
Energieinformationssystemarchitektur für produzierende Unternehmen

Energy Information System Architecture for Manufacturing Companies

Von der Fakultät für Maschinenwesen
der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen
zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften
genehmigte Dissertation

vorgelegt von
Marco Roscher

Berichter:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirt. Ing. Günther Schuh
Außerplanmäßiger Professor Dr.-Ing. Volker Stich

Tag der mündlichen Prüfung: 29. Oktober 2018

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Universitätsbibliothek online verfügbar.

Zusammenfassung

Mit der neuen *Hightech*-Strategie (HS) werden die zentralen Eckpfeiler für Deutschland auf dem Weg zum internationalen Innovationsführer benannt. Dominierende Innovationstreiber stellen dabei moderne Informations- und Kommunikationssysteme (IKT) dar. Dabei zeichnen sich durch Industrie 4.0 umwälzende Veränderungen der Produktion ab. Die heutige kostengünstige Verfügbarkeit von miniaturisierter hoher Rechenleistung, Datenspeicherkapazität sowie die zur digitalen Vernetzung erforderlichen Breitbandtechnologien (Industrial Ethernet, 5G etc.), birgt massive Innovationspotenziale durch die sich ergebenden Möglichkeiten der Rechnerallgegenwart (*Ubiquitous Computing*). Zumindest theoretisch steht mit Industrie 4.0 folglich bereits ein übergeordneter Lösungsansatz zur Verfügung mit dem auch einem Großteil der durch die Energiewende bedingten Herausforderungen für produzierende Unternehmen begegnet werden könnte. Ein Gelingen der Energiewende ist dabei eng mit dem Erfolg der Industrie 4.0-Ansätze verknüpft. So resultiert die wesentliche Problemstellung dieser Arbeit aus der Notwendigkeit die Energieeffizienz sowie die Energieflexibilität innerhalb der Produktion durch den Einsatz von IT zu erhöhen.

Zielsetzung dieser Arbeit ist es daher die notwendigen wissenschaftlichen und methodischen Rahmenbedingungen zu erarbeiten, die zum einen zur Erweiterung des aktuellen wissenschaftlichen Diskussionsstands beitragen sollen und zum anderen der Praxis ganz konkret zur systematischen Gestaltung von entscheidungsorientierten Energieinformationssystemen für ganzheitliches betriebliches Energiemanagement. Dem Lösungsweg zur Erreichung der Zielsetzung liegt in vorliegender Arbeit ein iterativer, operationsanalytischer Forschungsprozess mit expliziter Beteiligung verschiedenster Experten aus Wissenschaft und Praxis zugrunde der schließlich in drei aufeinander aufbauende Partialmodelle resultiert.

Der um das Energiemanagement erweiterte Ordnungsrahmen Produktion und Management bildet dabei den terminologisch-deskriptiven Referenzrahmen, der in detaillierter Form die begrifflichen Zusammenhänge und die fundamentalen Elemente des Untersuchungsbereichs beschreibt. DIN SPEC 93127:2015 stellt für die weitere Referenzmodellierung einen Bezugsrahmen dar, der grundlegende Basiselemente für die anschließende Detailkonstruktion des eigentlichen Referenzarchitekturmodells für Energieinformationssysteme der Produktion (RAMEnIS) liefert und als Zwischenergebnis mit dem DIN-Innovationspreis 2016 ausgezeichnet wurde. Für die Gestaltung konkreter unternehmensspezifischer Energieinformationssysteme wird eine Vorgehensweise beschrieben mit der die so entwickelten Partialmodelle im Produktionskontext operationalisierbar werden.

Die Erkenntnisse dieser Arbeit tragen somit zum einen zum allgemeinen wissenschaftlichen Fortschritt bei und liefern der Praxis zum anderen eine Operationalisierungsunterstützung in Form eines Architekturrahmenwerks zur Gestaltung entscheidungsorientierter Energieinformationssysteme an der Schnittstelle von Industrie 4.0 und Strommarkt 2.0.

Summary

Germany's high-tech strategy is their trajectory for becoming an international innovation leader. Information and communications systems are playing a major role as initiators and drivers of innovation. Due to the impact of automation and data exchange in manufacturing technologies known as Industry 4.0 a revolutionary development started in manufacturing production. However, cost-effective availability of high processing power, data storage capacity as well as broadband technologies (Industrial Ethernet and 5G) offer a potential for innovation due to the possibilities of ubiquitous computing. There is at least a theoretical solution that the Industry 4.0 provides for manufacturing companies faced with the challenges of the energy policy revolution. Hence, a successful energy policy turnaround is closely linked to the Industry 4.0 success. Therefore, the main argument of this paper describes the need to increase production in an energy efficient way by providing support of IT systems.

This dissertation aims to establish a scientific and methodical framework for a better current scientific discussion as well as providing an energy information system that can be applied in manufacturing companies for an integrated energy management. To achieve the objective this dissertation has been based on iterative research done on operational processes with explicit contribution of industry and scientific experts. The result describes a three layered consecutive partial model.

The regulatory production and management framework is extended by Energy management which results in a descriptive and terminology frame of reference. The intention is to illuminate these connectional relationships of the fundamental elements. The DIN SPEC 93127:2015 serves a company-wide reference architecture for an energy information system, including an information logistics concept. It has been awarded with the DIN Innovation Prize in 2016 and provides basic elements and a foundation of the actually energy information system reference architecture *model* (RAMEnIS). To design company specific energy information systems this dissertation describes the implementation of the developed partial models in manufacturing companies' production.

The insights acquired through this dissertation contributes to the general scientific progress and as a result, the architecture framework described supports companies at the interface of Industry 4.0 and the Electricity Market 2.0.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	III
Summary	V
Abbildungsverzeichnis	XI
Abkürzungsverzeichnis	XV
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Problemstellung	5
1.3 Zielsetzung und Forschungsfrage	7
1.4 Wissenschaftstheoretischer Bezugsrahmen	8
1.5 Forschungskonzeption	12
1.6 Aufbau der Arbeit	15
2 Terminologische Grundlagen und Abgrenzung des Untersuchungsbereichs.....	19
2.1 Produktion	19
2.1.1 Produktionsmanagement	21
2.1.2 Betriebliche Informationssysteme	25
2.1.3 Unternehmensarchitektur	30
2.2 Information	32
2.2.1 Informationsmanagement	33
2.2.2 Informationssysteme und deren Management	34
2.2.3 Informationssystemarchitekturen und -rahmenwerke.....	38
2.3 Energie.....	40
2.3.1 Energiemanagement.....	44
2.3.2 Energiemanagement- und Energieinformationssysteme.....	49
2.4 Abgrenzung des Untersuchungsbereichs.....	51
3 Stand der Erkenntnisse.....	53
3.1 Vorgehensweise und Struktur der Literaturanalyse.....	53
3.2 Normenrecherche	53
3.3 Informationssystemarchitekturen und Architekturrahmenwerke.....	55
3.3.1 Produktion	55
3.3.2 <i>Smart Grid</i>	59
3.3.3 Domänenunabhängig	62
3.3.4 Vergleichende Analyse und kritische Würdigung	65
3.4 Fazit der Literaturanalyse und Konkretisierung des Handlungsbedarfs	68
4 Methodische Grundlagen und Konkretisierung der Vorgehensweise	71
4.1 Anforderungen an die Ergebnisse	71

4.1.1	Formale Anforderungen	71
4.1.2	Inhaltliche Anforderungen	72
4.2	Methodische Grundlagen	76
4.2.1	Systematisches Vorgehen	76
4.2.2	<i>Requirements-Engineering</i>	82
4.2.3	Referenzmodellierung	85
4.3	Konkretisierung der Vorgehensweise	89
5	Energiemanagement im Ordnungsrahmen Produktion und Management.....	91
5.1	Umweltsphären und Anspruchsgruppen im Kontext Energiemanagement	92
5.2	Unternehmenstruktur im Kontext Energiemanagement.....	95
5.3	Unternehmensentwicklung im Kontext Energiemanagement	100
5.4	Unternehmensprozesse im Kontext Energiemanagement	103
6	Konzeptionelle Grobstruktur einer empfehlungs-basierten Energieinformationssystemarchitektur	109
6.1	Anforderungen	109
6.2	Konzeptionelles Datenmodell	114
6.3	Architekturbeschreibung eines empfehlungs-basierten Lastmanagementsystems	120
6.4	Zwischenfazit	122
7	Referenzarchitekturmodell für Energieinformationssysteme der Produktion.....	123
7.1	Ausgangsbasis	123
7.2	Allgemeiner Aufbau	124
7.2.1	Objektwelten	124
7.2.2	Energiewertschöpfung-Achse	125
7.2.3	Hierarchie-Achse.....	127
7.2.4	Architektur-Achse.....	128
7.3	Schichten	128
7.3.1	<i>Business</i>	128
7.3.2	<i>Functional</i>	140
7.3.3	<i>Information</i>	152
7.3.4	<i>Communication</i>	168
7.3.5	<i>Integration</i>	178
7.3.6	<i>Asset</i>	186
7.4	Zwischenfazit	190
8	Gestaltung einer spezifischen Energie- informationssystemarchitektur in der Praxis	191
8.1	Methode zur Gestaltung spezifischer EnISA	192

8.1.1	Ausgangsbasis.....	193
8.1.2	Funktionskatalog	194
8.1.3	Informationslogistik	195
8.1.4	IT-Integration.....	197
8.1.5	Softwareentwicklung	200
8.2	Zusammenfassung.....	202
9	Anwendung und Validierung	203
9.1	Lokale Energieinformationssysteme	204
9.1.1	DFA Demonstrationsfabrik Aachen GmbH.....	204
9.1.2	E.G.O	210
9.2	Cloudtechnologiebasierte Energieinformationssysteme.....	214
9.2.1	DFA Demonstrationsfabrik Aachen GmbH.....	214
9.2.2	DHL / Streetscooter GmbH (FIAixEnergy-System).....	216
9.3	Zusammenfassung und Diskussion der Evaluation.....	221
10	Zusammenfassung und Ausblick.....	225
10.1	Zusammenfassung.....	225
10.2	Ausblick.....	228
	Literaturverzeichnis	231
	Anhang	257
A1:	Offenlegung des Vorverständnisses des Autors.....	257
A2:	DIN Innovationspreis 2016	262
A3:	Normen- und Spezifikationenrecherche	263
A4:	Anforderungserfassung	273
A5:	Planspiel - Energiemanager	280
A6:	Geschäftsmodell Vehicle-to-Grid.....	282

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zukunftsaufgaben und ausgewählte Aktionsfelder der neuen HS (eigene Darstellung)	1
Abbildung 2: Plakate der deutschen Anti-Atomkraft-Bewegung in ihrer Entstehung (eigene Darstellung)	3
Abbildung 3: Theorie als Verbindung von Modellen (s. KORNMEIER 2007, S.85)	9
Abbildung 4: Bezugsrahmen für die gestaltungsorientierte WI (s. BECKER ET AL. 2009, S. 201)	11
Abbildung 5: Kapitelübersicht und Charakterisierung der Forschungsaktivität (eigene Darstellung)	16
Abbildung 6: Einordnung betrieblicher IS nach dem funktionalen Einsatz (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S.145)	26
Abbildung 7: Überblick über verschiedene Teilarchitekturen (s. HEINRICH U. STELZER 2011, S.46)	31
Abbildung 8: Modell des IM (s. KRCMAR 2015a, S.10)	34
Abbildung 9: Überblick über die Zusammenhänge der Architekturbeschreibung (s. ISO / IEC / IEEE 42010, S.3)	38
Abbildung 10: Schema der Energiewertschöpfung (i. A. a. WINJE U. WITT 1991, S.35)	43
Abbildung 11: Die betriebliche Energiewirtschaft als Wertkette (s. POSCH 2011, S. 158)	45
Abbildung 12: Gesamtheit der allgemeinen Leistungen des TGM (eigene Darstellung)	49
Abbildung 13: Wirkungskreis des EnMS (s. VDI 2007, S.9)	50
Abbildung 14: Abgrenzung des Untersuchungsbereichs (eigene Darstellung)	51
Abbildung 15: Referenzarchitekturmodell I4.0 (RAMI 4.0) (s. DIN SPEC 91345:2016, S.19)	56
Abbildung 16: SGAM Framework (s. SGCG 2012, S.30)	59
Abbildung 17: Graphische Darstellung der ARIS (s. SCHEER 2002, S. 41)	63
Abbildung 18: Vergleich der verschiedenen Sichten (s. OPEN GROUP 2017, o.S.)....	65
Abbildung 19: Forschungsmatrix (eigene Darstellung)	68
Abbildung 20: Problemlösungsprozess im SE-Konzept (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S.129)	79
Abbildung 21: Problemlösungszyklus im SE-Konzept (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 193)	80

Abbildung 22: Anforderungsschablone (s. RUPP 2009, S. 162)	83
Abbildung 23: Entwicklungsschritte des RE (s. RUPP 2009, S.47).....	84
Abbildung 24: Konkretisierung der Vorgehensweise nach SCHÜTTE (i. A. a. SCHÜTTE 1998, S. 177ff.)	90
Abbildung 25: Integration des EM in den Ordnungsrahmen Produktion und Management (i. A. a. BOOS ET AL. 2011, S. 56 und RÜEGG-STÜRM 2003, S. 22).....	91
Abbildung 26: <i>IT Enables vs. IT Follows Business</i> (i. A. a. KRÖSCHEL 2016, S.34) ..	99
Abbildung 27: Beziehung zwischen energiebezogener Leistung, Energieleistungskennzahlen und EnB (s. DIN 50006:2017, S. 5).....	102
Abbildung 28: Unternehmensprozesse des EM (i. A. a. Posch 2011, BOOS ET AL. 2011, S. 56 und RÜEGG-STÜRM 2003, S. 22).....	104
Abbildung 29: Relevante Zukunftsaufgaben und Aktionsfelder des betrieblichen EM (eigene Darstellung)	112
Abbildung 30: Informationsflüsse des Lastmanagement Funktionsbausteins (eigene Darstellung)	115
Abbildung 31: Darstellung des Lastmanagementmoduls in BPMN (eigene Darstellung)	116
Abbildung 32: Vorgehensbeschreibung zur Ableitung von <i>Energy Events</i> (eigene Darstellung)	118
Abbildung 33: <i>Energiemonitoring</i> im EEM (eigene Darstellung)	119
Abbildung 34: Informationslogistikkonzept für ein empfehlungsbasiertes EnMS (eigene Darstellung in DIN SPEC 91327:2015-10).....	121
Abbildung 35: Zusammenhangsdarstellung der bislang erzielten Zwischenergebnisse (eigene Darstellung)	122
Abbildung 36: Gliederung der Objektwelten mit Beispielen (s. DIN SPEC 2016, S. 9)	125
Abbildung 37: RAMEnIS 6.0 (i. A. a. DIN SPEC 2016, S. 19)	128
Abbildung 38: Erweitertes Modell des Betriebsmanagements (i. A. a. DIN EN 2014, S. 42).....	133
Abbildung 39: I4.0 <i>Maturity Model</i> mit Energie-Anwendungsfällen (s. SCHUH ET AL., S.7).....	134
Abbildung 40: Morphologischer Kasten energiewirtschaftlicher strategischer Grundverhaltensweisen (i. A. a. POSCH 2011, S. 204).....	137
Abbildung 41:IoT-Applikationsarchitektur (eigene Darstellung in ROSCHER U. GRAUS 2016).....	145

Abbildung 42: Energiewissenmanagement Expertensystem (s. BRUHNKE U. ROSCHER 2015).....	150
Abbildung 43: Fachkonzept EnIM (eigene Darstellung).....	153
Abbildung 44: Energiebezogene Leistung als Zielgröße der Produktionslogistik (i. A. a. BRANDENBURG 2016, S. 132)	158
Abbildung 45: Funktionselemente eines Sensors (s. HEINRICH, S.38)	160
Abbildung 46: <i>DF Framework</i> (s. IEC 2016b, S. 15).....	164
Abbildung 47: Aufbruch der Automatisierungspyramide durch das Internet der Dinge (eigene Darstellung)	169
Abbildung 48: OSI-RM (s. METTER, S.17)	170
Abbildung 49: <i>Application: Smart Metering – Measurement of Physical Data</i> (s. HOPPE 2015, S. 55).....	176
Abbildung 50: MTConnect und OPC UA im Überblick (s. SCHNEIDER 2016, S.1) ...	177
Abbildung 51: DSS im Überblick (s. SCHNEIDER 2016, S.2)	178
Abbildung 52: <i>Data Integration</i> (s. IBC 2018, o. S.)	181
Abbildung 53: Grundmodell menschlicher Informationsverarbeitung (s. BUTZ U. KRÜGER 2015, S.8)	185
Abbildung 54: Architektur von Datenbankanwendungssystemen (i. A. a. JAROSCH, S. 18, RAMI 4.0, S. 38).....	187
Abbildung 55: <i>Assets</i> der DFA (eigene Darstellung)	188
Abbildung 56: Abgrenzung verschiedener Stromzählertypen (s. BNETZA 2017c, o.S.).....	189
Abbildung 57: Zusammenhangsdarstellung der bislang erzielten Ergebnisse,.....	190
Abbildung 58: Iteratives Vorgehen zur Gestaltung von EnIS (eigene Darstellung) .	193
Abbildung 59: Reifegradmodell für das EM produzierender Unternehmen (s. ROSCHER 2016B, S. 73).....	195
Abbildung 60: Vorgehensweise im Zuge der IT-Integration (eigene Darstellung)...	198
Abbildung 61: Einbettung der DA in die Systemlandschaft (s. GRAUS 2016, S. 47)	199
Abbildung 62: Zusammenhang zwischen klassischem SE und C-SE (i. A. a. CROWDER ET AL. 2016, S.13, S.20)	201
Abbildung 63: Übersicht der entwickelten Partialmodelle	202
Abbildung 64: Fabriklayout und Messgeräteverteilung DFA (eigene Darstellung)..	205
Abbildung 65: Funktionsübersicht Polar (eigene Darstellung)	206
Abbildung 66: EnISA der DFA (eigene Darstellung)	207

Abbildung 67: <i>Stakeholder</i> bei der Gestaltung des EnIS-DFA.....	209
Abbildung 68 Fabriklayout E.G.O (eigene Darstellung)	210
Abbildung 69: EnISA bei E.G.O am Standort Oberderdingen (i. A. a. ZELLER, ROSCHER ET AL. 2016, S.95)	212
Abbildung 70: <i>Stakeholder</i> bei der Gestaltung des EnIS-E.G.O.....	213
Abbildung 71: Grafische Oberfläche in den drei Ampelzuständen grün, gelb und rot (eigene Darstellung)	213
Abbildung 72: Übersicht über die eingesetzten GEs	214
Abbildung 73: (<i>Cloud</i>)-EnISA der DFA (s. KRENGE, ROSCHER ET AL. 2014).....	215
Abbildung 74: <i>Stakeholder</i> bei der Gestaltung des <i>cloud</i> basierten EnIS-DFA	216
Abbildung 75: Beispielhafte Informationsflüsse in der Streetscooter Produktion (i. A. a. VLACHOS 2016, S. 91).....	218
Abbildung 76: Erweitertes Messkonzept für die <i>StreetScooter</i> Produktion (i. A. a.. VLACHOS 2016, S.84).....	219
Abbildung 77: Schematische Integrationsarchitektur FIAixEnergy.....	220
Abbildung 78: <i>Stakeholder</i> bei der Gestaltung des <i>cloud</i> basierten EnIS- <i>Streetscooter</i>	220
Abbildung 79: Bearbeitete Forschungsprojekte im Kontext Energiemanagement ..	258
Abbildung 80: Mitarbeit in Gremien, AK und Einsatz in Ausbildung und Lehre.....	259
Abbildung 81: Relevante Veröffentlichungen und Vorträge (Auszug)	261
Abbildung 82: Anforderungen an ein Energieinformationssystem	279
Abbildung 83: Planspiel Startbildschirm	281
Abbildung 84: <i>Business Model Canvas Vehicle-to-Grid</i>	282
Abbildung 85: Aggregator	283
Abbildung 86: Ausgangsprozess des Aggregators	284

Abkürzungsverzeichnis

ABB	Architektur <i>Building Block</i>
AbLav	Abschaltbare-Lasten-Verordnung
ADM	<i>Architcture Development Method</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
App	<i>Application</i>
APS	<i>Advanced Planning and Scheduling</i>
ARIS	Architektur integrierter Informationssysteme
BDE	Betriebsdatenerfassung
BHKW	Blockheizkraftwerke
BKV	Bilanzkreisverantwortlicher
BMS	Batteriemanagementsysteme
BMWi	Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie
BPMN	<i>Business- Process-Model and -Notation</i>
BPR	<i>Business Process Reengineering</i>
bspw.	beispielsweise
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAE	<i>Computer Aided Engineering</i>
CAM	<i>Computer Aided Manufacturing</i>
CAP	<i>Computer Aided Planning</i>
CAQ	<i>Computer Aided Quality Assurance</i>
CDEL	<i>Collections of Data Element Typs Definitions</i>
CiA	CAN in Automation
CIM	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
CIM	<i>Common Information Model</i>
CNC-Maschine	<i>Computerized Numerical Control-Maschine</i>
CLPA	<i>CC-Link Partner Association</i>
COBRA	<i>Object Request Broker Architecture</i>
CPF	<i>Communication Profile Families</i>
CPS	<i>Cyber-Physical System</i>
CPPS	<i>Cyber-Physical Production System</i>

CRM	<i>Customer Relationship Management</i>
DA	Datenanalytik
DBMS	Datenbankmanagementsystem
DBS	Datenbanksystem
DDS	<i>Data Distribution Service</i>
DF	<i>Digital Factory</i>
DFA	Demonstrationsfabrik Aachen GmbH
DIHK	Deutscher Industrie- und Handelskammertag e.V.
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DIP16	DIN Innovationspreis 2016
DL	Dienstleistung
DM	Datenmanagement
DNC	<i>Distributed Numerical Control</i>
DR	<i>Demand Response</i>
DSS	<i>Decision Support System</i>
DSM	<i>Demand Side Management</i>
E / A - Funktionen	Ein- / Ausgabefunktionen
EAI	<i>Enterprise Application Integration</i>
ECM	<i>Enterprise Content Management</i>
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EDL-G	Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen
EE	Erneuerbare Energien
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEM	<i>Energy Event Model</i>
EEV	Erneuerbare-Energien-Verordnung
EIA	<i>Electronic Industries Alliance</i>
EIS	<i>Executive Information System</i>
EM	Energiemanagement
EnB	Energetische Ausgangsbasis
EnEG	Energieeinsparungsgesetz

EnIM	Energieinformationsmanagement
EnIS	Energieinformationssystem
EnIS-P	EnIS-Programm
EnIS-S	EnIS- <i>Software</i>
EnISA	Energieinformationssystemarchitektur
EnMS	Energiemanagementsystem
EnPI	<i>Energy Performance Indicator</i>
EnVKG	Energieverbrauchskennzeichnungsgesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
EPC	<i>Electronic Product Code</i>
ERP	<i>Enterprise-Ressource Planning</i>
ESS	<i>Executive Support System</i>
EVU	Energieversorgungsunternehmen
EVPG	Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz
FEnIM	Fachkonzept des Energieinformationsmanagements
FIR	Forschungsinstitut für Rationalisierung e.V.
GA	Gebäudeautomation
GAN	<i>Global Area Network</i>
GID	<i>Generic Interface Definition</i>
GM	Gebäudemanagement
GPM	Geschäftsprozessmanagement
GWAC	<i>GridWise Architecture Council</i>
HF	<i>High Frequency</i>
HS	<i>Hightech-Strategie</i>
I4.0	Industrie 4.0
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>
IGM	Infrastrukturelles Gebäudemanagement
IIAF	<i>Industrial Internet Architecture Framework</i>
III-RM	<i>Integrated Information Infrastructure Model</i>
IIRA	<i>Industrial Internet Reference Architecture</i>

IIoT	<i>Industrial Internet of Things</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IoT RA	<i>Internet of Things Reference Architecture</i>
IoT-A ARM	<i>Internet of Things-Architecture Architectural Reference Model</i>
IKT	Informations- und Kommunikationstechnik
IM	Informationsmanagement
IP	<i>Internet Protocol</i>
IS	Informationssystem
ISA	Informationssystemarchitektur
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
J	Joule, SI-Einheit der Energie
JDBC	<i>Java Data Base Connectivity</i>
KAV	Konzessionsabgabenverordnung
KF	Konstruktionsforschung
KGM	Kaufmännischen Gebäudemanagement
KI	Künstliche Intelligenz
KMU	Kleinen und mittleren Unternehmen
KPM	Kontinuierliches Prozessmanagement
KR	Kritischer Rationalismus
KVP	Kontinuierlichen Verbesserungsprozess
kWh	Kilowattstunde
KWKG	Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz
LAN	<i>Local Area Network</i>
LF	<i>Low Frequency</i>
LSV	Ladesäulenverordnung
MAC	<i>Media Access Control</i>
MaStR	Marktstammdatenregisters
MDE	Maschinendatenerfassung
MES	<i>Manufacturing Execution System</i>
MIS	<i>Management Information System</i>

MMS	Mensch-Maschine-Schnittstelle
MSS	<i>Management Support System</i>
MsbG	Messstellenbetriebsgesetz
MWh	Megawattsunde
NC-Achse	<i>Numerical Control-Achse</i>
NFC	<i>Near Field Communication</i>
NGO	<i>Non Governmental Organisations</i>
ODBC	<i>Open Data Base Connectivity</i>
OLAP	<i>Online Analytical Processing</i>
OLTP	<i>Online Transaction Processing</i>
OPC	<i>Open Platform Communication</i>
OSI-RM	<i>Open Systems Interconnection-Referenzmodell</i>
OTC	<i>Over the Counter</i>
PDM-System	Produktdatenmanagement-System
PIUS	Produktionsintegrierter Umweltschutz
PLM-Konzepte	Produktlebenszyklusmanagementkonzept
PoE	<i>Power over Ethernet</i>
PPS-System	Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme
PS Asset	<i>Production System Asset</i>
PuK-Systeme	Planungs- und Kontrollsysteme
PV-Anlagen	Photovoltaikanlagen
PV-Kraftwerken	Photovoltaik-Kraftwerken
RAM	Referenzarchitekturmodell
RAMI 4.0	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0
RAMEnIS	Referenzarchitekturmodell für Energieinformationssysteme der Produktion
RE	<i>Requirements-Engineering</i>
RHB	Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe
RIR	<i>Regional Internet Registries</i>
RLM	Registrierende Leistungsmessung
RM	Referenzmodell

RPC	<i>Remote Procedure Calls</i>
RS	<i>Radio Sector</i>
RTU	<i>Remote Terminal Unit</i>
s.	siehe
SaaS	<i>Software as a Service</i>
SCADA-Systeme	<i>Supervisory Control and Data Acquisition-Systeme</i>
SCM	<i>Supply Chain Management</i>
SDCI	<i>Single-Drop Digital Communication Interface for Small Sensors and Actuators</i>
SDM	Stammdatenmanagement
SE	<i>Systems Engineering</i>
SEP	Strategische Erfolgsposition
SGAM	<i>Smart Grid Architecture Model</i>
SGRA	<i>Smart Grid Reference Architecture</i>
SL	Spezifikationslevel
SLP	Standardlastprofil
SMES	Supraleitende magnetische Energiespeicher
SOA	<i>Service Oriented Architecture</i>
SOAP	<i>Simple Object Access Protocols</i>
SOC	<i>State-of-Change</i>
SOH	<i>State-of-Health</i>
SpaEfV	Spitzenausgleich-Effizienzsystemverordnung
SPS	Speicherprogrammierbaren Steuerungen
StromNEV	Stromnetzentgeltverordnung
StromNZV	Stromnetzzugangsverordnung
StromStG	Stromsteuergesetz
TCP	<i>Transfer Control Protocol</i>
TGM	Technischen Gebäudemanagements
TIA	<i>Telecommunications Industry Association</i>
TOGAF	<i>The Open Group Architecture Framework</i>
TRM	<i>Technical Reference Model</i>

u.a.	unter anderem
UA	<i>Unified Architecture</i>
UDP	<i>User Data Protocol</i>
UHF	<i>Ultra-High Frequency</i>
UI	<i>User Interface</i>
UID	<i>Unique Identifier</i>
UIS	Umweltinformationssysteme
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
VDE	Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
VPS	Verbindungsprogrammierten Steuereinrichtungen
VR	<i>Virtual Reality</i>
Wh	Wattstunde
WI	Wirtschaftsinformatik
WR	Wechselrichter
WSDL	<i>Webservice Definition Language</i>
XLM	<i>Extensible Markup Language</i>
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation

Einer aktuellen Umfrage unter 808 internationalen Entscheidungsträgern zufolge gehört Deutschland für ausländische Investoren 2015 zu den drei attraktivsten Standorten weltweit. Hinter China und den USA konnte sich die Bundesrepublik in diesem Jahr auf den dritten Rang vorschieben und ist mit weitem Abstand bestplatzierte westeuropäischer Standort in diesem Ranking. (s. ERNST&YOUNG GMBH 2015, S. 12–17) Um die Position als führende Wirtschafts- und Exportnation weiter zu stärken und Deutschland auf dem Weg zum Innovationsführer weiter voranzubringen, hat die Bundesregierung mit der neuen *Hightech-Strategie* (HS) die Ziele zur Lösung drängender Herausforderungen unserer Zeit bereits definiert. (s. BMBF 2014, S. 7) Die dort identifizierten prioritären Zukunftsaufgaben decken das gesamte Spektrum des wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Lebens ab und lauten: Digitale Wirtschaft und Gesellschaft, Nachhaltiges Wirtschaften und Energie, Innovative Arbeitswelt, Gesundes Leben, intelligente Mobilität und zivile Sicherheit. (s. BMBF 2014, S. 16–21) Die innerhalb dieser Zukunftsaufgaben verorteten zentralen Aktionsfelder mit besonderer Wirkung auf das Energiemanagement (EM) der Produktion sind in Abbildung 1 dargestellt. Hierbei stellen Industrie 4.0 (I4.0) und die Umsetzung der Energiewende die wesentlichen Treiber aktueller Entwicklungen aus Sicht produzierender Unternehmen in Deutschland dar und werden daher nachfolgend beschrieben.

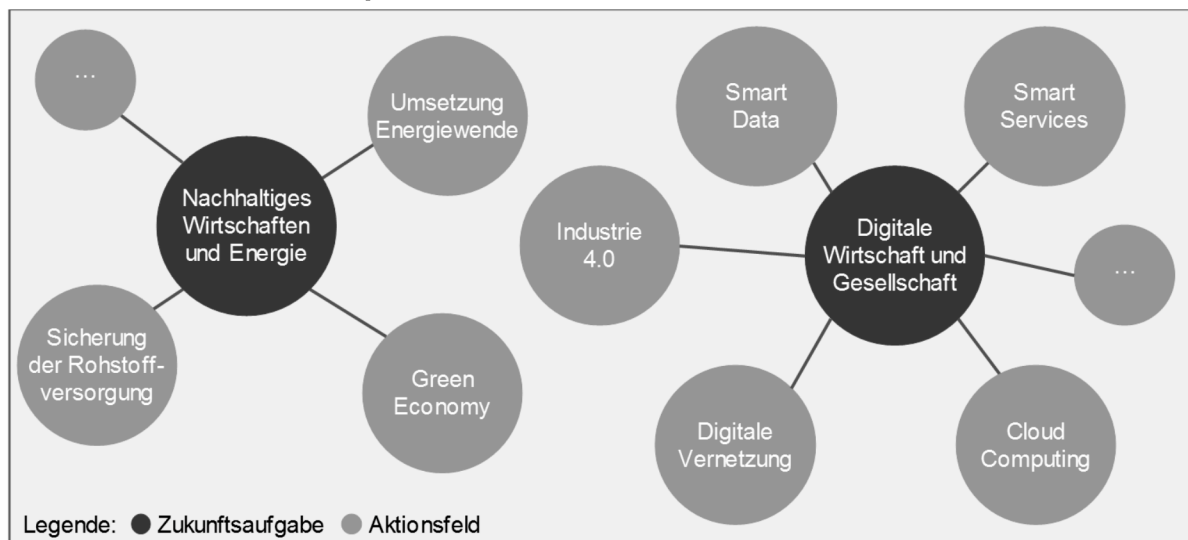


Abbildung 1: Zukunftsaufgaben und ausgewählte Aktionsfelder der neuen HS (eigene Darstellung)

Der Begriff **I4.0** wurde in Deutschland geprägt und ist daher außerhalb der Landesgrenzen nur wenig bekannt. Nichtsdestotrotz werden an den Aktivitäten und Konzepten, die sich hinter dieser Form der Fertigung verbergen, auch bereits in den USA und in Asien mit Hochdruck gearbeitet. (s. WEISS 2014, S. 1–3) Dabei ist unter I4.0 eine visionäre Industriestruktur zu verstehen, die die vierte industrielle Revolution einläuten soll, bei der die hochvolumige, n-laterale und schnelle Verarbeitung von Informationen,

von miteinander vernetzten digital veredelten Teilsystemen aller an der Wertschöpfung beteiligten Instanzen im Zentrum steht. Auf diese Weise kann eine neue Stufe der Organisation und Steuerung der gesamten Wertschöpfungskette erreicht werden, bei der sich die Produktlebenszyklen von der Idee über die Entwicklung, Fertigung, Auslieferung und Nutzung bis hin zur Entsorgung und den damit jeweils verbundenen Dienstleistungen (DL) dynamisch an den zunehmend individualisierten Kundenwünschen orientiert. (s. PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 2015, S. 2–3) Die zentrale Grundlage und Schlüsselressource für I4.0-Anwendungen bilden die korrekte und aktuelle Repräsentation aller relevanten Vorgänge im Unternehmen in Form von Daten, die zu jedem Zeitpunkt Entscheidungen ermöglichen, die in letzter Konsequenz zu einem realen optimalen Wertschöpfungsfluss führen. Die Vernetzung von *Cyber-* (Objekte der Informationswelt) und physischer Welt (Menschen und technischen Systemen) ermöglicht dynamische, sich selbst organisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke (***Cyber-Physical Systems (CPS)***), die sich nach unterschiedlichen Kriterien optimieren lassen. (s. PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 2015, S. 2) CPS die in der Produktion eingesetzt werden (***Cyber-Physical Production System (CPPS)***) erlauben es u. a., viel kompliziertere Kriterien in die unternehmenseigene Zielgrößenoptimierung mit einfließen zu lassen, als es heute bei konservativen Systemen der Fall ist. Neben klassischen etablierten internen Faktoren wie Kosten, Termintreue und Verfügbarkeit, können auch verhältnismäßig neue interne Größen wie **Ressourceneinsatz, Ressourceneffizienz und Ressourcenflexibilität** aufgrund der vorhandenen breiteren Datenbasis in der Produktionsregelung Berücksichtigung finden. Das Gleiche gilt für externe Faktoren mit volkswirtschaftlicher Relevanz, wie nachhaltiges und sozialverträgliches Handeln. Insgesamt ist das Verbesserungspotenzial durch I4.0 gerade für den stark produktionsgeprägten Wirtschaftsstandort Deutschland vielversprechend. Nach einer Studie unter 235 deutschen Industrieunternehmen hat heute ein Viertel der Befragten Unternehmen eigenen Angaben zufolge bereits einen hohen **Digitalisierungsgrad** in Teilbereichen ihrer Wertschöpfungsketten erreicht. Diese sollen bis 2020 auf 86 % der horizontalen und 80 % der vertikalen Wertschöpfungsketten ausgeweitet und eng miteinander vernetzt werden. (s. KOCH ET AL. 2014, S. 1–7) Die konsequente Nutzung digitaler und vernetzter Systemlösungen verspricht mittelfristig einen volkswirtschaftlichen Mehrwert von jährlich bis zu 30 Milliarden Euro durch Umsatzsteigerungen bei den Anwenderunternehmen (s. PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 2015, S. 3) sowie weiteren 40 Milliarden Euro jährlich beiden den Systemanbietern durch Investitionen der deutschen Industrie in entsprechende Lösungskomponenten. (s. KOCH ET AL. 2014, S. 7–9)

Ein weiteres zentrales Aktionsfeld mit ausgesprochen hoher Relevanz, insbesondere für das EM der Produktion, stellt die **Umsetzung der Energiewende** dar. Diese nahm, was heute nur noch sehr wenigen Leuten bekannt ist, bereits in den 1970er Jahren ihren Anfang, als sich im Umland der südbadischen Gemeinde Wyhl am Kaiserstuhl (heute 3686 Einwohner) zum ersten Mal Bürger der **Anti-Atomkraft-Bewegung** aus Angst vor klimatischen Veränderungen und den Gefahren durch Strahlung, erfolgreich

gegen ein geplantes Atomkraftwerk ihrer Landesregierung einsetzten (s. Abbildung 2). (s. ENGELS 2003, S. 103) Die Nuklearkatastrophe von Tschernobyl 1986 und weitere gesellschaftliche Entwicklungen mündeten 1990 mit dem Stromeinspeisegesetz und 2000 mit dem **Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)** in richtungsweisende Gesetzesänderungen. (s. BENZ ET AL. 2015, S. 6)



Abbildung 2: Plakate der deutschen Anti-Atomkraft-Bewegung in ihrer Entstehung (eigene Darstellung)

Das schon am 28. September 2010 durch die Bundesregierung veröffentlichte Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung lieferte die Leitplanken für die zukünftige Entwicklung der deutschen Elektrizitätsversorgung. Zusätzliche Beschleunigung erfuhr die Energiewende durch die Beschlüsse des Bundeskabinetts vom 06. Juni 2011 zum **Ausstieg aus der wirtschaftlichen Nutzung der Atomkraft bis 2022** als Reaktion auf die Reaktorkatastrophe im japanischen Fukushima. (s. BMWI U. BMU 2012, S. 4) Dabei sollen mit der Umsetzung der Energiewende die Hauptziele **Steigerung der Energieeffizienz, Reduktion der Treibhausgasemissionen** zum Klimaschutz, der weitere **Ausbau der EE** sowie der **Ausstieg aus der Atomenergie** verfolgt werden. (s. BRUHNKE U. ROSCHER 2015, S. 262) Die zentralen Vorhaben zur Umsetzung sind in Form einer 10-Punkte-Energie-Agenda durch das Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi) beschrieben worden, diese sieht dringenden Handlungsbedarf in den Bereichen erneuerbare Energien (EE), europäischer Emissionshandel, Strommarkt*design*, regionale Kooperation in der EU, Übertragungsnetze, Verteilnetze, Effizienzstrategie, Gebäudestrategie, Gasversorgungsstrategie sowie in der Monitoring-Plattform. (s. BMWI 2014) Auf diese Weise ist die deutsche Energiewende heute schon voll im Gange. Die Inbetriebnahme von neuen Offshore-Windkraftanlagen mit der Leistung von zwei Atomkraftwerken bzw. fünf großen konventionellen Kraftwerken lieferte allein in 2015 einen Rekordzuwachs von etwa 4,9 Gigawatt elektrischer Leistung. Darüber hinaus bedeutet ein Anteil von 21 % der weltweit installierten Photovoltaikkapazitäten in der Summe, dass schon heute fast ein Drittel der in Deutschland eingesetzten Energie aus Wind, Sonne und Biomasse stammen. (s. KAHLEN 2015) Mit dem EEG 2017 wird die Vergütungshöhe des erneuerbaren Stroms ab 2017 nicht mehr wie bisher staatlich festgelegt,

sondern durch den freien Markt durch Ausschreibungen ermittelt. (s. KAHLEN U. SASCH 2016, S. 1) Der Ausbau der EEzusammen mit dem Ausstieg aus der Atomenergie gehen mit einem zentralen **Paradigmenwechsel im Stromsystem** einher, bei dem die EE schon jetzt die bestimmende Säule des Strommarktes darstellen. (s. KAHLEN U. SASCH 2016, S. 1) Wie bereits erwähnt, liefern die EE schon rund ein Drittel des Stromes in Deutschland und so soll dieser Anteil noch bis zum Jahr 2025 auf 45 % weiter ansteigen. (s. KAHLEN U. SASCH 2016, S. 2) Kurz davor endet im Jahr 2022 die Nutzung der Atomenergie in Deutschland und die europäischen Märkte für Strom wachsen weiter zusammen. (s. BMWI 2015b, S. 1) Der Strommarkt in Deutschland durchläuft somit gerade eine Phase des Übergangs hin zu zunehmend dezentraler und volatiler Erzeugung, mit gleichbleibendem Anspruch auf die Gewährleistung einer steten **Versorgungssicherheit auf höchstem Niveau**. (s. BMWI 2015b, S. 1) Durch das **Strommarktgesetz** sollen somit die Ziele des **weiterentwickelten Strommarkts (Strommarkt 2.0)**, insbesondere vor dem Hintergrund der weiteren Umsetzung der Energiewende und der Gewährleistung der Versorgungssicherheit zu möglichst minimalen volkswirtschaftlichen Kosten, umweltverträglich realisiert werden. (s. BMWI 2015b, S. 2) Zu einer umweltverträglichen Stromversorgung ist darüber hinaus ein Beitrag des Stromsektors zur Erreichung der nationalen Klimaziele erforderlich. (s. BMWI 2015b, S. 2) Deutschland soll bis 2020 die Treibhausgasemissionen im Vergleich zum Jahr 1990 um 40 % verringern. (s. BMWI 2015b, S. 2) Im Strommarkt 2.0 werden ab 2016 demnach Braunkohlekraftwerke mit einer Leistung von 2,7 Gigawatt schrittweise aus dem Markt genommen und vorläufig stillgelegt. (s. BMWI 2015b, S. 3) Diese stehen dann jeweils für vier Jahre weiterhin in Form einer Sicherheitsbereitschaft, als letzte und befristete Absicherung, der Stromversorgung zur Verfügung, bevor sie endgültig stillgelegt werden. (s. BMWI 2015b, S. 3)

In der **Zusammenfassung** stellt sich die **Ausgangssituation produzierender Unternehmen** vor dem Hintergrund von I4.0 und Strommarkt 2.0 wie folgt dar. Die Digitalisierung der Gesellschaft und Wirtschaft führt beispielsweise (bspw.) mit den Aktionsfeldern *Smart Data*, digitale Vernetzung, *Smart Services*, *Cloud Computing* und I4.0 zu einem weiteren Anstieg der Produktivität. Die Produktion steht demnach kurz vor einer vierten industriellen Revolution, die wiederum zu einer tief greifenden und dauerhaften Umgestaltung der wirtschaftlichen und sozialen Verhältnisse, der Arbeitsbedingungen und der Lebensumstände führen wird. So verwandelt sich die moderne Wirtschaft zunehmend in eine Datenökonomie, in der Informationen in der richtigen Qualität zu den wertvollsten Ressourcen zählen werden. Quasi zeitgleich durchlebt die Produktion einen Paradigmenwechsel im Strommarkt. Durch die Umsetzung der Energiewende verändern sich gerade die über Jahrzehnte gewachsenen Rahmenbedingungen für den Bezug von elektrischer Energie aus dem Netz für alle Verbraucher ganz wesentlich. Der Strommarkt 2.0 ist geprägt durch zunehmende Dezentralisierung und Volatilität. Dennoch zeichnet sich das deutsche Stromversorgungsnetz nach wie vor durch ein außergewöhnlich hohes Zuverlässigkeitsniveau aus, bei dem Letztverbraucher in 2014 bundesweit im Schnitt lediglich nur 12 Minuten und 17 Sekunden

nicht mit Strom versorgt werden konnten. Dies ist ein Spitzenwert seit der erstmaligen Erfassung in 2006 und gerade vor dem Hintergrund des massiven Ausbaus der EEAuf Verteilnetzebene in den letzten Jahren besonders bemerkenswert und eindeutiges Indiz für die hohe Qualität des vorhandenen *Know-Hows* im Bereich Leistungselektronik und Regelungstechnik am Standort Deutschland. (s. BMWI 2015c) Für das betriebliche EM bilden die Entwicklungen zu I4.0 und zur Energiewende daher die wesentlichen Treiber aktueller und zukünftiger Problemstellungen.

