Nasiri, S. (2015). NeuroCare: Digitalisierte Früherkennung leichter kognitiver Einschränkungen. In *Tagungsband 8. Deutscher AAL Kongress*, 30. April 2015. Frankfurt a.M.: VDE Verlag.
- Nasiri, S., Dienst, S., **Dornhöfer, M., & Fathi, M. (2014).** Knowledge Based Platform to Manage Home Care and Advanced Mutual Communications (NeuroCare Portal). In *Proceedings 2014 IEEE Global Humanitarian Technology Conference (GHTC)*, 10.-13. Oktober 2013. San Jose, California, USA.
- Khobreh, M., Ansari, F., **Dornhöfer, M.,** Vas, R. & Fathi, M. (2014). Med-Assess System for Evaluating and Enhancing Nursing Job Knowledge and Performance. In C. Rensing et al. (Hrsg.) *Open Learning And Teaching In Educational Communities, 9. European Conference on Technology Enhanced Learning (ECTEL 2014)*, 16.-19. September 2014, Graz (S. 494-497) Cham: Springer-Verlag, LNCS 8719, DOI 10.1007/978-3-319-11200-8_49.
- Mol, S. T., Kismihók, G., Ansari, F. & **Dornhöfer, M. (2013)** Integrating Knowledge Management in the context of Evidence Based Learning: Two concept models for facilitating the assessment and acquisition of job knowledge. In M. Fathi (Hrsg.) *Integration of Practice-Oriented Knowledge Technology: Trends and Prospectives* (S. 29-45), Berlin, New York: Springer-Verlag, DOI: 10.1007/978-3-642-34471-8_3.
- Nasiri, S., **Dornhöfer, M. & Fathi, M. (2013)** Improving EHR and Patient Empowerment based on Dynamic Knowledge Assets. In M. Horbach (Hrsg.), *Tagungsband Informatik 2013: 43. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik e.V. (GI), Informatik angepasst an Mensch, Organisation und Umwelt*, 16.-20. September 2013 (S. 402-413, GI-LNI 220), Gesellschaft für Informatik.

- Khobreh, M., Ansari, F., **Dornhöfer, M.** & Fathi, M. (2013) An ontology-based Recommender System to Support Nursing Education and Training. In A. Henrich et al. (Hrsg.), *Tagungsband "Lernen, Wissen, Adaptivität 2013" der „Special Interest“ Gruppen KDML, IR und WM, LWA der Gesellschaft für Informatik, 7.-9. Oktober 2013, Bamberg* (S. 237-244), Bamberg: Universitätsbibliothek Bamberg.
- Klahold, A., **Dornhöfer, M.** & Fathi, M. (2012) Computer Aided Writing – A Framework Supporting Research Tasks, Topic Recommendations and Text Readability In T. Huang (Hrsg.), *Neural information processing, 19th International Conference, ICONIP 2012, Doha, Qatar, November 12-15, 2012, Proceedings, Part V* (S. 205-212), Berlin, New York: Springer-Verlag, LNCS 7667, DOI: 10.1007/978-3-642-34500-5_25.
- Dornhöfer, M.**, Holland, A., & Fathi, M. (2012). Knowledge Based Innovation Detection and Control Framework to Foster Scientific Research Projects in Material Science. *Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (IEEE SMC 2012), Seoul, Südkorea, 14.-17. Oktober 2012*, (S. 3197-3202), DOI: 10.1109/ICSMC.2012.6378283.
- Dornhöfer, M.** & Fathi, M. (2012) InKnowE: Enhanced Product Innovation by Application of Knowledge Management, Knowledge Networks, Business Intelligence, Web and Social Analytics. In K. Bach & M. Meder (Hrsg.), *Tagungsband "Lernen, Wissen, Adaptivität 2012" der „Special Interest“ Gruppen KDML, IR und WM, LWA der Gesellschaft für Informatik, 12. -14. September 2012, TU Dortmund* (S. 5-12), Gesellschaft für Informatik, Abgerufen am 07. 09 2016 von <http://dfki.de/~bach/FGWM-2012-Proc.pdf>.
- Dornhöfer, M.**, Fathi, M., & Holland, A. (2011). Applying Rules for Representing and Reasoning of Objective Product Use Information Exemplarily for Injection Molding Machines. In A. Abd Manaf (Hrsg.), *Informatics Engineering and Information Science, Proceedings der International Conference, ICIEIS 2011, 14.-16. November 2011, University Technology Malaysia, Kuala Lumpur, Malaysia* (S. 612-623), New York: Springer-Verlag, Bd. 252, DOI 10.1007/978-3-642-25453-6_51.
- Dornhöfer, M.**, Fathi, M., & Holland, A. (2011). Evaluation of Advanced Knowledge Representation Methods for Reasoning from Product Use Information. In M. Spiliopoulou, A. Nürnberger, & R. Schult (Hrsg.), *Tagungsband "Lernen, Wissen, Adaptivität 2011" der „Special Interest“ Gruppen KDML, IR und WM, LWA der Gesellschaft für Informatik, 28.-30. September 2011, Fakultät für Informatik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg* (S. 234–241). Gesellschaft für Informatik (GI), Abgerufen am 07.09 2016 von http://lwa2011.dke-research.de/LWA2011_TechReport.pdf.
- Dornhöfer, M.** (2011) Evaluierung und Implementierung von Wissensrepräsentationsmethoden zur Generierung von Produktnutzungswissen aus objektiven Feedbackdaten (EvalIFeed). Universität Siegen: Diplomarbeit am Lehrstuhl für Wissensbasierte Systeme & Wissensmanagement.