1.2 Problemstellung

Die aktuelle wirtschaftspolitische Lage in Sachen **Wettbewerbsfähigkeit des Industriestandortes Deutschland** bewerten Industrieunternehmen mit einer Drei minus (3,3) in Schulnoten. (s. SCHUMANN U. LIECKE 2014, S. 4) Dabei bergen gerade die eingangs skizzierten Potenziale von I4.0 und dem damit verbundenen Einsatz von IT gerade für das EM produzierender Unternehmen zumindest theoretisch sehr hohe Potenziale. Überraschenderweise schneidet aber der **Standortfaktor Deutsche IT-Infrastruktur** im internationalen Vergleich verhältnismäßig schlecht ab. In der Praxis rutschte die Zufriedenheit laut Deutscher Industrie- und Handelskammertag e.V. (DIHK) Umfrage auf eine Drei (3,1) in Schulnoten ab und verschlechterte sich so wesentlich gegenüber den Vorjahren (2,5 in 2011 und 2,3 in 2008). Mit Blick auf die hohen Anforderungen von I4.0-Anwendungen an eine leistungsfähige IT-Infrastruktur muss dies als ein klares und ernst zu nehmendes Warnsignal verstanden werden. (SCHUMANN U. LIECKE 2014, S. 8) Dabei fällt die Bewertung des **Standortfaktors Energiekosten** noch viel schlechter aus (Schulnote 4,2) und entwickelt sich zunehmend zu einem branchenübergreifenden Problem, das sich zukünftig sogar zu einem großen Konjunktur- und strukturellen Standortrisiko entwickeln könnte. (s. SCHUMANN U. LIECKE 2014, S. 9) Dies betrifft insbesondere die internationale **Wettbewerbsfähigkeit stromintensiver Produktion**. Tatsächlich zählen die derzeitigen **Energiepreise**, vor allem für Strom, in Deutschland zu den höchsten in der Welt, und es sind hier gerade in den letzten Jahren überdurchschnittliche Wachstumsraten zu verzeichnen. (s. HEYMAN 2014, S. 45) So betrug der Preis für elektrischen Strom als Abgabe an die Industrie mit einem Jahresverbrauch von 2.000 Megawattstunde (MWh bis unter 20.000 MWh einschließlich Verbrauchs- und ohne Mehrwertsteuer in Deutschland im 1. Halbjahr 2008 noch 9,59 Cent pro Kilowattstunde (kWh) und liegt 2015 bei 13,16 Cent pro kWh. (s. DESTATIS 2015a, S. 49) **Deutschland** besitzt hiermit, im europäischen Vergleich, die **zweithöchsten Preise für elektrischen Strom**, nach dem Vereinigten Königreich mit 13,71 Cent pro kWh und weit vor dem günstigsten Land Schweden mit 5,45 Cent pro kWh. Neben den Stromkosten schlagen sich aber auch die Gaskosten aufgrund der höheren Einsatzmenge fossiler Energieträger stark bei den Energiekosten nieder. (s. DIECKHÖNER 2015, S. 1) Ein Preisvergleich für Strom und Gas, jeweils auf Basis von Cent pro kWh, offenbart dabei aber deutlich höhere Preise beim Strom, die in erster Linie auf **hohe Stromsteuern und -abgaben** zurückzuführen sind, bei denen die EEG-Umlage ganz besonders ins Gewicht fällt. (s. DIECKHÖNER 2015, S. 1) So ist die

EEG-Umlage seit ihrer Einführung von 0,19 Cent pro kWh im Jahr 2000 auf mittlerweile 6,35 Cent für das Jahr 2016 gestiegen. (MAYER U. BURGER 2014, S. 2)

Folglich wird die Energiewende seitens der Industrie sehr häufig in erster Linie als Ursache für steigende Preise, für zunehmende Komplexität in der Strombeschaffung sowie für zusätzlichen Bürokratieaufwand aufgrund neuer gesetzlicher Bestimmungen wahrgenommen. Dieser Umstand ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass bei der aktiven Gestaltung der Energiewende den **Anforderungen der industriellen Verbraucherseite** derzeit **zu wenig Beachtung geschenkt** wird und so die in der Produktion vorhandenen Potenziale für Lastmanagement, Energieeffizienz- und Treibhausgas-minderung nicht gehoben werden können. Dies liegt wiederum schwerpunktmäßig darin begründet, dass die **öffentliche Diskussion** heute **aus Netz- und Erzeugungssicht** geführt wird und die Integration der EE auch durch die Politik in den Fokus gerückt wurde. Dabei verändern insbesondere die wetterabhängigen, so in der Erzeugung schwankenden Windkraft- und Photovoltaikanlagen den Charakter des Energiesystems nachhaltig und führen u. a. an den europäischen Handelsplätzen zu **im Tagesverlauf stark veränderlichen Großhandelspreisen für Strom**. Aus Sicht der Bilanzkreisverantwortlichen (BKV) erhöht sich dadurch die Komplexität des Ausgleichs von Angebot und Nachfrage, da neben der **Prognose der erwarteten Last der einzelnen Verbraucher** nun auch die Planung des genauen Ausgleichs mit eigenen **wetterabhängigen Kraftwerken mit zusätzlichen Unsicherheiten** behaftet ist. Denn weichen die an den Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB) übermittelten prognostizierten Fahrpläne von den tatsächlichen Gegebenheiten ab, so muss dieser am Markt kurzfristig **Regelleistung** beschaffen. Die unter Umständen hohen zusätzlichen Kosten für diese sogenannte Ausgleichsenergie trägt anschließend der BKV. Aus Gesamtsystemperspektive würde grundsätzlich die Erhöhung bzw. Verringerung der Erzeugungsleistung ebenso wie die Anpassung der Lastgänge der Verbrauchsseite auf die derzeitige Erzeugungsleistung zu einem Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage im jeweiligen Bilanzkreis führen. Aus diesem Grund ist die Diskussion über die Notwendigkeit der stärkeren Integration von **Flexibilitäten auf Verbraucherseite** zwar grundsätzlich richtig, allerdings bestehen für produzierende Unternehmen derzeit **zu wenige Anreize für die aktive Partizipation**, da sie noch mit **verhältnismäßig hohem organisatorischem Aufwand** verbunden ist. Für produzierende Unternehmen stehen immer ihre Kernprozesse, also alle Tätigkeiten, die der Wertschöpfung des Unternehmens dienen, im Zentrum. (s. BECKER U. KAHN 2003, S. 7) Strom und andere Energieformen gehören zu den Betriebsstoffen und werden bei der Produktion zwar benötigt, gehen aber nicht direkt in das Produkt ein, sondern dienen in der Regel zum Betreiben der Maschinen während des Produktionsprozesses. In der **klassischen Produktionsplanung** spielten **Energieeffizienz- und Energieverbrauchsflexibilitätsbetrachtungen** daher bislang **keine oder eine untergeordnete Rolle**. Allenfalls bei energieintensiven Unternehmen wurden Energieverbräuche in der Vergangenheit schon detailliert erfasst und flossen so neben anderen Ressourcen in Form von kalku-

latorischen Kosten in die Produktionsprogrammplanung mitein. Bei allen anderen Unternehmen wird sich dies aufgrund fehlender Anreize bspw. durch einen massiven Anstieg der Energiepreise oder durch zusätzliche Erlöse aus Energiedienstleistungen kurzfristig auch nicht ändern. **Heutige Produktionsplanungssysteme** und deren zugrunde liegenden Planungsheuristiken sind demnach **nicht für die Berücksichtigung von Energiedaten gewappnet**.

Die Fähigkeit der Verarbeitung von immer größeren Datenmengen in immer kürzerer Zeit zur Unterstützung in verschiedenen Entscheidungssituationen stellt aber aus den weiter oben genannten Gründen zukünftig einen entscheidenden Wettbewerbsvorteil dar. Das betriebliche EM kann eine katalytische Funktion für die Umsetzung weiterer Digitalisierungsaktivitäten aber erst dann entfalten, wenn es selbst die Verarbeitung von hochaufgelösten Messinformationen zu intelligenten Entscheidungen in der Produktion durch die Verknüpfung mit Planungsdaten leisten kann. Damit die für die Produktion in Zukunft immer wertvoller werdenden **Energieinformationen** den Weg in die **Produktionsplanung** finden können, müssen diese schließlich innerhalb geeigneter **Energieinformationssysteme (EnIS)** weiterverarbeitet werden können. Erst so können kurzfristige Planungsanpassungen der laufenden Produktion zur Optimierung der energiebezogenen Leistung auf Basis einer verlässlichen Entscheidungsgrundlage Realität werden. (s. ROSCHER U. GRAUS 2016, S. 2) Die Herleitung der in diesem Zusammenhang erforderlichen theoretischen Grundlagen sowie die Ableitung wissenschaftlich fundierter sowie praxistauglicher Vorgehensweisen zur **Beschreibung und Gestaltung einer generischen Energieinformationssystemarchitektur (EnISA)** für die Produktion bilden auf diese Weise den Unterbau der im nächsten Unterkapitel beschriebenen Zielsetzung und zentralen Forschungsfrage dieser Arbeit.

1.3 Zielsetzung und Forschungsfrage

Ausgehend von der skizzierten Ausgangssituation und Problemstellung ist das Ziel dieser Arbeit, die Gestaltung eines **quasi normungsfähigen Referenzmodells einer Energieinformationssystemarchitektur für produzierende Unternehmen**. Eine EnISA liefert hierbei die notwendige Grundvoraussetzung, unternehmensspezifische entscheidungsorientierte EnIS in der Praxis gestalten zu können, die unter anderem (u.a.) durchgängige energiebezogene Informationsflüsse und gleichzeitig anspruchsvolle Analysen, Simulationen und kontextsensitive Visualisierungen zur Unterstützung in immer komplexer werden Entscheidungssituationen für das EM produzierender Unternehmen im Kontext I4.0 und Strommarkt 2.0 ermöglichen.

Zur Erreichung dieses übergeordneten Ziels sind folgende Teilziele zu erreichen:

- Beschreibung der generischen Anforderungen an EnISA produzierender Unternehmen
- Beschreibung einer Energieinformationssystemreferenzarchitektur für produzierende Unternehmen
- Vorgehensweise zur Gestaltung unternehmensspezifischer EnISA in der Praxis

Das Gesamtergebnis der Arbeit stellt damit ein standardisierbares Rahmenwerk dar, um anwendungsbezogene und unternehmensspezifische EnISA für produzierende Unternehmen zu konzeptionieren. Dieses Rahmenwerk liefert der Praxis demnach das notwendige Fundament für die reale Umsetzung konkreter entscheidungsorientierter EnIS im Einzelfall.

Folglich muss zur Erreichung der Zielsetzung dieser Arbeit eine Antwort auf die nachfolgend formulierte **Forschungsfrage** gefunden werden:

Wie kann eine generische EnISA für produzierende Unternehmen beschrieben und gestaltet werden?

Die Forschungsfrage lässt sich entsprechend den Teilzielen durch drei Unterfragen konkretisieren:

- Welche Anforderungen bestehen an eine EnISA für produzierende Unternehmen?
- Wie lässt sich eine generische EnISA für produzierende Unternehmen beschreiben?
- Wie kann auf Basis der generischen Architektur ein unternehmensspezifisches EnIS gestaltet werden?

Den Unterfragen der Forschungsfragen liegen zwei wesentliche Lösungshypothesen zugrunde. Erstens wird angenommen, dass Anforderungen an EnIS produzierender Unternehmen identifiziert und beschrieben werden können. Zweitens wird unterstellt, dass eine EnISA für produzierende Unternehmen generisch beschrieben werden kann. Generisch bedeutet in diesem Zusammenhang anwendungstyp-, unternehmenstyp-, sowie geschäftsmodellübergreifend. Im nächsten Kapitel wird nachfolgend der wissenschaftliche Bezugsrahmen dieser Arbeit festgelegt.

1.4 Wissenschaftstheoretischer Bezugsrahmen

Zielsetzung und Forschungsfragen implizieren den Bedarf einer Einordnung dieser Forschungsarbeit innerhalb einer Systematik wissenschaftlicher Disziplinen, um die zur Zielerreichung angewandte Forschungskonzeption zu plausibilisieren. Die Wissenschaftstheorie wird als Lehre von der systematischen Gewinnung von Erkenntnissen definiert und wird häufig auch als Lehre von der Wissenschaft bezeichnet. (s. KORNMEIER 2007, S. 8) Die Auseinandersetzung mit dem wissenschaftstheoretischen Bezugsrahmen in diesem Unterkapitel kann folglich selbst bereits als eine Art der Metawissenschaft verstanden werden. (s. KORNMEIER 2007, S. 6) Der Begriff Theorie wird je nach wissenschaftstheoretischer Position zwar unterschiedlich verwendet, lässt sich aber im Allgemeinen als ein System das aus mehreren Hypothesen oder Gesetzen besteht, zusammenfassen. (s. KORNMEIER 2007, S. 84) Hypothesen beschreiben theoretisch und / oder empirisch fundiert zumeist einen spezifischen Ausschnitt der Realität und liefern deskriptive und / oder erklärende Aussagen über den Zusammenhang bestimmter Sachverhalte innerhalb dieses Ausschnitts. (s. KORNMEIER 2007, S. 75)

Haben sich Aussagen in der Realität bereits häufig bewährt werden diese auch als Gesetze bezeichnet. (s. KORNMEIER 2007, S. 76) Die logische Verbindung mehrere interdependenter Hypothesen innerhalb eines Systems werden auch als Modell bezeichnet. (s. KORNMEIER 2007, S. 84–85)

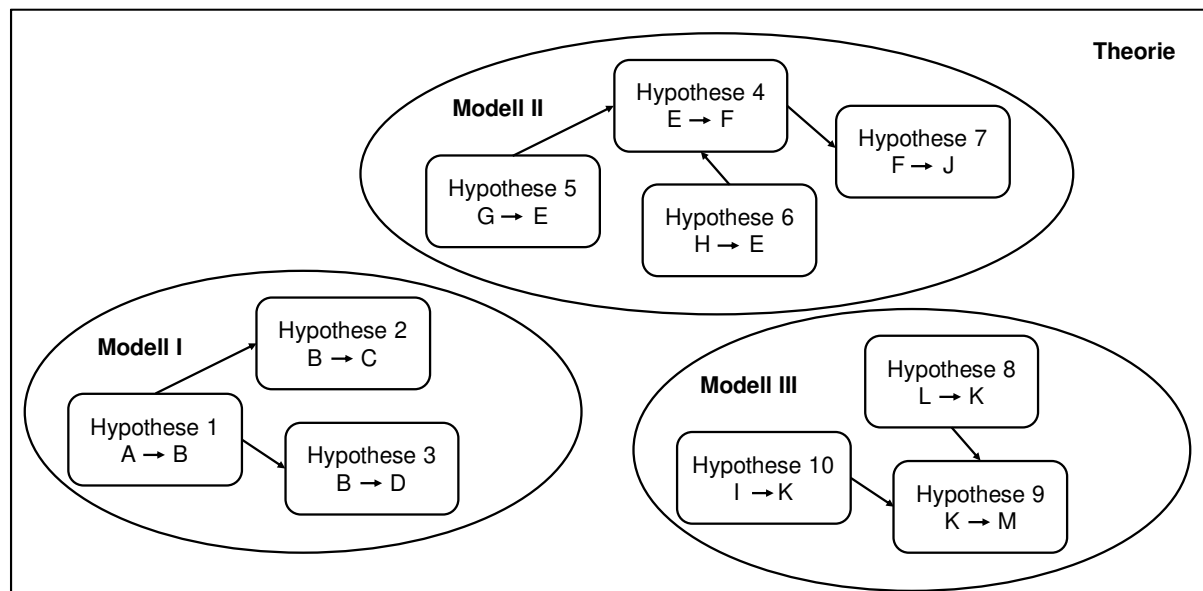


Abbildung 3: Theorie als Verbindung von Modellen (s. KORNMEIER 2007, S.85)

In einer ersten Näherung lassen sich Wissenschaften in Objekt- und Metawissenschaften unterteilen. (s. ZELEWSKI 2008, S. 3) **Objektwissenschaften** befassen sich mit Untersuchungsobjekten die selbst nicht zum Bereich der Wissenschaften gehören. (s. ZELEWSKI 2008, S. 3) Innerhalb der Objektwissenschaften findet eine Unterteilung in Real-, Formal- und Strukturwissenschaft statt. (s. ZELEWSKI 2008, S. 3) Hierbei untersuchen die Realwissenschaften im Gegensatz zu den **Formalwissenschaften** reale Objekte die auch außerhalb wissenschaftlicher Sprachsysteme existieren. (s. ZELEWSKI 2008, S. 3) **Strukturwissenschaften** erforschen dahingegen allgemeine Strukturen, die sowohl bei realen als auch bei formalen Objekten ihre Manifestation finden können. (s. ZELEWSKI 2008, S. 3) In der Praxis bedienen sich die Realwissenschaften häufig sowohl ausgewählter Methoden und Ergebnisse der Formal- und Strukturwissenschaften wie bspw. der Systemtheorie. (s. FLUHR 2014, S. 9) Theorien geben dabei Denkmuster vor, wie die Welt zu erfassen ist. (s. SCHÜTTE 1998, S. 74) Für die **Realwissenschaften** hat sich eine weitere objektbezogener Aufteilung in Kultur- und Naturwissenschaften als vorteilhaft erwiesen. (s. ZELEWSKI 2008, S. 5) Aus dieser Perspektive befassen sich **Naturwissenschaften** mit allen natürlichen realen Objekten. Das schließt auch Menschen als natürliche biologische Organismen mit ein. Die **Kulturwissenschaften** studieren dagegen die Verhaltensweisen von Menschen, die über rein biologische Verhaltensaspekte hinausreichen, sowie die Artefakte, die von Menschen künstlich erschaffen wurden. (s. ZELEWSKI 2008, S. 5)

Die Naturwissenschaften widmen sich somit dem Studium der Natur, wohingegen die **Ingenieurwissenschaften** darüber hinaus die zielgerichteten Veränderung dieser studieren. (s. LOSSACK 2006, S. 140) Ingenieurwissenschaften zeichnen sich demnach

durch eine noch weitergehende Anwendungsorientierung aus, mit dem Ziel nutzenstiftende **Artefakte** durch die Weiterbildung und Anwendung wissenschaftlicher Erkenntnisse zu produzieren. (s. FINK ET AL. 2001, S. 226) Auf Grund der ebenfalls anwendungsorientierten Zielsetzung wird die **Informatik** teilweise als Ingenieurwissenschaft auf formalwissenschaftlicher Grundlage bezeichnet. (s. FINK ET AL. 2001, S. 226) Die **Betriebswirtschaftslehre** wird zumeist innerhalb der Kulturwissenschaften verortet. (s. ZELEWSKI 2008, S. 5)

Angewandte Wissenschaften unterscheiden sich im Wesentlichen in wissenschaftstheoretischen und forschungsmethodischen Merkmalen von den **Grundlagenwissenschaften**. (s. ULRICH 1981, S. 5) Probleme der Grundlagenwissenschaft entstehen im **Theoriezusammenhang**, wohingegen die Probleme der angewandten Wissenschaften im **Praxiszusammenhang** entstehen. Für die Grundlagenwissenschaft ist der Praxisbezug somit akzessorisch und nicht wie im Fall der angewandten Wissenschaften konstitutiv. (s. ULRICH 1981, S. 10) Für Grundlagenwissenschaften ist die bestehende Realität Untersuchungsobjekt. Im Gegensatz zu den angewandten Wissenschaften, stellt die Realität lediglich den Ausgangspunkt für die Untersuchung möglicher und durch die Anwendung bestimmter Regeln und Modelle, neu erschaffener Realitäten dar. (s. ULRICH 1981, S. 10) Die Schaffung neuer Realitäten macht es auf diese Weise erforderlich, bei der Erarbeitung von Aussagen über zukünftige Sachverhalte, Leitlinien und Kriterien der wissenschaftlichen **Zukunftsforschung** heranzuziehen. (s. GERHOLD ET AL. 2015, S. 10)

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Beschreibung einer generischen EnISA für das zukünftige EM produzierender Unternehmen, die als Grundlage unternehmensspezifischer Gestaltung konkreter entscheidungsorientierter EnIS dienen soll und somit der **Wirtschaftsinformatik (WI)**, dem Schnittbereich aus Informatik und Betriebswirtschaftslehre, zuzuordnen ist. (s. FLUHR 2014, S. 9) Die **WI kann den Ingenieurwissenschaften zugeordnet werden**, wenn das Forschungsziel ein konkretes, künstliches Artefakt ist, das über eine hohe Entwicklungskomplexität und Nutzungszuverlässigkeit verfügt, sowie das Ergebnis einer kreativen, konstruktionsorientierten Vorgehensweise ist. (s. FLUHR 2014, S. 9) Die deutschsprachige WI versteht sich primär als eine konstruktionsorientierte Forschungsdisziplin, die sich auf die Gestaltung von Informationssystemen (IS) fokussiert. (s. GERICKE U. WINTER 2009, S. 195) Hierbei zeichnet sich insbesondere die gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatikforschung durch ihr Selbstverständnis der expliziten Relevanz- und Anwendungsorientierung aus. Auf diese Weise bilden Prototyping und eine argumentativ-deduktive Arbeit, methodisches Spezifikum der WI in Deutschland und somit Differenzierungsmerkmal zum internationalen Information System *Research*. (s. BECKER ET AL. 2009, S. 1) Die **gestaltungsorientierte WI** unterscheidet die Artefakttypen Konstrukt, Modell, Methode und Instanz. (s. GERICKE U. WINTER 2009, S. 198) **Konstrukte** legen die Sprache fest in der Probleme und deren Lösungen definiert und kommuniziert werden. (s. MARCH U. SMITH 1995, S. 256) Modellierungssprachen und Ontologien sind hierfür Beispiele. (s.

HEVNER ET AL. 2004, S. 87) In diesem Zusammenhang stellen **Modelle**, Repräsentationen von Problemen oder Lösungsräumen dar, bei denen auf Konstrukte zurückgegriffen wird. (s. MARCH U. SMITH 1995, S. 256) **Methoden** beschreiben Vorgehen zur Lösung bestimmter Probleme. (s. MARCH U. SMITH 1995, S. 257) **Instanzen** sind schließlich problembezogene Umsetzungen von Konstrukten, Modellen und Methoden. Unter den Instanzbegriff fallen explizit auch IS da sie Aggregate implementierter Konstrukte, Modelle und / oder Methoden darstellen. (s. MARCH U. SMITH 1995, S. 258) Wie in Abbildung 4 dargestellt kann eine weitere Untergliederung der gestaltungsorientierten WI in **Konstruktionsforschung (KF)** (*Design Science*) und Artefaktkonstruktion (*Design Research*) vorgenommen werden. Innerhalb der KF beschäftigen sich unterschiedlichste Forschungsdisziplinen mit der Fundierung der Konstruktion verschiedener Artefakttypen. Hierzu gehört auch die **Referenzmodellierung** mit Fokus auf Modelle. (s. GERICKE U. WINTER 2009, S. 201)

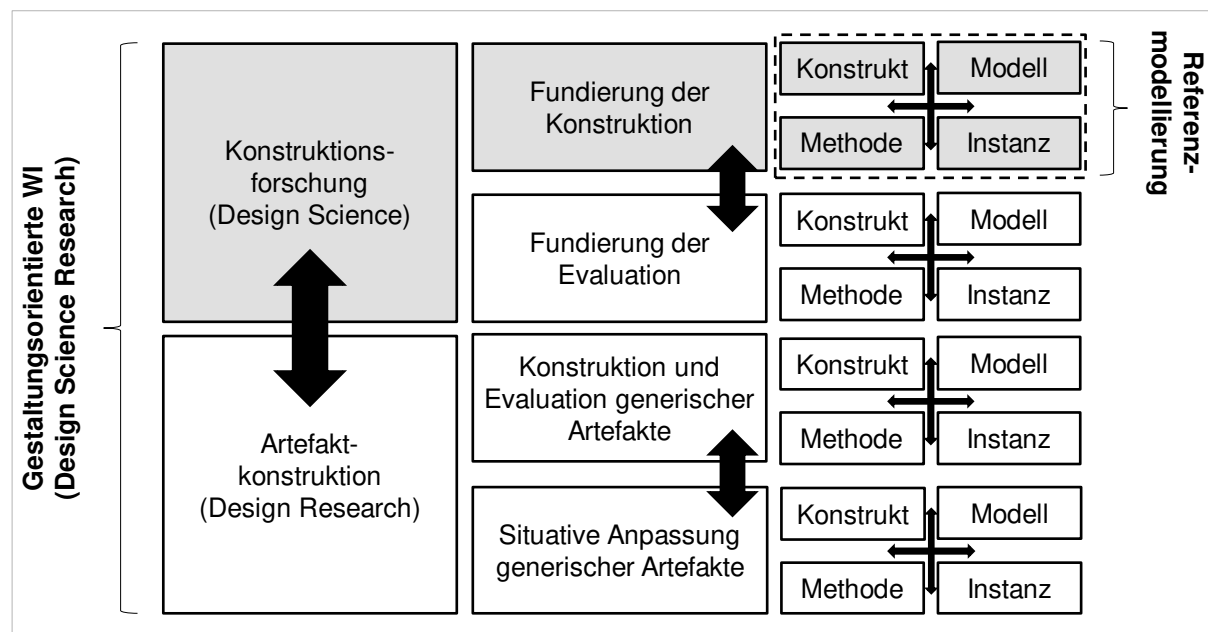


Abbildung 4: Bezugsrahmen für die gestaltungsorientierte WI
(s. BECKER ET AL. 2009, S. 201)

Die **vorliegende Arbeit** ist folglich dem **angewandten ingenieurwissenschaftlichen Bereich der gestaltungsorientierten WI** zuzuordnen, mit besonderem **Fokus auf die modellhafte Fundierung eines Artefakttyps in Form eines entscheidungsorientierten EnIS**. Diesem wurde durch die Arbeit von POSCH bereits eine besondere Eignung für die Darstellung praxisorientierter Lösungsansätze, zur Ausgestaltung eines situativ geeigneten betrieblichen EM auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse, nachgewiesen (s. POSCH 2011, S. 11–43) und soll daher dieser Arbeit ebenfalls als **epistemologische Grundlage** dienen. Im nächsten Kapitel soll nun die Forschungskonzeption der zugrunde liegenden Arbeit beschrieben werden.

1.5 Forschungskonzeption

Im Basisbereich aller Wissenschaften werden innerhalb der jeweiligen Wissenschaftlergemeinschaft Entscheidungen darüber getroffen welche Grundüberzeugungen als wissenschaftlich anerkannt gelten sollen. (s. ZELEWSKI 2008, S. 6) Diese erstrecken sich im Wesentlichen auf ontologische, epistemologischen und methodologischen Basisentscheidungen (s. ZELEWSKI 2008, S. 6–7) und determinieren in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Ausprägung unterschiedliche Paradigmen wissenschaftlichen Arbeitens. (s. ZELEWSKI 2014, S. 2) **Ontologische Basisentscheidungen** betreffen Grundüberzeugungen über die Beschaffenheit der Realität. **Epistemologische Basisentscheidungen** befinden über Annahmen in welchem Verhältnis, einerseits die Realität und andererseits die wissenschaftlichen Erkenntnisse über diese, zueinanderstehen. Die **methodologischen Basisentscheidungen** bestimmen diejenigen Instrumente, die als wissenschaftlich angemessene Instrumente zur Erkenntnisgewinnung akzeptiert werden. (s. ZELEWSKI 2014, S. 2) In diesem Zusammenhang haben sich bereits verschiedene **Grundlagenmethoden** wie die Induktion und die Deduktion als allgemeine Instrumente zur Erkenntnisgewinnung etabliert, deren Anwendungszweck sich nicht auf spezifische Probleme oder Ziele einzelner wissenschaftlicher Disziplinen beschränken, sondern vielmehr der generellen wissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung dienen. (s. ZELEWSKI 2008, S. 32) Als Grundlagenmethode wird demnach ein intersubjektiv nachvollziehbares und systematisch beschriebenes Verfahren definiert, das zur Lösung von Problemen oder zur Erreichung von Zielen dient. (s. ZELEWSKI 2008, S. 32) Die **Induktion** steht für ein spezielles, gehaltserweiterndes Schlussfolgerungsverfahren, das durch Verallgemeinerung den Anspruch besitzt, aus einer endlichen Anzahl von Einzelbeobachtungen, eine gesetzesartige Aussage mit universellem Geltungsanspruch für unendliche viele reale Sachverhalte, gewinnen zu können. (s. ZELEWSKI 2008, S. 33) Im Gegensatz zur Induktion handelt es sich bei der **Deduktion** um ein spezielles gehaltsbewahrendes Schlussfolgerungsverfahren, das niemals andere Informationen als Konklusion hervorbringt, als die Prämissen, die es bereits explizit oder implizit beinhaltet. (s. ZELEWSKI 2008, S. 33–34)

Als Hauptanwendungsbereiche der Grundlagenmethoden werden Entdeckungs-, Begründungs- und Verwendungszusammenhänge unterschieden. (s. ZELEWSKI 2008, S. 32) Diese werden als die drei zentralen wissenschaftstheoretischen Aspekte der realwissenschaftlichen Forschung angesehen. (s. HILL U. ULRICH 1976, S. 306–307) Dabei stellt der **Entdeckungszusammenhang** eines wissenschaftlichen Forschungsprozesses den gedanklichen Bezugsrahmen in Form der konzeptuellen Basis dar. Hierbei sind grundsätzlich verschiedene gedankliche Bezugsrahmen denkbar, die jeweils hinsichtlich der Zweckmäßigkeit für eine bestimmte Forschungsaufgabe gegeneinander abgewogen werden müssen. (s. HILL U. ULRICH 1976, S. 306–307) Betriebswirtschaftliche Theorien sind nicht allein aus empirischen Aussagen ableitbar und ihre Realtheorien daher häufig zu einem wesentlichen Teil eine Sache der kreativen Begriffssetzung, Fragestellung, Hypothesenbildung und Ideenkombination. (s. HILL U. ULRICH 1976, S. 307) Gedankliche Bezugsrahmen die als Grundmodelle den Qualitätskriterien

Problemlösungskraft, Allgemeinheit, Präzision und Integrationskraft genügen, werden als **Paradigmata** bezeichnet. In der BWL existieren mit dem **faktortheorietischen Ansatz** von GUTENBERG (s. GUTENBERG 1979), dem **systemtheoretischen Ansatz** von ULRICH (s. ULRICH 1968) sowie dem **entscheidungstheoretischen Ansatz** von HEINEN (s. HEINEN 1962) wissenschaftlich anerkannte Paradigmata die als heuristische Bezugsrahmen dienen. (s. HILL U. ULRICH 1976, S. 308–309)

Die Methodik für die empirische Überprüfung gedanklicher Bezugsrahmen ist innerhalb des **Begründungszusammenhangs** verortet und beinhaltet in erster Linie das induktive und deduktive Schließen. Hierbei sind sämtliche empirischen Aussagen stets dem Kriterium der Konsistenz mit der Wirklichkeit zu unterwerfen. (s. HILL U. ULRICH 1976, S. 306–307) In diesem Zusammenhang geht die wissenschaftlogische Konzeption des **Empirismus** davon aus, dass sie alle Begriffe auf empirische Gegebenheiten reduzieren und damit allgemeine Hypothesen durch empirische Aussagen verifizieren kann. Dahingegen lehnt der heute dominierende **Kritische Rationalismus (KR)** die Möglichkeit einer derartigen vollständigen Induktion kategorisch ab und postuliert lediglich die Möglichkeit einer beschränkten Induktion. KR beruht auf zwei zentralen Ideen, der Idee der **Falsifikation**, der Widerlegung einer Hypothese durch eine empirische Aussage über eine Einzelbeobachtung und der Idee der **Kritik**. (s. HILL U. ULRICH 1976, S. 345) Zielsetzung des KR ist folglich den Erkenntnisfortschritt durch eine intersubjektive nachvollziehbare Prüfung zu begründen, die sowohl die Widerspruchslösigkeit (logische Wahrheit), als auch den empirischen Gehalt (faktische Wahrheit) der Aussagen prüft, ohne den Anspruch Hypothesen als endgültig richtig und bewiesen anzusehen. (s. HILL U. ULRICH 1976, S. 346) Innerhalb der system- und entscheidungsorientierten BWL steht allerdings statt der Falsifikation von Erklärungsmodellen, vielmehr die Richtigkeit oder Realisierbarkeit praxisrelevanter Entscheidungsmodelle im Vordergrund, sodass hier darüber hinaus ein **operationsanalytisches Forschungskonzept** zugrunde gelegt werden muss. (s. HILL U. ULRICH 1976, S. 347) Im Zentrum einer operationsanalytischen Forschungskonzeption stehen **Ziel-Mittel-Beziehungen** und nicht wie in der realanalytischen Konzeption des KR, Ursache-Wirkungs-Beziehungen. Bei Ziel-Mittel-Beziehungen ist die Einsicht in kausale Zusammenhänge zwar lediglich zur Begründung der Auswahl zielwirksamer Handlungsweisen relevant, diese beruhen aber weiterhin auf einem soliden Fundament realanalytisch erarbeiteten Kausalwissens. (s. HILL U. ULRICH 1976, S. 347) Innerhalb der angewandten Wissenschaften dient die empirische Forschung auf diese Weise viel mehr der Erfassung typischer Probleme der Praxis und der Prüfung, der von ihr entwickelten Gestaltungsmodelle im Anwendungszusammenhang, als der Prüfung rein theoretischer Hypothesen. (s. ULRICH 1981, S. 10)

Der **Verwendungszusammenhang** eines wissenschaftlichen Forschungsprozesses und dessen wissenschaftlichen Aussagen beschäftigt sich schließlich mit der Frage nach der Verwendung bzw. dem Zweck. Dieser ist in erster Linie vor dem Hintergrund der jeweils **gesellschaftlichen Relevanz** und des **gesellschaftlichen Nutzens** zu be-

trachten. (s. HILL U. ULRICH 1976, S. 306–307) Innerhalb der angewandten Wissenschaften stellt der Verwendungszusammenhang daher eine wesentliche Aufgabe dar, die nicht durch bloße Übernahme aktueller Nutzensvorstellungen der Praxis selbst gelöst werden kann. (s. ULRICH 1981, S. 10)

Vorliegende Arbeit verfolgt neben **deskriptiven und theoretischen Wissenschaftszielen** in Form von Begriffsdefinitionen, Beschreibungen und Erklärungen im Forschungsfeld des Informationsmanagements (IM) im Bereich des EM produzierender Unternehmen, vor allem ein **angewandtes Wissenschaftsziel** mit der Gestaltung einer generischen EnISA für produzierende Unternehmen. Aus diesem Grund ist der skizzierte **operationsanalytische Forschungsprozess** geeignet, die **konstruktionsorientierte angewandte Zielsetzung** zu erreichen und wird folglich dieser Arbeit zugrunde gelegt. Der Forschungsprozess umfasst eine Reihe von unterscheidbaren Forschungsaktivitäten die jeweils einer terminologisch-deskriptiven, empirisch-induktiven oder analytisch-deduktiven Aufgabenstellung zugerechnet werden können. (s. HILL U. ULRICH 1976, S. 347) **Terminologisch-deskriptive** Studien beinhalten die Schaffung eines Begriffssystems, sowie dessen Anwendung für die Beschreibung der Forschungsobjekte. **Empirisch-induktive** Aktivitäten umfassen sowohl empirisch-statistische Untersuchungen beobachtbarer Zusammenhänge, als auch die induktive Ableitung und empirische Überprüfung von Hypothesen. Unter **analytisch-deduktive** Aktivitäten fallen sämtliche logischen Schritte im Zuge der deduktiven Konstruktion von Modellen und der analytischen Auswertung der Ergebnisse. (s. HILL U. ULRICH 1976, S. 347) Die Forschungskonzeption dieser Arbeit umfasst folglich Aktivitäten aus allen drei Aufgabenbereichen (Abbildung 5, rechts).

Darüber hinaus leiten sich aus dem Ansatz der angewandten Wissenschaft weitere Konsequenzen in Bezug auf die Forschungskonzeption und –methodik dieser Arbeit ab. Auf diese Weise **beginnt der Forschungsprozess nicht im Theoriezusammenhang sondern startet und endet in der Praxis**. Außerdem ist der Forschungsprozess **hauptsächlich auf die Untersuchung des Anwendungszusammenhang ausgerichtet**, sodass Theorien lediglich die Funktion des Informationslieferanten innehaben. (s. ULRICH 1981, S. 19) Die aktive **Berücksichtigung des Praxiszusammenhangs** innerhalb des Forschungsprozesses, wird somit als wissenschaftliche Hauptaufgabe angewandter Forschung verstanden (s. Abbildung 5 links). (s. ULRICH 1981, S. 19)

Grundprobleme realwissenschaftlichen Denkens in Form von Subjektivitäts- und Kommunikationsproblemen, haben ebenfalls Auswirkungen auf den operationsanalytischen Forschungsprozess (s. HILL U. ULRICH 1976, S. 306) dieser Arbeit. Dem **Subjektivitätsproblem** liegt die Tatsache zugrunde, dass die sinnliche Wahrnehmung eines Individuums immer subjektiver Natur ist und aufgrund bereits erworbener Kenntnisse, Erfahrungen und Einstellungen nur selektiv erfolgt. Darüber hinaus erfolgt die Deutung der Wirklichkeit anhand bewährter Interpretationsmuster die durch individuelle Interessensbezüge zusätzlich beeinflusst werden. (s. HILL U. ULRICH 1976, S. 306) Zur Beherrschung dieses Phänomens wird u. a. die **Offenlegung des wissenschaftlichen Vorverständnisses** empfohlen. (s. MAYRING 2002, 25,145) Das Vorverständnis

des Autors ist geprägt von der Mitarbeit in verschiedensten Forschungs- und Beratungsprojekten im Rahmen der mehrjährigen wissenschaftlichen Tätigkeit am Forschungsinstitut für Rationalisierung (FIR) e. V. an der RWTH Aachen. Der Schwerpunkt der Tätigkeit lag im Bereich des IM mit den Schwerpunktthemen in Energiewirtschaft, Produktion und Elektromobilität. Eine detaillierte Offenlegung des Vorverständnisses findet sich im Anhang A1. Sämtliche dort beschriebenen Forschungsarbeiten erfolgten in enger Zusammenarbeit mit Industriepartnern, sodass die im iterativen Prozess erzielten Teilergebnisse im Sinne einer **Aktions- bzw. Handlungsforschung** (s. MAYRING 2002, 50ff) unmittelbar mit der Praxis diskutiert und verbessert werden konnten. Die geforderte Nähe zum Gegenstand qualitativer Forschung ist dadurch gegeben. (s. MAYRING 2002, 50ff) Die im Zuge der Evaluation durchgeführte praktische Umsetzung konkreter entscheidungsorientierter EnIS mit unterschiedlichen Partnern in verschiedenen Anwendungszusammenhängen, stellt als kommunikative und qualitative Validierung insofern einen weiteren Schritt dieser anwendungs- und konstruktionsorientierten Forschungsstrategie dar. (s. MAYRING 2002, S. 147)

Mit dem **Kommunikationsproblem** wird zunächst die Notwendigkeit einer eindeutigen Sprachregelung artikuliert, die es erst ermöglicht wissenschaftliche Erkenntnisse nachvollziehbar sämtlichen Adressaten zu vermitteln. (s. HILL U. ULRICH 1976, S. 306) Eine weitere aus dem Kommunikationsproblem abgeleitete Notwendigkeit, ist das Aufstellen spezieller Induktionsregeln, die die Verallgemeinerungsfähigkeit von Einzelaussagen begrenzen. (s. HILL U. ULRICH 1976, S. 306) Aus diesem Grund wird bei deskriptiven Aktivitäten innerhalb dieser Arbeit, soweit wie möglich auf verbreitete Darstellungsweisen der WI zurückgegriffen. Außerdem werden neben dem **empirisch-induktiven Aufbau der Beschreibungsmodelle in anwendungsorientierten Forschungsprojekten**, zudem **konstruktionsorientierte Fallstudien als eine Art empirische Realisierungsversuche** eingesetzt. (s. HILL U. ULRICH 1976, vgl. 348f) Sie werden in vorliegender Arbeit nicht als eigenständige, vollständige Forschungsstrategie genutzt, (s. YIN 2003, vgl.) sondern sind Teil der empirischen Fundierung innerhalb des operationsanalytischen Forschungsprozesses. (s. YIN 2003, vgl. 150f) Die Inhalte und Eigenschaften der soeben beschriebene Forschungskonzeption spiegeln sich folglich auch in der nachfolgenden Beschreibung des Aufbaus dieser Arbeit wider.

1.6 Aufbau der Arbeit

In Abbildung 5 ist die Gliederung der Arbeit mit Bezug auf die eingesetzten, operationsanalytischen Aktivitäten dargestellt und wird nachfolgend beschrieben. Das **erste Kapitel** dieser Arbeit beschreibt die **Ausgangssituation** produzierender Unternehmen insbesondere vor dem Hintergrund der Digitalisierung der Wirtschaft und der Umsetzung der Energiewende. Ausgehend von den skizzierten Rahmenbedingungen führt es anschließend zu der sich daraus entwickelnden praktischen **Problemstellung** und identifiziert die wissenschaftliche und praktische Lücke bzw. das vorhandene Methodendefizit. Hieraus leitet es die **Zielsetzung** und die mit dieser einhergehenden

Forschungsfragen ab, die zur Auflösung des wissenschaftlichen Defizits und zur Lösung des praktischen Problems führen sollen. Hierzu legt es darüber hinaus den **wissenschaftstheoretischen Bezugsrahmen** offen, um schließlich die angewandte operationsanalytische **Forschungskonzeption** darzulegen, bevor in diesem Kapitel der **Aufbau der Arbeit** beschrieben wird.

Im Rahmen des **zweiten Kapitels** erfolgt zur Fundierung der Modellentwicklungen, als terminologisch-deskriptive Aktivität, zunächst die Definition des erforderlichen Begriffssystems. Die übergeordnete Struktur der Unterkapitel folgt einem einheitlichen systematischen Ansatz der seinen Ursprung in der Forschungsfrage der Arbeit findet und die dort verwendeten erklärungsbedürftigen Begriffe **Produktion**, **Information** und **Energie** aufgreift. Innerhalb der Unterkapitel erfolgt jeweils analog eine weitere systematische Eingrenzung vom Groben ins Feine bezüglich der Aspekte **Management**, **IS** und **Informationssystemarchitekturen (ISA)** im Kontext des jeweiligen Überbegriffs. Dies führt schließlich zu den terminologischen Grundlagen des Begriffssystems der Energiemanagement- und Energieinformationssysteme und unterstützt auf diese Weise die Abgrenzung der Untersuchungsbereichs.

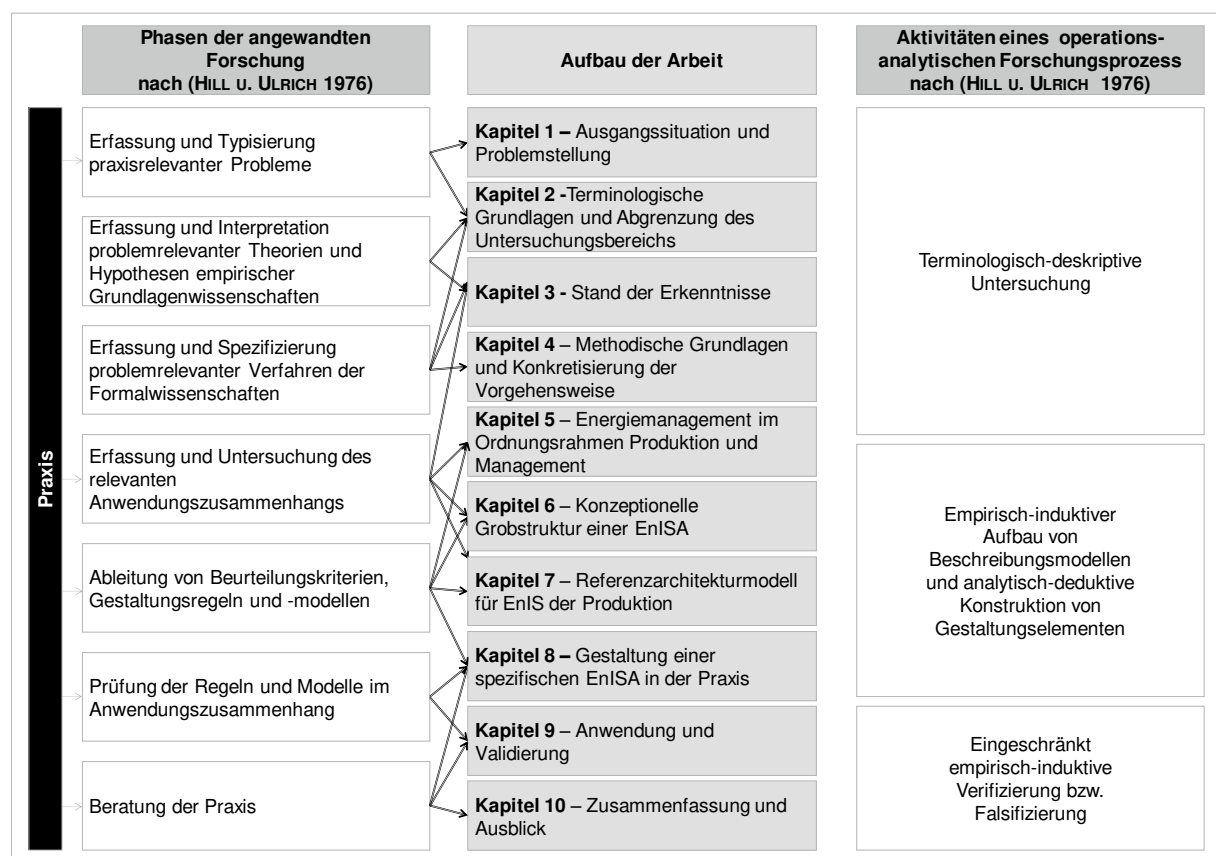


Abbildung 5: Kapitelübersicht und Charakterisierung der Forschungsaktivität
(eigene Darstellung)

Im **dritten Kapitel** kann anschließend motiviert durch die Beschreibung und Analyse des aktuellen **Standes der Erkenntnisse** und der derzeit gültigen Normen und Spezifikationen die Konkretisierung des Handlungsbedarfs erfolgen. Das **vierte Kapitel** legt **formale und inhaltliche Anforderungen** an die zu entwickelnden Partialmodelle fest,

erläutert zudem die **methodischen Grundlagen** und mündet schließlich in der Konkretisierung der Vorgehensweise zur Erreichung der eingangs definierten Zielsetzung. Die sich anschließenden Phasen der Modellentwicklungen des iterativen und operationsanalytischen Forschungsprozesses, enthalten sowohl terminologisch-deskriptive, empirisch-induktive als auch analytisch-deduktive Aktivitäten.

Als Voraussetzung für die systematische und vollständige Ableitung der generischen Anforderungen an EnISA für produzierende Unternehmen wird im **fünften Kapitel** zunächst terminologisch-deskriptiv, ein **Ordnungsrahmen für das EM** modelliert, der in erster Linie die begrifflichen Zusammenhänge und die fundamentalen Elemente definiert, um dem bereits beschriebenen Grundproblem realwissenschaftlichen Denkens in Form von Subjektivitäts- und Kommunikationsproblemen für die weitere Modellierung möglichst frühzeitig entgegenzuwirken.

Im **sechsten Kapitel** erfolgt parallel hierzu die empirisch-induktive Erhebung der **Anforderungen** sowie die Modellierung eines **konzeptionellen Datenmodells** und **Grobstruktur einer empfehlunsbasierten EnISA**.

Analytisch-deduktiv wird darauf aufbauend im **siebten Kapitel** anschließend das **Referenzarchitekturmodell für EnIS der Produktion (RAMEnIS)** modelliert, dass das bereits existierende Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0) in der Form adaptiert, indem es denn Fokus hin zu der unternehmensinternen Energiewertschöpfung verschiebt.

Im **achten Kapitel** erfolgt die analytisch-deduktive Konstruktion der Gestaltungselemente eines iterativen Vorgehensmodells zur Synthese unternehmensspezifischer EnISA. Dieses mündet schließlich in einem Architekturrahmenwerk welches **die Gestaltung spezifischer EnISA in der Praxis** erlaubt, auf deren Basis dann konkrete entscheidungsorientierte EnIS realisiert werden können.

Im **neunten Kapitel** beschreibt die fallstudienbasierte Evaluation im **Anwendungszusammenhang** realer Produktionsumgebungen zur Untermauerung der empirischen Plausibilisierung der entwickelten Modelle. Diese darf aufgrund der kleinen und somit nicht für die Gesamtheit aller produzierenden Unternehmen repräsentativen Stichprobe, allerdings nicht als vollwertige empirisch-induktive Aktivität angesehen werden und muss sich folglich, ohne den Anspruch einer formal korrekten wissenschaftlich fundierten **Validierung**, erst durch weitere Anwendungen in der Praxis bewähren. Im Sinne der gewählten Forschungskonzeption können die Erkenntnisse der Fallstudien alternativ auch in eine weitere Iteration des operationsanalytischen Forschungsprozesses einfließen. Im **zehnten Kapitel** erfolgt eine **Zusammenfassung** und der **Ausblick** auf den zukünftigen Forschungsbedarf.

2 Terminologische Grundlagen und Abgrenzung des Untersuchungsbereichs

In diesem Kapitel erfolgt die terminologische Fundierung zentraler Begriffe sowie die allgemeine Beschreibung grundlegender Zusammenhänge der Produktion, dem Management der Ressourcen Information und Energie, insbesondere auch vor dem Hintergrund von IS und ISA. Aufgrund der aus der Zielstellung abzuleitenden besonderen Bedeutung wird dabei ein größtmöglicher Bezug zu aktuell gültigen Normen und Spezifikationen angestrebt. Darauf aufbauend kann schließlich im letzten Unterkapitel die Abgrenzung des Untersuchungsbereichs dieser Arbeit vollzogen werden.

2.1 Produktion

Das Ziel aller betrieblichen Aktivitäten ist entweder die **Produktion** von Gütern materieller Art in Form von Sachgütern oder die Bereitstellung von Gütern immaterieller Art die als DL bezeichnet werden. (s. GUTENBERG 1979, S. 1) Den planmäßigen Einsatz knapper Güter zur menschlichen Bedürfnisbefriedigung wird als Wirtschaften bezeichnet. (s. JUNG 2010, S. 4) Produktions- bzw. leistungsorientierte Wirtschaftseinheiten die zur Fremdbedarfsdeckung dienen bezeichnet man als Betriebe. (s. JUNG 2010, S. 6) Ein Betrieb ist immer einem Unternehmen als Rechtsträger zugeordnet (**produzierende Unternehmen**). Bei **Sachgütern** wird zwischen Rohstoffen und Fabrikaten unterschieden. Rohstoffe stehen nach ihrer Gewinnung entweder in ihrer ursprünglichen Art oder nach Veredelung für direkt produktive Zwecke zur Verfügung. Fabrikate bezeichnen Produkte und Erzeugnisse die durch Form- und Substanzänderung entstehen. Wesentliche Eigenschaft von Fabrikaten ist, dass sie sich von den zu ihrer Herstellung verwandten Grundstoffen wesentlich unterscheiden. (s. GUTENBERG 1979, S. 1) Betriebe die Sachgüter herstellen bezeichnet man als Fertigungs-, Fabrikations- und **Produktionsbetriebe**. (s. GUTENBERG 1979, S. 2) Jede nicht naturgebundene Güterproduktion wird vor allem in der Betriebs- und Volkswirtschaftslehre auch als Gewerbe bezeichnet. (s. KRUMME 2017) Das **produzierende Gewerbe** kann gleichbedeutend mit der Industrie bzw. dem industriellen Sektor angesehen werden. In der Wirtschaftsstatistik wird die **Industrie** im engeren Sinn auch als **verarbeitendes Gewerbe** bezeichnet. (s. POLLERT ET AL. 2010,) Unternehmen die weitgehend substituierbare Produkte oder DL herstellen werden in Branchen zusammengefasst (bspw. Automobil-, Elektronikbranche etc.). (s. ENGELHARD 2017)

In Produktionsbetrieben stellt die Herstellung der Erzeugnisse die sogenannte betriebliche Leistungserstellung dar. Der Absatz der Erzeugnisse ist Inhalt der Leistungsverwertung. (s. GUTENBERG 1979, S. 2) Innerhalb der Leistungserstellung von Produktionsbetrieben bilden die Elemente menschliche Arbeitsleistungen, Betriebsmittel und Werkstoffe die **produktiven Faktoren** die dem Leistungserstellungsprozess als betriebliche Elementarfaktoren zugrunde liegen. (s. GUTENBERG 1979, S. 3–5) Norm DIN 19226-1 definiert Prozesse, als die Gesamtheit von aufeinander einwirkenden Vorgängen in einem System. Charakteristikum eines Prozesses ist, dass eine Eingabe bzw.

ein *Input* durch bestimmte Aktivitäten in ein Ergebnis bzw. einen *Output* transformiert wird. Darüber hinaus besteht jeder Prozess aus einer Reihe von Teilprozessen, Aufgaben und Aktivitäten und wird immer in einer organisatorischen oder technischen Umgebung ausgeführt. (s. CHRIST 2015, S. 40) In Unternehmen bezeichnet man sämtliche Prozesse die im Zusammenhang mit der Wertschöpfungskette stehen als **Geschäftsprozesse**. (s. CHRIST 2015, S. 41) Die Prozessleittechnik steht als Mittler zwischen dem technischen Prozess und dem Menschen der diesen beobachtet und bedient. Unter Betriebsleitung wird diejenige Instanz beschrieben, die die Kombination der produktiven Faktoren im Zuge der Leistungserstellung vollzieht. (s. GUTENBERG 1979, S. 3–5) Die Betriebsleitung bildet zusammen mit der Planung und der Betriebsorganisation die **dispositiven Faktoren**. (s. GUTENBERG 1979, S. 8)

Teil der **Betriebsmittel** sind alle Einrichtungen und Anlagen, die die technischen Voraussetzungen für die Produktion bilden und umfassen demnach insbesondere auch die Gesamtheit aller Grundstücke und Gebäude sowie alle maschinellen Apparate wie bspw. IT-Geräte und Werkzeugmaschinen. Darüber hinaus zählen auch sämtliche Betriebs- und Hilfsstoffe die zur Herstellung und Aufrechterhaltung der allgemeinen Arbeitsfähigkeit des Betriebs notwendig sind zu den Betriebsmitteln. (s. GUTENBERG 1979, S. 4) Hilfsstoffe sind folglich Stoffe und Stoffkombinationen, die nicht als wesentlicher Bestandteil in die Fertigungserzeugnisse eingehen wie bspw. Schweißdrähte, Schrauben etc.. Betriebsstoffe dienen im Wesentlichen der Aufrechterhaltung der Einsatzbereitschaft der Betriebsmittel wie bspw. Schmier- und Kühlmittel und sind folglich ebenfalls kein Bestandteil des finalen Fertigungserzeugnisses. (s. SCHENK ET AL. 2014, S. 84) Im Gegensatz dazu werden alle Rohstoffe, Halb- und Fertigerzeugnisse die als Bestandteil neuer Erzeugnisse Verwendung finden den Werkstoffen zugeordnet. (s. GUTENBERG 1979, S. 4–5)

Eine Fabrik stellt eine lokale Bündelung von **Produktionsfaktoren** zur Darstellung der Wertkette von Sachgütern dar. (s. WIENDAHL ET AL. 2009, S. 32) Die Produktion ist per Definition durch ein **Produktionssystem** organisiert, das somit ein ganzheitliches Organisationskonzept repräsentiert, indem die Prozesse, die Infrastruktur und das Umfeld der Produktion abgebildet und Werkzeuge in Form von Produktionsfaktoren sowie Konzepte und Methoden hinterlegt werden. (s. SCHUH U. SCHMIDT 2014, S. 4) Der Begriff Wertkette beinhaltet im Gegensatz zur Wertschöpfungskette auch Tätigkeiten wie Lagern, Transportieren und Prüfen, die nicht wertschöpfend aber dennoch nicht vermeidbar sind. (s. WIENDAHL ET AL. 2009, S. 33) Wertketten (*value chain*) oder **Wertschöpfungsketten** unterteilen somit alle unternehmerischen Aktivitäten in primäre direkt wertschöpfende sowie sekundäre die Wertschöpfung unterstützende Aktivitäten. (s. PORTER 1985) Der Leistungserstellungsprozess stellt die Kernfunktionalität einer Fabrik dar, der mittels technologischer Verfahren auf Veränderung der Form und der Beschaffenheit von Produkten und auf eine Wertsteigerung abzielt. (s. SCHENK ET AL. 2014, S. 119) Die industrielle Produktionstechnik stellt die Gesamtheit der materiellen Mittel und Verfahren für die Herstellung materieller Güter dar. Hierbei wird zwischen Fertigungs-, Verarbeitungs- und Verfahrenstechnik unterschieden. (s. MÜLLER 1992,

S. 281) Die **Fertigungstechnik** umfasst die Gesamtheit der Produktionsverfahren und Mittel zur Herstellung geometrisch bestimmter Körper aus zubereiteten formlosen Stoffen und / oder festen Körpern. (s. MÜLLER 1992, S. 188) In Abgrenzung dazu bringt die Verfahrenstechnik Produkte hervor, die durch chemische und physikalische Eigenschaften charakterisiert werden, die überwiegend durch Stoffumwandlung auf Basis chemischer und physikalischer Prozesse beruhen. (s. MÜLLER 1992, S. 631) Die Verarbeitungstechnik grenzt sich schließlich von den beiden anderen Produktionstechniken durch Produkte die durch bestimmte stoffverarbeitende und teilweise stoffwandelnde Technologien charakterisiert sind ab, die vorwiegend aus nichtmetallischen Werkstoffen bestehen. (s. SCHENK ET AL. 2014, S. 695)

Fabriktypen lassen sich nach den vier **Betrachtungsebenen** Markt, Unternehmen, Prozess und Ressourcen gliedern. Die Marktebene agiert mit strategischer Kundenausrichtung, die die Marktanforderungen bspw. in Form von Flexibilität, Funktionalität, Zeiten, Qualität etc. beinhalten. Auf der Unternehmensebene zielt die Strategie auf die Ausrichtung der internen Vorgänge des Unternehmens ab. In diesem Zusammenhang spielen Wandlungsfähigkeit, Flexibilität und Mobilität von Mobilien einschließlich Personal und Immobilien die entscheidende Rolle. Über die operative Produkt- und Prozessausrichtung sind die ganzheitlichen logistischen Prozessketten bezüglich Funktion, Dimension und Struktur innerhalb der Prozessebene zu gestalten. Die **Ressourcenebene** fokussiert schließlich die Ressourcen, Material, **Information**, **Energie**, Arbeits- und Wertefluss mit ihrem Flusssystem. (s. SCHENK ET AL. 2014, S. 52–53)

Dem formalen **Wirtschaftlichkeitsprinzip** folgend kennzeichnet sich wirtschaftliches Verhalten entweder dadurch, ein vorgegebenes Ziel mit minimalen Mitteleinsatz zu realisieren oder bei vorgegebenem Mitteleinsatz das optimale Ziel zu erreichen. (s. JUNG 2010, S. 4) Die Betriebsleitung bildet die oberste Führung bzw. Managementebene eines Betriebes jedweder Art. (s. VOIGT 2017, S. 1) Unter dem Begriff **Management** wird eine Sammlung von spezifischen Funktionen (Management-Aufgaben) verstanden, die mit Hilfe adäquater Techniken (Management-Techniken), von bestimmten Stellen des Systems (Management-Positionen) wahrgenommen werden, in denen die hierfür geeigneten Personen (Management-Personen) tätig sind. (s. BESSAI 1974, S. 353–362)

2.1.1 Produktionsmanagement

Die Aufgabe des Produktionsmanagements besteht in der zielkonformen **Gestaltung und Lenkung der Transformationsprozesse** und beinhaltet so die Planung, Überwachung und Steuerung der betrieblichen Ressourcen wie Mensch, Maschine, Material, Information und Energie. (s. SCHUH U. SCHMIDT 2014, S. 4) Im Ordnungsrahmen Produktion und Management wurden Anpassungen des allgemeingültigen und auf jegliche Unternehmenstypen anwendbaren St. Galler Management-Modells mit besonderer Rücksicht auf das produzierende Unternehmen vorgenommen (s. Abbildung 25).

(s. BOOS ET AL. 2011, S. 55) Es stellt somit ein generisches Modell mit hohem Abstraktionsgrad dar, das die einzelnen Elemente sowohl innerhalb als auch außerhalb eines Unternehmens sowie die Beziehungen zwischen diesen abbildet. Der Ordnungsrahmen lässt sich somit in innerbetriebliche Fragestellungen, mit Anspruchsgruppen als Interaktionspunkt der Außenwelt und Umweltsphären als externe Einflussgrößen auf produzierende Unternehmen untergliedern. (s. BOOS ET AL. 2011, S. 55) Hierbei ergibt bspw. die Verknüpfung des Betriebs mit dem Kapital-, Beschaffungs- und Absatzmarkt die Grundstruktur der außerbetrieblichen Beziehungen. (s. JUNG 2010, S. 7) Auf diese Weise spielt die Interaktion mit verschiedensten Anspruchsgruppen neben den eben skizzierten innerbetrieblichen Fragestellungen eine entscheidende Rolle. Diese sind neben den Mitarbeitern, Lieferanten, Kunden, Kapitalgebern und Wettbewerbern auch der Staat und die Öffentlichkeit sowie Nichtregierungsorganisationen (*Non Governmental Organisations* – NGO). Die Anspruchsgruppen bilden Wettbewerber, Kapitalgeber, Kunden, Mitarbeitende, Öffentlichkeit / NGO, Staat und Lieferanten / Partner und sind wiederum Teil der Umweltsphären Normen und Werte, Wirtschaft, Technologie, Natur und Gesellschaft. Die innerbetrieblichen Fragestellungen teilen sich wiederum in die Unternehmensentwicklung, die Unternehmensstruktur sowie die Unternehmensprozesse auf. Durch **Unternehmensprozesse** werden im Ordnungsrahmen Produktion und Management die für produzierende Unternehmen relevanten Prozesse ausdetailliert. Diese werden dort durch die acht wichtigsten Themenfelder Technologiemanagement, Innovationsmanagement, **Produktionsmanagement** und Logistikmanagement, Qualitätsmanagement, Einkaufsmanagement, Management industrieller DL, Management des technischen Vertriebs sowie der Fabrikplanung abgebildet. Die jeweiligen Unternehmensprozesse gliedern sich wiederum in Geschäfts- und technologische Prozesse. **Geschäftsprozesse** haben zum Ziel, immateriellen *Input* in einen prozessspezifischen *Output* zu transformieren, wohingegen **technologische Prozesse** materiellen *Input* in einen prozessspezifischen *Output* umwandeln. (s. SCHUH 2011, S. 3) Durch Prozessauflösung oder auch Prozesszerlegung kann die Gliederung eines Prozesses nach verschiedenen Kriterien erfolgen. Im Zuge der horizontalen **Prozesszerlegung** erfolgt die Trennung von Prozessen auf gleichen Abstraktionsebene, sodass durch Prozessabgrenzung Funktionen zu Funktionsfolgen bzw. Prozessen zusammengefasst werden können. (s. KRCMAR 2015a, S. 51–53)

Innerhalb der vertikalen **Prozesszerlegung** erfolgt die Prozesshierarchisierung in der über- und untergeordnete Prozesselemente identifiziert werden. Auf diese Weise wird jeder Hauptprozess in Subprozesse gegliedert, die in Abhängigkeit an den geforderten Detaillierungsgrad, wiederum in Subprozesse gegliedert werden können. In unterster Ebene stehen so schließlich einzelne konkrete Tätigkeiten. (s. KRCMAR 2015a, S. 51–53) Im Kontext des Produktionsmanagements ist im Zusammenhang mit den Mitteln und Methoden der Begriff der Produktionsleittechnik gebräuchlich, während sich der Begriff Prozessleittechnik eigentlich auf die fertigungstechnischen Prozesse bezieht und entsprechend der Automatisierungspyramide in Abbildung 47 demnach mit dem Zusammenwirken von Prozessleit- und Feldebene gleichzusetzen ist. (s. HEINRICH ET

AL. 2017, S. 15) Zur schärferen Abgrenzung wird in dieser Arbeit der Begriff Fertigungsleittechnik verwendet, wenn explizit die Fertigungsprozesse gemeint sind. Im **Prozessmanagement** unterscheidet man zwischen Kern-, Unterstützungs- und Managementprozessen. (s. CHRIST 2015, S. 63) **Kernprozesse** bauen auf den Kernkompetenzen eines Unternehmens auf und repräsentieren sämtliche Geschäftsprozesse die der Nutzenstiftung der Kunden dienen. (s. CHRIST 2015, S. 63) Daneben dienen die **Unterstützungsprozesse** zwar nicht der direkten Leistungserbringung für die Kunden, sind aber für das reibungslose Funktionieren der Kernprozesse erforderlich. (s. CHRIST 2015, S. 63) Bei den **Managementprozessen** handelt es sich um jene Prozesse die im Unternehmen notwendig sind, um die Sicherung des Unternehmens und der Marktanteile gewährleisten zu können. (s. CHRIST 2015, S. 63) Zur Bewertung eines Prozesses werden bspw. die verursachten Kosten, die benötigte Durchlaufzeit, die Qualität des Transformationsprozesses oder auch die Kundenzufriedenheit herangezogen. (s. KRCMAR 2015a, S. 51–53) In Anlehnung an den Begriff der **kontinuierlichen Prozessverbesserung (KVP)** steht der Begriff **kontinuierliches Prozessmanagement (KPM)** für die Hauptaufgabe der Begleitung der Prozessimplementierung und der stetigen inkrementellen Verbesserung der Ablauforganisation als Reaktion auf sich verändernde Marktbedingungen und Weiterentwicklungen. Dahingegen wird die radikale und tiefgreifende Reorganisation betrieblicher Abläufe als **Business Process Reengineering (BPR)** bezeichnet. Hierbei werden im Gegensatz zum KPM bestehende Strukturen, Systeme und Verhaltensweisen fundamental in Frage gestellt. (s. KRCMAR 2015a, S. 53–63) Im Vergleich zu einem Geschäftsprozess beschreibt ein **Workflow** Arbeitsabläufe auf operativer Ebene. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 42; KRCMAR 2015a, S. 53–63) Geschäftsprozesse beschreiben somit auf fachlich-konzeptioneller Ebene was innerhalb eines bestimmten Arbeitsablaufs getan werden muss. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 42) Ein **Workflow** dahingegen stellt die Operationalisierung eines Geschäftsprozesses auf technischer bzw. vorgangsbezogener Ebene dar und beschreibt folglich, wie etwas realisiert werden soll. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 42) Häufig werden **Workflows** auch als technische Verfeinerung bzw. informationstechnische Realisierung von Geschäftsprozessen umschrieben und zeichnen sich durch ihre vollständige oder partielle Automatisierung aus. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 42) Ziel des Geschäftsprozessmanagements (GPM) im Rahmen des Produktionsmanagements ist es durch Erhöhung der Prozesseffektivität und –effizienz **Operational Excellence** zu erreichen. (s. CHRIST 2015, S. 42) Hierbei steht *Operational Excellence* für die anhaltende und zuverlässige Operationalisierung bzw. Umsetzung der Geschäftsstrategie im Vergleich zur Leistung der Mitbewerber in der gleichen Branche. (s. CHRIST 2015, S. 11) Die Effektivität der Geschäftsprozesse ergibt sich aus der Ausrichtung ihrer Ziele und Ergebnisse hinsichtlich der Bedürfnisse externer Kunden und der Erreichung der Geschäftsziele in Übereinstimmung mit der Strategie. Als effizient bezeichnet man einen Geschäftsprozess dann, wenn er so wenig Ressourcen wie möglich verbraucht. (s. CHRIST 2015, S. 42)

Im Zuge der **Unternehmensentwicklung** soll auf Basis der **Unternehmensstrategie** die bereits erreichte Leistungsfähigkeit gesichert werden (**Betrieb**), außerdem soll sich das Unternehmen kontinuierlich verbessern (**Verbesserung**) und bei gegebener Notwendigkeit aber auch radikal erneuern können (**Erneuerung**). (s. BOOS ET AL. 2011, S. 55) In diesem Zusammenhang dient das **Controlling** als Unterstützungsprozess für den Soll-Ist-Vergleich der von der Strategie angeordneten Ziele sowie auch als Planungsgrundlage für Entscheidungen der Unternehmensführung. (s. BOOS ET AL. 2011, S. 57) Unter dem Oberbegriff der **Unternehmensstruktur** werden die für eine erfolgreiche Leistungserstellung obligatorischen konstituierenden Elemente Aufbauorganisation, Kultur, Ressourcen und IS produzierender Unternehmen zusammengefasst. Die **Aufbauorganisation** einer Unternehmung gibt Aufschluss darüber, nach welchen grundlegenden Kriterien die Aufgaben und Aktivitäten im Zuge der sachlichen und führungsmäßigen Arbeitsteilung gebündelt und geführt werden. (s. RÜEGG-STÜRM 2003, S. 49) Bei der organisatorischen Gestaltung unterscheidet man zwischen eindimensionalen und mehrdimensionalen Organisationsstrukturen. Der Aufteilung von Arbeitsschritten liegt dabei die Erkenntnis zugrunde, dass auf diese Weise die gemeinschaftliche Erbringung komplexer Gesamtaufgaben wesentlich effizienter vonstattengehen kann. (s. KAMPKER ET AL. 2011, S. 134) Die Aufbauorganisation trägt somit im Hinblick auf abzuwickelnde Aufgabenprozesse als statische organisatorische Infrastruktur unter Beachtung der humanen Randbedingungen zur Erreichung der Unternehmensziele bei. (s. KAMPKER ET AL. 2011, S. 134) Neben strukturellen Festlegungen bedarf es eines gemeinsamen Sinnhorizonts, sowie eines gemeinsamen expliziten oder implizierten Hintergrundwissens, damit Unternehmen zeitgerecht den vielfältigen Anliegen, Interessen und Impulsen aus der Außen- und Innenwelt gerecht werden können. (s. RÜEGG-STÜRM 2003, S. 55) In diesem Zusammenhang umfasst der Begriff **Kultur** alle symbolischen Bezugspunkte und Gewissheiten an denen sich Menschen im alltäglichen Reden und Handeln in verständlicher Weise orientieren. (s. RÜEGG-STÜRM 2003, S. 55) Die im Bereich produzierender Unternehmen eingesetzten **Ressourcen** lassen sich im Wesentlichen in technische Ressourcen, materielle bzw. tangible Ressourcen, sowie immaterielle bzw. intangible Ressourcen unterscheiden. (s. KAMPKER ET AL. 2011, S. 162; SCHENK ET AL. 2014, Vgl. 45) Zu den technischen Ressourcen zählen im Unternehmen vorhandene Produktionsfaktoren, die als *Input* in den Produktionsprozess eingehen aber unabhängig von konkreten Anwendungen sind und somit langfristig existieren. Beispiele sind Patente, *Software*produkte oder maßgeschneiderte IT-Architekturen. (s. KAMPKER ET AL. 2011, S. 163) Zu den materiellen bzw. tangiblen Ressourcen gehören Gebäude, Kapital, Eingangsmaterialien der gesamten Produktion inklusive Roh-, Hilfs- und Betriebsstoffe (RHB-Stoffe) wie **Energie**, Personal und Betriebsmittel. (s. SCHENK ET AL. 2014, vgl. 45) Bei den immateriellen bzw. intangiblen Ressourcen unterscheidet man zwischen Reputation, Netzwerke, Zeit, **Information** und **Wissen**. (s. SCHENK ET AL. 2014, S. 45) Ressourcen sind demnach alle Güter, Dienste und Informationen die zur Bedürfnisbefriedigung der Produktion geeignet sind. (s. SCHENK ET AL. 2014, S. 44)

Um der zentralen Bedeutung des Begriffsverständnisses der Unternehmensstruktur konstituierenden Elements der **betrieblichen IS** Rechnung zu tragen werden die zentralen Begriffe nachfolgend in einem eigenständigen Kapitel eingeführt.

2.1.2 Betriebliche Informationssysteme

Neben Rohstoffen, Personal und technischem *Equipment* stellen vor allem *Know-How* und Informationen eine der wichtigsten Ressourcen von Produktionsbetrieben dar. Folglich kommen schon heute modernste IS zur Unterstützung eines effizienten Informationsflusses in fast jeder Branche zum Einsatz. (s. WESTKÄMPER 2006, S. 235) Der Begriff **Anwendungssysteme** beschreibt den technischen Teil des IS in Form der realen *Software* bzw. der Programme und Daten. (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 143) In der Literatur werden Anwendungssysteme in die Kategorien Administrations- und Dispositionssysteme, die auch als Operationssysteme bezeichnet werden, sowie Planungs- und Kontrollsysteme (PuK-Systeme) untergliedert. (s. MERTENS 2013, S. 13) In Kombination mit der Benutzerschnittstelle (*User Interface*, (UI)) bildet ein Anwendungssystem somit ein **betriebliches IS** (*Business Application*). (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 143) Von dem englischen Wort *Application* leitet sich auch der heute im allgemeinen Sprachgebrauch sehr gängige Begriff *App* ab, der in diesem Zusammenhang kleine in sich geschlossene *Software*-Lösungen beschreibt, die stationär, aber vor allem auf beliebigen mobilen Endgeräten laufen so wie *Smartphones*, *Tablets*, Computern, Datenbrillen oder anderen vernetzten Geräten und Maschinen. (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 143) Die Kombination einzelner *Apps*, die einen bestimmten abgesteckten Aufgabenbereich abdecken bezeichnet man folglich als **mobile betriebliche IS** (*Mobile Business Apps*). (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 143)

Zur Strukturierung des Einsatzes betrieblicher IS in der Praxis bieten die wettbewerbsrelevanten Aktivitäten in Anlehnung an PORTER den idealen Ansatzpunkt. (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 144) Die Wertkettenlogik erlaubt somit eine **funktionale Einordnung betrieblicher IS** wie in Abbildung 6 dargestellt. Weiterhin können betriebliche IS in breiterer Betrachtung der Wertschöpfungslogik auch für die vorgelagerten Wertschöpfungsstufen in Lieferanten-Management-Systeme (*Supply Chain Management* (SCM)) und auch für die nachgelagerten Stufen in Kundenbeziehungsmanagementsysteme (*Customer Relationship Management* (CRM)) eingeordnet werden. (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 150)

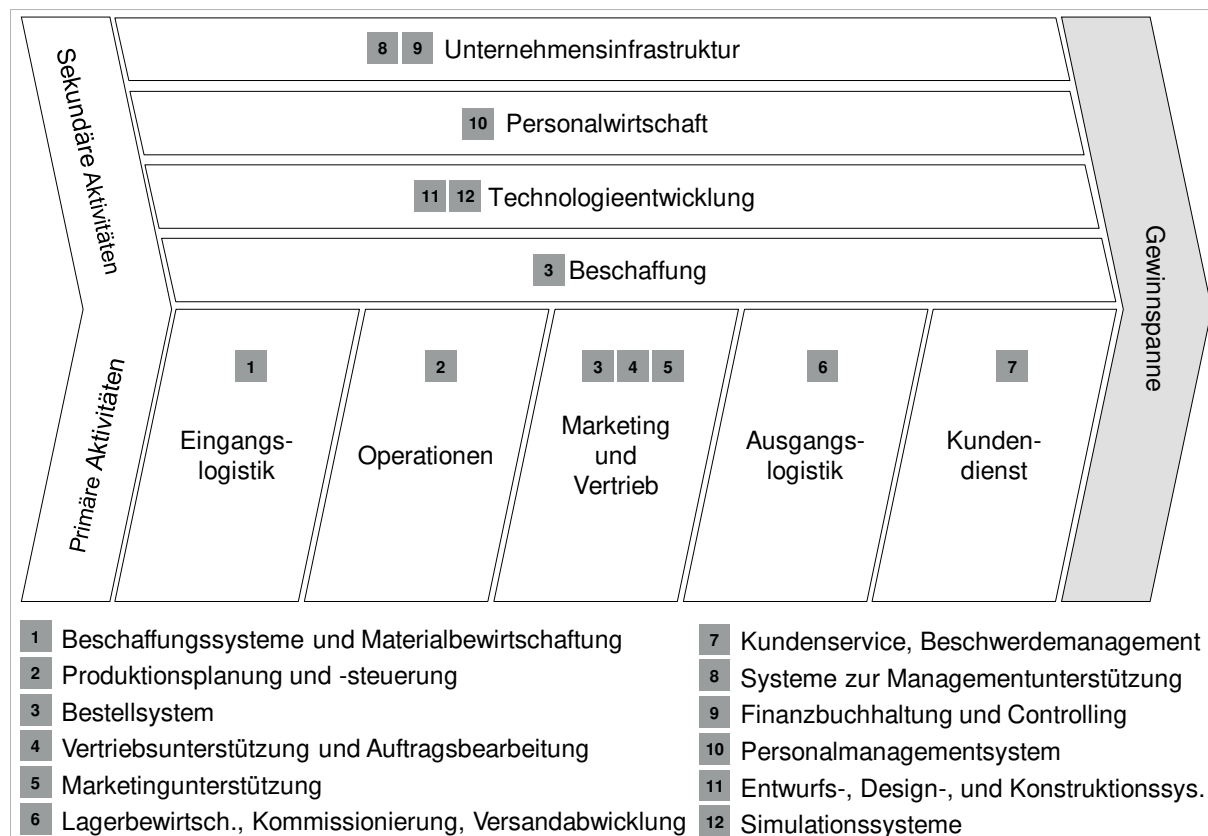


Abbildung 6: Einordnung betrieblicher IS nach dem funktionalen Einsatz
(s. LEMKE U. BRENNER 2015, S.145)

Die **primären Aktivitäten** der Eingangs- und Ausgangslogistik, Operationen, Marketing und Vertrieb sowie Kundendienst und die sekundären Aktivitäten der Unternehmensinfrastruktur, Personalwirtschaft, Technologieentwicklung und Beschaffung werden durch verschiedenste IS unterstützt. Die **sekundären Aktivitäten** werden im Allgemeinen mit Systemen zur Unterstützung der Managementaufgaben sowie zur Finanzbuchhaltung und zum Controlling realisiert, im Personalbereich durch die Personalmanagementsysteme sowie im Bereich der Technologieentwicklung vor allem durch Systeme der Forschung und Entwicklung im Sinne von Entwurfs-, *Design*- und Konstruktionssystemen und Simulationssystemen. (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 145–146) *Office*-Pakete in Form von Textverarbeitungs-, Tabellenkalkulations-, Präsentations- und Datenbankprogrammen stellen in diesem Zusammenhang wohl die bereits am weitesten verbreiteten Anwendungssysteme für Büro und Verwaltung dar und werden quasi in jedem Unternehmen eingesetzt. Nach der klassischen Sicht der **integrierten Informationsverarbeitung** (*Enterprise Application Integration*) erfolgt auf der operativen Ebene stets eine **horizontal integrierte**, d.h. die jeweiligen Wertschöpfungsstufen verbindende, Abwicklung administrativer und dispositiver Aufgaben. (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 147) Beschaffungs- und Logistiksysteme unterstützen die Funktion des Einkaufs, der Materialbewirtschaftung, der Lagerbewirtschaftung, der Kommissionierung und des Versands. (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 145) Bestellsysteme, Vertriebssysteme und Systeme zur Unterstützung von Marketingaktivitäten hel-

fen bei der Aufgabenerfüllung des Vertriebs der Produkte, bei der Abwicklung der Kundenaufträge sowie bei Marketingaktivitäten. (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 145) Innerhalb des Kundendienstes liefern die dort zum Einsatz kommenden IS die Funktionen zur Betreuung der Kunden nach dem Kauf im Zusammenhang mit Fragestellungen, Problemen und Änderungswünschen.

In der Produktion sind es vor allem **Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme (PPS-System)** die zur Unterstützung aller mit der Leistungserstellung verbundenen Operationen eingesetzt werden. (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 145) PPS-Systeme sind umfassende computergestützte Informations-, Dispositions- und Steuerungssysteme die sowohl für die mittelfristig-taktische Produktionsplanung als auch für die kurzfristig-operative Produktionssteuerung und Auftragskontrolle eingesetzt werden. (s. KISTNER U. STEVEN 2001, S. 254) Unternehmen die PPS-Systeme verwenden produzieren typischerweise eine große Anzahl von Produkten und Varianten, die aus einer Vielzahl von Einzel- und Bauteilen bestehen und somit über viele Produktionsstufen hinweg, unter Einbeziehung zahlreicher Lieferanten, koordiniert werden müssen. (s. KISTNER U. STEVEN 2001, S. 254) Der **Produktionsplanung** werden die Bereiche Programmplanung, Materialwirtschaft und Zeitwirtschaft zugeordnet. Innerhalb der Programmplanung erfolgt auf aggregierter Ebene die Festlegung des Produktionsprogramms auf Basis konkreter Aufträge oder Nachfrageprognosen. Darauf aufbauend bestimmt die Materialwirtschaft die Stücklistenverwaltung und Losgrößenbestimmung. Anschließend wird durch die Zeitwirtschaft eine vorläufige Durchlaufterminierung und ein Kapazitätsabgleich durchgeführt. Die **Produktionssteuerung** schließlich umfasst die Ablaufplanung mit der Auftragsfreigabe und die zugehörige Auftragsüberwachung sowie die Qualitätskontrolle. (s. KISTNER U. STEVEN 2001, S. 259)

Eine Weiterentwicklung klassischer PPS ist das **Computer Integrated Manufacturing (CIM)**. Der CIM Ansatz unterscheidet sich im Wesentlichen durch die Integration von Datenbeständen des Leistungserstellungsprozesses mit weiteren technischen Datenständen des Produktionssystems, sodass auf diese Weise Abstimmungen zwischen verschiedenen Teilbereichen der Planung vereinfacht werden können. (s. KISTNER U. STEVEN 2001, S. 267) Wesentlicher Bestandteil bilden die in den Ingenieurwissenschaften entwickelten **C-Techniken** die eine Reihe von computerunterstützter Planungs-, Steuerungs- und Konstruktionsverfahren (CAx) umfassen: *Computer Aided Quality Assurance (CAQ)*, *Computer Aided Manufacturing (CAM)*, *Computer Aided Design (CAD)*, *Computer Aided Planning (CAP)* und *Computer Aided Engineering (CAE)*. (s. KISTNER U. STEVEN 2001, S. 267–268) Als Ergebnis der Entwicklung, Konstruktion und Fertigung von Produkten mittels CAD-, CAE- und CAM-Systemen liegen Daten und Informationen zum Produktentstehungsprozess vor, die wiederum in Produktdatenmanagementsystemen Anwendung finden. (s. SCHENK ET AL. 2014, S. 663–665; SCHMIDT ET AL. 2014, S. 285) **Produktdatenmanagementsysteme (PDM-Systeme)** stellen in erster Linie Informationen über Produkte und deren Entstehungsprozesse bzw. Lebenszyklen für alle Unternehmensbereiche zur Verfügung. (s.

SCHENK ET AL. 2014, S. 662) Sie stellen den Kern des Produktlebenszyklusmanagementkonzepts (PLM-Konzept) dar bei dem explizit der Gesamtprozess der Produktentstehung mit all seinen einzelnen Teilschritten im Zentrum steht. (s. SCHENK ET AL. 2014, S. 664) Die funktionsfähige Kopplung von PDM-Systemen mit PPS-Systemen erlaubt die Produktion ganz bestimmter Produktvarianten. (s. SCHENK ET AL. 2014, S. 662) CIM verbindet somit vor allem die Funktionsbereiche Produktentwicklung und Produktion. (s. MERTENS 2013, S. 352)

Im Gegensatz zur funktionalen Aufteilung des Unternehmens im CIM-Ansatz steht bei der Weiterentwicklung im Ansatz des **Enterprise-Resource Planning (ERP)** eine ganzheitliche auf Geschäftsprozesse ausgerichtete Sichtweise im Vordergrund. (s. KISTNER U. STEVEN 2001, S. 273) So verkörpern ERP-Systeme das Konzept integrierter IS in einem hohen Maße, indem sie die wesentlichsten Funktionalitäten zur integrativen Abwicklung der primären Wertschöpfung als auch die vertikale Integration über alle Führungsebenen vereinen. (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 149) Folglich bieten sie so das Potenzial, die entstandenen Daten aus den operativen Teilsystemen gezielt für ausgereifere Teile der PuK-Systeme zu verwenden und auf diese Weise verschiedenste unternehmerische Entscheidungen eines Betriebs zu unterstützen. (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 149) Heute werden ERP-Systeme bereits von den meisten produzierenden Unternehmen eingesetzt und bilden in der Regel den Kern auf *Softwareebene* in der Unternehmensarchitektur. (s. SCHMIDT ET AL. 2014, S. 282; LEMKE U. BRENNER 2015, vgl. 149) Als integrierte Systeme erlauben sie einen reibungslosen, hoch automatisierten Daten- und Informationsaustausch, der durch einheitliche Kunden-, Lieferanten- und Materialstammdaten des Unternehmens im ERP-System abgebildet wird. (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 149) Hierzu existieren verschiedene Ansätze unter denen **Stammdatenmanagement (SDM)** und das **Enterprise Content Management (ECM)** wohl zu den bekanntesten zählen. SDM beinhaltet das Management der Master- oder Stammdaten in Unternehmen wie bspw. Kunden- oder Materialstammdaten. Der Begriff ECM fasst die Sammlung von Strategien, Methoden und Werkzeugen zur Umsetzung der Ziele, Erfassung, Verwaltung, Speicherung, Bewahrung und Ausgabe von beliebigen, größtenteils unstrukturierten Inhalten in elektrischer Form zusammen. (s. KRCMAR 2015a, S. 41–44) In diesem Zusammenhang erweitern **Manufacturing-Execution-Systeme (MES)** die Möglichkeiten von ERP-Systemen und übernehmen die Feinplanung, Optimierung und Überwachung der Produktionsdurchführung. (s. SCHMIDT ET AL. 2014, S. 286) Auf diese Weise verbinden diese Systeme die Auftragsbearbeitung der ERP- / PPS-Systeme mit den Steuerungssystemen der Ausführungsebene. (s. SCHMIDT ET AL. 2014, S. 286 ZIT. NACH SCHMIDT 2004, o.S.) Die technische Kommunikation erfolgt hierbei durch Maschinendatenerfassungs- (**MDE-**) bzw. Betriebsdatenerfassungssysteme (**BDE-Systeme**). (s. SCHMIDT ET AL. 2014, S. 286 ZIT. NACH STEVEN 2007, o.S. UND ZIT. NACH KLOSE 2007, o.S.)

Supervisory Control and Data Acquisition-Systeme (SCADA-Systeme) repräsentiert eine weitere Gruppe von Systemen die zumeist nachgelagert an MES die kurzfristige Produktionsplanung unterstützen bspw. durch die Einsatzplanung von Maschinen,

Anlagen und Personal. (s. HEINRICH ET AL. 2017, S. 5) **Advanced Planning und Scheduling-Systeme (APS-Systeme)** bilden eine Gruppe von modular aufgebauter Planungsunterstützungssoftware, die auf die Bereitstellung zusätzlicher Funktionen und Verfahren, für die Anwendung in ERP-Systemen und zur Unterstützung des SCM, fortgeschrittene Methoden der Planung und Terminierung von unternehmensübergreifenden Produktionsprozessen liefert. (s. BETGE 2006, S. 4) **Umweltinformationssysteme (UIS)** stellen organisatorisch-technische Systeme zur systematischen Erfassung, Verarbeitung und Bereitstellung umweltrelevanter Information dar und dienen in erster Linie der Erfassung betrieblicher Umweltbelastungen, sowie der Planung und Steuerung von Umweltschutzmaßnahmen. (s. RAUTENSTRAUCH 1999, S. 11)

Die **vertikale Integration** verbindet Operationssysteme mit den PuK-Systemen innerhalb der Unternehmenshierarchie. (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 148) Innerhalb der PuK-Systeme zur Entscheidungsunterstützung des Managements (**Management Support Systems (MSS)**) kann eine weitere Unterteilung nach der hierarchischen Nutzung dieser vorgenommen werden. (s. GLUCHOWSKI ET AL. 2008, S. 55–88) Demnach bilden Basissysteme, *Management Information Systeme* (MIS), *Executive Support Systeme* (ESS), Führungsinformationssystem (*Executive Information System* (EIS)) und Entscheidungsunterstützungssysteme (*Decision Support System* (DSS)) die einzelnen Bestandteile von MSS. (s. GLUCHOWSKI ET AL. 2008, S. 88) Der Begriff **Basissysteme** fasst sämtliche allgemeingültigen *Softwaresysteme* die unabhängig von Managementaufgaben zur Informationsverarbeitung und Kommunikation im Betrieb eingesetzt werden zusammen. (s. GLUCHOWSKI ET AL. 2008, S. 88) Sie bilden ebenfalls sämtliche Basisfunktionalitäten die auch als die grundlegenden Funktionen von Bürosystemen (*Office Systems*) gelten. (s. GLUCHOWSKI ET AL. 2008, S. 88) **MIS** stellen die Vorgänger der DSS sowie die Ausgangsbasis für die Weiterentwicklung zu EIS dar. (s. GLUCHOWSKI ET AL. 2008, S. 62) In MIS erfolgt die Informationsverarbeitung ohne aufwendige Modellbildung und ohne Anwendung von anspruchsvollen Methoden. (s. GLUCHOWSKI ET AL. 2008, S. 56) **DSS** sind demnach EDV-gestützte Systeme, die Entscheidungsträger (Betriebsleitung / Management) mit Modellen, Methoden und problembezogenen Daten in ihrem Entscheidungsprozess unterstützen. (s. GLUCHOWSKI ET AL. 2008, S. 63) DSS zeichnen sich folglich durch ausgeprägte Modell- und Methodenorientierung aus, die im Sinne einer Assistenz eine situationsspezifische Unterstützung von Managern ermöglicht. (s. GLUCHOWSKI ET AL. 2008, S. 63) **EIS** bilden in der Hierarchie der MSS üblicherweise die Spitze dieser Anwendungssysteme. (s. GLUCHOWSKI ET AL. 2008, S. 74) Sie sind dialog- und datenorientierte IS für das Management mit ausgeprägten Kommunikationselementen, die Entscheidungsträgern aktuelle entscheidungsrelevante interne und externe Informationen über intuitiv benutzbare und individuell anpassbare Benutzungsoberflächen bieten. (s. GLUCHOWSKI ET AL. 2008, S. 75) Schließlich stellen **ESS** das Ergebnis der Integration der MSS-Systemkategorien EIS und DSS dar. (s. GLUCHOWSKI ET AL. 2008, S. 82) ESS werden demnach als arbeitsplatzbezogene Kombination aus problemlösungsorientierten DSS- und präsentations- und kommunikationsorientierten EIS-Funktionalitäten definiert, die

an Anwendertypen und Problemspektren ausgerichtet sind und u.U. neben konventionellen DSS auch wissensbasierte DSS einbeziehen. (s. GLUCHOWSKI ET AL. 2008, S. 82)

Abgeleitet aus der Zielstellung dieser Arbeit, eine generische Teilarchitektur einer betrieblichen ISA (**Unternehmensarchitektur**) für die spezifische Anwendungsdomäne des EM produzierender Unternehmen zu gestalten, ist zur Klärung des Begriffssystems zur Beschreibung der Forschungsobjekte eine weitere detaillierung des Begriffssystems im Kontext von Unternehmensarchitekturen notwendig.

2.1.3 Unternehmensarchitektur

Hinter dem Begriff Unternehmensarchitektur (*enterprise architecture*) steht die Idee die wichtigsten Artefakte eines Unternehmens und deren Beziehungen in Form von Modellen abzubilden. (s. AIER ET AL. 2008, S. 292) Ziel der **Modellbildung** ist die Beschreibung der gegenseitigen Abhängigkeiten der Gestaltungsgegenstände eines Unternehmens auf einer aggregierten Ebene, um sowohl deren Ist-Zustand dokumentieren und analysieren, also auch Soll-Zustände für die Planung formulieren zu können. (s. AIER ET AL. 2008, S. 292) Die Bandbreite der unternehmensbezogenen Gestaltungsgegenstände reicht dabei von strategischen Aspekten, über Aspekte der Aufbau- und Ablauforganisation bis hin zu Elementen der Daten- und *Softwarearchitektur*, sowie der zugrunde liegenden technischen Infrastruktur. (s. AIER ET AL. 2008, S. 292) Die **Unternehmensarchitekturebenen** umfassen folglich die Ebenen IT-Infrastruktur, *Software*, Integration, Organisation, und Strategie. (s. AIER ET AL. 2008, S. 293) Architekturen erfüllen in Abhängigkeit des Verwendungszwecks eine Beschreibungs-, Kommunikations- oder Gestaltungsfunktion. In Anwendung der **Beschreibungsfunktion** liefern Architekturen eine möglichst ganzheitliche Abbildung der Ist-Situation in Unternehmen hinsichtlich ihrer Gesamtzusammenhänge der Informationsinfrastruktur. Mit der **Kommunikationsfunktion** erfüllen Architekturen den Zweck eines gemeinsamen Bezugspunkts und Sprachmittels. Mit Hilfe der **Gestaltungsfunktion** liefern Architekturen die gemeinsame Basis für den Entwurf einer Soll-Situation im Umfeld sich ständig ändernder Rahmenbedingungen. (s. HEINRICH U. STELZER 2011, S. 45)

Zu besseren Beschreibung der Architekturen werden in der Regel **Teilarchitekturen** gebildet um eine jeweils detaillierte Behandlung verschiedener Aspekte durchführen zu können. In der Literatur wird zwischen Unternehmens-, Geschäfts-, Anwendungs-, Informationssystem-, *Software*-, Daten- und technischer Infrastrukturarchitekturen unterschieden. Darüber hinaus werden verschiedene **Perspektiven bzw. Sichten** innerhalb der Teilarchitekturen gebildet, die der Schwerpunktsetzung verschiedener Interessensgruppen besser gerecht wird.

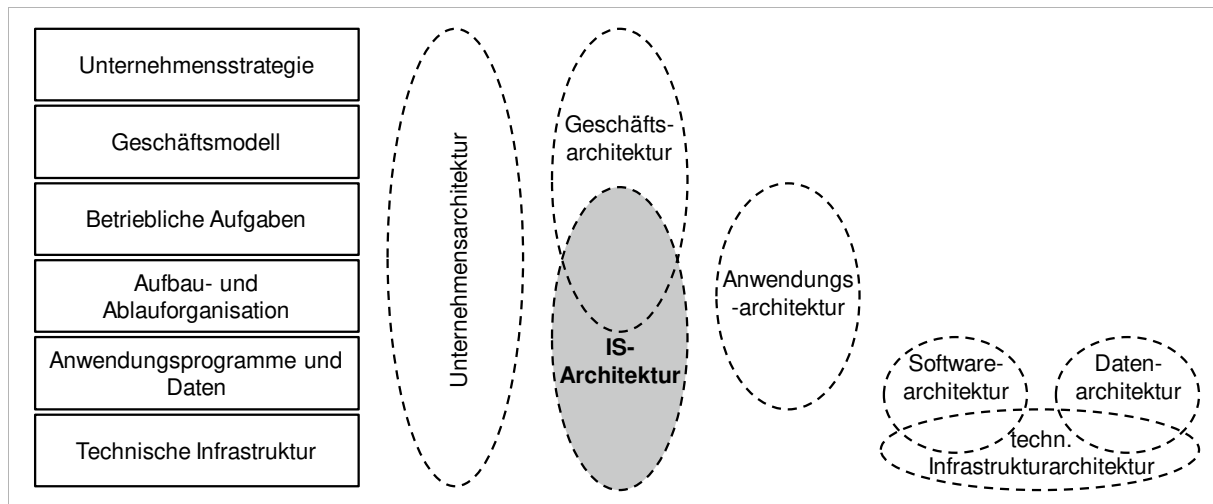


Abbildung 7: Überblick über verschiedene Teilarchitekturen
(s. HEINRICH U. STELZER 2011, S.46)

Demnach umfassen **Unternehmensarchitekturen** eine Beschreibung der Struktur eines Unternehmens aus betriebswirtschaftlicher Sicht mitsamt der strategischen Ziele und der zugehörigen Verfahren und Ressourcen zur Realisierung dieser. Die Ausführungen zum Ordnungsrahmen Produktion und Management in den Kapiteln 2.1.1 und 5 können folglich als Beispiel für eine Art einer Unternehmensarchitektur aufgefasst werden. Mit **Geschäftsarchitekturen** sind Modelle der Organisation eines Unternehmens gemeint aus dem die wesentlichen Komponenten, Ressourcen und deren Austauschbeziehungen innerhalb und außerhalb des Unternehmens hervorgehen. **Anwendungsarchitekturen** bilden sämtliche Funktionalitäten und den Zusammenhang der Anwendungssysteme in einem Unternehmen ab. Durch **ISA** werden Modelle der informationstechnischen Infrastruktur, der Daten und Anwendungsprogramme sowie der durch IS unterstützten Aufgaben mit den dazu benötigten Rahmenbedingungen der Aufbau- und Ablauforganisation des entsprechenden Unternehmensteils beschrieben. Mit anderen Worten liefern IS-Architekturen in gewisser Weise einen Generalbebauungsplan mit dem die Entwicklungen integrierter betrieblicher IS gesteuert werden können. (s. SCHEER 2014, 17-7) In diesem Zusammenhang umfassen **Softwarearchitekturen** sämtliche Komponenten und Relationen eines *Softwaresystems* sowie Schnittstellen und Beziehungen zu seinem Systemumfeld. Zu **Datenarchitekturen** gehören die für ein Aufgabengebiet relevanten Datenbestände sowie deren strukturellen Beziehungen. **Architekturmodelle der technischen Infrastruktur** beschreiben die Gesamtheit der technischen Komponenten sowie deren Beziehungen zueinander, die für den Betrieb der Anwendungssysteme notwendig sind. In diesem Zusammenhang spricht man bei technischen Komponenten auch von der Systemplattform.

Für die Entwicklung von Architekturen existieren in der Praxis bereits zahlreiche **Metamodelle für Architekturrahmenwerke** (*Architecture Frameworks*) die sich im Wesentlichen im Hinblick auf die berücksichtigten Inhalte, Perspektiven und dem Detaillierungsgrad voneinander unterscheiden. (s. HEINRICH U. STELZER 2011, S. 43–47) Diese liefern in Bezug auf die analytisch-deduktive Forschungsaktivitäten dieser Arbeit

die zentralen *Inputgrößen*. Aus diesem Grund werden im Rahmen der Literaturanalyse in Kapitel 3 zunächst die relevantesten Rahmenwerke identifiziert und in Bezug auf die Eignung für die Anwendung im Rahmen der Forschungsaktivitäten bewertet. Davor erfolgt zur Schaffung des notwendigen Begriffsverständnisses, für die wesentlichen strukturgebenden Aspekte in Form der Ressourcen Information und Energie, in den nächsten beiden Kapiteln. Die begriffliche Tiefenbohrung dieser beiden Begriffe schlägt sich auch im formalen Aufbau der Arbeit nieder, sodass die nachfolgende detaillierte Einführung der zentralen Begriffe des Managements der **Ressourcen Information** (Kapitel 2.2) und **Energie** (Kapitel 2.3) auch insbesondere vor dem Hintergrund betrieblicher IS, in jeweils eigenständigen Unterkapiteln erfolgt.

2.2 Information

Die Digitalisierung der Gesellschaft und Wirtschaft bspw. mit den Aktionsfeldern *Smart Data* und digitale Vernetzung revolutioniert bereits heute die Produktion (I4.0) und verwandelt die Wirtschaft zunehmend in eine Datenökonomie in der Informationen und Daten die wertvollsten Ressourcen darstellen. Dieser Umstand impliziert die Notwendigkeit einer detaillierten Auseinandersetzung mit Informationen und soll durch Schaffung eines einheitlichen Begriffsverständnisses nachfolgend Rechnung getragen werden. Norm ISO / IEC 2382:2015 definiert den Begriff **Information** als Wissen in Bezug auf Objekte wie bspw. Fakten, Ereignisse, Dinge, Prozesse oder Ideen einschließlich Konzepte die innerhalb eines gewissen Kontextes eine bestimmte Bedeutung besitzen. (s. ISO IEC 2015, Eintrag 2121271) Innerhalb dieser Arbeit soll Information darüber hinaus als **Produktionsfaktor im betrieblichen Leistungserstellungsprozess** verstanden werden, die als immaterielle aber keineswegs kostenlose Ressource in Unternehmen Verwendung findet. (s. KRCMAR 2015a, S. 3–6) Bilden Informationen selbst den Gegenstand von Informationen so spricht man von **Metainformationen**. (s. KRCMAR 2015a, S. 6) **Zeichen** werden als Teile einer Menge von Elementen definiert die zur Darstellung, Organisation oder Kontrolle von Daten dienen. (s. ISO IEC 2015, Eintrag 2121335) **Syntax** bezeichnet das allgemeine Regelsystem zur Kombination elementarer Zeichen zu zusammengesetzten Zeichen in natürlichen oder künstlichen Zeichensystemen. **Daten** werden wiederum durch die Norm als neu deutbare Darstellungen von Informationen bezeichnet, die in einer formalisierten Art zur Kommunikation, Interpretation oder Verarbeitung geeignet sind. (s. ISO IEC 2015, Eintrag 2121272) In diesem Zusammenhang bilden **Signale** Veränderungen physikalischer Größen ab die dazu eingesetzt werden Daten zu repräsentieren. (s. ISO IEC 2015, Eintrag 2121325) Eine Abfolge von *Bits* und Zeichen die als eine zusammengehörige Instanz übertragen werden, werden als **Nachricht** definiert. (s. ISO IEC 2015, Eintrag 2123141) Auf dieser untersten Ebene wird die physische Basis für die Anwendungslandschaft und somit auch für die Bereitstellung der Informationsressourcen gelegt. (s. KRCMAR 2015a, S. 11) Daten repräsentieren demnach Informationen die in einem bestimmten **fachlichen Kontext** einem **Anwender** einen **Nutzen** erbringen können. (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 143) Sie bestehen aus einzelnen Datensätzen, die sich

wiederum aus Datenelementen zusammensetzen. (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 143) Aus Daten entstehen somit erst durch Hinzufügen von **Semantik**, Informationen die eine Bedeutung und Nutzen für einen Anwender besitzen können. **Wissen** entsteht wiederum erst aus der Interpretation der Informationen, die in einem bestimmten Handlungskontext gewonnen werden. (s. SCHMID 2004, S. 65)

Für die Praxis stellt folglich die adressengerechte Informationsversorgung und die zielgerichtete, wirtschaftliche Steuerung der Informatik (Mensch, Prozesse, organisatorische Artefakte und Informationstechnologien) im Unternehmen eine wesentliche Aufgabe dar und impliziert verschiedene Aktivitäten und Rahmenbedingungen für das aktive Management der Ressource Information (**IM**). (s. BAUMÖL 2014)

2.2.1 Informationsmanagement

Die primäre Aufgabe des IM in Unternehmen ist die betriebswirtschaftlich sinnvolle **Steuerung der Ressource Information**. (s. KRCMAR 2015a, S. 2) Die Zusammenfassung aller Aufgaben eines Unternehmens bezüglich Information zu einer betrieblichen Funktion wird als **Informationsfunktion** bezeichnet. (s. HEINRICH U. STELZER 2011, S. 2) Die Besonderheit der Informationsfunktion liegt in ihrem **Querschnittscharakter**, da sie alle betrieblichen Funktionen durchdringt und somit Führungsaufgaben in allen Teilen des Aufgabensystems von Unternehmen besitzt. (s. HEINRICH U. STELZER 2011, S. 3) Die unternehmensweite Deckung der **Informationsnachfrage** für sämtliche internen und externen Verwendungszwecke zur Erfüllung der Informationsaufgaben erfolgt durch die **Informationsinfrastruktur** die ein System aus IS und weiteren materiellen und immateriellen Komponenten darstellt. (s. HEINRICH U. STELZER 2011, S. 19) IM beschreibt folglich alle Führungsaufgaben die sich mit der Informationsfunktion und –infrastruktur befassen und sämtliches darauf bezogenes Leitungshandeln (Management) einer Organisation. (s. HEINRICH U. STELZER 2011, S. 2)

Innerhalb des IM lassen sich die drei Managementkernbereiche Informationswirtschaft, IS sowie Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) unterscheiden. Hierbei nehmen die Führungsaufgaben des IM bestehend aus IT-Strategie, IT-Prozesse, IT-Personal, IT-Controlling und IT-Sicherheit eine übergeordnete Rolle ein. (s. KRCMAR 2015a, S. 2) **IT-Governance** als Teilbereich der *Corporate Governance* beschreibt dabei die Aufgabe des Managements, die Formulierung sowie die Implementierung einer angemessenen **IT-Strategie** zu steuern und zu kontrollieren, um damit die IT und die Geschäftsziele anzugleichen und aneinander auszurichten. (KRÖSCHEL 2016, S. 55–56) *IT-Governance* erweitert somit in diesem Verständnis das IM in Bezug auf neue prozess-, dienstleistungs-, wert- und risikoorientierte Managementaufgaben und Herausforderungen. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 56) **IT-Alignment** als Aufgabe der *IT-Governance* bezeichnet hierauf aufbauend die Abstimmung und gegenseitige Ausrichtung zwischen der Organisation und den Geschäftsprozessen mit dem Einsatz der jeweiligen IT-Systeme. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 73) Grundaufgabenfelder des IM liegen im kontinuierlichen Abgleich zwischen IKT und ihren Potenzialen und der tatsächlichen

Nutzung im Unternehmen. Außerdem liegen sie in der effektiven Versorgung aller *Stakeholder* mit relevanten Informationen durch die adäquate **Gestaltung von IS** und dem effizienten Einsatz von IKT. Das IM übernimmt in diesem Zusammenhang die **Integrationsfunktion** indem es der Dualität von nutzungs- und technikorientierten Konzepten bei der Gestaltung von IS explizit Rechnung trägt. (s. KRCMAR 2015a, S. 3) Auf diese Weise ist IM sowohl Management- als auch Technikdisziplin und zählt deshalb zu den elementaren Bestandteilen der Unternehmensführung. Die in Abbildung 8 dargestellte Differenzierung in drei Schichten und zugehörigen übergreifenden Block veranschaulicht ebenfalls, dass die Aufgaben des IM typischerweise verteilt durchgeführt werden. (s. KRCMAR 2015a, S. 11)

Führungsaufgaben des Informations- managements IT- Strategie IT-Governance IT-Prozesse IT-Personal IT-Controlling IT-Sicherheit	Management der Informationswirtschaft	Angebot Nachfrage Verwendung
	Management der Informationssysteme	Daten Prozesse Anwendungslebenszyklus und -landschaft
	Management der Informations- und Kommunikationstechnik	Speicherung Verarbeitung Kommunikation Technikbündel

Abbildung 8: Modell des IM (s. KRCMAR 2015a, S.10)

Da der Schwerpunkt dieser Arbeit auf der Beschreibung und Gestaltung einer ISA liegt wird im nächsten Unterkapitel diesen Umstand Rechnung getragen und zur weiteren Abgrenzung des Untersuchungsbereichs eine Fokussierung auf das **Management von IS** gelegt, bevor im übernächsten Unterkapitel dann detailliert auf die Grundlagen von ISA und –Rahmenwerke eingegangen wird.

2.2.2 Informationssysteme und deren Management

IS sind **soziotechnische Systeme**, die sowohl menschliche als auch maschinelle Komponenten umfassen und die zur Bereitstellung von Information und Kommunikation nach wirtschaftlichen Kriterien eingesetzt werden. (s. KRCMAR 2015a, S. 7–8) Der Begriff IS ist mit dem erweiterten Begriff Informations- und Kommunikationssysteme (IK-Systeme) gleichzusetzen und verdeutlicht so den Zwillingscharakter von Information und Kommunikation. (s. KRCMAR 2015a, S. 7–8; s. HEINRICH U. STELZER 2011, S. 2) Norm ISO / IEC 2382:2015 liefert außerdem eine Abgrenzung der Begriffe Datenverarbeitungssysteme, Informationsverarbeitungssysteme und IS. **Datenverarbeitungssysteme** bestehen aus Computersystemen, Peripheriegeräten und *Software* die die Datenverarbeitung verrichten. (s. ISO IEC 2015, Eintrag 2121290) Der Prozess der Datenverarbeitung wird dabei als systematische Durchführung von **Datenoperationen**

definiert. (s. ISO IEC 2015, Eintrag 2121276) Ein oder mehrere Datenverarbeitungssysteme und Geräte wie Büro- und Kommunikationsequipment die zusammen die Informationsverarbeitung verrichten werden als **Informationsverarbeitungssysteme** bezeichnet. (s. ISO IEC 2015, Eintrag 2121292) Informationsverarbeitung wird hierbei als systematische Durchführung von Operationen auf Informationen definiert, die die Datenverarbeitung beinhalten. Daten- und Informationsverarbeitung sind demnach nicht synonym zu verwenden. (s. ISO IEC 2015, Eintrag 2121275) Norm ISO / IEC 2382:2015 definiert den Begriff IS folglich als **Informationsverarbeitungssysteme** die zusammen mit assoziierten organisationsbezogenen menschlichen, technischen und finanziellen Ressourcen Informationen verbreiten und liefern. (s. ISO IEC 2015, Eintrag 2121292) In der WI stellt der Begriff der **Integration** insbesondere im Zusammenhang mit der Informationsverarbeitung einen grundlegenden Glaubensbegriff dar. (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 147; MERTENS 2013, S. 13) Integration wird in diesem Zusammenhang als die Verknüpfung von Mensch, Aufgaben und Technik zu einer Einheit verstanden. (s. HEILMANN 1989, S. 51) Gegenstand der **integrierten Informationsverarbeitung** können Daten, Funktionen, Prozesse, Vorgänge, Methoden und Programme sein. (s. MERTENS 2013, S. 13) Dem gängigen Verständnis der WI folgend wird der üblicherweise im Plural gebrauchte Begriff IS als ein Ausdruck für die Möglichkeit der Zerlegung des Gesamtsystems in Subsysteme betrachtet. Wie bereits in Kapitel 2.1.2 gezeigt lassen sich in Abhängigkeit des Verwendungszwecks verschiedene Anwendungssysteme bspw. entlang der Wertkette im Unternehmen unterscheiden. IS lassen sich demnach je nach Anwendungsfokus einerseits in betriebliche und überbetriebliche IS und andererseits in branchenspezifische und branchenübergreifende IS einteilen. (s. KRCMAR 2015a, S. 7–8)

Unter den Begriff **IKT** fällt die Gesamtheit aller zur Speicherung, Verarbeitung und Kommunikation verfügbaren Ressourcen sowie die Art und Weise wie diese organisiert sind. In Abgrenzung des Wortes **Technik** zu Technologie, wird unter dem Begriff **Technologie** die Wissenschaft von der Technik verstanden. Unter Technik sind somit eher die Bereiche zu verstehen, in denen wissenschaftliche Ergebnisse im Gegensatz zur Grundlagenforschung, anwendungsnah umgesetzt werden. Demnach umfasst Technik insbesondere die Menge der nutzenorientierten, künstlichen, gegenständlichen Gebilde (Artefakte oder Sachsysteme) sowie menschliche Handlungen und Einrichtungen in denen Sachsysteme entstehen und verwendet werden. Für die einzelnen zur Verfügung stehenden Ressourcen in der IKT wird der Begriff **Basistechnik** verwendet, der sämtliche Basiseinheiten der IKT zur Bereitstellung der Basisfunktionalitäten Verarbeitung, Speicherung und Kommunikation beinhaltet. Die sinnvolle Kombination von Basistechniken für die Realisierung bestimmter Anwendungen und spezieller Konzepte werden **Technikbündel** genannt. (s. KRCMAR 2015a, S. 8–9) Kernaufgaben des **Managements der IS** sind Daten, Prozesse, Anwendungslebenszyklus und –landschaften. Diese Ebene spezifiziert Anforderungen und erhält Unterstützungsleistungen durch IKT. (s. KRCMAR 2015a, S. 10) Für das Management von IS

sind das Management der Daten, der Prozesse, des Anwendungslebenszyklus und der *Software*einführung die maßgebenden Bestandteile. (s. KRCMAR 2015a, S. 41)

Unter dem Oberbegriff **Management der Daten** werden verschiedene Ansätze des Datenmanagements (DM), der Umgang mit RM und unternehmensspezifischen Datenmodellen sowie die Auswahl geeigneter Datenbankarchitekturen und Datenbanksystemen (DBS) zusammengefasst. Management von Daten ist eine Notwendigkeit, da erst durch die zielgerichtete und systematische Interpretation und Nutzung der Daten durch Informations- und Wissensträger und deren Entscheidung und Handlung auf Basis dieser Daten ein Beitrag zur Wertschöpfung entstehen kann. Daten allein sind demnach erst einmal nicht wertschöpfend. Ansätze des **DM** umfassen sämtliche betrieblichen und technischen Aspekte der Datenmodellierung, -administration, -technik, -sicherheit, -konsistenz, Sicherung der Daten sowie der datenbezogenen Benutzerdienste. Innerhalb der DM-Strategie wird festgelegt welche Daten für welche Systeme und Aufgaben auf welche Art und Weise zur Verfügung gestellt werden sollen. Zudem werden dort organisatorische Verantwortlichkeiten für Pflege und Erfassung der Daten, sowie zur Bereitstellung in exakt definierter und untereinander abgestimmter Form geregelt. (s. KRCMAR 2015a, S. 41–44) Auf diese Weise stellt das DM sicher, Daten verschiedener IS möglichst redundanzfrei und konsistent zu gestalten. (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 144) Die **Datenmodellierung** beschreibt ein systematisch-konstruktives Vorgehen zur Darstellung der Datenobjekte aller Bereiche des Unternehmens. Diese findet vor der Umsetzung bzw. Implementierung von Lösungen zum Management der Daten statt und muss die vorhandenen Daten vollständig modellieren. (s. KRCMAR 2015a, S. 45–47) Daten mit logischen Abhängigkeiten können in einer Datenbank organisiert werden, die Art der logischen Organisation ist dabei von dem konkreten Anwendungssystem abhängig und kann sich somit von anderen unterscheiden. (s. LEMKE U. BRENNER 2015, S. 143–144) Im Anschluss an die unternehmensweite Datenmodellierung erfolgt die technische Umsetzung des Modells unter Verwendung eines geeigneten **DBS**. Ein DBS besteht aus einer Datenbasis, sowie einer Menge von Programmen die selbst wiederum unter dem Begriff **Datenbankmanagementsystem (DBMS)** zusammengefasst werden können. Die **Datenbasis** wird auch als permanenter oder materialisierter Speicher bezeichnet, die die Informationseinheiten und deren Relationen enthält, die zur Steuerung und Kontrolle eines Aufgabenbereichs notwendig sind. DBMS beinhalten Administrations-, Nutzungs- und Modifikationsprogramme die unter Sicherstellung der Integrität, Konsistenz und Sicherheit auf die Datenbasis zugreifen können. (s. KRCMAR 2015a, S. 47–49)

Das **Management der Prozesse** beleuchtet das Management von IS aus einer ablauforientierten Perspektive. Sehr häufig werden in Unternehmen Prozesse durch *Software* unterstützt, die auf Basis von Daten, Funktionen für verschiedene Anwendungen zur Verfügung stellen. Dabei ermöglicht erst die Verknüpfung verschiedener Einzel-funktionen die Unterstützung von Anwendern auch in komplexen betriebswirtschaftlichen Aufgaben. In diesem Zusammenhang unterscheidet man zwischen materiellen

und informatorischen Prozessen wobei das Management der Prozesse in Anwendungssystemen lediglich **informatorische Prozesse** behandelt. Informatorische Prozesse werden durch sogenannte **Trigger** angestoßen und deren *Outputfaktoren* als **Informationsprodukt** bezeichnet. Die grundlegenden Sachverhalte und Begrifflichkeiten informatorischer Prozesse unterscheiden sich nicht von denen bereits in Kapitel 2.1.1 geschilderten Aspekten im Kontext von Unternehmensprozessen, sodass diese analog auch für das Management von Prozessen von IS gültig sind.

Das **Management des Anwendungslebenszyklus** betrachtet die mit dem Lebenszyklus von IS-Anwendungen verbundenen Aufgaben. Der Anwendungslebenszyklus wird üblicherweise in die sechs Lebensphasen Entwicklung, Einführung, Wachstum Sättigung bzw. Reife, Rückgang und Abschaffung unterteilt, innerhalb dieser die Systemnutzung, der Systemnutzen und die Systemkosten jeweils einen unterschiedlichen Anteil aufweisen. Hierbei werden Systemnutzung, und –kosten in der Praxis sehr stark durch externe Faktoren beeinflusst und können sich daher sehr dynamisch entwickeln. (s. KRCMAR 2015a, S. 64–74)

Das **Management der Softwareeinführung** zeichnet sich verantwortlich dafür, dass Standardsoftware oder selbst entwickelte Software erfolgreich in die operative Nutzung im Sinne des Lebenszyklus der Anwendungen übergehen kann. Die Aktivitäten der Einführung umfassen die Installation entsprechend des Betriebsziels, die Schulung der Benutzer des Produkts und die Inbetriebnahme, die sämtliche durchzuführenden Maßnahmen im Zeitraum von der Installation bis zum Betrieb beinhaltet. Die Einführung eines Systems stellt in der Regel eine komplexe Aufgabe dar und gliedert sich in die fünf Grobphasen Projekt *Kick-Off*, Prozessausgrenzung, Prozessmodellierung, Software-Einstellung und Implementierung. Die Einführung von Software und auch von Technikbündeln im Allgemeinen löst in der Regel bedeutende Veränderungen in der Arbeitsweise von Mitarbeitern, in organisatorischen Geschäftsprozessen sowie bei Leistungsergebnissen aus. Aus diesem Grund werden durch entsprechende Systeme hervorgerufene Veränderungen auch als **Technochange** verstanden. (s. MARKUS 2004) So liegt bei *Technochange*-Projekten im Gegensatz zu herkömmlichen IT-Projekten der Fokus neben der Leistungsfähigkeit einer Organisation durch Technologie explizit auch auf dem zusätzlichen Einfluss der einzuführenden Technologie auf die Nutzer. Hierbei hängt der Erfolg aller Anwendungsentwicklungen und –einführungen maßgeblich davon ab, wie die einzelnen Schritte der Projekte im Vorfeld geplant, Probleme vorhergesehen und mögliche Lösungen vorbereitet werden. (s. KRCMAR 2015a, S. 75–87)

Das **Management der Anwendungslandschaft** bzw. das Management der Architektur der Informationsinfrastruktur beabsichtigt die angemessene Ausrichtung der IS auf die strategischen Ziele des Unternehmens und die Erfüllung der an sie gestellten fachlichen und wirtschaftlichen Anforderungen über ihren gesamten Lebenszyklus hinweg. (s. HEINRICH ET AL. 2014, S. 86) Insbesondere ISA als Teilarchitekturen der Unterneh-

mensarchitektur weisen eine besonders hohe Relevanz für die weiteren Untersuchungen innerhalb dieser Arbeit auf, sodass im nächsten Kapitel eine detaillierte Beschreibung zur Schaffung des notwendigen Begriffsverständnisses sinnvoll erscheint.

2.2.3 Informationssystemarchitekturen und -rahmenwerke

Norm ISO 42010:2011 definiert Architekturen (**Architectures**) im Informationssystemzusammenhang als Grundkonzepte (*Concepts*) oder fundamentale Eigenschaften (*Properties*) eines **Systems** in seiner (System-)Umgebung (**Environment**), verkörpert durch ihre Elemente, Relationen und ihrer Leitsätze zur Gestaltung und Entwicklung. (s. ISO / IEC / IEEE 2011, S. 2) Diese Unterscheidung trägt den beiden existierenden Philosophien *Architecture as Conception* und *Architecture as Perception* Rechnung, nach denen ISA entweder das Grundkonzept eines Systems oder eine Sichtweise (*Perception*) auf die Eigenschaften eines Systems beschreiben, die beide jeweils nur in der Vorstellung von Menschen existieren. (s. HILLIARD ET AL. 2013, S. 1) Auf diese Weise stellt eine **ISA niemals** ein **Artefakt** dar, sondern erst die niedergeschriebene Beschreibung dieser in Form irgendeiner Dokumentation. (s. HILLIARD ET AL. 2013, S. 1) Architekturbeschreibungen (Architektur-Artefakte) (**Architecture Descriptions**) stellen somit Arbeitsprodukte zur Darstellung von Systemarchitekturen dar. (s. ISO / IEC / IEEE 2011, S. 3–4)

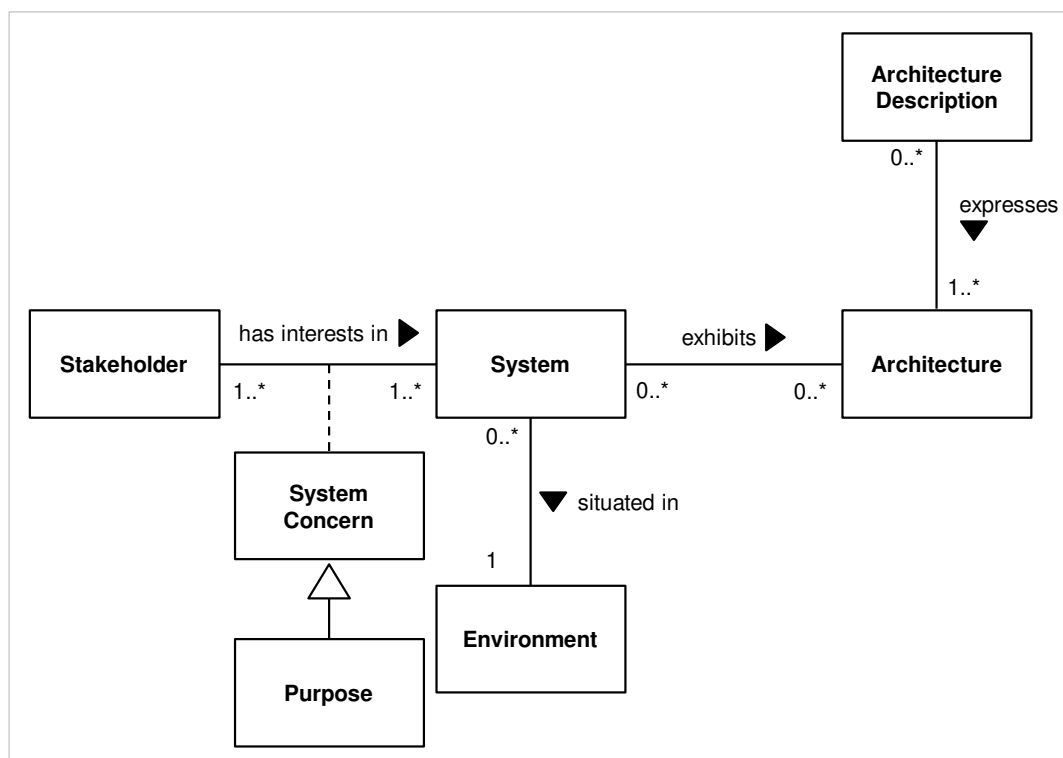


Abbildung 9: Überblick über die Zusammenhänge der Architekturbeschreibung
(s. ISO / IEC / IEEE 42010, S.3)

Die (System-)Umgebung bildet in diesem Zusammenhang den Kontext, den Rahmen und die Umstände sämtlicher Einflüsse die ein System determinieren. (s. ISO / IEC / IEEE 2011, S. 2) Einflüsse auf Systeme können entwicklungsorientierter, technologischer, geschäftlicher, betrieblicher, organisatorischer, politischer, ökonomischer,

rechtlicher, regulatorischer, ökologischer und sozialer Natur sein. (s. ISO / IEC / IEEE 2011, S. 2) Anspruchsgruppen (**Stakeholder**) eines Systems stellen Parteien mit besonderem Interesse an diesem dar. (s. ISO / IEC / IEEE 2011, S. 4) Diese Interessen an einem System werden als **System Concern** bezeichnet, bei denen der **Einsatzzweck** (*Purpose*) eine mögliche Ausprägung von vielen möglichen darstellt. (s. ISO / IEC / IEEE 2011, S. 4) Ein *Concern* kann sich darüber hinaus in vielen weiteren Formen in Bezug zu einer oder mehrerer Anspruchsgruppen manifestieren wie bspw. Erwartungen, Verantwortlichkeiten, Abhängigkeiten, Qualitätseigenschaften, Risiko oder in Form weiterer auf das System zutreffender Belange. (s. ISO / IEC / IEEE 2011, S. 6) Abbildung 9 zeigt Zusammenhänge der innerhalb von Systemen und ihren Architekturen geltenden Schlüsselbegriffe. Demnach kann stets mindestens eine Anspruchsgruppe unterschiedlichste Interessen in Form von *System Concerns* an mindestens einem System besitzen. Entweder keines oder aber eine beliebige Anzahl an Systemen kann sich innerhalb genau einer gemeinsamen (System-)Umgebung befinden. Ein und dieselben Systeme können entweder durch keine oder mehrere verschiedenartige Architekturen begriffen werden. Gleichermäßen können ein und dieselben Architekturen entweder keines oder eine beliebige Anzahl an Systemen charakterisieren. Eine Architektur kann wiederum entweder von keiner oder einer beliebigen Anzahl von Architekturbeschreibungen ausgedrückt werden. (s. ISO / IEC / IEEE 2011, S. 4) Neben den bereits dargestellten Aspekten beinhalten Architekturbeschreibungen mindestens eine Architektursicht (*Architecture View*) die wiederum mindestens einen *Concern* der Anspruchsgruppen eines Systems behandelt. (s. ISO / IEC / IEEE 2011, S. 6) Demnach stellt eine Architektursicht die Architektur eines betrachteten Systems (*System-of-Interest*) in Übereinstimmung mit einer zugrunde liegenden Architektursichtweise dar. (s. ISO / IEC / IEEE 2011, S. 6)

Architekturen übernehmen wie bereits in Kapitel 2.1.3 angedeutet verschiedene Funktionen und dienen unterschiedlichen Verwendungszwecken. Hierbei lassen sich mit der Beschreibungs-, Kommunikations- und Gestaltungsfunktion drei grundlegende Funktionen unterscheiden. Im Rahmen der Beschreibungsfunktion dienen Architekturen für die Abbildung der Ist-Situation im Unternehmen. In diesem Zusammenhang repräsentieren Architekturen die Informationsinfrastruktur eines Unternehmens auf einem möglichst hohen Abstraktionsniveau. Durch die Kommunikationsfunktion können Architekturen zusätzlich einen gemeinsamen Bezugspunkt sowie Sprachmittel zur Verfügung stellen damit *Stakeholder* mit unterschiedlichen Arbeits- und Denkweisen einheitliche Bezeichnungen für die dieselben Sachverhalte verwenden. Im Rahmen der Gestaltungsfunktion übernimmt die Architektur die Rolle eines konzeptionellen Planungs- und Gestaltungsansatzes, der die Planung, Änderung und Integration vorhandener und neuer IS Rechnung trägt. (s. HEINRICH ET AL. 2014, S. 86–87)

Architekturrahmenwerke (*Architecture Frameworks*) und Architekturbeschreibungssprachen (*Architecture Description Languages*) können in diesem Zusammenhang folglich in erster Näherung als weitverbreitete Mechanismen des Konzepts der Architekturbeschreibung betrachtet werden. (s. ISO / IEC / IEEE 2011, S. 9) Jede Form von

Ausdrücken die im Zuge der Architekturbeschreibung Anwendung finden bezeichnet man als **Architekturbeschreibungssprachen**. (s. ISO / IEC / IEEE 2011, S. 10) Ein Architekturrahmenwerk begründet die gängige Praxis für die Schaffung, Interpretation, Analyse und Einsatz von Architekturbeschreibungen innerhalb einer bestimmten Anwendungsdomäne oder innerhalb von Anspruchsgruppen die gemeinschaftliches Interesse an der Beschreibung eines Systems besitzen. (s. ISO / IEC / IEEE 2011, S. 9) Auf diese Weise liefern Architekturrahmenwerke Beschreibungen zur Erstellung von Architekturbeschreibungen, Modellierungswerkzeuge für die Architekturentwicklung, sowie Architekturgestaltungsmethoden für die Anwendung, sowie festgelegte projektübergreifende Prozesse zur Vereinfachung von Kommunikation, *Commitment* und Zusammenwirken. (s. ISO / IEC / IEEE 2011, S. 10)

Eine detaillierte Betrachtung und Analyse gültiger relevanter Normen und domänenunabhängiger sowie domänenspezifischer Architekturrahmenwerke erfolgt in Kapitel 3. Davor wird nachdem mit den Ausführungen zu Informationen bereits einer der beiden wesentlichen Ressourcen behandelt wurde, im nachfolgenden Kapitel schließlich die Brücke geschlagen zur anderen wesentlichen Ressource Energie und das aktive Management dieser insbesondere vor dem Hintergrund betrieblicher IS behandelt.

2.3 Energie

Im industriellen Sektor ist der Endenergieverbrauch in den letzten Jahren leicht rückläufig, sodass heute der Verkehrssektor die Spitzenposition vor dem industriellen Sektor eingenommen hat. (s. UMWELTBUNDESAMT 2017b) Beim Stromverbrauch zeichnet sich allerdings ein ganz anderes Bild, da Strom im Verkehrssektor bislang nur eine untergeordnete Rolle spielt. Dort belegt die Industrie weiterhin den Spitzenplatz vor dem Gewerbe-, Handel- und Dienstleistungssektor. (s. UMWELTBUNDESAMT 2017a) Die Bedeutung der Ressource Energie, in der heutigen Zeit aber lediglich über den Kostenfaktor zu motivieren greift dabei zu kurz und muss vielmehr wie in den Kapiteln 1.1 und 1.2 vollzogen, im Kontext der aktuellen Entwicklungen der Digitalisierung und Energiewende betrachtet werden. Diese sind folglich fundamentaler Natur für die Forschungsaktivitäten innerhalb dieser Arbeit und setzen ein verhältnismäßig umfangreiches Begriff- und Zusammenhangsverständnis für die weiteren Untersuchungen im Kontext EM voraus. Dieses wird zum einen durch die nachfolgenden allgemeinen Ausführungen geschaffen und zum anderen nochmals durch die Ausführungen in Kapitel 5 weiter vertieft.

Energie stellt eine fundamentale physikalische Grundgröße mit Joule (J) als Grundeinheit für die Energiemessung dar. (s. DIEKMANN U. ROSENTHAL 2014, S. 1–2) Der Energiebegriff ist vieldeutig und schwierig, da Energie in unterschiedlichen Erscheinungsformen, sowohl als Eigenschaft einer Materiemenge als auch als Erscheinung bei Wechselwirkung eines Systems mit einem anderen begegnet werden kann. (s. LUCAS 2007, S. 147) Der Begriff Energie kann demnach nicht durch eine prägnante Definition umfassend behandelt werden, sondern muss vielmehr jeweils individuell für jede der

unterschiedlichen Energieformen angegeben werden. (s. LUCAS 2007, S. 147) Nichtsdestotrotz ist für die Anwendung innerhalb dieser Arbeit eine allgemeinere Definition des Energiebegriffs zweckdienlich, die aber über die Definition der Norm 50001 hinausgehen soll, die Energie lediglich als Elektrizität, Brennstoffe, Dampf, Wärme, Druckluft und vergleichbare Medien definiert.

Energie soll folglich als eine fundamentale physikalische Größe definiert werden, die in der Einheit J oder Wh angegeben wird und in zwei unterschiedlichen Klassen von Erscheinungsformen auftritt. Zum einen als Eigenschaft eines thermodynamischen Systems, bei dem es sich um gespeicherte bzw. gebundene Energien in Form von Energiemengen pro Volumen-, Massen- oder Stoffmengeneinheit handelt. Zum anderen als Wechselwirkung eines Systems mit einem Anderen bspw. in Form von Arbeit, Wärme oder elektromagnetischer Strahlung. Letzte Energieformen werden in der Thermodynamik als Prozessenergien bezeichnet und sind als eigentliche Träger äußerer Wirkung anzusehen. (s. VDI 2014a, S. 6)

Für wesentliche Schlussfolgerungen im Rahmen der betriebswirtschaftlichen Energieperspektive bilden die Grundaussagen des 1. und 2. Hauptsatzes der Thermodynamik die Basis, da die physikalische Sicht der Energie dort den Hauptinhalt stellt. (s. POSCH 2011, S. 12) Auf diese Weise ist für die Nützlichkeit und die Anwendung des Energiebegriffs das Naturgesetz von der Erhaltung der Energie entscheidend, nach welchem Energie weder erzeugt noch verbraucht bzw. zerstört werden kann. (s. LUCAS 2007, S. 147) Dieses Naturgesetz wird durch den **1. Hauptsatz der Thermodynamik** formuliert und besagt, dass sich die Energie eines Systems nur durch Zu- oder Abfuhr von Energie über die Systemgrenzen ändert. (s. LUCAS 2007, S. 147) Dabei sind alle Energien allerdings nicht gleichwertig, sondern müssen für jede Energieform unterschiedlich bewertet werden. (s. STEPHAN U. MAYINGER 2013, S. 235) Jede Energie setzt sich aus Exergie und Anergie zusammen. (s. STEPHAN U. MAYINGER 2013, S. 238) **Exergie** bezeichnet die bei der Einstellung des Gleichgewichtes mit der Umgebung maximal gewinnbare Arbeit. (s. STEPHAN U. MAYINGER 2013, S. 235) Arbeit bezeichnet in diesem Zusammenhang mechanisch übertragene Prozessenergie und ist als Produkt aus einer ausgeübten Kraft und der Verschiebung des Kraftangriffspunkts in Kraftrichtung definiert. Mechanische Arbeit wird in der Regel durch rotatorische und translatorisch bewegte Maschinenteile übertragen. Die Interpretation von elektrischem Strom als Verschiebung von Ladungsträgern erlaubt die Übertragung des mechanischen Arbeitsbegriffs auf die Elektrizität, sodass in der Elektrizitätswirtschaft üblicherweise elektrische Energie mit elektrische Arbeit gleichgesetzt wird. (s. VDI 2014a, S. 8) Exergie beschreibt somit den Teil der Energie der sich beliebig in andere Energieformen umwandeln lässt und so der **Anergie** gegenübersteht die den restlichen Teil der Energie darstellt der nicht mehr verwertbar ist. Bei allen natürlichen Prozessen wird Exergie in Anergie umgewandelt. (s. POSCH 2011, S. 13) Außerdem gilt in diesem Zusammenhang der Erfahrungssatz, dass alle natürlichen und technischen Prozesse irreversibel sind. (s. STEPHAN U. MAYINGER 2013, S. 149) Der **2. Hauptsatz der Thermodynamik** bringt daher das Prinzip der Irreversibilität zum Ausdruck (s. POSCH 2011, S. 13) und

besagt, dass sich die **Entropie** eines Systems durch Zu- oder Abfuhr von Entropie über die Systemgrenze und durch Entropieproduktion in seinem Inneren ändert. (s. LUCAS 2007, S. 290)

Wird in einem Zeitintervall eine Arbeit geleistet, so bezeichnet der Quotient aus Arbeit und Zeitintervall die mittlere Leistung P im Zeitintervall. Analog bezeichnet man den Quotienten aus Wärme und Zeitintervall als mittlere Wärmeleistung $\dot{Q}$ im Zeitintervall. Mit $\dot{Q}$ wird demnach ein Wärmestrom bezeichnet wohingegen Q als Wärmemenge definiert ist. Elektrische Leistung P ist bei Gleichstrom gleich dem Produkt aus Spannung U und Stromstärke I . In einem Wechselstromkreis definiert die Wirkleistung P_w die von ohmschen Widerständen aufgenommene und bspw. in Wärme umgesetzte Leistung. Rechnerisch lässt sich die Wirkleistung aus dem Produkt der Effektivwerte von Spannung U_{eff} , Stromstärke I_{eff} und dem Cosinus des Phasenwinkel Φ bestimmen, da bei Vorhandensein von Kapazitäten und Induktivitäten der Strom gegenüber der Spannung vor- bzw. nacheilt. Scheinleistung S ist bei Wechselstrom das Produkt aus den Effektivwerten von Spannung U_{eff} und Strom I_{eff} . Der Leistungsfaktor $\cos \varphi$ stellt den Quotient aus Wirkleistung P_w und der Scheinleistung S dar und wird auch Verschiebefaktor genannt. Verbraucher in einem realen Wechselstromkreis setzen in der Regel sowohl Wirk- als auch Blindleistung um. Blindleistung ist die elektrische Leistung, die zum Aufbau von magnetischen Wechselfeldern oder von elektrischen Wechselfeldern benötigt wird. Aus der Aufnahme von Blindleistung resultiert, abgesehen von den Wärmeverlusten durch den ohmschen Widerstand der Zuleitungen der Kondensatoren bzw. der Induktivitäten, keine Wirkleistung in Form von mechanischer Arbeit oder Wärme, sie dient nur dem Aufbau von Feldern. Sie belastet allerdings geometrisch mit der Wirkleistung addiert, das Netz und sämtliche Betriebsmittel. (s. VDI 2014a, S. 6–11)

Energie kann folglich anhand der Quantität und der Qualität charakterisiert werden. Dabei repräsentiert Exergie den wertvollen und Anergie den wertlosen Teil. Energie kann grundsätzlich nicht verbraucht werden, sondern lediglich entwertet werden, so dass vielmehr Exergie verbraucht und im gleichen Maße Anergie erzeugt wird. Die Energieentwertung eines bestimmten Prozesses kann mit Hilfe der Entropie quantifiziert werden. (s. HERWIG 2016, VII) Begriffe wie Energieverbrauch, Energieverschwendung und Energieeinsparung und weitere stehen somit eigentlich im Widerspruch zu den Lehren der Thermodynamik und sind aus dieser Perspektive schlichtweg falsch. Dennoch haben sie sich im alltäglichen Sprachgebrauch der industriellen Praxis fest etabliert und werden aus Gründen der Beibehaltung der Anwendungsnähe auch im Rahmen dieser Arbeit verwendet. Norm ISO 50001 definiert die **energiebezogene Leistung** als messbare Ergebnisse bezüglich Energieeffizienz, Energieeinsatz und Energieverbrauch. **Energieverbrauch** beschreibt dort die Menge der eingesetzten Energie. **Energieeffizienz** wird als das Verhältnis oder eine andere quantitative Beziehung zwischen einer erzielten Leistung bzw. einem Ertrag an DL, Gütern oder Energie und der eingesetzten Energie definiert. **Energieeinsatz** stellt die Art bzw. Methode der Anwendung von Energie dar. **Energiedienstleistungen** werden durch die Norm

ISO 50001 als Aktivitäten bezüglich der Versorgung mit bzw. Nutzung von Energie sowie deren Ergebnisse definiert. (s. DIN EN ISO 2011, S. 9–11)

Neben diesen physikalischen Begriffen werden innerhalb der **Energiewirtschaft** auch die nachfolgende skizzierten Fachtermini für verschiedene **Umwandlungsstufen** verwendet. Diese Folge von Umwandlungen ist in Form einer Wertschöpfungskette darstellbar und zeigt wie in Abbildung 10, den Weg von den Energierohstoffen, über angebotsseitige und nachfrageseitige Umwandlungsstufen und Energietransportwege bis hin zu Energiedienstleistungen. (s. POSCH 2011, S. 43)

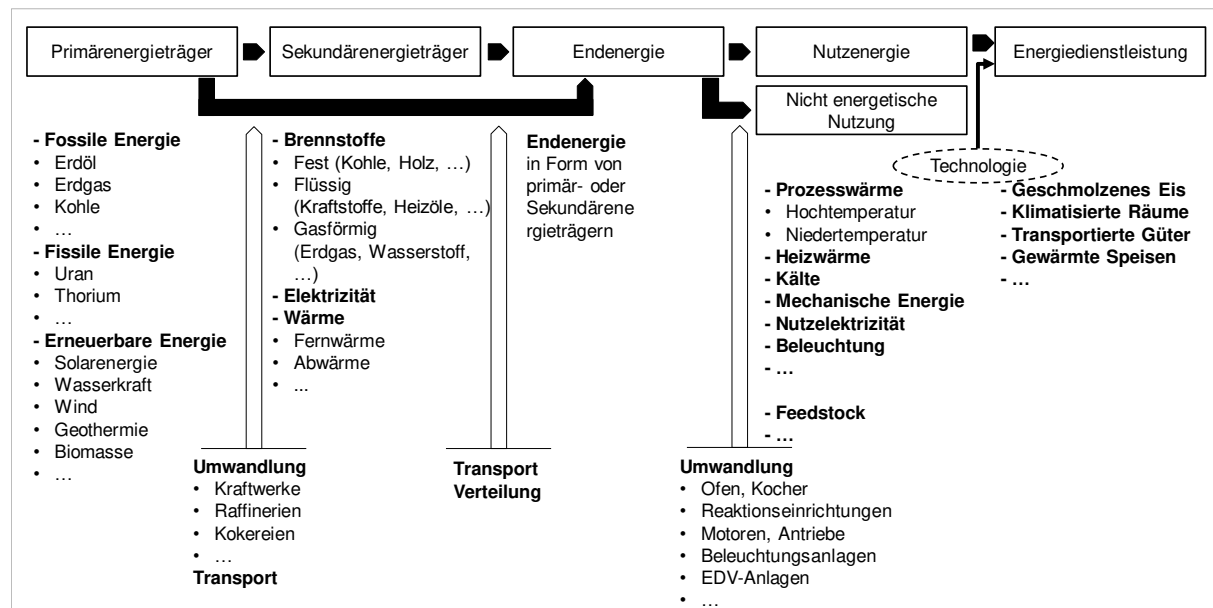


Abbildung 10: Schema der Energiewertschöpfung (i. A. a. WINJE U. WITT 1991, S.35)

Unter Primärenergie wird der Energieinhalt von Energieträgern aus der Natur verstanden, die technisch noch nicht umgewandelt wurden. Man unterscheidet innerhalb der **Primärenergieträgern** zwischen nach menschlichen Zeitmaßstäben fossilen, fissilen und erneuerbaren Energieträgern. **Sekundärenergie** wird als der Energieinhalt von Energieträgern definiert, die aus Umwandlungsschritten von Primärenergie hervorgehen. **Endenergie** umfasst lediglich die gehandelten Energieträger, die der Erzeugung bzw. Umwandlung von Nutzenergie dienen und somit dem Markt endgültig entzogen werden. Thermisch genutzte Abfall- und Reststoffe sowie Energien aus regenerativen Quellen die in Eigenaufkommen gewonnen werden sind per Definition nicht in der Endenergie enthalten, solange sie nicht unmittelbar Gegenstand des kommerziellen Handels sind. **Nutzenergie** umfasst alle technischen Formen der Energie die bspw. in Form von Wärme, mechanischer Energie, Licht etc. vom Verbraucher benötigt wird um Energiedienstleistungen ausführen zu können. (s. VDI 2014a, S. 11–12) In diesem Zusammenhang stellen **Energiedienstleistungen** das eigentlich nachgefragte energetische Endprodukt dar, die aus einer Reihe von Umwandlungen von Energieformen ineinander resultieren und schließlich auf die verschiedenen Primärenergieträger zurückführbar sind. (s. POSCH 2011, S. 43)

Die durch die Industrie bezogenen **Energieträger** lassen sich in Mineralöle, Gase, Strom, Fernwärme, Kohlen, sonstige Brennstoffe in Form von Abfällen und Abwärme sowie Biomasse gliedern. (s. SCHLOMANN ET AL. 2010, S. 5–6) Die wirtschaftliche Relevanz der bezogenen Energieträger ergibt sich aus der eingesetzten Menge und den spezifischen Kosten je Handelsmenge des jeweiligen Energieträgers. Die Energiekostenaufteilung nach Energieträgern zeigt je nach Unternehmen und Branchenzugehörigkeit des Unternehmens zwar Unterschiede auf, allerdings hat sich gezeigt, dass elektrischer Strom branchenübergreifend den Hauptteil der Energiekosten einnimmt. Die Preise aller Energieträger weisen auf den entsprechenden Handelsplattformen ein volatiles Verhalten auf, auch hier sind die ausgeprägten kurz- und mittelfristigen Preisschwankungen von Strom aber am größten. Produzierende Unternehmen können aus diesen Preisschwankungen der einzelnen Energieträger zum einen wirtschaftliche Vorteile erzielen indem sie durch energieflexibles Verhalten die jeweiligen Energieträger zu möglichst niedrigen Preisen beziehen und zum anderen die Kosten möglichst niedrig halten indem sie diese im Rahmen der Produktion effizient einsetzen. (s. GRAßL 2015, S. 4–6)

Aufgrund der Relevanz der Stromkosten, der starken Preisschwankungen sowie der technisch und finanziell aufwendigeren Speicherbarkeit von elektrischer Energie soll nachfolgend der **Fokus dieser Arbeit** auf dem **Stromeinsatz innerhalb produzierender Unternehmen** gelegt werden. Gleichzeitig durchlebt der Strommarkt getrieben durch die Energiewende gerade einen radikalen Umbruch, der mit einer Steigerung der Systemkomplexität einhergeht und somit zunehmend ein aktives Management der Ressource elektrische Energie in Unternehmen zunehmend erforderlich macht.

2.3.1 Energiemanagement

Jede Form der betrieblichen Leistungserstellung erfordert den Einsatz von Energie. (s. POSSELT 2016, S. 17; POSCH 2011, S. 127) EM unterstützt daher Maßnahmen zur effizienten Energienutzung, die sich sowohl aus Unternehmenssicht und / oder aus umweltpolitischen Zielen ergeben. (s. VDI 2007, S. 3) VDI 4602:2007 definiert **EM** als die vorausschauende, organisierte und systematisierte Koordinierung von Beschaffung, Wandlung, Verteilung und Nutzung von Energie zur Deckung der Anforderungen unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Zielsetzungen. (s. VDI 2007, S. 3) Der **innerbetriebliche Energiefluss** kann darauf aufbauend als technisches System mit den einzelnen Abschnitten Energiebezug, Energieumwandlung und –verteilung, Energienutzung und –speicherung sowie Energieabgabe bzw. –recycling dargestellt werden. (s. WOHINZ U. MOOR 1989, s. 79–121) In Abhängigkeit der Branche kann das EM in Unternehmen einen unterschiedlichen hohen Stellenwert einnehmen und so existieren verschiedene Ausprägungen die letztlich großen Einfluss auf die Definition von Prozessen, Zielvorgaben und Ergebnisgrößen haben. Folglich unterscheidet man zwischen betrieblichem EM, EM im Bereich der Erzeugung, EM im Bereich Verteilung, EM in der Energieanwendung, kommunales EM und schließlich EM im Gebäudemanagement (GA). Während die anderen Ausprägungen des EM lediglich Teilbereiche

fokussieren, umfasst das **betriebliche EM** die gesamte Energiewirtschaft eines Unternehmens. (s. VDI 2007, S. 6) Betrachtet man das Unternehmen als Wertkette und differenziert bei den unterstützenden Tätigkeiten schärfer zwischen Managementaktivitäten und anderen Serviceprozessen so lässt sich die Energiewirtschaft als Serviceprozess des Unternehmens identifizieren, der sich abermals als Wertkette darstellt. In diesem Kontext erfolgt die Strukturierung der Funktionen des EM im Rahmen eines Teilmanagementmodells rund um die Ressource Energie als Managementobjekt. Dieses Teilmanagementmodell ist in den Funktionalbereich der betrieblichen Energiewirtschaft wie in Abbildung 11 dargestellt eingebunden. (s. POSCH 2011, S. 158–159)

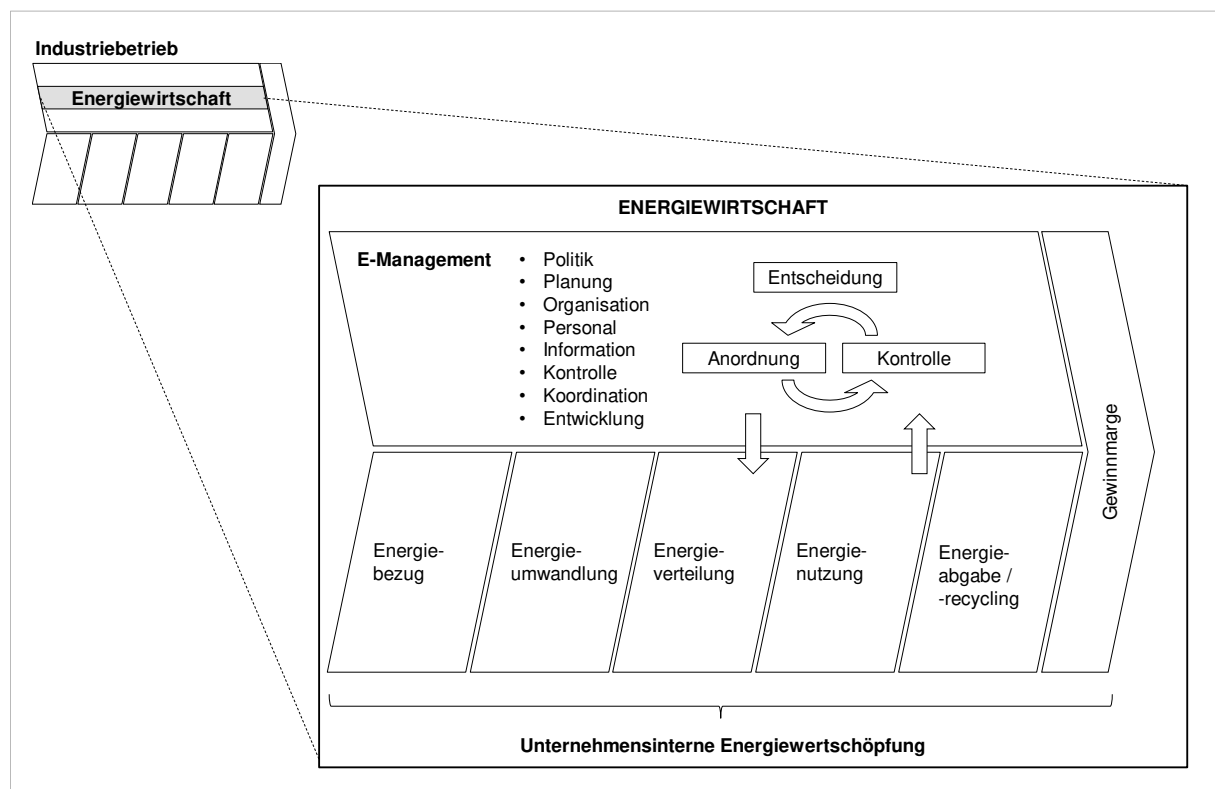


Abbildung 11: Die betriebliche Energiewirtschaft als Wertkette (s. POSCH 2011, S. 158)

Der **Energiebezug** beginnt an der Systemgrenze des Betriebs ab Zurverfügungstellung der jeweiligen Endenergie. (s. POSCH 2011, S. 139) Unter Energiebezug fallen marktseitig beschaffte Primär- oder Sekundärenergieträger sowie die unternehmenseigenen Energieträger, die im Rahmen des Produktionsprozesses als Nebenprodukte anfallen. (s. POSCH 2011, S. 139) Beim marktseitigen Bezug werden leitungsgebundene und nicht leitungsgebundene Energieformen unterschieden. Nicht leitungsgebundene Energieformen werden in der Regel im Gegensatz zu den leitungsgebundenen Energieformen lediglich nach der Bezugsmenge abgerechnet. Für die Abrechnung der leitungsgebundenen Energieformen spielt neben der Menge auch die maximale Kapazität eine entscheidende Rolle, da diese die erforderliche Infrastruktur determiniert. (s. POSCH 2011, S. 139) Insbesondere die Infrastruktur der Stromnetze werden aktuell durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien sowie

dezentral organisierter Managementsysteme zur Koordination der einzelnen Komponenten, zunehmend zu einem intelligenten Stromnetz (**Smart Grid**) weiterentwickelt. Dies führt dazu, dass in einem *Smart Grid* nicht nur Energie, sondern mehr und mehr Daten transportiert werden, sodass Netzbetreiber in kurzen Abständen Informationen zur Energieproduktion und -verbrauch erhalten. (s. UMWELTBUNDESAMT 2013) Im Rahmen der immer notwendiger erscheinenden Nachfrageflexibilisierung aufgrund des Ausbaus der EE, sind Energieversorger und Endverbraucher heute gleichermaßen gefordert, Lasten ausgeglichener zu verteilen und Lastspitzen zu glätten. (s. VSE 2016, S. 1) Wird die Stromnachfrage der Produktion angepasst spricht man von Nachfrageflexibilisierung (*Demand Side Management* (DSM)). Die Nachfrageflexibilisierung dämpft somit den Bedarf an Reservekapazität und Spitzenenergie, durch Lastverschiebung von Wärme- oder Kältespeichern, zeitversetzten Betrieb oder durch gezieltes Ein- und Abschalten von Lasten. Tarifliche Anreize (dynamische Stromtarife) und steuerungstechnische Flexibilisierung durch automatische Ansteuerung von Geräten zur Lastverschiebung bilden die beiden Flexibilisierungsarten innerhalb des DSM. (s. VSE 2016, S. 1–2) Der Begriff *Demand Response* (DR) stellt eine weitere Spezifizierung hinsichtlich einer Abgrenzung zum allgemein gefassten Begriffs des DSM dar. Auf diese Weise bezeichnet DR die kurzfristige und planbare Veränderung der Verbraucherlast als Reaktion auf Preissignale im Markt oder auf eine Aktivierung im Rahmen einer vertraglichen Leistungsreserve. Marktpreise oder Leistungsabrufe werden durch ungeplante, unregelmäßige oder extreme energiewirtschaftliche Ereignisse ausgelöst. (s. ROON U. GOBMAIER 2017)

Im Anschluss an den Abschnitt Energiebezug werden im Abschnitt der **Energieumwandlung und -verteilung** die den Betrieben in verschiedenen Formen zugeführten Energieträger zu Nutzenergie umgewandelt und an den Ort der Nutzung transportiert. Beispiele für Umwandlungsanlagen sind Wärmeversorgungsanlagen, Anlagen zur Eigenstromerzeugung, Transformatoren sowie Verdichterstationen. (s. POSCH 2011, S. 141) Nach der Umwandlung und Verteilung erfolgt im Abschnitt **Energienutzung** die Inanspruchnahme der zur Leistungserstellung erforderlichen Energiedienstleistungen. Die hierzu eingesetzten Aggregate sind häufig bereits direkt in die Produktionsanlagen integriert, sodass die Energieumwandlung praktisch zeitgleich mit der Energienutzung einhergeht. (s. POSCH 2011, S. 143) In diesem Zusammenhang sind Anwendungen von Prozess- und Heizwärme, mechanischer Energie und Elektrizität die am häufigsten zum Einsatz kommenden Nutzenergieformen. (s. POSCH 2011, S. 143–144) Der Stromeinsatz in produzierenden Unternehmen entfällt typischerweise auf die Beleuchtung, den Betrieb der Informations- und Kommunikationsinfrastruktur, Klimakälte, Raumwärme, Prozesswärme, Warmwasserbereitung und mechanische Energie. (s. SCHLOMANN ET AL. 2010, S. 9)

Der Abschnitt der **Energiespeicherung** und die damit verbundenen Flexibilitätstechnologien in Form von Speicher- oder auch *Power-to-X*-Technologien gewinnen vor allem vor dem Hintergrund des aktuell stattfindenden Ausbaus der fluktuierenden Erzeugung durch Windkraft und Photovoltaik auch für Betriebe in Deutschland zunehmend

an Bedeutung. (s. ELSNER ET AL. 2015, S. 9–60) Energiespeicher sind energietechnische Einrichtungen, die die Prozesse des Einspeicherns (Laden), Speichern und Auspeichern (Entladen) beinhalten. Man unterscheidet hierbei zwischen primären Energiespeichern die lediglich einmal geladen und entladen werden und sekundären Energiespeichern bei denen mehrfach geladen und entladen werden kann. (s. STERNER U. STADLER 2014, S. 26) Die Gesamtheit der Speicheroptionen im Kontext der Produktion kann unter dem Begriff funktionale Stromspeicher zusammengefasst werden. Unter funktionalen Speichern werden alle zeitlichen Verschiebungen innerhalb der Leistungsgänge von Stromverbrauch und unflexibler Stromeinspeisung mit dem Ziel des zeitlichen und räumlichen Ausgleichs der Energiebilanz bezeichnet. Voraussetzung dafür ist ein positiver Speichernutzungsgrad der Maßnahme, der sich aus dem Quotienten aus entladener Energie in Form von Minderverbrauch, Mehrerzeugung oder generierten Stromäquivalenten, sowie Ladeenergie in Form von Mehrverbrauch oder Mindereinspeisung errechnen lässt. Reine Stromspeicher können als funktionale Stromspeicher 1. Ordnung bezeichnet werden, da sie beim Laden als Modifikation des Verbrauchs und beim Entladen als flexible Einspeisung interpretiert werden können. Lastverschiebung innerhalb eines unflexiblen Leistungsgangs, also innerhalb des Verbrauchslastgangs (Verbrauchsflexibilisierung) oder des Leistungsgangs der unflexiblen Einspeisung (Einspeisungsflexibilisierung) bilden die funktionalen Speicher der 2. Ordnung. Funktionale Speicher 3. Ordnung repräsentieren die Generierung von Stromäquivalenten durch Modifikation eines unflexiblen Leistungsgangs. Neben einer zeitlichen Flexibilisierung findet auch eine räumliche Entkopplung statt, bei der das Stromäquivalent aus dem elementerverbindenden Stromnetz entnommen und an anderer Stelle wieder als flexible Einspeisung integriert werden kann. (s. PFEIFROTH 2017) Weiterhin wird oft die Rolle der Speicher im Energiesystem diskutiert und in diesem Zusammenhang die Frage gestellt ob Energiespeicher Teil der Energienetze, der Erzeuger oder doch der Verbraucher sein werden und damit auch an welcher Stelle die Kosten der Speicher verortet werden sollen. (s. STERNER U. STADLER 2014, S. 25) Grundsätzlich lassen sich Energiespeicher nämlich entlang der gesamten Energiewandlungskette bis hin zur Nutzenergie an jeder Schnittstelle der Kette als primäre und / oder sekundäre Energiespeicher einordnen. (s. STERNER U. STADLER 2014, S. 35) Das physikalische Nutzenversprechen von Energiespeichern ist durch die Erfüllung der Aufgaben der Bevorratung, Aufbewahrung und Lagerung von Energie, um einen zeitlichen Ausgleich zwischen Angebot und Nachfrage zu schaffen dahingegen eindeutig darstellbar. In ihrer Funktion stehen sie hierbei aber explizit nicht in Konkurrenz mit Energienetzen die vornehmlich für den räumlichen Ausgleich zuständig sind. (s. STERNER U. STADLER 2014, S. 33) Entscheidende Faktoren in der Energieversorgung sind die zukünftigen Speicherbedarfe in den Bereichen Strom, Wärme und Mobilität. (s. STERNER U. STADLER 2014, S. 49) Eine Vollversorgung mit EEin allen drei Energiesektoren bis 2050 ist sowohl technisch als auch ökologisch umsetzbar. (s. STERNER U. STADLER 2014, S. 82)

Am Ende des innerbetrieblichen Energieflusses befindet sich der Abschnitt der **Energieabgabe bzw. -recyclings**. Zwangsläufig geht immer nur ein kleinerer Teil der eingesetzten Energie direkt in die Wertschöpfung der Leistungserstellung mitein. Ein großer Teil wird schließlich in Form von Abwärme an die Umgebung abgegeben. Diese, kann ausreichenden Exergieinhalt vorausgesetzt und sofern wirtschaftlich sinnvoll, bspw. durch Wärmerückgewinnungseinrichtungen wieder betriebsinternen Prozessen zugeführt und somit *recycled* werden. Im Falle der Erzeugung von überschüssiger Energie stellt auch der Verkauf an Dritte eine legitime Ausprägung der Energieabgabe dar. (s. POSCH 2011, S. 144–145)

Die mit dem innerbetrieblichen Energiefluss verbundenen wirtschaftlichen Gegebenheiten werden in Betrieben als Managementaufgabe mit Querverbundsfunktion betrachtet. (s. VDI 2007, S. 4) Betriebliches EM kann demnach auch als Management der Energiewirtschaft als einem funktionalen Teilbereich des Betriebs mit Fokus auf die Ressource Energie als notwendiger *Input* im Rahmen der betrieblichen Wertschöpfung betrachtet werden. (s. POSCH 2011, S. 147; VDI 2007, S. 6) Dabei wird die betriebliche Energiewirtschaft als offenes, sozio-technisches Subsystem des Gesamtunternehmenssystems betrachtet. (s. POSCH 2011, S. 147) Funktionen des EM können hierbei den einzelnen Ebenen der Energiewirtschaft in einer Organisation zugeordnet werden, die sich in Führungs-, Verbesserungs-, Realisierungs- und unterstützende Prozesse aufteilen. (s. VDI 2007, S. 4) Innerhalb einer Organisation beinhalten diese Managementaufgaben die realisierende Ebene (Produktion), das operative Moment (Planung / Steuerung) und die strategische Ausrichtung (Zieldefinition). (s. VDI 2007, S. 4) Somit hat EM grundsätzlich ebenfalls die Aufgabe, Verhaltensweisen zu analysieren und auf energiesparendes Verhalten hinzuwirken. (s. VDI 2007, S. 8) Außerdem hat ein EM auch die Aufgabe eine ökologisch und ökonomische Wertung verschiedener Energieträger und die Entscheidung über den jeweiligen Einsatz vorzunehmen. (s. VDI 2007, S. 8) Vorrangiges Ziel des EM ist folglich auf Basis der teilweise in Konkurrenz zueinanderstehenden Dimensionen Qualität, Kosten, Zeit und Sozioökologie den Beitrag zur Erreichung der Unternehmenszielsetzung zu maximieren. (s. POSCH 2011, S. 148–149) Dies gelingt durch geeignete Zielsetzungen die dieses Spannungsvieleck in ein ausgewogenes Verhältnis hinsichtlich der spezifischen dominanten Zielausprägungen der jeweiligen Unternehmen bringen, sodass diese ihrer übergeordneten strategischen Positionierung gerecht werden. (s. POSCH 2011, S. 149)

Betriebliches EM umfasst somit neben den Produktionsprozessen auch die Leistungen im Rahmen des technischen Gebäudemanagements (TGM). (s. POSSELT 2016, S. 45) Letztere sind im Gegensatz zu den Produktionsprozessen typischerweise zwar nicht die Kernprozesse eines Unternehmens, tragen aber dennoch essenziell zur Wertschöpfung bei. (s. POSSELT 2016, S. 44) Nach der Definition von DIN-Norm 32736 gehört TGM neben dem infrastrukturellen Gebäudemanagement (IGM) und dem kaufmännischen Gebäudemanagement (KGM) zu den drei Leistungsbereichen des GM. Das TGM umfasst dabei sämtliche Leistungen, die zum Betreiben und Bewirtschaften der baulichen und technischen Anlagen eines Gebäudes erforderlich sind. (s. DIN

2000, S. 1) Die Gesamtheit der allgemeinen Leistungen im Rahmen des TGM, sowie die spezifischen Leistungen im Energie- und Informationsmanagement zeigt Abbildung 12.

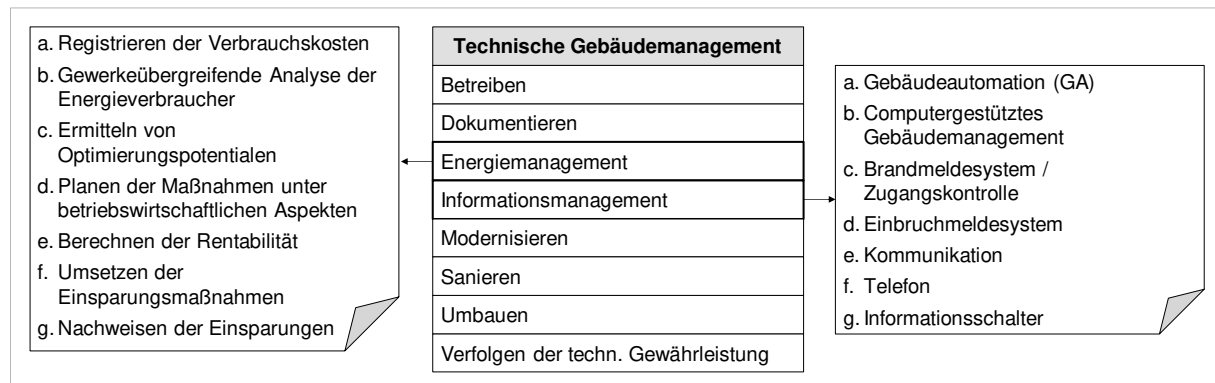


Abbildung 12: Gesamtheit der allgemeinen Leistungen des TGM (eigene Darstellung)

Unter Betreiben fallen sämtliche erforderlichen Leistungen zur wirtschaftlichen Nutzung der baulichen und technischen Anlagen. (s. DIN 2000, S. 3) Dies umfasst insbesondere sowohl den Betrieb von eigenen Erzeugungsanlagen wie bspw. Photovoltaikanlagen (PV-Anlage) als auch den Betrieb von lokalen Energiespeichern. Die Überwachungs-, Steuerungs-, Regel- und Optimierungseinrichtung zur automatischen Durchführung der technischen Funktionsabläufe bezeichnet die Gebäudeautomation (GA). (s. DIN 2017, S. 23)

Zentrale Elemente eines betrieblichen EM, dass alle energiewirtschaftlichen Aspekte des Unternehmens insbesondere des TGM und des Produktionsmanagements integriert berücksichtigen will, stellen definierte Prozesse, klare Verantwortlichkeiten und die informationsbasierte Transparenz über die energiebezogene Leistung dar. Diese können aufgrund der komplexen Zusammenhänge zwischen den Unternehmensprozessen und dem Energieeinsatz, dem Einfluss diffuser externer Einflussgrößen und wegen des hohen Datenaufkommens nicht mehr von menschlichen Entscheidern ohne ein EnMS mit Informationssystemunterstützung erreicht werden (Energieinformationssysteme).

2.3.2 Energiemanagement- und Energieinformationssysteme

Der Begriff **Energiemanagementsystem (EnMS)** umfasst die zur Verwirklichung des EM erforderlichen Organisations- und Informationsstrukturen einschließlich der hierzu benötigten technischen Hilfsmittel bspw. in Form von *Soft-* und *Hardware*. (s. VDI 2007, S. 8) Das **EM** bildet einen Regelkreis, indem ausgehend von Zielvorgaben eine Energieaufgabe erfüllt, das Ergebnis überprüft und schließlich bewertet werden kann, um anschließend die Zielvorgabe zu überprüfen und gegebenenfalls Anpassungen vorzunehmen. (s. VDI 2007, S. 8) Ein EnMS lässt sich in **einzelne Phasen** aufteilen, die sowohl funktionell als auch zeitlich den dazugehörigen Prognosezeiträumen zugeordnet werden können. Eine generische Struktur eines Managementsystems ist beispielhaft in Abbildung 13 dargestellt.

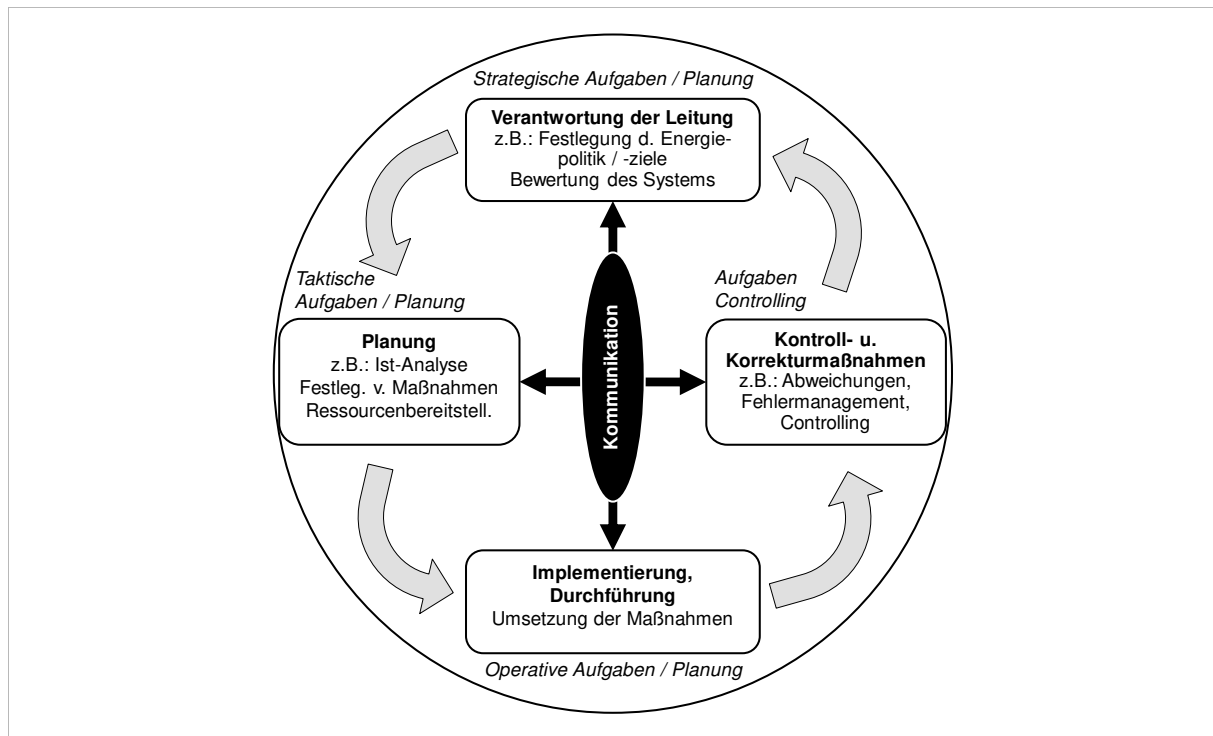


Abbildung 13: Wirkungskreis des EnMS (s. VDI 2007, S.9)

Mit DIN EN ISO 50001 existiert bereits eine Norm die Organisationen beim Aufbau von Systemen und Prozessen zur Verbesserung ihrer Energieeffizienz unterstützen soll. Die energiebezogene Leistung ist eine Komponente der Leistung des EnMS.

In Anlehnung an ISO / IEC 2382:2015 stellen **EnIS** folglich Informationsverarbeitungssysteme dar, die zusammen mit assoziierten organisationsbezogenen menschlichen, technischen und finanziellen Ressourcen sämtliche energierelevanten Informationen eines Betriebs verbreiten und liefern. EnIS ermöglichen die kontinuierliche Datenüberwachung und dienen somit insbesondere der Erfassung, Analyse und Aufbereitung aller energierelevanten Daten eines Betriebs, als Hilfsmittel für einzelne betroffene Mitarbeiter und als Kommunikationsplattform für den gesamten Betrieb. (s. SCHMID 2004, S. 133) EnIS repräsentieren somit Energiemanagementsoftware, die Funktionen eines EnMS in der Anwendung realisieren. EM erfordert demnach unabhängig von der Anwendung in der Bereitstellung Verteilung oder Anwendung von Energie verschiedenste wiederkehrende Funktionen, die je nach konkreter Aufgabenstellung vom Anwender für seine Zwecke genauer spezifiziert werden müssen. (s. VDI 2007, S. 16)

Aufgrund der zentralen Bedeutung des betrieblichen EM produzierender Unternehmen für den Gestaltungsprozess von EnIS wird neben der allgemeinen Einführung in diesem Kapitel, in Kapitel 5 terminologisch-deskriptiv ein Referenzrahmen modelliert, der in detaillierter Form die begrifflichen Zusammenhänge und die fundamentalen Elemente des Untersuchungsbereichs beschreibt. Nichtsdestotrotz kann auf Basis der bisherigen Ausführung in den vorangegangenen Kapiteln bereits die Abgrenzung des Untersuchungsbereiches dieser Arbeit erfolgen.

2.4 Abgrenzung des Untersuchungsbereichs

Für jede Untersuchung ist das Ausblenden bzw. Ignorieren einzelner Phänomene der Realität, um den Betrachtungsschwerpunkt auf andere wesentlichere Ausprägungen des Untersuchungsbereichs legen zu können, unvermeidlich. (s. MALONE U. CROWSTON 1994, S. 100) Folglich wird für diese Untersuchung eine **Eingrenzung** vorgenommen, für die die Ergebnisse der Untersuchung eine Erklärungs- bzw. Deutungsrelevanz aufweisen. Dies hat möglicherweise zur Folge, dass die Ergebnisse dieser Untersuchung in einem Anwendungskontext außerhalb des hier definierten, lediglich eine eingeschränkt bzw. keine Gültigkeit besitzen. (s. BRANDENBURG 2016, S. 25) Um die bis hierher vollzogenen Abgrenzungen im Rahmen der Erläuterungen innerhalb der Einleitung in Kapitel 1 sowie der begrifflichen Fundierungen in Kapitel 2 einfacher einordnen zu können, werden diese in diesem Unterkapitel in grafischer Form zusammengefasst (s. Abbildung 14). Dort wird zwischen Zielgruppe und Untersuchungsbereich unterschieden und die Merkmale und Ausprägungen des Gültigkeitsbereichs als morphologisches Merkmalsschema zusammengefasst.

Merkmale		Merkmalsausprägungen								
Zielgruppe	Betriebliche Aktivität	Produktion von Gütern materieller Art				Bereitstellung von Gütern immaterieller Art				
	Industrielle Produktionstechnik	Fertigungstechnik		Verarbeitungstechnik			Verfahrenstechnik			
	Betrachtungsebene Fabriktyp	Markt		Unternehmen		Prozess		Ressourcen		
	Energiemanagementausprägung	Betriebliches Energiemanagement	EM im Bereich der Erzeugung	EM im Bereich der Verteilung	EM im Bereich der Energieanwendung	Kommunales Energiemanagement	EM im Gebäudemanagement			
Untersuchungsbereich	Unternehmensstruktur	Aufbauorganisation		Informationssysteme		Ressourcen		Kultur		
	Beschreibungsmotivation	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung		Gestaltung des gesetzlichen Rahmens		Harmonisierung / Normung		Informationssystemgestaltung		
	Betrachtungsaspekt IM	Führungsaufgaben		Management der Informationswirtschaft		Management der Informationssysteme		Management der Informations- und Kommunikationstechnik		
	Betrachtete Teilarchitektur	Unternehmensarchitektur	Geschäftsarchitektur	Informationssystemarchitektur	Anwendungsarchitektur	Softwarearchitektur	Datenarchitektur	Techn. Infrastrukturarchitektur		
	Modellzweck	Beschreibung			Erklärung			Gestaltung		
	Betrachtungsebene	Organisatorisch			Informatorisch			elektrisch		
	Referenzmodelltyp	Generisch / Anwendungsunabhängig		Spezifisch / Anwendungsunabhängig		Generisch / Anwendungsabhängig		Spezifisch / Anwendungsabhängig		
	Betrachtete Energieträger	Mineralöle		Gase		Strom	Fernwärme	Kohlen	Sonstige Brennstoffe	
	Herleitung / Überprüfung	Sachlogisch			Empirische Erhebung			Fallstudien		
Legende		Wird betrachtet		Wird teilweise betrachtet			wird nicht betrachtet			

Abbildung 14: Abgrenzung des Untersuchungsbereichs (eigene Darstellung)

Zusammenfassend stellen somit sämtliche Unternehmen deren betriebliche Aktivitäten die Produktion von Gütern materieller Art durch Anwendung von Fertigungstechniken umfassen und die darüber hinaus ihr betriebliches EM auf Fabrikebene mit Fokus auf Ressourcen weiterentwickeln wollen, die zentrale Zielgruppe dieser Arbeit dar. Der Untersuchungsbereich deckt innerhalb der Unternehmensstruktur die Bereiche IS und

Ressourcen ab. Innerhalb der Ressourcen erfolgt eine weitere Eingrenzung auf elektrische Energie (Strom). Somit fällt der auf diese Weise bereits eingegrenzte Untersuchungsbereich innerhalb des IM in den Betrachtungsaspekt des Managements der IS. Erklärtes Ziel dieser Arbeit ist die **Gestaltung** eines quasi normungsfähigen Referenzmodells (RM) einer EnISA für produzierende Unternehmen. Der Modellzweck besteht aus der Beschreibung und Gestaltung auf informatorischer sowie organisatorischer Betrachtungsebene. RM lassen sich hinsichtlich zweier Dimensionen unterscheiden. Die eine Dimension bewertet die Abhängigkeit des Modells vom jeweiligen Einsatzgebiets, wobei sich die Abhängigkeit in diesem Zusammenhang auf die Übertragbarkeit domänenspezifischer Charakteristika auf andere Anwendungsgebiete bezieht. Die andere Dimension bewertet die Spezifität des Modells in Bezug auf den Abstraktionsgrad der Modellierungsmethoden. (s. FETTKE U. LOOS 2003, S. 41–42) RM des Typs 1a, generisch und anwendungsunabhängig, beschreiben formale Merkmale eines Modells ohne Bezug zu den Anwendungsgebieten zu geben sowie ohne eine Eingrenzung auf bestimmte Modellierungssprachen vorzunehmen. Typ 1b, spezifisch und anwendungsunabhängig, beschreibt RM, für die spezifische Merkmale unter Annahme bestimmter Modellierungssprachen vereinbart wurden ohne den Anwendungsbereich einzuschränken. Als Typ 2a, generisch und anwendungsabhängig, werden RM bezeichnet, die auf der Ebene der Modellierungssprachen unspezifisch bleiben aber jedoch anwendungsbezogene Merkmale enthalten. RM vom Typ 2b, spezifisch und anwendungsabhängig, weisen schließlich konkrete Merkmale eines Anwendungsbereichs auf und verlangen zudem die Anwendung spezifischer Modelltypen. (s. DIETRICH 2007, S. 30) Die Beschreibungsmotivation für das im Rahmen dieser Arbeit noch zu entwickelnde RM des Typs 2a lässt sich explizit aus der Zielsetzung ableiten und umfasst die Informationssystemgestaltung mit zusätzlichem Anspruch auf Normungs- und Harmonisierungswirkung der erzielten Ergebnisse. Vor diesem Hintergrund ist die Herleitung und Überprüfung der Erkenntnisse von besonderer Bedeutung, sodass eine sachlogische Herleitung neben fallstudienbasierter Überprüfung Anwendung finden soll. Ein Teil der soeben genannten Abgrenzungsmerkmale werden darüber hinaus nochmals zur Strukturierung der Literaturanalyse in Kapitel 3.3.4 als Vergleichskriterien herangezogen.

3 Stand der Erkenntnisse

Der Stand der Erkenntnisse im Hinblick auf die Beschreibung und Gestaltung von EnISA für produzierende Unternehmen wird durch eine Literaturanalyse aufgearbeitet. Hierzu wird zunächst die generelle Vorgehensweise und die formalen Anforderungen an die Literaturanalyse beschrieben. Anschließend werden bereits existierende und für den Untersuchungsbereich dieser Arbeit wesentliche Beiträge in Form von Normen und ISA dargestellt und hinsichtlich ihres potenziellen Beitrags zur Zielsetzung diskutiert. Teil des abschließenden Kapitelfazits ist schließlich die Ableitung und Konkretisierung des Handlungsbedarfs.

3.1 Vorgehensweise und Struktur der Literaturanalyse

Die Literaturanalyse verfolgt das **Ziel** relevante Arbeiten für die Beschreibung und Gestaltung einer **generischen EnISA** für produzierende Unternehmen zu identifizieren und auszuwerten. Aufgrund der Bedeutung für diese Arbeit werden zunächst relevante Normen recherchiert, sodass darauf aufbauend die sich anschließende Literaturrecherche konkretisiert werden kann. Die Literaturanalyse wird als **Desk Research** iterativ durchgeführt. Zuerst werden Vergleichskriterien im Hinblick auf die dieser Arbeit zugrunde liegenden **Forschungsfragen entwickelt**. Anschließend werden sukzessive **relevante Arbeiten identifiziert** und eingeordnet. Das Maß für die Beurteilung der Relevanz fundiert in erster Linie auf möglichst großer inhaltlicher **Nähe zur Problemstellung**, Qualität und Aktualität der Publikationen. (s. DIRLENBACH 2009, S. 67) Die Vergleichskriterien werden mit dem Ziel konzipiert eine adäquate Auswahl zu repräsentieren, die ein möglichst präzises Bild des Standes der Erkenntnisse zu zeichnen im Stande sind. Für die Vergleichskriterien wird daher im Wesentlichen auf eine Auswahl der Abgrenzungsmerkmale aus Kapitel 2.4. zurückgegriffen. Darüber hinaus wird als weiteres Vergleichskriterium bei der Analyse von ISA-Rahmenwerken der Modellzweck herangezogen und untersucht ob ein beschreibendes, erklärendes und gestalterisches Ziel verfolgt wird. Eine wesentliche Aufgabe von Informationssystemarchitekturrahmenwerken im Unternehmenskontext besteht darin komplexe Zusammenhänge der **Realwelt** handhabbar zu machen indem systematisch strukturierende Elemente eingesetzt werden. (s. MATTHES 2011, S. 33) Neben strukturierender Sichten und Ebenen ist auch die Berücksichtigung von Beziehungen zwischen Ebenen eine Art der **Komplexitätsreduktion** (s. MATTHES 2011, S. 33) und wird im Rahmen dieser Arbeit als weiteres Vergleichskriterium herangezogen.

3.2 Normenrecherche

Abgeleitet aus Zielsetzung dieser Arbeit, ein quasi normungsfähiges RM einer EnISA für produzierende Unternehmen zu gestalten wurde im Rahmen der Literaturanalyse in enger Zusammenarbeit mit dem Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN) . im Zuge der **Forschungsprojekte Polar und Finesce** (s. Anhang A1) zunächst eine Struktu-

rierung der methodischen Grundlagenarbeit und eine Recherche zu bereits bestehenden Normen, Spezifikationen sowie geplanten und laufenden Normungs- und Standardisierungsaktivitäten durchgeführt. Das **DIN e.V.** ist laut eines Vertrages mit der Bundesrepublik Deutschland die zuständige deutsche Normungsorganisation für die europäischen und internationalen Normungsaktivitäten. Normen repräsentieren Dokumente die mit Konsens erstellt und von einer anerkannten Institution angenommen wurden. Diese legen für die allgemeine und wiederkehrende Anwendung von Regeln, Leitlinien oder Merkmale für Tätigkeiten oder deren Ergebnisse fest. Innerhalb der **Normen** wird in einem gegebenen Zusammenhang ein optimaler Ordnungsgrad angestrebt (s. DIN EN 45020:2007). In Abgrenzung zu Normen stellen **Spezifikationen** technische Regeln ohne zwingende Einbeziehung aller interessierten Kreise und ohne Verpflichtung zur Beteiligung der Öffentlichkeit dar (s. DIN 820-3:2009). Der Erarbeitungsprozess von Spezifikationen zur Unterscheidung von der voll konsensbasierten Normung wird im Deutschen als Standardisierung bezeichnet.

Zur Vorbereitung der **Standardisierungsaktivitäten** wurde eine Recherche der insbesondere in Deutschland bestehenden Normen, Spezifikationen sowie weiteren relevanten technischen Regeln durchgeführt, um anhand dieser Übersicht Normungsbedarf für neue Normen und Spezifikationen zu identifizieren und ableiten zu können. Die **Normenrecherche** erfolgte mit Hilfe der Referenzdatenbank Perinorm. **Perinorm** enthält die wichtigsten Fakten zu nationalen, europäischen und internationalen Normen und technischen Regelwerken inklusive aller relevanten Rechtsvorschriften. Darüber hinaus sind auch Informationen zu maßgeblichen US-amerikanischen Normenwerken sowie zu australischen, japanischen und kanadischen Normen enthalten. Perinorm integriert Informationen aus den Archiven von über 20 nationalen und internationalen Normungsinstituten und umfasst über 1.500.000 Datensätze. Perinorm ist in enger Kooperation mit Normungsinstituten und Anwendern in aller Welt entstanden. Die Perinorm-Recherche ermöglicht individuell differenzierbare Suchabfragen und wird damit verschiedensten Anforderungen gerecht. Zunächst erfolgte eine Umfrage innerhalb des Projektkonsortiums von Polar und Finesce nach relevanten Stichwörtern (*keywords*). Anschließend erfolgte mit Hilfe dieser Stichwörter eine entsprechende Recherche. Mit wenigen Ausnahmen beschränkte sich die Recherche auf gültige Dokumente. Zurückgezogene oder historische Dokumente wurden in erster Linie nicht berücksichtigt. Ergab die Recherche mit den entsprechenden *keywords* keine Treffer mit gültigen Dokumenten, wurde zum Teil (z.T.) nach zurückgezogenen Dokumenten recherchiert. Die Übersicht beschränkt sich nicht nur auf rein nationale Dokumente, sie berücksichtigt auch die relevanten europäischen Normen (DIN EN), die internationalen Normen, die in Deutschland übernommen wurden (DIN ISO, DIN EN ISO) sowie einige weitere internationale Normen und ausländische Normen sowie Regeltexte, die für diese Arbeit von Relevanz sind. Die vollständige Übersicht der Rechercheergebnisse findet sich im Anhang A3. Aufbauend auf der Normenliste und den generierten Ergebnissen dieser Recherchearbeit konnte der nachhaltige Wissens- und Technologietransfer durch die Erstellung einer DIN-Spezifikation (s. DIN SPEC 91327) bereits zu

einem früheren Zeitpunkt dieser Arbeit realisiert werden. Auf diese Weise flossen die in Kapitel 6 beschriebenen Zwischenergebnisse bereits in die Standardisierung ein und bilden somit die Ausgangsbasis für die weiteren Untersuchungen mit dem Ziel eine quasi-normungsfähige Reife der Ergebnisse zu erreichen.

Die Normenrecherche führte erwartungsgemäß zwar nicht zu der Beantwortung der Forschungsfrage dieser Arbeit, **bestätigte** aber die vorhandene **praktische und wissenschaftliche Lücke** abermals und führte so zu der Erkenntnis, dass eine Aufteilung der parallel stattfindenden Literaturanalyse in Bezug auf bereits existierende Arbeiten zu ISA bzw. ISA-Rahmenwerken in domänenabhängige (Produktion und *Smart Grid*) und domänenunabhängige Arbeiten zweckmäßig ist.

3.3 Informationssystemarchitekturen und Architekturrahmenwerke

Parallel zur Normenrecherche erfolgte, aufgrund der **Zielsetzung** dieser Arbeit ein **RM** einer **EnISA** zu entwickeln, eine Literaturanalyse zur Überprüfung inwiefern bereits ISA im Kontext EM existieren bzw. welche Arbeiten in diesem Zusammenhang relevant sind. Daher werden im Folgenden Arbeiten analysiert auf die bei der Entwicklung der anvisierten **EnISA** zurückgegriffen werden kann. In diesem Zusammenhang sind vor allem Architekturen aus dem Produktions- und *Smart Grid*-Umfeld sowie domänenunabhängige ISA und ISA-Rahmenwerke von Interesse.

Die **Komplexität** menschengemachter IS ist heute auf ein bisher nie dagewesenes Niveau angestiegen und stellt Organisationen folglich vor immer größer werdende Herausforderungen im Hinblick auf die Entwicklung und den Einsatz neuer praktikabler Systeme. (s. ISO / IEC / IEEE 2011, v) Entwickler setzen deshalb in diesem Zusammenhang zunehmend auf Konzepte, Leitsätze und Vorgehensweisen zur systematischen **Gestaltung** von Systemen auf Basis von **Architekturen**. (s. ISO / IEC / IEEE 2011, S. 3) Die ersten *Frameworks* entstanden bereits im Zuge von Forschungsprojekten in den 1970er Jahren wie bspw. das CIMOSA-, GIM-GRAI und PERA-*Framework*, die heute zwar kaum noch praktische Bedeutung besitzen jedoch z.T. die Grundlagen für die nachfolgend beschriebenen *Frameworks* lieferten. (s. AIER ET AL. 2008, S. 292)

3.3.1 Produktion

Im Umfeld der Produktion und des *Internet of Things* (IoT) haben sich in den letzten Jahren **drei** wesentliche **Referenzarchitekturen** herauskristallisiert. Mit dem RAMI 4.0 aus DIN SPEC 91345 wurde eine dreidimensionale Landkarte beschrieben mit der sichergestellt werden soll, dass sich alle Teilnehmer von I4.0 verstehen können. (s. PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 2016, S. 9) **RAMI 4.0** ist eine *Service*-orientierte Architektur und führt alle Elemente und IT-relevanten Komponenten in einem Schichten- und Lebenszyklusmodell zusammen. (s. PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 2016, S. 10) Komplexe Zusammenhänge können auf diese Weise in kleinere Abschnitte aufgegliedert werden, indem durch Kombination aller drei Achsen zu jedem Zeitpunkt im Lebenslauf eines

aspects der jeweils relevante Aspekt dargestellt wird. (s. JOCHEM ET AL. 2016, S. 2) Das Schichtenmodell besteht aus drei Achsen. Die Hierarchie-Achse beinhaltet eine hierarchische Anordnung der Elemente *Product*, *Field Device*, *Control Device*, *Station*, *Work Centers*, *Enterprise* und *Connected World* die von der internationalen Normenreihe über die Integration von Unternehmens-EDV und Leitsystemen (s. IEC 62264-1) übernommen wurden und darüber hinaus an IEC 61512 angelehnt ist. Hierbei wurden *Product* und *Connected World* zusätzlich eingeführt um sämtliche Aspekte von I4.0 abbilden zu können. (s. JAKOVLJEVIC ET AL. 2017, S. 210–211)

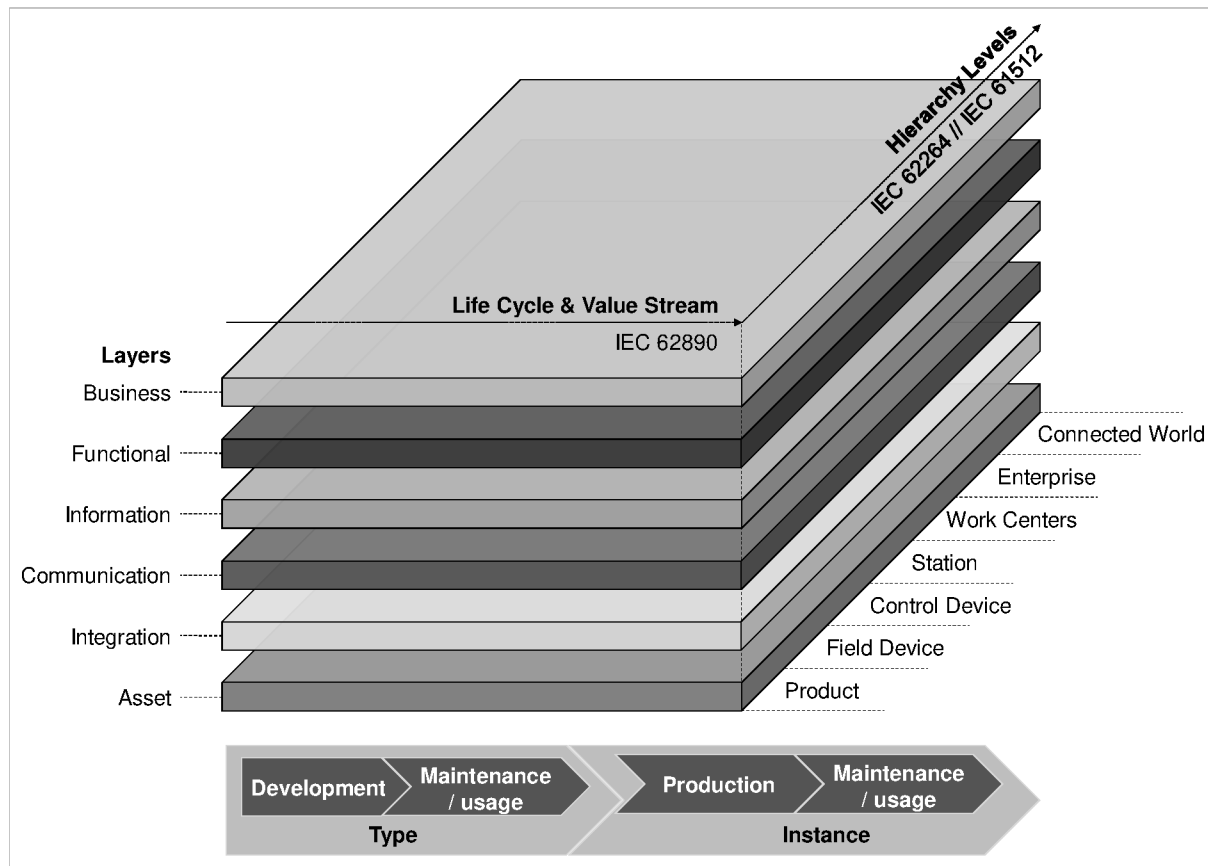


Abbildung 15: Referenzarchitekturmodell I4.0 (RAMI 4.0)
(s. DIN SPEC 91345:2016, S.19)

Im Kern bildet die Hierarchie-Achse somit die Automatisierungspyramide mit den unterschiedlichen Komponenten, dem Produkt und der Außenwelt (*Connected World*) ab. (s. JOCHEM ET AL. 2016, S. 3) Das Produkt ist dabei explizit Teil des Netzwerks in das sämtliche Funktionen verteilt werden können, da alle Teilnehmer über die Hierarchieebenen hinweg kommunizieren und miteinander vernetzt sind. (s. PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 2016, S. 12) Die Architektur-Achse liefert sechs Schichten zur Darstellung der für die Rolle des *Assets* relevanten Informationen. (s. JOCHEM ET AL. 2016, S. 2) *Business* steht für die Organisation und die Geschäftsprozesse. *Functional* beschreibt sämtliche Funktionen eines *Assets*. Unter *Information* fallen sämtliche notwendigen Daten. Innerhalb *Communication* erfolgt der Zugriff auf Informationen. *Integration* stellt den Übergang von der physischen in die digitale Welt her. *Asset* ist das real existierende Ding in der physischen Welt. (s. PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 2016, S.

13) Die Verlauf-Achse stellt den Lebenslauf eines *Assets* und des Wertschöpfungsprozesses in Anlehnung an die Norm IEC 62890 dar. Sie umfasst die Entwicklung und setzt sich über die Produktion bis hin zum Einsatz sowie zur Instandsetzung fort. (s. JOCHEM ET AL. 2016, S. 3) *Security* stellt keine separate Schicht oder zusätzliche Hierarchieebene dar, sondern ist über den gesamten Lebenszyklus auf allen Schichten und Hierarchieebenen wirksam. (s. JOCHEM ET AL. 2016, S. 3)

Mit der *Industrial Internet Reference Architecture (IIRA) for IIoT systems* wurde eine weitere Referenzarchitektur für das Internet der Dinge im Produktionskontext beschrieben. Diese baut auf dem *Industrial Internet Architecture Framework (IIAF)* auf und definiert *Viewpoints* für *Business*, *Usage*, *Functional* sowie *Implementation* und soll auf diese Weise Anleitung und Unterstützung in der Entwicklung, Dokumentation, Kommunikation und Einsatz von IIoT-Systemen liefern. (s. LIN ET AL. 2017, S. 6) Hierbei lehnt sich der Ansatz an die internationale Norm ISO IEC IEEE 42010:2011 an. Die Architekturbeschreibung und Darstellung der IIRA ist generisch und auf einem hohen Abstraktionsgrad um die erforderliche allgemeine Industrieanwendbarkeit zu untermauern. (s. LIN ET AL. 2017, S. 10) Die *Viewpoints* sind hierarchisch angeordnet mit *Implementation* als unterste Schicht unter *Functional*, *Usage* und schließlich *Business* als oberste Schicht. Im *Business Viewpoint* werden sämtlichen Belangen zur Identifikation der *Stakeholder* und deren Vision, Werte und Ziele beim Umsetzen von IIoT-Systemen in ihrem betriebswirtschaftlichen und regulatorischen Zusammenhang Beachtung geschenkt. (s. LIN ET AL. 2017, S. 15) Der *Usage Viewpoint* beschäftigt sich damit wie ein IIoT-System die Schlüsselfähigkeiten zur Erreichung der im *Business Viewpoint* identifizierten Ziele realisiert. (s. LIN ET AL. 2017, S. 22) Mit dem *Functional Viewpoint* werden funktionale Komponenten in einem IIoT-System, seine Struktur und Wechselbeziehung, Schnittstellen und gegenseitige Beeinflussung dieser, sowie die Beziehung und Wechselwirkungen des Systems mit externen Elementen seiner Außenwelt betrachtet, um den Einsatz und die Aktivitäten des Gesamtsystems zu unterstützen. (s. LIN ET AL. 2017, S. 16) Durch den *Implementation Viewpoint* werden die benötigten Technologien zur Umsetzung der funktionalen Komponenten des *Functional Viewpoints* sowie die Kommunikationsschemata und deren Abläufe während ihres Lebenszyklus beschrieben. (s. LIN ET AL. 2017, S. 16)

Mit der sich derzeit noch im Entwicklungsstatus befindlichen Entwurf einer internationalen Norm *Internet of Things Reference Architecture (IoT RA)* (s. ISO / IEC CD 30141) sollen zukünftig allgemeine Systemcharakteristika, ein Konzeptmodell, ein RM und Architektursichten für das IoT definiert werden. Indem dieser Literaturanalyse zugrunde liegenden Version des Dokuments (s. ISO / IEC CD 30141:2016(E)) wurden bereits 33 Charakteristika identifiziert, die sich in neun Gruppen aufgliedern und auf diese Weise IoT-Systeme beschreiben können sollen. Das Konzeptmodell liefert im Wesentlichen ein generisch, abstraktes und einfaches Gesamtmodell welches die gemeinsame Struktur und Definition zur Beschreibung verschiedener Konzepte für IoT-Systemelemente und ihrer Beziehungen untereinander veranschaulicht. Darüber hinaus bietet es mit IoT *Entities and Domain*, *Identity*, *Services*, *Network*, *IoT Device* and

IoT Gateway, *IoT-User* und *Virtual Entity*, *Physical Entity* and *IoT Device* fünf ausdetaillierte Konzepte. ISO / IEC CD 30141:2016(E) beinhaltet außerdem zwei RM, das eine *Entity-based* und das andere *Domain-based*. Das *Entity-based* RM veranschaulicht wie Benutzer, Systeme, Netzwerke, *Gateways*, Geräte und materielle Elemente miteinander in Beziehung stehen. Das *Domain-based* RM bildet die Beziehungen zwischen den sechs definierten Domänen ab (s. ISO / IEC 2016, S. 1–73)

Das Internet of Things-Architecture Architectural Reference Model (**IoT-A ARM**) besteht aus den vier Bestandteilen Vision, Business Scenarios & Stakeholders, IoT Reference Model und IoT Reference Architecture. (s. BAUER ET AL. 2013a, S. 7) Unter Vision werden die Grundprinzipien, Annahmen und Motivationen zusammengefasst die dem IoT-A ARM zugrunde liegen. Darüber hinaus behandelt sie die Art und Weise wie das ARM eingesetzt, welche Methoden zur Modellierung angewendet und welche Geschäftsszenarien und stakeholder angesprochen werden können. (s. BAUER ET AL. 2013a, S. 7) Als Anforderungen der Stakeholder definierte Geschäftsszenarien stellen die Treiber für die Architekturarbeiten dar. (s. BAUER ET AL. 2013a, S. 7) Auf diese Weise liefert das IoT Reference Model das größte Abstraktionslevel für die Definition des IoT-A ARM. Es fördert somit ein gemeinsames Verständnis der IoT Domäne. Das Reference Model besteht aus verschiedenen Untermodellen indem das IoT Domain Model die zentrale Rolle einnimmt. (s. BAUER ET AL. 2013b, S. 114) Dieses beschreibt sämtliche relevanten Konzepte die für das IoT relevant sind. Sämtliche anderen Untermodelle, sowie die IoT Reference Architecture basieren auf den Konzepten des IoT Domain Modells. Auf diese Weise definiert das IoT Information Model die Beziehungen und Attribute der IoT bezogenen Informationen in einem IoT-System auf einem konzeptionellen Niveau ohne darauf einzugehen wie sich diese im Detail darstellen. Das IoT Functional Model definiert wiederum Gruppen von Funktionalitäten, die im Wesentlichen auf den Schlüsselkonzepten des IoT Domain Modells beruhen. (s. BAUER ET AL. 2013b, S. 114) Das IoT Communication Model führt Konzepte für den Umgang mit der Komplexität der Kommunikation in heterogenen IoT Umgebungen ein. (s. BAUER ET AL. 2013b, S. 115) Das letzte Untermodell stellt schließlich das Trust, Security and Privacy Model dar, dass sämtliche in diesem Zusammenhang relevante Funktionalitäten, deren Abhängigkeiten und Wechselbeziehungen beinhaltet. (s. BAUER ET AL. 2013b, S. 115) Die IoT Reference Architecture bildet eine Referenz für die konforme Gestaltung von IoT Architekturen. Auf diese Weise liefert es Sichten und Perspektiven hinsichtlich verschiedener architekturbezogenen Aspekten die für Stakeholder des IoT relevant sind. (s. BAUER ET AL. 2013a, S. 8) Auf diese Weise liefert die IoT Reference Architecture eine Functional View, eine Information View und eine Deployment and Operation View. (s. BAUER ET AL. 2013b, S. 163–208) Dabei fokussiert sich die Erstellung der IoT Reference Architecture eher auf abstrakte Sets von Mechanismen als auf konkrete Anwendungsarchitekturen. (s. BAUER ET AL. 2013a, S. 8)

Digitalisierung und IoT spielen neben der Produktion auch in der zunehmend dezentralisierten Energiewirtschaft eine fundamentale Rolle. Aus diesem Grund wird im nächsten Unterkapitel ein Perspektivenwechsel herbeigeführt und die Aktivitäten im Kontext der ISA-Entwicklungen aus Sicht des intelligenten Stromnetzes analysiert.

3.3.2 *Smart Grid*

ISA werden zunehmend auch im Kontext des *Smart Grids* untersucht. Zumeist orientieren sie sich an abstrakten Modellen wie dem *Smart Grid Conceptual Reference Model* des *National Institutes of Standards and Technology* (NIST) und den Interoperabilitätsebenen des *GridWise Architecture Council* (GWAC). (s. FLUHR 2014, S. 49) Im NIST-Modell werden mit *Bulk, Generation, Transmission, Distribution, Customer, Markets, Operations*, sowie *Service Provider* sieben Domänen des *Smart Grids* definiert. Darüber hinaus identifiziert es die Akteure aller Domänen und verbildlicht die zugehörigen Strom- und Informationsflüsse. (s. NIST 2012, 40ff) *Basic Connectivity, Network Interoperability, Syntactic Interoperability, Semantic Understanding, Business Context, Business Procedures, Business Objectives* sowie *Economic / Regulatory Policy* bilden die durch GWAC definierten Interoperabilitätsebenen. (s. GWAC 2008, 23f) Diese repräsentieren jeweils eine der Interoperabilitätskategorien *Organizational, Informational* sowie *Technical* und werden um Querschnittsaufgaben ergänzt. (s. GWAC 2008, 29ff) NIST und GWAC stellen fundamentale Vorarbeiten für eine Vielzahl verschiedener *Smart-Grid* Architekturen und –rahmenwerke dar.

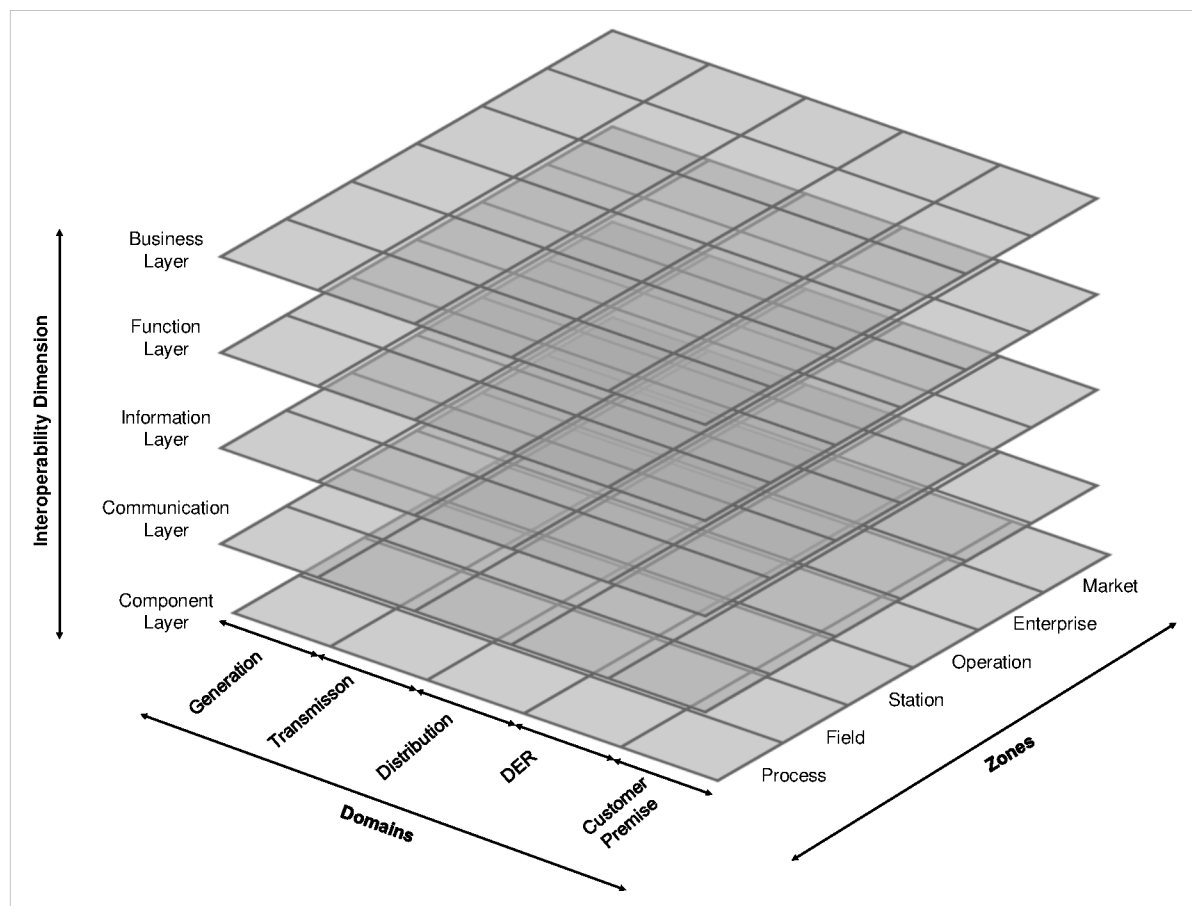


Abbildung 16: SGAM Framework (s. SGCG 2012, S.30)

So auch für das *Smart Grid Architecture Model (SGAM) Framework*, dass als Teil einer technischen Referenzarchitektur zur IKT-Unterstützung in *Smart Grids* als Rahmen für europäische Standardisierungsinstitutionen dienen soll und *Smart Grids*-Standards kontinuierlich weiterzuentwickeln. (s. SGCG 2012, S. 5) Das Rahmenwerk dient hierbei insbesondere zur Einordnung verschiedener Anwendungsfälle aus technischer, gesellschaftlicher, sicherheits- und standardbezogener Sicht und erlaubt die Identifikation gegebenenfalls vorhandener Lücken. (s. SGCG 2012, S. 8)

Das SGAM *Framework* bildet eine dreidimensionale Architektur, die in einer Dimension fünf Interoperabilitätsschichten in Form von *Business, Function, Information, Communication* und *Component* und in den beiden weiteren Dimensionen *Domains* und *Zones* dort repräsentieren *Zones* die räumliche und datenbezogene Aggregation zum Management elektrischer Abläufe die sich in *Process, Field, Station, Enterprise und Market* unterteilen und *Domains* die vollständige Energieumwandlungskette mit den Schritten *Bulk Generation, Transmission, Distribution, DER und Customers Premises*. (s. SGCG 2012, S. 15) Das SGAM *Framework* ist Bestandteil der *Smart Grid Reference Architecture (SGRA)* deren Hauptbestandteile neben diesem, das *European Conceptual Model*, die *SGAM Methodology* und die *Architecture Viewpoints* sind. (s. SGCG 2012, S. 14–15) Das *European Conceptual Model* liefert ein generisches *Framework* für das *Smart Grid*, das sieben generische *Domains* definiert und sämtliche Kommunikations- und Energieflüsse zeigt die die einzelnen *Domains* verbinden und wie diese zueinander in Verbindung stehen. Im Kern bildet es auf diese Weise eine Erweiterung des NIST Modells, das den EU spezifischen Anforderungen Rechnung trägt. (s. SGCG 2012, S. 14) Auf diese Weise ist das EU *Conceptual Model*, als das allen übrigen Modellen des *Frameworks* übergeordneten Modells zu verstehen, das als Brücke zwischen den ihm untergeordneten Modellen innerhalb der verschiedenen *Viewpoints* der *Smart Grid RA* fungiert. (s. SGCG 2012, S. 15) Die Anwendung der *SGAM Methodology* auf das SGAM *Framework* ermöglicht die Einstufung von verschiedenen *Smart Grid* Anwendungsfällen und eine Beurteilung dieser hinsichtlich der Unterstützung durch vorhandene Standards in Form einer *Gap-Analyse*. (s. SGCG 2012, S. 15) Die *Architecture Viewpoints* beinhalten eine endliche Zusammenstellung von Wegen, Abstraktionen verschiedener *Stakeholders Views* auf ein *Smart Grid System* darzustellen. Hierbei wurden mit *Business, Functional, Information und Communication* insgesamt vier *Viewpoints* identifiziert. (s. SGCG 2012, S. 15)

Mit dem IEEE 2030 *Smart Grid interoperability reference model* (s. IEEE 2030 SGIRM) steht ein weiterer Ansatz zur Verfügung, der im Kern auf dem NIST *Framework* aufbaut, dessen Fokus aber vielmehr auf einem System-Level-basierten Vorgehen beruht, dass ein vertieftes Verständnis für die Interoperabilität von Komponenten innerhalb eines *Smart Grid* herstellen soll. (s. IEEE 2011, iv) IEEE 2030 SGIRM stellt demnach eine konzeptionelle Darstellung der *Smart Grid* Architektur aus den drei Perspektiven *Power Systems, Communications and Information Technology* dar. Es repräsentiert demnach eine Zusammenstellung beschrifteter Diagramme die standardbasierte Architekturnrichtungen für die Integration von Energiesystemen mit Kommunikations-

und Informationstechnologieinfrastrukturen anbieten, die sich derzeit im *Smart Grid* herauskristallisieren. (s. IEEE 2011, S. 21) Für jede Perspektive werden Entitäten und Schnittstellen beschrieben. Die Energiesystemperspektive ist gemäß den Domänen des NIST-Modells strukturiert. (s. IEEE 2011, S. 28–41) In der Kommunikationsperspektive werden die 23 wichtigsten kommunizierenden Elemente den Domänen zugeordnet. (s. IEEE 2011, S. 42–64) Innerhalb der Informationstechnologieperspektive werden insgesamt 28 Funktionen identifiziert und ebenfalls den Domänen zugeordnet. (s. IEEE 2011, S. 65–81)

Der SGRA liegt ein vierstufiger Evolutionsprozess zugrunde, der die für Energieversorgungsunternehmen (EVU) typischen *Smart Grid* Transformationsschritte aufzeigt. Die erste Stufe beschreibt die derzeit vorherrschende Architektur von Netzsystemen als Zusammenstellung von Silos. Diese Siloarchitekturen bildeten das Gestaltungsmittel für viele Energieversorger innerhalb der letzten Jahrzehnte, da das zugrunde liegende Geschäftsmodell im Wesentlichen damit auskam einzelne Anforderungen der Fachabteilungen zu erfüllen, ohne die Notwendigkeit zu besitzen über die Fachabteilungsgrenzen integriert zu sein. (s. SGRA 2011, S. 7–8) In der zweiten Stufe streben EVU demnach eine verstärkte Integration des *Backoffice* und Anwendungen über einen gemeinsamen *Service Bus* an. Die Einführung eines solchen *Service Buses* geht unmittelbar mit steigenden Anforderungen an standardisierte Datenmodelle und IKT *Services* einher, da mit einem einheitlichen *Service Bus* alleine lediglich ein gemeinsames Kommunikationsgerät zur Verfügung stehen würde, dass nur wenig zur Auflösung der Schwächen der Siloarchitekturen beitragen könnte. (s. SGRA 2011, S. 8) Die dritte Stufe sieht eine Transformation hin zu einer einheitlichen und gemeinsam genutzten Infrastruktur vor, die durch die Ablösung von einer Serie von Einzelzwecknetzwerken hin zu einer konvergierenden Kommunikationsinfrastruktur realisiert werden kann. (s. SGRA 2011, S. 9) Die vierte und letztlich höchstmögliche Stufe resultiert schließlich in einer ultimativen *Smart Grid* ICT Architektur und beruht auf einer geschichteten offenen *Standard Service* Architektur, die Ressourcen über funktionale und organisationale Grenzen hinweg zur Verfügung stellt. (s. SGRA 2011, S. 10) Die SGRA nutzt für sein *Smart Grid Conceptual Model* die *Domains* des *NIST Frameworks* und erweitert diese um *Communication, Security, Data Management, Analytics, Smart Grid Control und System Management*. Zusammen bilden diese einen Service-orientierten Prozess ab der den intrinsischen Charakteristika einer geschichteten *Service*-Architektur Rechnung trägt. (s. SGRA 2011, S. 14) Die SGRA unterscheidet mit *User / Device Tier, Channel Tier, Presentation / Edge Tier, Integration Tier* und *Service Tier* fünf Sichten in den Informationsflüssen horizontal von links nach rechts und zurückfließen und jeder Sicht diverse *Servicegruppen* und Fähigkeiten zur Verfügung stehen. (s. SGRA 2011, S. 14–15)

IEC TR 62357-1:2016 liefert eine Landkarte aller Standards die dazu beitragen, dass Zusammenspiel in einer offenen und interoperablen Art und Weise zwischen Akteuren, Komponenten und Systemen im Feld von elektrischen Netzen von der Erzeugung über die Übertragung und Verteilung bis zum Endkunden zu unterstützen. Die Kerndomäne

der im Standard beschriebenen Referenzarchitektur bezieht sich im Wesentlichen auf die Standards IEC 62351, IEC 62361, CIM (s. IEC 61970, IEC 61968, IEC 62325, IEC 62746), IEC 61850 sowie IEC 62913 / 62559. (s. IEC 2016a, S. 16) Dabei definiert IEC 62913 die fünf *Smart Grid* Domänen *Grid*, *Market*, *Resources*, *Electric Transportation* und *Support Functions* sowie deren abstrakten Beziehungen zueinander. Diese bilden die Ausgangsbasis des Konzeptmodells von IEC 62357. Referenzarchitektur und Konzeptmodell greifen dabei auf die gleiche Methodologie und Definitionen von Akteuren und Rollen zurück. (s. IEC 2016a, S. 17–18) IEC 62357 setzt an dieser Stelle auf die SGAM *Methodology* und nutzt dieselben Interoperabilitätsschichten mit den verschiedenen Abstraktionsleveln zur Analyse. (s. IEC 2016a, S. 21–24)

Zum Abschluss der Literaturanalyse sollen nachfolgend nun domänenunabhängige Rahmenwerke analysiert werden.

3.3.3 Domänenunabhängig

Es existieren heute weit über 50 verschiedene Rahmenwerke die für diese Arbeit grundsätzlich relevant erscheinen würden. (s. MATTHES 2011, S. 37) Aus diesem Grund wurden aus den *Managementframeworks* (s. MATTHES 2011, S. 39) diejenigen für eine detaillierte Analyse im Zuge dieser Arbeit ausgewählt, die übergreifend sind, eine signifikante Marktbedeutung haben und durch aktuelle Literatur ausreichend beschrieben wurden. Darüber hinaus wurde das konzeptuelle *Zachman Framework* aufgenommen, da es für viele nachfolgende Rahmenwerke als Grundstein diente.

In Analogie zur Stadt-, Landschaftsplanung und des Flugzeugbaus wurde eines der ersten Architekturmodelle entwickelt, dem die Erkenntnis zugrunde lag, dass es nicht nur eine Architektur für IS in Unternehmen geben kann. (s. ZACHMAN 1987, S. 291) Das als *Zachman-Framework* bekannte Modell beschreibt in seiner Urfassung aus dem Jahr 1987 ein zweidimensionales *Framework for Information Systems Architecture* mit den fünf Sichten *Ballpark View*, *Owner's View*, *Designer's View*, *Builder's View* und *Out-of-Context View* entlang der einen Achse und drei initialen Beschreibungstypen *Data*, *Process* und *Network* sowie weiteren ergänzenden Beschreibungstypen *Responsibility*, *Timing* und *Motivation* auf den anderen Achsen. (s. ZACHMAN 2011, S. 1) Die Beschreibungstypen beantworten entsprechende Fragen nach dem was, wie, wo, wer, wann und warum. (s. ZACHMAN 1987, 283, 292) Jedes Feld der Matrix ist eine Sicht auf das IS eines Unternehmens und kann durch entsprechende Teilmodelle wie zum Beispiel (z.B.) spezielle Diagramme visualisiert werden. (s. ZACHMAN 2008, S. 1)

Im Mittelpunkt der in Abbildung 17 dargestellten Architektur integrierter Informationssysteme (ARIS) stehen die Geschäftsprozesse die mit Hilfe der Organisations-, Daten-, Leistungs-, Funktions-, und der zentralen Steuerungssicht beschrieben werden können. (s. MATTHES 2011, 73f)

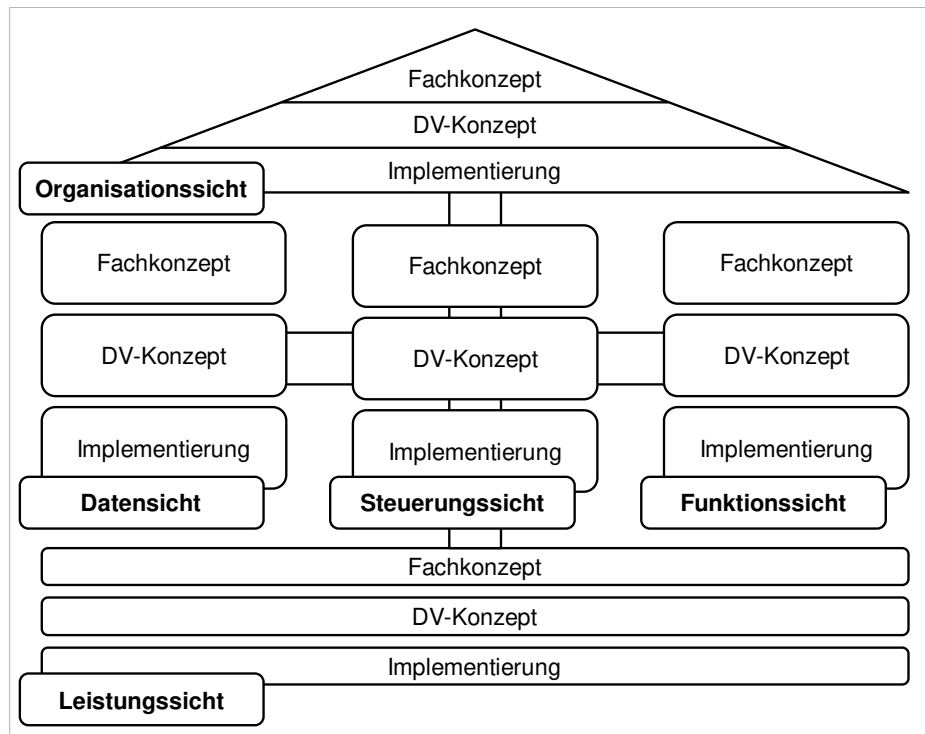


Abbildung 17: Graphische Darstellung der ARIS (s. SCHEER 2002, S. 41)

Die graphische Visualisierung aller Sichten innerhalb eines Schaubildes führte für diese Darstellung zu der weitverbreiteten Bezeichnung ARIS-Haus. (s. MATTHES 2011, S. 72) Diese werden in ARIS, um sich am Lebenszyklus von IS orientierenden Ebenen in Form von Fachkonzept, Datenverarbeitungskonzept (DV-Konzepte) und Implementierung ergänzt. (s. MATTHES 2011, S. 74) Die Änderungshäufigkeit nimmt vom Fachkonzept in der Dachspitze des ARIS Haus nach unten hin über das DV-Konzept bis hin zur Implementierung tendenziell immer weiter zu. (s. SCHÖNHERR 2007, S. 30) Mit dem ARIS-Phasenmodell steht darüber hinaus ein Vorgehensreferenzmodell zur Verfügung, das für die Erstellung eines IS vier Phasen und für den anschließenden Betrieb des IS eine Phase beschreibt. (s. MATTHES 2011, S. 75)

Das *The Open Group Architecture Framework* (TOGAF) ist der bekannteste Standard für die Entwicklung von Unternehmensarchitekturen. In der Version 9.1 wird es für die Entwicklung eines breiten Spektrums von Unternehmensarchitekturen eingesetzt und greift dabei auf den Kernbestandteil von TOGAF der *Architecture Development Method* (ADM) zurück. (s. JOSEY 2011, S. 5) TOGAF unterstützt dabei die Entwicklung der vier miteinander in Beziehung stehenden Architekturtypen *Business, Data, Application und Technology*. (s. JOSEY 2011, S. 6) ADM beschreibt hierfür Richtlinien für Architekten auf einer Vielzahl von Ebenen. So liefert es eine Reihe von Architekturentwicklungsphasen in einem Zyklus als eine übergeordnete Prozessvorlage für Architekturentwicklungsaktivitäten im Kontext *Business Architectures, Information Systems Architectures und Technology Architectures*. (s. JOSEY 2011, S. 8–9) Dazu stellt ADM einen Bericht für jede Architekturphase zur Verfügung der die Phase hinsichtlich Ziele, Ansätze, Eingangs- und Ausgangsgrößen sowie Schritte beschreibt. Außerdem liefert sie phasenübergreifende Zusammenfassungen die das Anforderungsmanagement umfassen. (s.

JOSEY 2011, S. 9) Zur Unterstützung der ADM stellt TOGAF eine Reihe von ADM Leitfäden und Techniken zur Verfügung. Die ADM Leitfäden dienen dabei als Unterstützung für die Adaption der ADM, um mit einer Vielzahl an Anwendungsszenarios und spezifischen Architekturen umgehen zu können. Mit Hilfe der ADM Techniken können spezifische Aufgaben wie bspw. *Gap-Analysen*, *Migrationspläne*, *Risikomanagement* etc. innerhalb der ADM unterstützt werden. (s. JOSEY 2011, S. 9) Weitere Bestandteile von TOGAF bilden das *Architecture Content Framework*, das *Enterprise Continuum*, die *TOGAF Reference Models* und das *Architecture Capability Framework*. Mit dem *Architecture Content Framework* existiert ein detailliertes *Model* der Ergebnisse im Zuge der Arbeiten im Rahmen der Architekturgestaltung und beinhaltet *Deliverables*, *Artefakte* innerhalb *deliverables* und die Architektur *Building Blocks* (ABBs) die selbst wiederum *deliverables* repräsentieren. Das *Enterprise Continuum* liefert ein *Model* für die Strukturierung eines virtuellen Aufbewahrungsortes und stellt Methoden für die Klassifizierung von Architekturen und Ergebnisartefakte bereit, die zeigen wie sich verschiedene Artefakttypen entwickeln und wie sie wirksam eingesetzt und wiederverwendet werden können. Mit dem *Technical Reference Model* (TRM) und dem *Integrated Information Infrastructure Model* (III-RM) stellt TOGAF darüber hinaus zwei RM zur Verfügung die in unternehmenseigene *Enterprise Continuum* inkludiert werden können. Das *Architecture Capability Framework* bildet schließlich eine Zusammenstellung von Ressourcen, Richtlinien, Vorlagen, Hintergrundinformationen etc. die Architekten dabei helfen sollen eine Architekturroutine innerhalb der Organisation zu etablieren. (s. JOSEY 2011, S. 9)

The ArchiMate Specification in der aktuellen Version 3.0 ist eine offene und unabhängige Modellierungssprache für Unternehmensarchitekturen. Die ArchiMate Sprache ermöglicht Unternehmensarchitekten Beziehung zwischen Architekturdomanen eindeutig zu beschreiben, zu analysieren und zu visualisieren. Dazu wird im Gegensatz zu anderen Modellierungssprachen nicht versucht, alle Modellierungseventualitäten abzudecken, sondern lediglich 80% der häufigsten Fälle. (s. JOSEY ET AL. 2016, S. 5) Die ArchiMate Sprache besteht aus der ArchiMate Kernsprache, die *Business*, *Application* und *Technology* Schichten samt sämtlichen Elementen zur Modellierung der Strategie und beinhaltet die einer Architektur zugrunde liegende Motivation ihrer Umsetzung und Migration. (s. JOSEY ET AL. 2016, S. 15) Die *Business*, *Application* und *Technology* Schichten unterstützen die Beschreibungen und Wechselbeziehungen der *Business*, *Information Systems* und *Technology Architecture Domains* die im TOGAF *Framework* definiert wurden. Die *Business*, *Application* und *Technology* Schichten unterstützen die Beschreibungen und Wechselbeziehungen der *Business*, *Information Systems* und *Technology Architecture Domains* die im TOGAF *Framework* definiert wurden. Die ArchiMate Sprache kann somit dazu genutzt werden die Anforderungsmanagement-, Vorbereitungs- und Architekturvvisionsphase des TOGAF ADM zu unterstützen. (s. JOSEY ET AL. 2016, S. 15)

In den vorangegangenen Unterkapiteln wurden soeben verschiedenste Rahmenwerke identifiziert und skizziert die im Hinblick auf die Zielstellung der Arbeit grundsätzlich

eine hohe Relevanz besitzen. Diese sollen nun im nächsten Kapitel einer vergleichenden Analyse unterzogen werden um die weitere Vorgehensweise konkretisieren zu können.

3.3.4 Vergleichende Analyse und kritische Würdigung

Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Ansätze zur Beschreibung von relevanten RM und Architekturrahmenwerken sind mit Bezug auf die ausgewählten Vergleichskriterien in Form einer Forschungsmatrix in Abbildung 19 dargestellt. Dort erfolgt ebenfalls die Einordnung der vorliegenden Arbeit.

Die in der Domäne Produktion untersuchten Referenzarchitekturen weisen signifikante Überschneidungen auf. Allen Referenzarchitekturen gemein, ist die Tatsache, dass sie auf einem gemeinsamen Basismodell aufbauen, dass die Beziehungen zwischen *Physical Entity*, *Acuator Sensor* und *IoT Device* beschreibt. (s. THE OPEN GROUP 2017) Außerhalb dieses Modells unterscheiden sie sich aber in Umfang und Schwerpunkt und betrachten auf diese Weise ähnliche Sachverhalte sehr unterschiedlich. Abbildung 18 zeigt eine Übersicht der *Viewpoints* der analysierten Referenzarchitekturen.

Der IIRA *Viewpoint Business* behandelt geschäftsorientierte belange wie Nutzenversprechen, Kapitalrendite, Unterhaltungskosten und Produktverlässlichkeit wohingegen die RAMI 4.0 *Business*schicht sich mit der Umsetzung von Geschäftsprozessen beschäftigt. Dennoch haben die Macher von RAMI 4.0 und IIRA zwischenzeitlich erkannt, dass ihre Arbeiten teilweise aufeinander aufbauen und haben sich deshalb darauf verständigt hinsichtlich der zukünftigen Interoperabilität der Systeme und bei dem Einsatz gemeinsamer Testumgebungen zu kooperieren. (s. KOPP 2016, S. 1)

IoT RA	IIRA	RAMI 4.0	IoT-A ARM
-	Business	Business	-
Usage	Usage	-	-
Functional	Functional	Functional	Functional
Information	-	Information	Information
Communication	-	Communication	-
System	Implementation	Integration	Deployment and Operation
-	-	Asset	-
-	-	Lifecycle / Value Chain	-
-	-	Hierarchy	-

Abbildung 18: Vergleich der verschiedenen Sichten (s. OPEN GROUP 2017, o.S.)

Die *Usage View* des IoT RA richtet die Aufmerksamkeit darauf wie IoT-Systeme aus Nutzerperspektive entwickelt, getestet, betrieben und genutzt werden können. Bei der

IIRA beschäftigt sich der *Usage Viewpoint* dagegen damit wie *Industrial Internet* Systeme umgesetzt werden können, die die im *Business Viewpoint* identifizierten Schlüssel Fähigkeiten liefern.

IoT RA, IIRA und IoT-ARM definieren und beschreiben alle eine Funktionsdomäne. Ihre Ansätze sind dahingehen ähnlich obwohl sich die Domänen im Detail teils erheblich voneinander unterscheiden. Die Funktionsschicht beim RAMI 4.0 weicht in diesem Punkt von den domänenorientierten Ansätzen der anderen ab. Die Funktionsschicht beinhaltet dort *Services* die die Geschäftsprozesse unterstützen und funktionalen Zugang zu den physischen *Assets* liefern. Den Zugang zu den *Assets* ermöglicht die Verwaltungsschale (*administration shell*) auf die sich mehrere internationale Standard beziehen. (s. THE OPEN GROUP 2017)

Die *Information View* des IoT RA beschreibt den Informationsfluss innerhalb und zwischen den Domänen eines IoT-Systems. Ganz ähnlich verhält es sich im IoT- ARM indem die *Information View* dabei unterstützt einen Überblick über die statische Informationsstruktur und den dynamischen Informationsfluss zu generieren. Es beschreibt darüber hinaus auch die Komponenten die die Informationen verarbeiten, den Fluss der Informationen durch das System und den Lebenszyklus von Informationen im System. Beim RAMI 4.0 behandelt die Informationsschicht die Daten über *Assets*, die in Form des Manifests in der Verwaltungsschale enthalten sein können. Das Manifest beschreibt welcher Art das *Asset* ist und wie es in das Gesamtsystem hinsichtlich Kommunikations*interfaces* und Fähigkeiten passt. (s. THE OPEN GROUP 2017)

Die *Communication View* der IoT RA beschreibt vier allgemeine Prinzipien für unterschiedliche Netzwerkarten die in IoT-Systemen involviert sein können, sowie die zugehörigen Entitäten die sie verbinden. RAMI 4.0 beinhaltet die Kommunikationsschicht, die Standardisierung der Kommunikation und verwendet hierzu ein uniformes Datenformat für die Kommunikation der Komponenten im Netzwerk. OPC *Unified Architecture* (UA) (s. IEC 62541) wurde dabei als ein möglicher Ansatz für die Umsetzung dieser Schicht identifiziert ohne dabei fest vorgeschrieben zu sein. (s. THE OPEN GROUP 2017)

Obwohl IoT RA mit *System*, RAMI 4.0 mit *Integration*, IIRA mit *Implementation* und IoT-A ARM mit *Deployment and Operation* unterschiedliche Namen für die jeweilige Sicht besitzen stimmen sich doch alle darin überein, dass sie sich im Kern mit den Systemkomponenten von IoT-Systemen beschäftigen. Die IoT RA *System View* beschreibt die generischen *Physical Components* jeder Domäne die ein IoT-System bilden. Die IIRA *Implementation View* bezieht sich auf die technischen Repräsentationen eines *Industrial Internet Systems* sowie die Technologien und Systemkomponenten die dazu benötigt werden die erforderlichen Aktivitäten und Funktionen die in der *Usage und Functional Viewpoints* beschrieben wurden zu realisieren. In der IoT-A ARM *Deployment and Operation View* wird beschrieben wie man ein System durch die Auswahl geeigneter Technologien tatsächlich realisieren kann. Hierbei steht die Kommu-

nikationsfähigkeit und der Betrieb dieser Technologien im Fokus. In der RAMI 4.0 Integrationsschicht wird beschrieben wie sich *Assets* mit IoT-Systemen verbinden. Hierbei beinhaltet sie zwar viele der Komponenten die auch in IoT RA, IIRA und IoT-A ARM vorkommen, nähert sich aber von einer substantiell anderen Perspektive an. (s. THE OPEN GROUP 2017)

Die RAMI 4.0 *Asset* Schicht beinhaltet sämtliche Maschinen die in einem IoT-System betrieben werden. Diese erscheinen ebenfalls in den anderen Referenzarchitekturen ohne aber in einem eigenen *Viewpoint* aufzugehen. Während RAMI 4.0 bis hierhin noch größtenteils generisch einsetzbar wäre sind die Dimensionen *Cycle / Value Streams and Hierarchy* der Matrix spezifisch für die Produktion. (s. THE OPEN GROUP 2017)

Innerhalb der Domäne *Smart Grids* existieren ausgehend von den abstrakten Modellen des NIST und des GWAC einige für diese Arbeit interessante Ansätze. Insbesondere das SGAM und der dem nahestehende Standard IEC 62357 stechen hier hervor.

Mit den gewählten Domänen wird zum einen versucht, den noch verbreiteten Status Quo der klassischen ‚Stromwertschöpfungskette‘ abzubilden, zum anderen aber auch den Entwicklungen hin zu einer stärker dezentralen Erzeugung Rechnung zu tragen. (s. FLUHR 2014, S. 50) Ebenfalls Schwierigkeiten bereitet in diesem Zusammenhang die Einordnung von Produktionsbetrieben, die meist als Stromverbraucher zwar typischerweise den *Customer Premises* zuzuordnen wären, aber auch gegebenenfalls aggregiert als Erbringer von Netzdienstleistungen als DER eingestuft werden könnten (*Prosumer*). Aus Sicht der Gestaltung von IS ist zudem anzumerken, dass den Nutzern und der Interaktion mit ihnen durch die Domäne *Customer Premises* zu wenig Gewicht verliehen wird, (s. FLUHR 2014, S. 51) insbesondere dann, wenn es mit Blick auf die Verbrauchsseite darum geht, diese zu netzdienlichem Verhalten zu motivieren.

Sehr viel detaillierter und mit besserer Werkzeugunterstützung erfüllen auch die domänenunabhängigen generischen ISA und ISA-Rahmenwerke zahlreiche Kriterien sehr gut, wobei hier TOGAF und die dadurch unterstützte Architekturmodellierungssprache ArchiMate herausstechen. Der Vergleich von ISA-Rahmenwerken offenbart zudem, dass trotz Unterschiede im Detail bestimmte Aspekte immer wieder auftauchen und meist nur anders benannt oder unterschiedlich zueinander in Beziehung gesetzt werden. (s. SCHUH ET AL. 2013a, 821f) Nachteilig an diesen Rahmenwerken ist aufgrund des fehlenden Domänenbezugs eine implizite Berücksichtigung der elektrischen und einschlägigen, informatorisch-technikspezifischen Aspekte in Form von Standards und Protokollen sowie das Fehlen von domänenspezifischen Sichtvorlagen *Viewpoints* wie z.B. einem Rollenmodell. (FLUHR 2014, S. 56)

		● behandelt ○ teilweise behandelt															
Ansätze gruppiert nach Domänenbezug		Modellzweck	Beschreibung	Gestaltung	Art der Komplexitätsreduktion	Sichten	Ebenen	Ebenenbeziehungen	Betrachtungsebenen	Organisatorisch	Informatorisch - technikneutral	Informatorisch - technikspezifisch	Elektrisch	Herleitung / Überprüfung	Sachlogisch	Empirische Erhebung	Fallstudien
Kurzbezeichnung	Quellenangabe																
Produktion																	
RAMI 4.0	(DIN SPEC 2016)		●	●		●	●	○		○	●	○			●	○	○
IIIRA	(LIN ET AL. 2017)		●	○		●	●			●	●				●		
IoT RA	(ISO / IEC CD 30141:2016(E))		●			●	●			○	●	○			●		
IoT-A ARM	(BAUER ET AL. 2013)		●			●	○				●	●			●		
Smart Grid																	
NIST	(NIST 2012)		●			○	○	○		●	●	○	○		●	○	
GWAC	(GWAC 2008)		●	●		○	●	○		●	●				●	○	
SGAM	(SGCG 2012)		●	●		●	●	●		●	●	○	○		●	○	○
IEEE 2030 SGIRM	(IEEE 2011)		●			○	●	○		○	●				●	○	
SGRA	(SGRA 2011)		●			○	●	○		○	●	○			●		
IEC 62357	(IEC 2016a)		●				○					●	○		●	○	
Domänenunabhängig																	
Zachman	(ZACHMAN 1987)		●			●	●	●		●	●				●		●
ARIS	(SCHEER 2002)		●	○		●	○	○		●	●				●		●
TOGAF	(JOSEY 2011)		●	●		●	●	●		●	●				●		●
ArchiMate	(JOSEY ET AL. 2016)		○	●		●	●	●		●	●	○	○		●		○
Vorliegende Arbeit			●	●		●	●	●		●	●	○	●		●		●

Abbildung 19: Forschungsmatrix (eigene Darstellung)

Insgesamt ist festzustellen, dass keine der identifizierten generischen ISA bzw. ISA-Rahmenwerke die dieser Arbeit zugrunde liegende Zielsetzung bereits erreicht. Allerdings kann auf den bisherigen Arbeiten der Produktion, *Smart Grid* und domänenunabhängige ISA-Rahmenwerke generell aufgebaut werden. Die wesentliche Aufgabe der Beschreibung einer EnISA konkretisiert sich damit zu einer Auswahl eines bestehenden Rahmenwerks und dessen spezifischen Adaption.

3.4 Fazit der Literaturanalyse und Konkretisierung des Handlungsbedarfs

Ausgehend von der praktischen Problemstellung wurde ein praktisches Defizit identifiziert das darin besteht, dass Unternehmen bei der Gestaltung von EnergieIS derzeit nur unzureichend unterstützt werden. Ziel der Literaturanalyse bestand letztlich darin aufzudecken ob bereits Arbeiten existieren die diesem Mangel grundsätzlich Abhilfe schaffen können aber von der Praxis nicht berücksichtigt werden. Die Auswertung der identifizierten Arbeiten macht deutlich, dass keiner der relevanten Ansätze für sich alleine genommen geeignet ist die notwendige Gestaltungsunterstützung systematisch

und methodisch zu fundieren. Das wissenschaftliche Defizit besteht folglich in einer umfassenden Systematisierung der Domäne EnISA, die eine Beschreibung und Strukturierung der EnISA relevanten Elemente im Sinne einer Architektur beschreibt. Dem entsprechend greifen auch alle der verfügbaren Gestaltungsmodelle zu kurz. Bereits existierende Modelle und Architekturen können folglich nur bedingt auf die vorliegende Problemstellung übertragen werden. Die Literaturanalyse offenbarte aber, dass bei der Entwicklung einer EnISA sehr wohl auf Arbeiten aus dem Produktions- und *Smart-Grid*-Umfeld sowie auf domenunabhängige ISA-Rahmenwerke zurückgegriffen werden kann.

Aus diesem Grund müssen 3 Partialmodelle entwickelt werden, um die Zielsetzung dieser Arbeit erfüllen zu können:

- terminologisch-deskriptiver Referenzrahmen für das betriebliche EM produzierender Unternehmen
- Referenzarchitekturmodell (RAM) für EnIS der Produktion
- Vorgehensweise zur Gestaltung unternehmensspezifischer EnIS

Auf Basis dieser Literaturanalyse werden im Folgenden die methodischen Grundlagen zur Erreichung der Zielsetzung vorliegender Arbeit beschrieben.

4 Methodische Grundlagen und Konkretisierung der Vorgehensweise

Die Sicherstellung des Forschungsziels erfordert Klarheit über die Anforderungen, die an die Ergebnisse des Forschungsprozess, sowie an dessen Vorgehensweise zu stellen sind. Aus diesem Grund werden nachfolgend zunächst allgemeine Anforderungen an die zu erzielenden Ergebnisse ausgeführt. Anschließend werden weitgehend anerkannte und vielfach angewandte Vorgehensweisen für die wissenschaftliche Befassung mit den Themenbereichen dieser Arbeit eingeführt. Am Ende des Kapitels erfolgt darauf aufbauend schließlich die Konkretisierung der detaillierten Vorgehensweise die zur Erreichung der Zielsetzung führen soll.

4.1 Anforderungen an die Ergebnisse

Die Grundsatzprinzipien Rigor und Relevanz (s. KRIST 2009, S. 6) bilden die beiden zentralen Leitplanken für die an die Ergebnisse dieser wissenschaftlichen Arbeit zu stellenden Anforderungen. In der Wissenschaft steht **Rigor** für ein strenges theoretisches und methodisches Vorgehen und das strenge Befolgen von wissenschaftlichen Regeln und Standards. (s. DILGER 2012, S. 2) **Relevanz** steht im Zusammenhang der angewandten Wissenschaften sowohl für die praktische, als auch für die wissenschaftliche Relevanz. (s. DILGER 2012, S. 1) Diesem Verständnis folgend sind Rigor und Relevanz folglich nicht einfach dem Spannungsverhältnis zwischen Wissenschaft und Praxis gleichzusetzen. (s. DILGER 2012, S. 1) Vielmehr liegt dem angewandten Wissenschaftsansatz dieser Arbeit das Verständnis zugrunde, dass stets Ergebnisse anzustreben sind, die sowohl möglichst Rigor als auch wissenschaftliche und praktische Relevanz aufweisen. (s. ANDERSON ET AL. 2001, S. 46 ZIT. NACH PETTIGREW 1997, o. S.) Dabei stellt die nachfolgende explizite Formulierung von formalen und inhaltlichen Anforderungen an die zu entwickelnden Ergebnisse einen zielorientierten Forschungsprozess sicher.

4.1.1 Formale Anforderungen

Die wissenschaftliche Relevanz der Ergebnisse lässt sich am ehesten anhand des Erfüllungsgrads der folgenden allgemeinen formalen Anforderungen bemessen. (s. WEIMERT U. ZWECK 2015, S. 135–136) Unter der Berücksichtigung des aktuellen wissenschaftlichen Diskussionsstands müssen die Ergebnisse den bereits **vorhandenen Wissensschatz** berücksichtigen. Der **Neuheitsgrad** der Ergebnisse stellt sicher, dass diese im betrachteten Kontext neuartig sind. Die Ergebnisse tragen zur Klärung bislang offener Fragestellung bei, beseitigen vorhandenes Wissensdefizit oder werfen **neue Fragestellung** auf und sollen somit zum allgemeinen wissenschaftlichen Fortschritt beitragen. Zur Gewährleistung der **Nachvollziehbarkeit** müssen Ergebnisse aus einem nachvollziehbaren und transparenten Forschungsprozess abgeleitet sein. Zur **Qualitätskontrolle** müssen die Ergebnisse einem wissenschaftlichen Kommunikati-

onsprozess unterzogen werden und gestützt durch die so entstehende wissenschaftliche Debatte, als reproduzierbar oder nachvollziehbar eingeschätzt werden. Dies impliziert eine **wissenschaftliche Wirkung** der Ergebnisse, die bspw. durch geeignete Veröffentlichungen bspw. in Form von Buchbeiträgen oder Vorträgen, der wissenschaftlichen Gemeinschaft zur Verfügung gestellt und durch diese weiterentwickelt bzw. diskutiert werden können. Dies geschieht allerdings nur wenn die grundsätzliche Anforderung der **Problem- und Themenrelevanz** aus Sicht der wissenschaftlichen Gemeinschaft auch erfüllt ist und folglich das Forschungsthema als bedeutsam erachtet wird. Darüber hinaus müssen Ergebnisse kritischen Prüfungen hinsichtlich der **Universalität** standhalten, die schließlich den Ergebnissen die Möglichkeit der Generalisierung in übergeordnete Theoriekonzepte attestieren sollten. Außerdem stellen **Originalität** und **Kreativität** weitere Anforderungen dar und gehen mit dem Anspruch an die Ergebnisse einher, neue Horizonte zu eröffnen. Schließlich sollen neben der Einschätzung der **Aktualität** des Forschungsgegenstand auch die Ergebnisse im Hinblick auf die **Vereinbarkeit** mit ethischen Haltungen überprüft werden.

Die praktische Relevanz stellt einen Teilaspekt der formalen Anforderungen der **Utilität** dar. Utilität ist ein Maß für die Nützlichkeit, Nachvollziehbarkeit und praktische Anwendbarkeit einer Vorgehensweise. Folglich ist eine Strukturierung der zur Erreichung der Zielsetzung notwendigen Lösungsbestandteile in in sich logisch aufgebaute und inhaltlich aufeinander abgestimmte Partialmodelle anzustreben. (s. ROESGEN 2007, S. 41) Utilität beinhaltet im Einzelnen die formalen Anforderungen der Relevanz, Funktionalität, Praktikabilität und Effizienz für die Erreichung übergeordneter Ziele. (ROESGEN 2007, S. 41) Die Anforderung an **Relevanz** wird aus Sicht der Praxis durch ausreichende Behandlung und Lösung der konkreten Aufgabenstellung erfüllt. **Funktionalität** ist dann gegeben, wenn sich die Modelle zur Erfüllung der gestellten Aufgabe im Anwendungskontext eignen. Die **Praktikabilität** umfasst die verständliche Formulierung von Ziel und Lösungsweg und ermöglicht die problemlose Anwendung des Konzepts. (s. DEINDL 2013, S. 54) Der Grundsatz der **Effizienz** fordert ein wirtschaftliches Verhältnis zwischen Aufwand zur Erstellung und tatsächlichen Anwendung der Vorgehensweise, sowie dem erwarteten Nutzen der durch die tatsächliche Anwendung erzielbaren Ergebnisse. (s. ROESGEN 2007, S. 41)

4.1.2 Inhaltliche Anforderungen

Die inhaltlichen Anforderungen an die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens ergeben sich in erster Annäherung direkt aus der Zielstellung:

- Beschreibung der Anforderungen an eine EnISA für produzierende Unternehmen
- Beschreibung einer generischen EnISA für produzierende Unternehmen
- Vorgehensweise zur Gestaltung einer unternehmensspezifischen EnISA

Anforderungen lassen sich darauf aufbauend durch folgende **allgemeine modellübergreifende inhaltliche Anforderungen** konkretisieren: (FLUHR 2014, S. 59–60)

Untersuchungsbereichspassung: Im Mittelpunkt dieser Arbeit steht das Energieinformationsmanagement (EnIM) produzierender Unternehmen. Dieser Untersuchungsbereich muss genau abgedeckt werden, da sowohl eine Über- als auch Unterdeckung die Modellqualität herabsetzen würde.

Zielgruppenadäquatheit: Die Modelle sollen Anspruchsgruppen in unterschiedlichen Rollen verschiedener Organisationstypen bei der praktischen Gestaltung von entscheidungsorientierten EnIS unterstützen. Durch die Ergebnisse dieser Arbeit soll bspw. die informatorische Einordnung neuer Geschäftsmodelle oder die Identifikation benötigter Standards im EM erleichtert werden.

Marktmodellflexibilität: Der gesetzliche Rahmen der zukünftigen Energieversorgung produzierender Unternehmen in Deutschland, ist derzeit noch mit einer gewissen Planungsunsicherheit behaftet. Die erarbeiteten Modelle müssen folglich insofern flexibel gestaltet werden, dass sie grundsätzlich für die unterschiedlichsten zum heutigen Zeitpunkt wahrscheinlichen Marktmodelle der Energieversorgung der Zukunft Gültigkeit besitzen.

Geschäftsmodellvielfalt: Zum heutigen Zeitpunkt lässt sich vor allem nicht sicher prognostizieren, welche Rolle die Verbrauchsseite im zukünftigen Energiesystem (Strommarkt 2.0) einnehmen wird. Daher lässt sich auch die Tragfähigkeit der derzeit diskutierten Geschäftsmodelle bspw. auf Basis von Energiedienstleistungen nicht eindeutig beziffern. Aus diesem Grund müssen im Sinne der Erfüllung dieser Anforderungen, zumindest die für produzierende Unternehmen bereits bekannten lukrativen Geschäftsmodelle im Rahmen dieser Arbeit Berücksichtigung finden.

Technikneutralität: Um einen breiten und langfristen Einsatz der Modelle zu ermöglichen sollten keine relevanten elektrischen, informationstechnischen und kommunikationstechnischen Techniken bevorzugt oder ausgeschlossen werden. Dieser Anforderung sind allerdings in soweit Grenzen gesetzt als, dass Modelle zur Erreichung einer praktisch nützlichen Spezifität eine gewisse technische Konkretisierung voraussetzen.

Partialmodellharmonie: Wie bereits weiter oben erwähnt, müssen die zu entwickelnden Partialmodelle bereits zur Erfüllung der formalen Anforderung der praktischen Relevanz aufeinander abgestimmt sein. Für diese Arbeit stellen somit im Wesentlichen die zu erhebenden praktischen Anforderungen der produzierenden Unternehmen die Basis und den notwendigen Rahmen für die Entwicklung der EnISA dar. Diese müssen durch das Zusammenspiel untereinander harmonisierender Modelle zu vollständigen und konsistenten Ergebnissen führen.

Neben diesen allgemeinen modellübergreifenden inhaltlichen Anforderungen ergeben sich weitere zu berücksichtigende **spezifischere inhaltliche Anforderungen**, die sich aus der konkreten Aufgabenstellung der beabsichtigten **Systemarchitekturgestaltung** innerhalb diese Arbeit ableiten. Für die Systemarchitekturgestaltung existieren

eine Reihe anerkannter genereller Gestaltungsprinzipien und Merkmale die als Güterkriterien auch für dieser Arbeit herangezogen und nachfolgend beschrieben werden sollen.

Idealität: Bei der Systemgestaltung ist ein möglichst positives Verhältnis zwischen der Summe aller nutzenstiftenden Funktionen und aller unerwünschten Funktionen und Effekte anzustreben. Im Hinblick auf die praktische Systemgestaltung bedeutet dies, dass die Komplexität eines Systems möglichst gering gehalten werden soll, sodass das gestaltete System schließlich, im theoretischen Idealfall, lediglich aus nutzenbringenden Funktionen besteht. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 135)

Unabhängigkeit: Der Einfluss von sich ändernden *Design*-Parametern soll im Rahmen der Systemarchitekturgestaltung möglichst gering sein. Die dahinter liegende Idee beruht auf der Tatsache, dass bei der Notwendigkeit einer Parameteränderung andere Komponenten und ihre Funktionalität möglichst nicht beeinträchtigt werden. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 136)

Modularer Aufbau: Die Bildung und Abgrenzung von Untersystemen erlaubt die Kapselung klar definierter Funktionen, die somit mehrfach und explizit auch in unterschiedlichen Kontexten anwendbar werden. Dabei sind die Grenzen der Untersysteme so zu gestalten, dass möglichst einfache und wenige Schnittstellen nach außen (*Application Programming Interface (API)*) und starke Schnittstellen nach innen bestehen. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 136)

Piecemeal Engineering: Die Vermeidung der Durchführung größerer und in den Auswirkungen nicht vorhersehbarer Veränderungen führt zu der Anforderung die Systemarchitekturgestaltung systematisch in kleineren nachvollziehbaren Schritten durchzuführen. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 136)

Minimale Präjudizierung: Im Zuge der Systemarchitekturgestaltung sind stets jene Lösung zu präferieren, die die größten Freiräume für weitere Entwicklungen bieten und gleichzeitig eine gewisse Robustheit gegenüber sich ändernden Randbedingungen aufweisen. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 136–137)

Offene Standards: Damit der Austausch von Daten, Energie, die Interoperabilität von Systemen sowie der Austausch von Modulen eines Konzepts deutlich vereinfacht werden können wird im Rahmen der Systemarchitekturgestaltung konsequent auf offene Standards gesetzt. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 238)

Ergänzend zu den eben skizzierten spezifischeren inhaltlichen Anforderungen der Systemarchitekturgestaltung, ergeben sich durch den expliziten Anspruch der Normungsfähigkeit weiter zu konkretisierende Anforderungen. Dieser Anspruch eine generische EnISA für produzierende Unternehmen entwickeln zu wollen, setzt die Erfüllung der nachfolgend beschriebenen **spezifische inhaltlichen Anforderungen der Informationssystemgestaltung** voraus.

Instanziierbarkeit: Die EnISA muss von Unternehmen mit verhältnismäßigem Aufwand für die eigene Situation instanziiert werden können. (s. FLUHR 2014, S. 61)

Architekturmodellkonformität: Die Modelle sollten mit vorhandenen domänenspezifischen Modellen und instanziierten Unternehmensarchitekturrahmenwerken möglichst konform sein. Auf diese Weise kann die EnISA den in der Praxis vielfältigen Kombinationsmöglichkeiten von Rahmenwerken gerecht werden. (s. MATTHES 2011, 54ff)

Komponentenflexibilität: Um die Skalierbarkeit, Erweiterbarkeit, Reduzierbarkeit und Integrierbarkeit der EnISA und damit deren langfristigen Einsatz zu gewährleisten, müssen die Komponenten idealerweise derart gestaltet werden, dass sie sich im Laufe der Zeit einfach aktualisieren lassen. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 187)

Integrierbarkeit: Einschlägige gültige Normen und Standards müssen bereits bei der Entwicklung stets Berücksichtigung finden, damit die spätere Akzeptanz bzw. Vertrauen der Praxis geschaffen werden kann. Dies begünstigt schließlich den flächendeckenden Einsatz der EnISA und erhöht somit die Chance darauf, dass sich diese schließlich als RAM etabliert. Integrierbarkeit erfordert somit aber ebenfalls Aspekten der Kompatibilität und Interoperabilität von Elementen, Subsystemen und Systemen von Systemen besondere Beachtung zu schenken. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 187)

Informationsflussorientierung: Der Umfang und die Tragweite der Aktivitäten des betrieblichen EM hängt in der Praxis im Wesentlichen von der strategischen Ausrichtung des produzierenden Unternehmens ab. Hier aus ergibt sich zwangsläufig die Notwendigkeit die sehr unterschiedlichen Geschäftsmodelle innerhalb der betrieblichen Energiewirtschaft miteinander verbinden zu können. Eine funktionierende Kommunikation über Unternehmensgrenzen und ihren Rollen hinweg bedingt folglich eine strikte Informationsflussorientierung, sodass etwaige Interoperabilitätsprobleme bereits frühzeitig aufgedeckt werden können. (s. SGCG 2012, S. 7)

Nutzerfokussierung: Der menschliche Nutzer muss stets im Mittelpunkt der Betrachtung stehen, da jede Art von IS letztlich durch einen Menschen Anwendung findet. Eines der wesentlichen Anforderungen ist daher eine maximal hohe Benutzungsfreundlichkeit durch eine effiziente Informationsversorgung über klar strukturierte Mensch-Maschine Schnittstellen (MMS) anzustreben.

Dezentralisierung: Damit notwendige zeit- und sicherheitskritische Entscheidungen am Ort der besten Information getroffen werden können empfiehlt es sich die Steuerung bzw. Informationsverarbeitung nicht in einem Element zu konzentrieren, sondern diese stattdessen auf mehrere Elemente zu verteilen. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 188) Vorteile dezentraler Architekturen können sich bspw. positiv auf die Aspekte Schnelligkeit, Ausfallsicherheit und Änderbarkeit auswirken. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 188)

Zukunftsansagen: Die wissenschaftliche Absicherung von Zukunftsansagen, deren Gegenstand empirisch unzugänglich ist, muss anhand der Konsistenz der Aussagen mit akzeptiertem Wissen und Theorien, aber auch mit anderweitig formulierten

oder einfach vorhandenen Zukunftserwartungen überprüft werden. (s. NEUHAUS U. STEINMÜLLER 2015, S. 19) Folglich müssen für die Themenstellungen I4.0 und Strommarkt 2.0 vor allem die Aussagen einschlägiger Experten aus den Bereichen Produktions-, Technologieanbieter- und Energiewirtschaft berücksichtigt werden.

Über die formalen und inhaltlichen Anforderungen manifestiert sich der Anspruch, der an die Ergebnisse des in dieser Arbeit gewählten Forschungsansatzes gestellt wird. Neben den Anforderungen stellt für das wissenschaftliche Arbeiten aber auch die systematische und zielgerichtete Anwendung adäquater Forschungsmethoden einen fundamentalen Bestandteil dar, um konsistente und qualitativ zufriedenstellende Forschungsergebnisse erzielen zu können. Folglich werden diese im nächsten Kapitel beschrieben.

4.2 Methodische Grundlagen

In diesem Unterkapitel werden nachfolgend bestehende Standards, die zur Gewährleistung von Rigor und somit für die Erreichung der Ziele dieser Arbeit notwendig sind, eingeführt und allgemein beschrieben. **Standards** sind in diesem Zusammenhang als angewandte Vorgehensweisen und Prinzipien zu verstehen, auf die sich Akteure eines wissenschaftlichen Fachgebiets geeinigt haben und die dazu beitragen die Qualität des Fachgebietes weiter zu erhöhen. (s. GERHOLD ET AL. 2015, S. 11) Auf diese Weise liefern sie prozessorientierte Anleitungen und Grundregeln für qualitätsvolle forschende Arbeit. (s. GERHOLD ET AL. 2015, S. 11) Hierbei kommt den beschriebenen Standards eine Orientierungsfunktion zuteil, die nicht die Erfüllung aller Standards im gleichen Maße zwingend vorschreibt, sondern ebenfalls die sinnvolle Anpassung der Standards an eigene Anforderungen erlaubt. (s. GERHOLD ET AL. 2015, S. 15)

4.2.1 Systematisches Vorgehen

Untersuchungsgegenstand der als fachübergreifend geltenden allgemeinen **Systemtheorie** sind Systeme. (s. ROPOHL 2009, S. 7) Die Systemtheorie ist demnach eine multidisziplinäre Wissenschaft, die sich darum bemüht ein System im Großen und Ganzen zu betrachten, um verlässliche Aussagen darüber treffen zu können, was ein System sowohl auch technischer, wirtschaftlicher und sozialer Sicht leisten muss, damit es einen bestimmten Zweck erfüllt. (s. CROWDER ET AL. 2016, S. 10) Der Systembegriff umfasst dabei funktionale, strukturelle und hierarchische Aspekte die leicht miteinander verbunden werden können. (s. ROPOHL 2009, S. 75–77) Das strukturelle Systemkonzept besteht dabei darin ein System als eine Ganzheit miteinander verknüpfter Elemente zu betrachten. (s. ROPOHL 2009, S. 75) So bestehen Systeme aus Elementen die bestimmte Eigenschaften und Funktionen aufweisen können und selbst wieder als Systeme betrachtet werden können. Untereinander sind Elemente über Beziehungen miteinander verbunden. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 32) Die Abgrenzung zwischen dem System und seiner Umgebung bzw. Umfeld bezeichnet die Systemgrenze. Offene Systeme zeichnen sich durch Beziehungen mit ihrer Umgebung aus. Im Umfeld eines Systems können Systeme und Elemente angesiedelt sein die sich

zwar außerhalb der Systemgrenze befinden, aber dennoch auf dieses einwirken oder durch dieses beeinflusst werden. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 33) Die Aufgliederung von Elementen auf tieferer Ebene nennt man Untersystem oder Subsystem. Entsprechend spricht man bei der Zusammenfassung mehrerer Systemes zu einem umfassenderen System von einem Übersystem. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 34) Dies trägt dem hierarchischen Konzept Rechnung, bei dem Systeme bzw. Teile eines Systems, wiederum als Teil eines umfassenderen System angesehen werden können. (s. ROPOHL 2009, S. 77) In diesem Zusammenhang spricht man beim Begriff System von Systemen (*Systems of Systems*), von Systemen die aus mehreren individuellen Systemen bestehen, bei denen jedes einzelne System zum einen unabhängig vom übergeordneten System betrieben werden, und zum anderen primär unabhängig von den anderen Systemen entwickelt, sowie getrennt akquiriert werden kann. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 35; s. CROWDER ET AL. 2016, S. 31)

Systeme von Systemen weisen evolutionäre und emergente Verhaltenscharakteristika auf. (s. CROWDER ET AL. 2016, S.31 ZIT. NACH YANEER 2004, o. S.) Das evolutionäre Verhalten beschreibt sämtliche Charakteristika die ein System von Systemen aufweist sobald die Subsysteme miteinander verbunden werden und den Betrieb aufnehmen. Die Charakteristika des emergenten Verhaltens treten erst durch die komplexe Verschaltung der System von Systemelementen in Erscheinung und würden sich nicht in einem isolierten Betrieb der Elemente manifestieren. (s. CROWDER ET AL. 2016, S. 31) Zusammen erzeugen diese Systeme allerdings einen zusätzlichen bzw. größeren Nutzen als jedes für sich alleine genommen. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 35)

Im funktionalen Konzept stellen Systeme eine *Blackbox* dar und sind durch bestimmte Zusammenhänge zwischen ihren von außen beobachtbaren Eigenschaften gekennzeichnet. (s. ROPOHL 2009, S. 75) Bei *Blackbox*-Betrachtungen ist der innere Aufbau eines Phänomens bspw. zur Reduzierung der Komplexität noch ohne Bedeutung oder gänzlich unbekannt und es interessieren lediglich Funktion sowie vorhandene Eingänge und Ausgänge des Systems. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 36) Komplexität beschreibt dabei die Anzahl und Arten von Zuständen die ein System aufweisen und durch die Treiber der interdependenten Vielfalt, verunsichernden Dynamik und der Wahrnehmung, die den subjektiven Charakter von Komplexität beschreibt, determiniert wird. (s. SCHUH ET AL. 2013b, S. 32) Im Gegensatz zur *Blackbox*-Betrachtung, ist bei der *Whitebox*-Betrachtung der exakte Zusammenhang zwischen *Input* und *Output*, sowie die analytische Herleitung und detaillierte Betrachtung der inneren Zusammenhänge von hoher Bedeutung. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 37) *Greybox*-Betrachtungen stellen den Übergang zwischen *Blackbox*- und *Whitebox*-Betrachtungen dar, sodass der innere Aufbau eines Phänomens grob oder teilweise strukturiert sein kann. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 37) Neben dem Detaillierungsgrad lassen sich Systeme auch unter verschiedenen Gesichtspunkten betrachten und so können bestimmte Eigenschaften von Elementen oder deren Beziehungen in Form von Aspekten des Systems in den Vordergrund rücken. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 37)

Die Systemtechnik (**Systems Engineering (SE)**) bietet Denkmodelle, Arbeitsmethoden und Organisationsformen für das technische Handeln an, die sich vornehmlich auf komplexe Großsysteme in ihren ökotechnischen und soziotechnischen Zusammenhängen beziehen (s. ROPOHL 2009, S. 27) Die Entwicklungen der letzten Jahrzehnte im Bereich der Informatik gehen mit einer revolutionierenden Art des Denkens und der Herangehensweise an Probleme einher, die alle Wissenschaftsbereiche betrifft. (s. CROWDER ET AL. 2016, S. 10) Die Integration von Systemen von Systemen und die Systemoptimierung werden daher in Zukunft nur noch durch einen multidisziplinären ingenieurwissenschaftlichen Ansatz erfolgreich möglich sein. (s. CROWDER ET AL. 2016, S. 27) Auch die moderne **multidisziplinäre Systemtechnik** ist mit dem Lösen immer komplexer werdenden Problemen konfrontiert, die ohne den Ansatz des *Computational Thinking* faktisch nicht mehr beherrscht werden können. (s. CROWDER ET AL. 2016, S. 10) Die Umsetzung praktikabler Lösungen in dieser komplexen Umwelt, erfordern daher ein grundlegendes Verständnis und Domänenwissen in Form von bereits existierenden Theorien, Konzepten, Werkzeugen und Methoden innerhalb der mit dem multidisziplinären SE verflochtenen Disziplinen. (s. CROWDER ET AL. 2016, S. 10–11) Für diese Arbeit wird das multidisziplinäre SE im Sinne der Anforderungen der minimalen Präjudizierung nachfolgend auf das SE und auf die recht junge Disziplin des kognitiven SE (*cognitive SE*) beschränkt (vgl. CROWDER ET AL. 2016).

Systemdenken und Vorgehensmodell sind wichtige Bestandteile der Grundidee des **SE-Konzepts** und der darauf aufbauenden Methodik zur Lösung praktisch beliebiger Problemstellungen. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 25–31) Unter Systemdenken wird eine Denkweise verstanden, die es ermöglicht komplexe Erscheinungen in Form von Systemen besser verstehen und gestalten zu können. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 31) Diese Denkweise findet ihren Ursprung in der Kybernetik und der allgemeinen Systemtheorie und ermöglicht so den generalistischen und interdisziplinären Zugang zu den komplexen Wechselbeziehungen zwischen Technik, Umwelt und Gesellschaft. (s. ROPOHL 2009, S. 27) **Kybernetik** umfasst dabei das gesamte Gebiet der Steuerungs-, Regelungs- und Informationstheorie sowohl bei Maschinen als auch bei Lebewesen. (s. WIENER 1968, S. 32) Das allgemeine Programm der Kybernetik besteht darin zwischen Objekten verschiedener Wirklichkeitsbereiche Homomorphismen (formale Ähnlichkeiten) zu erschließen. Der Systembegriff wurde allerdings in den Anfängen der Kybernetik nicht ausdrücklich thematisiert. (s. ROPOHL 2009, S. 72–73) Das Vorgehensmodell des SE-Konzepts enthält eine Reihe von Vorgehensempfehlungen und –richtlinien und basiert im Kern auf vier Grundgedanken, die als kombiniert zu verwendende Komponenten zu betrachten sind. (HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 55) Im Einzelnen soll demnach **vom Groben zum Detail** und nicht umgekehrt vorgegangen werden. Außerdem soll das Prinzip des **Denkens in Varianten** beachtet werden, welches vorschreibt konsequent nach Alternativen zu suchen und sich nicht mit einer einzigen Variante zufriedenzugeben. Hinsichtlich zeitlicher Gesichtspunkte soll der Prozess der Systementwicklung und –realisierung durch einen **Phasenablauf** gegliedert

werden. In diesen Phasen auftretende Probleme sollen durch einen **Problemlösungszyklus**, dem eine Art Arbeitslogik als formalen Vorgehensleitfaden zugrunde liegt, gelöst werden. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 55) Auf diese Weise wird der eigentliche Problemlösungsprozess, wie in Abbildung 20 verdeutlicht, durch die SE-Philosophie und deren zwei zentralen Bausteinen des Systemdenkens und durch das Vorgehensmodell beeinflusst und unterstützt. (HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 129)

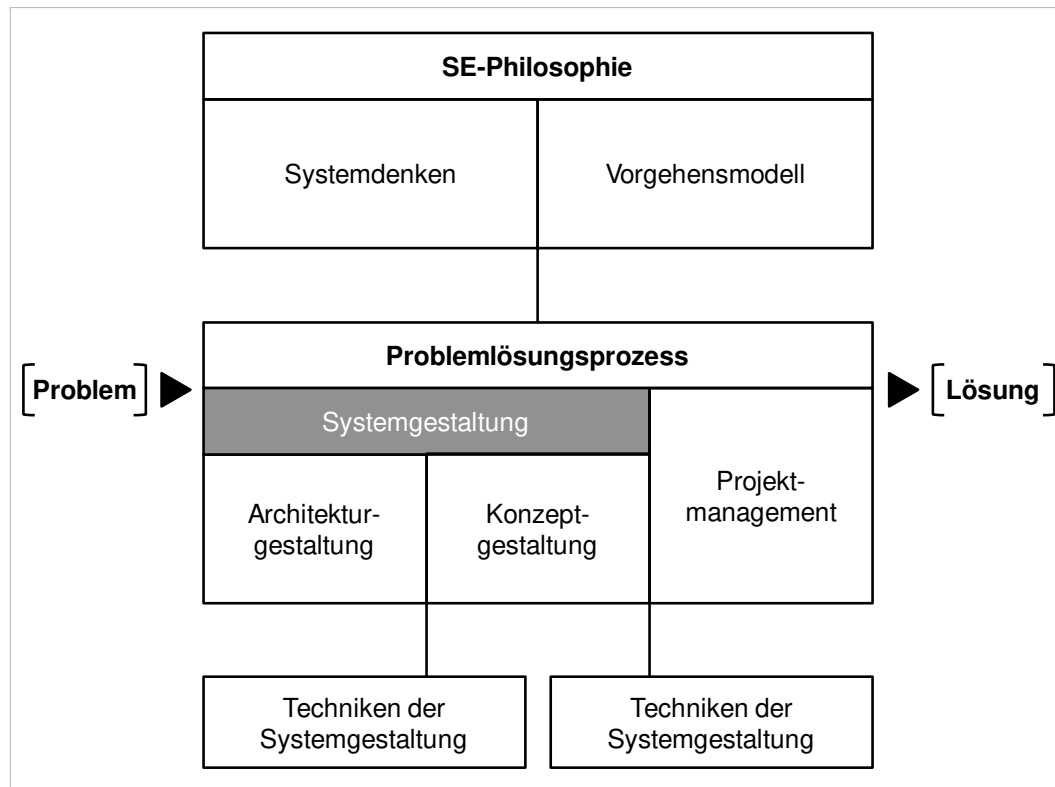


Abbildung 20: Problemlösungsprozess im SE-Konzept
(s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S.129)

Der eigentliche Problemlösungsprozess gliedert sich wiederum in die Bereiche **Systemgestaltung** und Projektmanagement, bei der im Zuge der Systemgestaltung die Beschäftigung mit den inhaltlichen Fragen des Problems und seiner Lösung im Mittelpunkt steht. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 129) Auf diese Weise wird das SE sowohl auf das Problemfeld als auch auf die Lösung angewendet. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 132) Zu Beginn des Problemlösungsprozesses steht meist die Untersuchung des Problemfelds im Vordergrund der Betrachtung, später rücken zunehmend die Komponenten, die Struktur sowie die Gestaltung und Beurteilung des Lösungssystems in den Fokus. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 132–133) Im Zuge des Projektmanagements werden die Summe aller organisatorischen und dispositiven Maßnahmen zur Planung, Führung, Überwachung und Steuerung eines Projekts fokussiert. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 129) Innerhalb der Systemgestaltung wird zwischen Architekturgestaltung und Konzeptgestaltung unterschieden. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 129)

Die **Architekturgestaltung** stellt im Rahmen des Problemlösungsprozesses den ersten Schritt dar um definierte Anforderungen, Wünsche und Ziele, die sich aus der Problemstellung ableiten, in Form einer ersten groben Skizze einer Lösung zu überführen. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 184) Damit kann die Architektur eines Systems als eine Art Lösungsprinzip angesehen werden, welches den Vorgang der Gestaltung von Systemen ins Blickfeld rückt. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 181) Die funktionale Betrachtung eines Systems stellt den zentralen Ausgangspunkt der Architekturgestaltung dar und legt so den Zweck und Wert des Systems fest. Dabei besteht ein grundsätzlicher Unterschied zwischen der Form und der Funktion einer Architektur. Die Funktion beschreibt das, was ein System tun soll um die Ziele zu erfüllen und ist stets losgelöst von der konkreten Ausgestaltung zu erfassen. Die Form beschreibt wiederum die Art der Realisierung der Funktionen in Form einer Systemeigenschaft, die konkret implementiert wird. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 183–184) Darüber hinaus muss eine Architektur aus verschiedenen Perspektiven (Architektursichten) betrachtet werden. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 184)

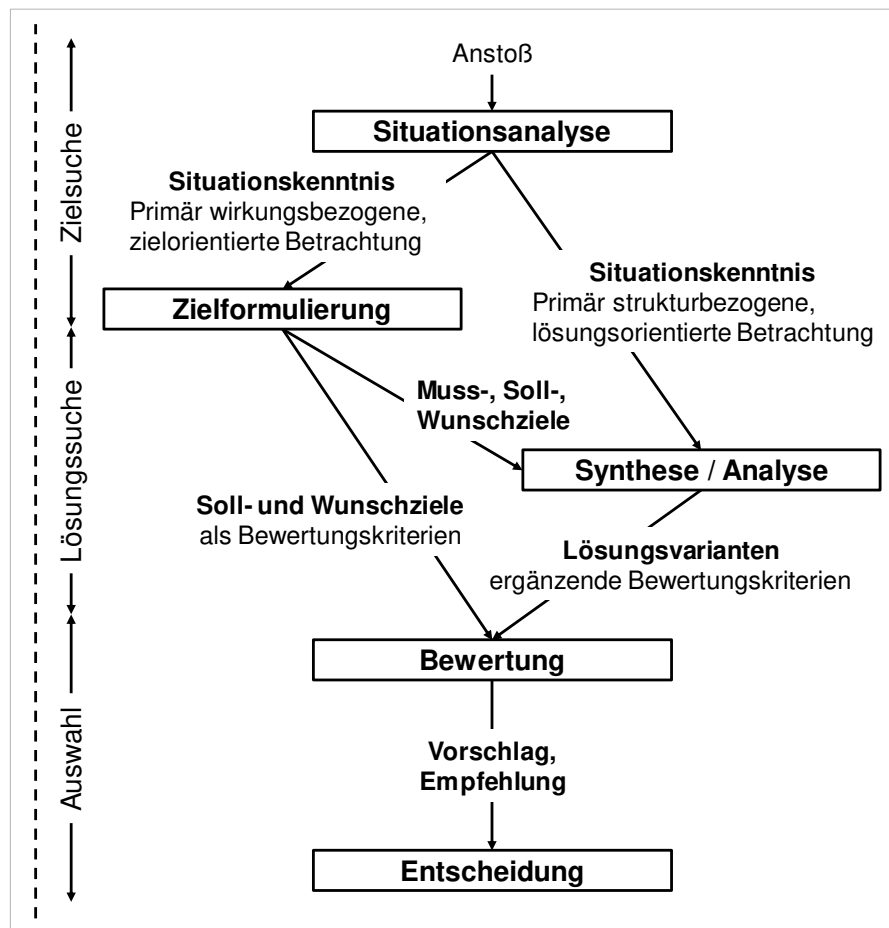


Abbildung 21: Problemlösungszyklus im SE-Konzept
(s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 193)

Im Zuge der **Konzeptgestaltung** steht die Konkretisierung und Detaillierung einer ausgewählten Architektur im Zentrum aller Aktivitäten. Sowohl Architektur- und Konzeptgestaltung bedienen sich dabei der Logik des Problemlösungszyklus bestehend aus

Zielsuche, Lösungssuche und Auswahl. Innerhalb der Zielsuche erfolgt zunächst eine Situationsanalyse und die Zielformulierung. Die Lösungssuche erfolgt durch die Schritte der kreativ aufbauenden Synthese und der kritisch prüfenden Analyse. Im Zuge der Auswahl erfolgt schließlich die Bewertung und Entscheidung darüber welches die zweckmäßigste Möglichkeit darstellt. (s. HABERFELLNER ET AL. 2015, S. 193) Der in Abbildung 21 abgebildete Problemlösungszyklus kann als Konzept für einen effektiven rekursiven Ansatz des SE angesehen werden. In diesem Zusammenhang steht Rekursion vereinfacht gesagt für einen iterativen Prozess an dessen Ende eine optimale Lösung basierend auf einem Set definierter Schwellenwerte steht die selbst wiederum Teil der Kriterien für den erneuten Durchlauf des Prozesses sind. (s. CROWDER ET AL. 2016, S. 44–45)

Das **Cognitive SE** ist schließlich eine weitere verhältnismäßige junge Disziplin, die eng mit dem SE in Beziehung steht und insbesondere vor dem Hintergrund des rasanten Anstiegs computerbasierter Technologien zunehmend an Bedeutung für die Gestaltung moderner sozio-technischer Systeme gewinnt. (s. CROWDER ET AL. 2016, S. 20) Die immer weiter ansteigende Nachfrage nach komplexen dynamischen *information environments* und entscheidungsintensiven Systemen, impliziert die Notwendigkeit einer neuartigen ingenieurwissenschaftlichen Disziplin. (s. CROWDER ET AL. 2016, S. 20) *Cognitive SE* integriert dazu Erkenntnisse der Kognitions-, Sozial- und Organisationspsychologie, um die menschlichen kognitiven Fähigkeiten bei der Bedienung entscheidungsorientierter IS zu verbessern oder gar zu erweitern. (s. CROWDER ET AL. 2016, S. 19) Dazu bezieht das *Cognitive SE* sowohl Anforderungen an die technischen Funktionen des Systems, als auch menschliche kognitive Fähigkeiten explizit mit ein. (CROWDER ET AL. 2016, S. 19) Die betrachteten menschlichen kognitiven Fähigkeiten beziehen sich auf das Entscheidungsmanagement, die Planung, die Zusammenarbeit und das Systemmanagement. (s. CROWDER ET AL. 2016, S. 19) Die kognitiven Lerndimensionen eines Menschen entwickeln sich grundsätzlich entlang verschiedener Stufen von Wissen, über Verständnis, Anwendung, Analyse, Synthese bis hin zur Beurteilung und determinieren auf diese Weise die **kognitive Kompetenz des Entscheiders**. (BLOOM ET AL. 1956, S. 201–207)

Auf diese Weise ist das *cognitive SE* ebenfalls eng mit dem Teilbereich *human factors* der Disziplin des *Speciality Engineerings* verflochten, bei dem schwerpunktmäßig die Gestaltung der MMS, Mensch-Mensch- bzw. Mensch-Maschine-Kommunikation sowie Technologietrainingssysteme und Managementteams untersucht werden. (s. CROWDER ET AL. 2016, S. 19)

Die Systemtheorie als multidisziplinäre Wissenschaft bildet folglich das Fundament zur Ableitung verlässlicher Aussagen für die Erfüllung der Zielsetzung dieser Arbeit. Die aktive Berücksichtigung des Praxiszusammenhangs stellt wie bereits erwähnt für angewandte Forschungsprozesse die wissenschaftliche Hauptaufgabe dar. (s. ULRICH 1981, S. 19) Folglich stellen die Identifikation, das Verständnis und die Dokumentation relevanter Anforderungen der Praxis ebenfalls elementare Grundvoraussetzungen für

die Erreichung der Ziele dieser Arbeit dar, die durch Anwendung der Methode des nachfolgend beschriebenen *Requirements-Engineering* (RE) erreicht werden kann.

4.2.2 *Requirements-Engineering*

RE beschreibt einen kooperativen, iterativen und inkrementellen Prozess mit den nachfolgend beschriebenen Zielen. Primäres Ziel des RE ist die Identifikation und das Verständnis aller relevanten Anforderungen indem für den Anwendungsfall erforderlichen Detaillierungsgrad. Darüber hinaus beabsichtigt das RE eine ausreichende Übereinstimmung über die bekannten Anforderungen innerhalb der involvierten *Stakeholder*. Die dokumentationsvorschriftskonforme Dokumentation bzw. spezifikationsvorschriftskonforme Spezifizierung aller Anforderungen stellen schließlich ein weiteres Ziel des RE dar. (s. RUPP 2009, S. 13) Unter **Anforderungen** sind Bedingungen oder Fähigkeiten zu verstehen, die von einer Person oder System zur Lösung eines Problems oder zur Erreichung eines Zieles benötigt werden bzw. die ein System oder Teilsystem erfüllen oder besitzen muss, um eine Spezifikation oder andere formell vorgegebene Dokumente zu erfüllen. (s. RUPP 2009, S. 13) Außerdem wird in der Literatur zwischen Anforderung und dokumentierter Anforderung unterschieden. Letztere stellt eine dokumentierte Repräsentation einer wie eben beschriebenen Bedingung oder Eigenschaft dar. (s. RUPP 2009, S. 13) Mit anderen Worten stellt eine Anforderung eine Aussage über eine Eigenschaft oder Leistung eines Produktes, eines Prozesses oder der am Prozess beteiligten Personen dar. (s. RUPP 2009, S. 14) Anforderungen dienen auf diese Weise allen an einer Systemarchitektur Beteiligten als Kommunikations-, Diskussions- und Argumentationsgrundlage, die das gemeinsame Verständnis und Wissen der verschiedenen *Stakeholder* widerspiegelt und expliziert. (s. RUPP 2009, S. 16)

In der Praxis werden Anforderungen nach ihrer Art unterschieden und in verschiedenen Gruppen sortiert. (s. RUPP 2009, S. 17) Hierbei unterscheidet man zwischen funktionalen Anforderungen und den nicht-funktionalen Anforderungen. **Funktionale Anforderungen** definieren eine vom System oder einer Systemkomponente bereitzustellende Funktion des betrachteten Systems. (s. RUPP 2009, S. 18) Eine Klassifizierung nach rechtlicher Verbindlichkeit ermöglicht eine weitere Untergliederung der Anforderungen. Die rechtliche Verbindlichkeit einer Anforderung beschreibt hierbei den Grad der Bedeutung, den der *Stakeholder* den Angaben in der Anforderungsspezifikation beimisst. (s. RUPP 2009, S. 18) *Stakeholder* sind somit Personen oder Organisationen die direkt oder indirekt Einfluss auf die Anforderungen haben. (s. RUPP 2009, S. 62) In der Praxis haben sich dafür drei **Schlüsselwörter** herauskristallisiert, um Anforderungen mit festgelegter rechtlicher Verbindlichkeit zu verfassen. So drückt das Schlüsselwort muss eine juristische Verbindlichkeit aus, die zwingend zu erfüllen ist. Mit dem Schlüsselwort sollte wird keine juristische Verbindlichkeit ausgedrückt, sondern lediglich die Intention bspw. in Form von Umsetzungsvorschlägen. Zukünftige Entwicklungen wie kommende Standards oder Erweiterungen, die juristisch verbindlich Berücksichtigung finden müssen werden demnach mit dem Schlüsselwort wird versehen. (s. RUPP 2009, S. 19)

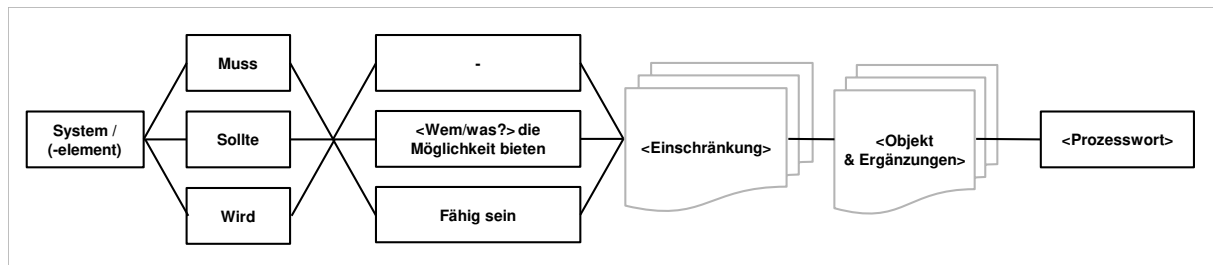


Abbildung 22: Anforderungsschablone (s. RUPP 2009, S. 162)

Anforderungsschablonen dienen in diesem Zusammenhang als Werkzeuge, die die Struktur von Anforderungssätzen festlegen. Der schablonenbasierte Ansatz der Konstruktion von Anforderungen ermöglicht es jeder Anforderung eine ähnliche Struktur aufzuprägen, sodass Aufwände beim Schreiben reduziert und dennoch qualitativ hochwertige Anforderungen erzeugt werden können. (s. RUPP 2009, S. 161) Die Elemente und den Aufbau einer generischen Anforderungsschablone zeigt Abbildung 22.

Anforderungsbeschreibungen stehen darüber hinaus typischerweise in einer Verfeinerungshierarchie zueinander, die häufig einer von fünf verschiedenen Detaillierungsebenen sogenannten Spezifikationsleveln (SL) zugeordnet werden können. Beschreibungen auf SL 0 umreißen in wenigen Sätzen den Gesamtumfang des zu entwickelnden Systems. Anforderungsbeschreibungen des SL 1 beinhalten Teilschritte von Geschäftsprozessen für die das System Unterstützung bieten soll. SL 2 definiert nun die fachlichen Abläufe zusammen mit den dazu benötigten fachlichen Daten. Darüber hinaus erfolgt eine Zuordnung der Teilprozesse zu den am Geschäftsprozess beteiligten *Stakeholdern*, sodass sich daraus die Aufgaben dieser und damit auch die Aufgaben des betrachteten Systems, als auch eine erste Festlegung zu den benötigten Schnittstellen ergeben. SL 3 stellt eine weitere Detaillierung dar, die neben den funktionalen Anwenderanforderungen in der Regel auch die nicht-funktionalen Anforderungen wie bspw. Anforderungen an die Benutzeroberfläche beinhaltet. Schließlich betrachten die Anforderungen des SL 4 die Trennung des betrachteten Systems in *Soft-* und *Hardware* oder weitere Bestandteile. Hier werden konkrete technologische Lösungen für Anforderungen auf den oberen SL gegeben. Das allgemeine Vorgehen beim RE gliedert sich in vier Haupttätigkeiten dem Erheben, dem Dokumentieren, dem Prüfen und dem Verwalten. (s. RUPP 2009, S. 14) Abbildung 23 zeigt die Abfolge von Entwicklungsschritten des RE im Umfeld der Systemanalyse mit der Anforderungen in jeder Detaillierungsebene für beliebige Betrachtungsgegenstände vollständig erfasst werden zu können.

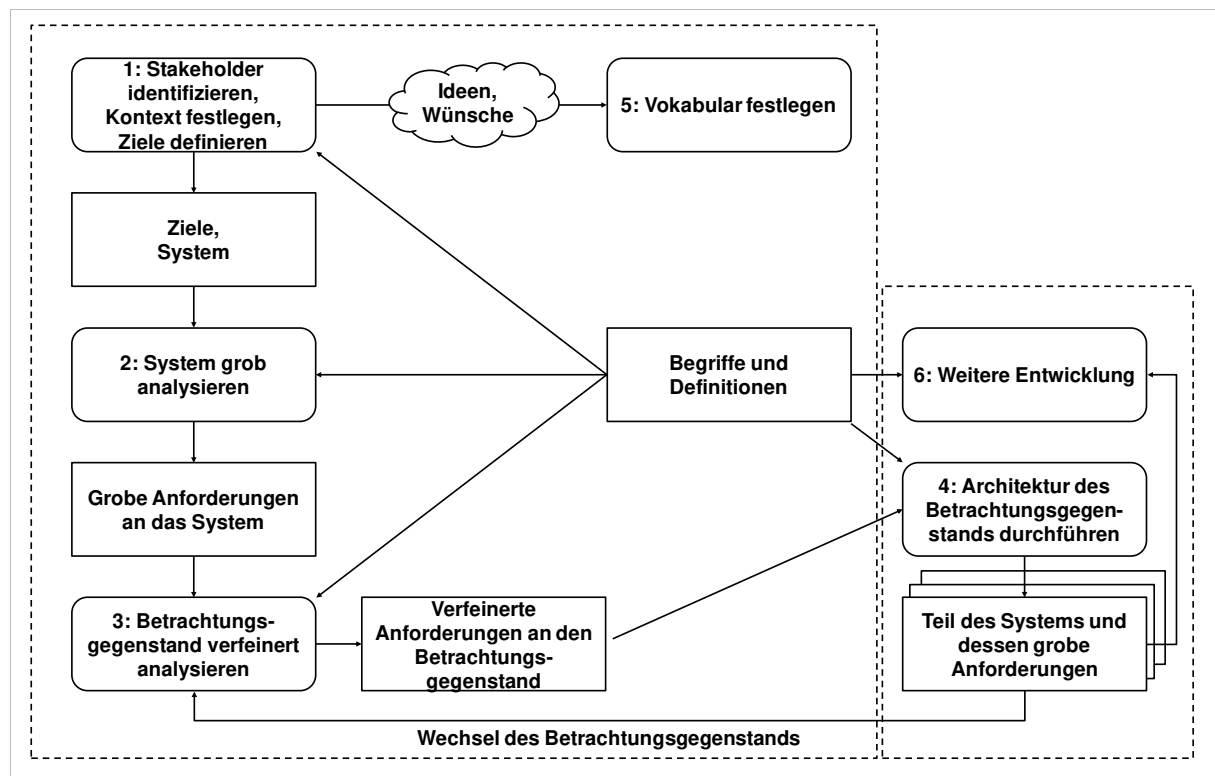


Abbildung 23: Entwicklungsschritte des RE (s. RUPP 2009, S.47)

In Schritt 1 werden zunächst sämtliche relevante Anforderungsquellen identifiziert und zusammen mit den *Stakeholdern* festgelegt, was entwickelt werden soll. Auf diese Weise wird der *Scope* und der Kontext des zu entwickelnden Systems determiniert. Darüber hinaus erfolgt in diesem Schritt die Definition der Ziele eines jeden Entwicklungsprojekts (SL 0). Die Festlegung des *Scope* impliziert direkt das System, das in einem ersten Analyseschritt untersucht wird. Ausgehend von den Zielen werden die groben Anforderungen an das System definiert, die das Systemverhalten auf einer groben Ebene vollständig beschreiben (SL 1). Die nachgeschaltete Analyse auf Basis der groben Anforderung in Schritt 3 besitzt die Aufgabe, eine Verfeinerung der Anforderungen herzuleiten und diese zu dokumentieren (SL 2 und 3). Nach vollständiger Identifikation aller Anforderungen an den Betrachtungsgegenstand können diese im Architekturschritt 4 in seine Bestandteile zerlegt werden (SL 4). Sind die so gefundenen Anforderungen als Vorgabe für die Realisierung der gefundenen Bestandteile noch nicht ausreichend, so können die groben Anforderungen an diese in einem erneuten Analyseschritt verfeinert werden. Dies führt wie in Abbildung 23 dargestellt, zu einer erneuten Durchführung des Analyseschritt 3 verbunden mit einem Wechsel des Betrachtungsgegenstands in Form des gerade betrachteten Teils des Systems. Parallel zu den Schritten 1 bis 4 stellt die Festlegung eines einheitlichen Begriffsmodells einen wichtigen Bestandteil der Systemanalyse dar. Die eindeutige Verwendung der Begriffe in den Anforderungen verringert das Risiko für Fehler und erhöht die Akzeptanz des Gesamtprozesses bei allen Beteiligten. (s. RUPP 2009, S. 46–48)

Das Ergebnis des RE stellt somit ein Modell der Realität dar, das durch dokumentierte Anforderungen einen Lösungsmodellraum für Systemarchitekten aufspannt, indem es

aus den vorhandenen Informationen ein konsistentes, vollständiges, formales Modell der Geschäftsprozesse, Informationsflüsse und ihrer IT-Unterstützung ableitet. (s. RUPP 2009, S. 21) Die Anwendung des RE liefert für diese Arbeit somit die notwendige Ausgangsbasis der konstruktionsorientierten Modellierungsaktivitäten. Die Weiterentwicklung der Modelle bis zur Normungsfähigkeit bedarf allerdings weiterer methodischer Unterstützung, welche im nachfolgenden Kapitel beschrieben wird.

4.2.3 Referenzmodellierung

Innerhalb dieser Arbeit findet in Abgrenzung zu einem abbildungsorientierten, ein konstruktionsorientierter Modellbegriff Anwendung. **Modellierung** ist ein realwissenschaftlicher Vorgang. (s. SCHÜTTE 1998, S. 74) **Modelle** stellen das Ergebnis einer Konstruktion eines Modellierers dar, der für Modellnutzer eine Repräsentation eines Originals mit Hilfe einer Sprache zu einer Zeit als relevant deklariert. (s. SCHÜTTE 1998, S. 59) Modelle stellen demnach sprachlich formulierte **Artefakte** dar. (s. SCHÜTTE 1998, S. 60) Bei einem **Original** kann es sich grundsätzlich um ein beliebiges Problem handeln das modelliert werden soll. (s. SCHÜTTE 1998, S. 61) Der **Zeit** kommt bei einem Modell eine fundamentale Rolle zuteil, da sie zum einen Aufschluss darüber gibt wann das Modell erstellt wurde und zum anderen wie lange das Modell als Konstruktion Gültigkeit besitzen soll. (s. SCHÜTTE 1998, S. 61) Ein **Informationsmodell** ist demnach ein spezielles Modell, das für Anwendungssystem- und Organisationsgestalter, Informationen über zu modellierende Elemente eines Systems beschreibt. (s. SCHÜTTE 1998, S. 63) Zur Konstruktion von Modellen werden künstliche Sprachsysteme eingesetzt, die dazu dienen betrachtete Modelinhalte zu beschreiben. (SCHÜTTE 1998, S. 62) Nach der in einem Modell abzubildenden Sicht auf das Original, können in Anlehnung an die Systemtheorie, Informationsmodelle der Verhaltens- oder der Struktursicht zugeordnet werden. (s. SCHÜTTE 1998, S. 64) Daten- und Aufbauorganisationssicht sind Bestandteil der Struktursicht, die Prozesssicht ist Teil der Verhaltenssicht. (s. SCHÜTTE 1998, S. 65) Informationsmodelle lassen sich in Bezug auf die darzustellende Breite in unternehmensspezifische Modelle und **RM** unterscheiden. (SCHÜTTE 1998, S. 66) Unternehmensspezifische Modelle besitzen lediglich für eine einzelne Unternehmung, wohingegen RM für eine Klasse von Unternehmen Gültigkeit besitzen. (SCHÜTTE 1998, S. 66) RM besitzen Sollcharakter für ein Unternehmen wenn sie unternehmensspezifisch angepasst wurden. (SCHÜTTE 1998, S. 66) Die Gültigkeit von RM kann nicht in einem Anwendungsfall vollständig geprüft werden, da in der Praxis nie das gesamte RM in einem Unternehmen einsetzbar ist, sondern immer nur verschiedene Bestandteile davon. (s. SCHÜTTE 1998, S. 66) Der Abstraktionsgrad bestimmt die Detailliertheit der Darstellung eines Originals in einem Modell. (s. SCHÜTTE 1998, S. 67) Ein **Referenzinformationsmodell** wird als Informationsmodell definiert, dass seinem Modellnutzer Informationen über allgemeingültig zu modellierende Elemente und Systeme zu einer Zeit als Empfehlung mit einer Sprache deklariert, sodass ein Bezugspunkt für ein IS geschaffen wird. (s. SCHÜTTE 1998, S. 69) Der Bezugspunkt resultiert aus dem Umstand, dass RM eine Klasse von Anwendungsfällen darstellen, die für die Entwicklung unternehmensspezifischer Modelle dienen können. (s. SCHÜTTE

1998, S. 69) Der Informatikbereich der künstlichen Intelligenz (KI) weist Berührungspunkte zur RM auf, da bspw. das Wissen in einer Wissensbasis eines Expertensystems bereits eine Art RM darstellt. (s. SCHÜTTE 1998, S. 81) Als Bindeglied zwischen Struktur- und Verhaltenssicht werden ISA benötigt, damit Informationsmodelle einen ordnenden Rahmen erhalten. (s. SCHÜTTE 1998, S. 89) Eine Ordnung ist bezogen auf die Informationssystemgestaltung, die Herstellung der Struktur nach der IS zu beschreiben sind. (s. SCHÜTTE 1998, S. 89) Die Allgemeingültigkeit eines RM bezieht sich auf die Gültigkeit des Modells unter bestimmten dem Modell inhärenten Voraussetzungen. (s. SCHÜTTE 1998, S. 70) Die reale Gültigkeit eines Modells ist zumindest bis zur ersten konkreten Anwendung offen. (s. SCHÜTTE 1998, S. 70) Durch konkrete Anwendung können RM in ihrer Gesamtheit dennoch nicht bewiesen werden, sondern die reale Gültigkeit wird dadurch lediglich wahrscheinlicher. (s. SCHÜTTE 1998, S. 70) Daher können RM niemals eine Erkenntnis- oder Erklärungsaufgabe von Fakten besitzen, sondern dienen vielmehr als generelle Rezepte für bestimmte Klassen von Entscheidungsproblemen zur Bewältigung praktischer Problemstellungen. (s. SCHÜTTE 1998, S. 70)

Bei der Modellierung wird immer eine Referenz vorausgesetzt, die stets durch vorhandene Deutungsmuster des Modellierers bei der Strukturierung seiner Beobachtungen beeinflusst wird. (s. SCHÜTTE 1998, S. 74) Semantische Referenz und Syntax einer Sprache bilden die zwingende Voraussetzung für jede Art von Modellkonstruktion. (SCHÜTTE 1998, S. 75) Das Vorgehensmodell zur Referenzmodellierung gliedert sich in fünf Phasen und bildet den Inhalt der nachfolgenden Ausführungen.

Phase 1 und Ausgangspunkt der Referenzmodellierung bildet die **Problemdefinition**. (s. SCHÜTTE 1998, S. 184) Neben der Problembeschreibung ist eine **Lösungshypothese** nötig, die angibt wie das Problem einer Lösung zugeführt werden kann. (s. SCHÜTTE 1998, S. 205) Dazu ist eine Orientierung an Klassifikationen von Problemen erforderlich, mit deren Hilfe die Problemdefinition in vorhandene Klassifikationsschemata eingebettet werden kann. (s. SCHÜTTE 1998, S. 205) Die Kriterien die zur Klassifizierung von Unternehmen für Zwecke der Informationsmodellierung herangezogen werden können, liegen teilweise durch Klassifikationsansätze in der Literatur bereits vor und können außerdem durch Hypothesen zur Bildung von Realtypen aus der Beobachtung der betrieblichen Praxis heraus gewonnen werden. (s. SCHÜTTE 1998, S. 205–206)

In Phase 2 erfolgt die **Konstruktion des Referenzmodellrahmens**. (s. SCHÜTTE 1998, S. 187) Die Komplexität von RM ergibt sich zum einen aus den einzelnen Modellbausteinen (Leistungskomplexität) und zum anderen aus der kombinatorischen Vielfalt (Variationskomplexität). (s. SCHÜTTE 1998, S. 209) Für Zwecke der Konfigurierung spielen Merkmale eine überragende Rolle. (s. SCHÜTTE 1998, S. 209) Aus diesem Grund ist eine Unterteilung in Konfigurations- und Bewertungsmerkmale zur Erreichung der beiden Hauptzwecke von RM, der Konstruktion spezifischer Modelle (Bezugspunkt) und der Analyse der bestehenden Situation (Empfehlung) zweckdienlich. (s. SCHÜTTE 1998, S. 209) Eine Klasse repräsentiert ein oder mehrere Merkmale und

ist von einem Klassentyp abhängig. (s. SCHÜTTE 1998, S. 210) Als Klassentypen können bspw. die Wirtschaftsbereiche Handel, Industrie und DL angesehen werden, da sie die Informationsmodelle in hohem Maße prägen und sich in der Praxis als geeignete Klassentypen bereits erwiesen haben. (s. SCHÜTTE 1998, S. 210–211 ZIT. NACH KELLER U. SCHRÖDER 1996, S. 85) Für die Konstruktion von RM sind die konfigurationsrelevanten Merkmale sowie deren Zuordnung zu Klassen relevant, damit Anwendern eine weitgehend automatische Modellkonfigurierung ermöglicht werden kann. (s. SCHÜTTE 1998, S. 211) Zur Konkretisierung der Problemdefinition bieten sich die Konstruktion sogenannter Basiselemente an, die abstrakte Objekte und Relationen darstellen, die für die spätere Organisationsgestaltung von Interesse sind. (s. SCHÜTTE 1998, S. 217) Basiselemente kommen dem Konsens über die Problemdefinition zugute indem sie den Rahmen vorgeben, innerhalb dessen sich die Referenzmodellierung bewegt. (s. SCHÜTTE 1998, S. 219) Hierbei ist es vorteilhaft bei der Konstruktion der Basiselemente bewusst Variabilitäten zu konstruieren, die durch zusätzliche Kontextangaben die Interpretation der Struktur ermöglichen. (s. SCHÜTTE 1998, S. 217) In diesem Zusammenhang ist für die Einfachheit der späteren Modellanwendung der Aufbau des auf Basis der zugrunde liegenden Problemstellung zu konstruierenden RM ausschlaggebend. (SCHÜTTE 1998, S. 220)

Im Zuge von Phase 3 wird die **Konstruktion der Referenzmodellstruktur** durchgeführt. (s. SCHÜTTE 1998, S. 187) Sogenannte Prozessobjekte sind für die simultane Modellierung von Daten- und Prozesssicht geeignet um ein unsystematisches Nebeneinander von Referenzstruktur- und Referenzverhaltensmodell beim Referenzmodellaufbau zu verhindern. (s. SCHÜTTE 1998, S. 222–223) In RM repräsentieren Prozessobjekte nicht die konkreten Prozessobjekte die einzelnen Prozessen zugrunde liegen, sondern bilden vielmehr eine Klasse von Prozessobjekten ab, wie sie sich nach der individuellen Konfigurierung und Anpassung ergeben. (s. SCHÜTTE 1998, S. 225) Prozessobjekte kapseln Struktur und Verhalten und stellen strukturell betrachtet eine Sicht auf unternehmensweite Datenmodelle dar. (s. SCHÜTTE 1998, S. 223) Aufgrund der Notwendigkeit der Abbildung vielfältiger Alternativen bei RM hat sich im Zuge der prozessobjektorientierten *Clusterung*, eine matrizenhafte Variantendarstellung in Form von Prozessobjektauswahlmatrizen als übersichtliche Darstellungsform herauskristallisiert. (s. SCHÜTTE 1998, S. 221–225) In diesem Zusammenhang bilden *Buildtime*- und *Runtime*-Prozessobjekte die begriffliche Abgrenzung von Informationsobjekten des RM (*Buildtime*) sowie von unternehmensspezifischer Modelle (*Runtime*), da ein RM ohne unternehmensspezifische Konfigurierung nicht genutzt werden kann. (s. SCHÜTTE 1998, S. 226) Ein *Buildtime*-Prozessobjekt repräsentiert mindestens ein oder mehrere Prozessobjekte und abstrahiert somit von unterschiedlichen Prozessobjekttypen, sodass die semantische Relation als Generalisierung charakterisiert werden kann. (s. SCHÜTTE 1998, S. 226) Neben Prozessobjekten sind Objekte erforderlich, die Wissen über unterschiedliche Prozessvarianten besitzen, die in einem RM dargestellt werden müssen. (s. SCHÜTTE 1998, S. 226) Folglich repräsentieren Konfigurationsobjekte Wissen über Prozessobjektfolgen bzw. Objektmigrationsfolgen innerhalb der

jeweiligen Prozessvarianten, die über Konfigurationsmerkmale festlegen welches Verhalten Prozessobjekte in der spezifischen Anwendungssituation besitzen. (s. SCHÜTTE 1998, S. 226–227) Aus der Anforderung an RM allgemeingültige Gegebenheiten darzustellen, folgt die Notwendigkeit den geeigneten Abstraktionsgrad für die Modellkonstruktion auszuwählen. (s. SCHÜTTE 1998, S. 235) Hierbei werden drei bis vier Hierarchiestufen in der Praxis als ausreichend verständlich empfunden. (SCHÜTTE 1998, S. 235) Weiterhin stellt die Identifikation von Strukturanalogien bzw. *Patterns* ebenfalls eine grundlegende Anforderung dar, die sich aus dem Allgemeingültigkeitsanspruch von RM ableiten lässt. (s. SCHÜTTE 1998, S. 236) In diesem Zusammenhang gelten Strukturen als analog zueinander wenn zum einen die Mehrzahl der Informationsobjekte der Modelle identisch sind und zum anderen wenn Abweichungen zwischen den Informationsmodellen nur erlaubt sind, sofern es sich um zusätzliche Spezialisierungen im Datenmodell oder zusätzliche Alternativen nach einem *Operator* im Prozessmodell handelt oder aber zwischen den Informationsmodellen eine Obermengen-Teilmenge-Beziehung besteht. (s. SCHÜTTE 1998, S. 237) Entsprechend der Unterteilung in Struktur und Verhalten wird zwischen strukturellen und verhaltensstrukturellen Identitäten differenziert, wobei in diesem Zusammenhang Referenzbausteine insbesondere für die RM eine wichtige Klasse darstellen, die die semantikbehafteten Strukturbausteine repräsentieren. (s. SCHÜTTE 1998, S. 237–239) Strukturanalogien können somit vielmehr als generische Bausteine verstanden werden, die unternehmensspezifisch anzupassen sind und vor allem in Form der Referenzbausteine eine hohe Bedeutung bei der Konstruktion von RM besitzen. (s. SCHÜTTE 1998, S. 239) Im Zuge der Modellierung der inneren Prozessobjektstruktur durch Konstruktion von Referenzprozessmodellen, die isoliert den Durchlauf eines Objektes betrachten, steht die Frage nach der Art und Weise im Vordergrund, wie Beziehungen zwischen Prozessen, die durch die Beanspruchung gleicher Ressourcen entstehen, abgebildet werden können. (s. SCHÜTTE 1998, S. 240) Aufgrund ihrer Allgemeingültigkeit müssen RM außerdem Alternativen enthalten, die lediglich auf *Buildtime*-Ebene Gültigkeit besitzen. (s. SCHÜTTE 1998, S. 244) Bei der Darstellung von Sequenzen im RM besteht das wesentliche Problem darin, anzugeben welche Funktionen in welcher Reihenfolge abhängig von der unternehmensspezifischen Situation denkbar sind. (s. SCHÜTTE 1998, S. 253) Die Anzahl an Alternativen steigt exponentiell mit der Anzahl an Elementen, da einerseits die Reihenfolge der Funktionen und andererseits ihre Gültigkeit im unternehmensspezifischen Modell variabel sein können, da diese jeweils abhängig von der Heterogenität der Abläufe in der Unternehmensklasse sind. (s. SCHÜTTE 1998, S. 253–254)

In Phase 4 erfolgt die **Komplettierung** und in Phase 5 schließlich die **Anwendung**. (s. SCHÜTTE 1998, S. 188) Nach der Modellkonstruktion liegt eine den Anforderungen der Modellnutzer angemessene Repräsentation des zugrunde liegenden Originals vor, für das zur Komplettierung der Beschreibung die Verbindungen zwischen den intendierten Anwendungen noch innerhalb der vierten Phase hergestellt werden muss. (s. SCHÜTTE 1998, S. 291) In diesem Zusammenhang geht es in erster Linie um die Repräsentation

von Querverbindungen in Form von Intra-Referenzmodellbeziehungen hinsichtlich der Konfigurierung von RM und dem Zusammenhang zwischen Merkmalsausprägungen und modellierten Informationsobjekten, sowie Inter-Referenzmodellbeziehungen die die Querverbindungen zwischen RM und den intendierten Anwendungen betreffen. (s. SCHÜTTE 1998, S. 291–299)

Nachdem nun sowohl die Anforderungen an die Ergebnisse, als auch die methodischen Grundlagen zur Lösungen der dieser Arbeit zugrunde liegenden Problemstellung beschrieben worden sind, kann nun zum Abschluss dieses Kapitels die Konkretisierung der Vorgehensweise erfolgen.

4.3 Konkretisierung der Vorgehensweise

Jedes wissenschaftlich begründete Vorgehen erfordert ein mittel- und zweckgeleitetes planmäßiges Vorgehen. Die einer Modellkonstruktion zugrunde liegende Vorgehensweise ergibt sich dabei nicht von selbst, sondern bedarf einer methodologischen Fundierung. (s. SCHÜTTE 1998, S. 177) Die im Rahmen dieser Arbeit ausgewählte Vorgehensweise baut grundsätzlich auf der methodischen Komponente der fachübergreifenden Systemtechnik als Grundlage der Problemlösung auf. Konkret besteht das Problem dieser Arbeit darin, auf Basis vorhandener und zu erarbeitender Erkenntnisse, die Gestaltung entscheidungsorientierter EnIS für produzierende Unternehmen zu erleichtern. Die Dekomposition und Ableitung von Anforderungen stellen dabei zwei der wichtigsten Aspekte der Systemgestaltung dar. (s. CROWDER ET AL. 2016, S. 38) Diesem Umstand wird im Rahmen dieser Arbeit durch konsequente Anwendung des *RE* Rechnung getragen. Neben der grundsätzlichen Orientierung am Vorgehen der Systemtechnik liegt der generellen Vorgehensweise dieser Arbeit im Wesentlichen das Vorgehensmodell zur Erstellung und Anwendung von RM als Rahmen zugrunde. Diese Vorgehensweise harmoniert zum einen mit den identifizierten formalen und inhaltlichen Anforderungen und zum anderen mit den allgemeinen Prinzipien des systematischen Vorgehens. Abbildung 24 stellt die Kapitelinhalte dieser Arbeit als Ergebnisse einzelner Schritte des Vorgehensmodells dar. Zur Problemdefinition des Vorgehens gehört nicht nur die Beschreibung der Modellierungsziele und des sich daraus ergebenden Nutzens, sondern auch eine Systematisierung des im Modell abzubildenden Untersuchungsbereichs. Anschließend können im Zuge der Konstruktion des Modellrahmens die Identifikation erster konkreter Anforderungen und die Festlegung einer Vorgehensweise, aber vor allem die Entwicklung eines adäquaten Ordnungsrahmens erfolgen. Auf Grundlage des Modellrahmens erfolgt die Konstruktion der Modellstruktur, d.h. die Entwicklung von konfigurierbaren Teilmodellen. In Analogie mit den beiden Grundgedanken der Systemtechnik wird vom Groben zum Detail und nicht umgekehrt vorgegangen, sowie das Prinzip des Denkens in Varianten befolgt. So soll zunächst eine konzeptionelle Grobstruktur einer EnISA erarbeitet und bereits mit einschlägigen Experten diskutiert werden.

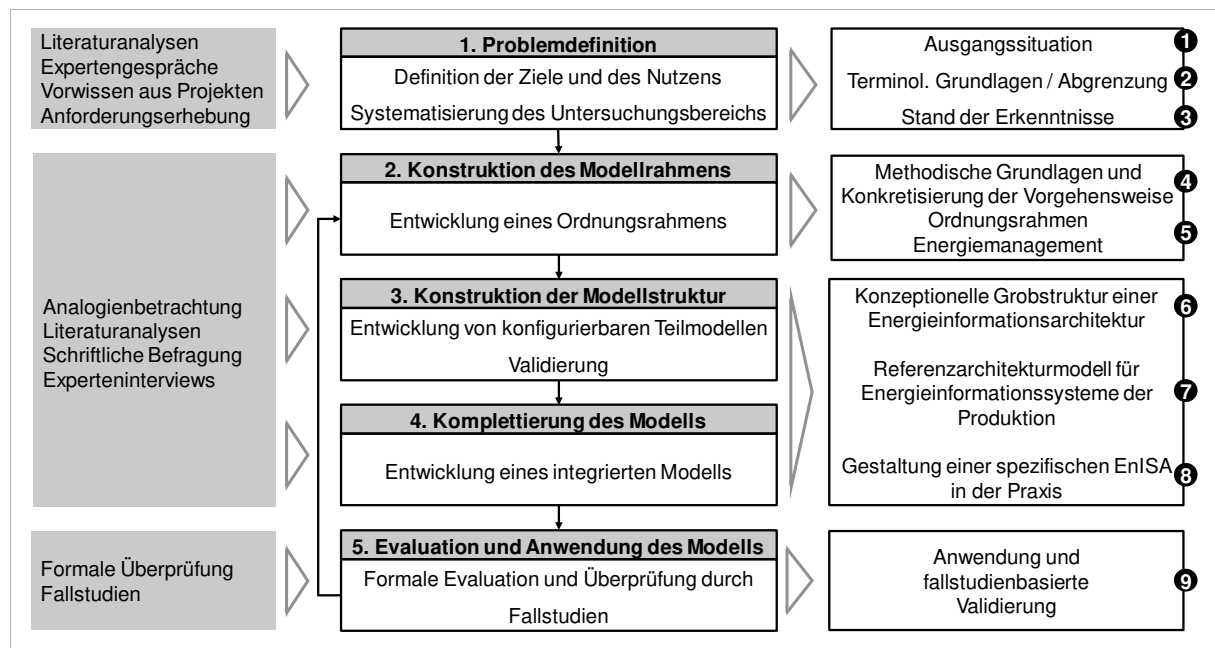


Abbildung 24: Konkretisierung der Vorgehensweise nach SCHÜTTE
(i. A. a. SCHÜTTE 1998, S. 177ff.)

Die Komplettierung des Modells beinhaltet anschließend die Entwicklung eines integrierten RM. Dabei wurde in einem vorherigen Kapitel bereits gezeigt, dass bei der Entwicklung eines Referenzarchitekturmodells (RAM) für EnIS der Produktion zu berücksichtigen gilt, dass bereits verschiedene ISA-Rahmenwerke in der Domäne Produktion, in der Domäne Energiewirtschaft (*Smart Grids*) und weitere allgemeine Vertreter ohne expliziten Domänenbezug existieren und es daher zweckmäßig ist, eines dieser Rahmenwerke heranzuziehen und mit Blick auf die vorliegende Problemstellung zu adaptieren. Für das auf diese Weise entwickelte integrierte RAM stellt die Evaluation und praktische Modellanwendung schließlich der zentrale letzte Schritt dar. Erst bei der praktischen Anwendung zeigt es seinen Nutzen und es lassen sich daraus realitätsnahe Anregungen für Modellverbesserungen und -erweiterungen ableiten (s. SCHÜTTE 1998, S. 188). In vorliegender Arbeit soll dies schließlich anhand von verschiedenen Fallstudien mit konkreter praktischer Umsetzung in unterschiedlichen realen Produktionsumgebungen erfolgen.

Die Festlegung eines einheitlichen Begriffsmodells stellt einen wichtigen Bestandteil der Systemanalyse dar. Die eindeutige Verwendung der Begriffe verringert darüber hinaus das Risiko für Fehler und erhöht die Akzeptanz des Gesamtprozesses bei allen Beteiligten. Semantische Referenz und Syntax bilden außerdem ebenfalls die zwingende Voraussetzung für die sich anschließende Referenzmodellkonstruktion. Im nächsten Kapitel wird daher die terminologisch-deskriptive Untersuchung durchgeführt, die die Ausgangsbasis für sämtliche weitere Aktivitäten des operationsanalytischen Forschungsprozesses dieser Arbeit liefert.

5 Energiemanagement im Ordnungsrahmen Produktion und Management

Das tief gehende Verständnis des Untersuchungsbereichs ist dafür maßgeblich um begreifen zu können, wie Systemanforderungen, Bedürfnisse und Ziele sequenziell für die Entwicklung einer praktikablen Systemarchitektur zerlegt werden müssen. (s. CROWDER ET AL. 2016, S. 33) Der Systemarchitekturgestaltung sollte aus diesem Grund idealerweise ein Set geeigneter Referenzrahmen zugrunde gelegt werden, die auf Basis der aus dem Untersuchungsbereich erhobenen Anforderungen den Gestaltungsprozess als Leitlinien dienen. (s. CROWDER ET AL. 2016, 33 ZIT. NACH CAMARINHA-MATOS U. AFSARMANESH 2008, o. S.) Wie weiter oben bereits erwähnt wurden im Ordnungsrahmen Produktion und Management bereits Anpassungen des allgemeingültigen und auf jeglichen Unternehmenstyp anwendbaren St. Galler Management-Modells mit besonderer Rücksicht auf das produzierende Unternehmen vorgenommen.

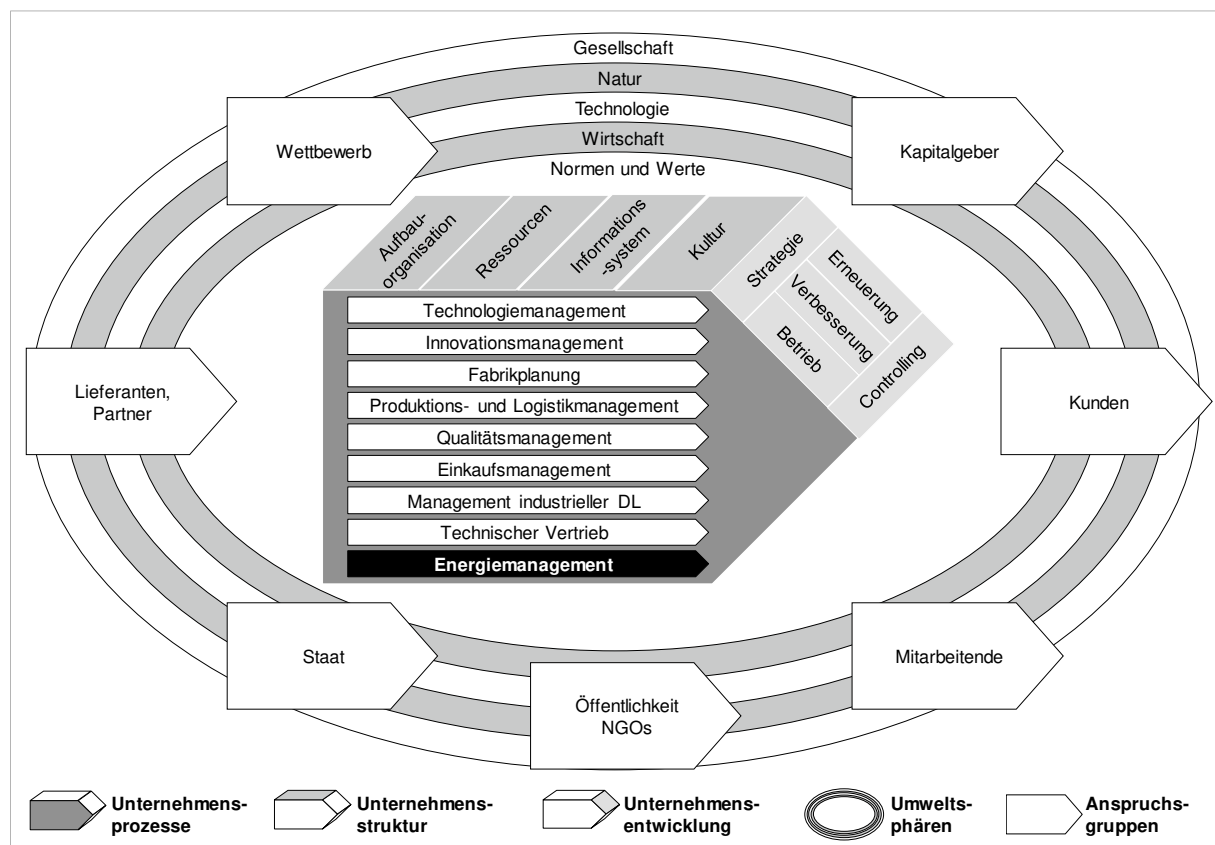


Abbildung 25: Integration des EM in den Ordnungsrahmen Produktion und Management (i. A. a. BOOS ET AL. 2011, S. 56 und RÜEGG-STÜRM 2003, S. 22)

Es stellt somit ein generisches Modell mit hohem Abstraktionsgrad dar, das sowohl die einzelnen Elemente innerhalb als auch außerhalb eines Unternehmens sowie die Beziehungen zwischen diesen abbildet. Der Ordnungsrahmen lässt sich somit in innerbetriebliche Fragestellungen, Anspruchsgruppen als Interaktionspunkt mit der Außenwelt und Umweltsphären als externe Einflussgrößen auf produzierende Unternehmen

untergliedern. Heute sind produzierende Unternehmen wie in den einleitenden Kapiteln 1.1 und 1.2 bereits skizziert, durch die Umsetzung der Energiewende mit völlig neuartigen und komplizierten Herausforderungen konfrontiert, die ein aktives Management der Ressource Energie vorteilhaft erscheinen lassen.

Ziel dieses Kapitels ist es demnach die Aufnahme des EM, wie in Abbildung 25 gezeigt, als eigenständigen Unternehmensprozess des Ordnungsrahmens Produktion und Management, durch systematische Herleitung aus Fachliteratur und eigenen Forschungserkenntnissen (s. Anhang A1) zu legitimieren, um somit der wachsenden Bedeutung der Ressource Energie für Industriebetriebe Rechnung zu tragen. (s. ROSCHER 2016b, S. 66) Gleichzeitig liefert der auf diese Weise erweiterte Ordnungsrahmen den Referenzrahmen für das systematische Vorgehen zur Identifikation, Artikulation und Dokumentation der generischen Anforderungen an EnIS produzierender Unternehmen, welche den Kristallisationspunkt der sich anschließenden iterativen Konstruktion des Modellrahmens im Zuge der Referenzmodellierung innerhalb dieser Arbeit darstellen (s. Abbildung 24).

5.1 Umweltsphären und Anspruchsgruppen im Kontext Energiemanagement

Der Ordnungsrahmen lässt sich wie bereits erwähnt in innerbetriebliche Fragestellungen, Anspruchsgruppen als Interaktionspunkt mit der Außenwelt und Umweltsphären als externe Einflussgrößen auf produzierende Unternehmen untergliedern. (s. BOOS ET AL. 2011, S. 55) Insbesondere in Deutschland sind vor allem die Außenwelt und die Umweltsphären heute dafür verantwortlich, dass das Themenfeld EM explizit als innerbetriebliche Fragestellungen im Rahmen der Leistungserstellung Berücksichtigung finden. Dies ist im Wesentlichen auf die sich abzeichnenden drei Megatrends der neuen Energiewirtschaft zurückzuführen, die im Gegensatz zur klassischen Energiewelt durch Dekarbonisierung, Dezentralisierung und Digitalisierung charakterisiert werden kann. (s. FLAUGER 2016, S. 1–2) Die europäische **Gesellschaft**, zugehörige **Staaten** und **NGO** haben sich auf die Senkung der Treibhausgasemissionen, der Steigerung der Energieeffizienz und die Erhöhung des Anteils der EEverständigt und sind im Inbegriff die sich selbst gesteckten Ziele der Klima- und Energiepolitik bis 2020 auch zu erreichen. (s. GUSKE 2017, S. 1) Gesellschaft wird in dieser Arbeit als Konstrukt der sozialen Kommunikation und Handlungen, also die Organisation der Menschen untereinander, verstanden. Kultur ist das zentrale Element, mit dem das Verhältnis zu Ökologie, Ökonomie, Sozialem und Politik einer Gesellschaft beschrieben werden kann. (s. SCHREIBER 2008, S. 36) Kultur ist demnach Teil der Gesellschaft und bezeichnet das gemeinsame Konzept von Moral, Werten und Wissen an denen sich Denken und Verhalten in Form von Leitbildern, Normen, Traditionen, Vorstellungen und Überzeugungen orientieren. (s. BARSCH 2014, S. 18)

In diesem Zusammenhang steht das Leitbild der *Green Economy* in Europa für eine international wettbewerbsfähige, umwelt- und sozialverträgliche **Wirtschaft**. Diese ist

eng verknüpft mit dem steigenden Bewusstsein darüber, wie sich Ökosystemleistungen (**Natur**) auf die Bestandteile des menschlichen Wohlergehens auswirken. Hierbei unterscheidet man innerhalb der Ökosystemleistung zwischen Basis-, Versorgungs-, Regulierungs- und kulturelle Leistungen. Basisleistungen stellen durch Bodenbildung, Photosynthese und den Nährstoffkreislauf die essenzielle Grundlage für die Entstehung anderer Ökosystemleistungen dar. Versorgungsleistungen umfassen wiederum die verfügbaren Nahrungsmittel, Rohstoffe sowie Energie in Form energetischer Biomasse aus Pflanzen und Tieren sowie die mechanische Energie durch Tiereinsatz. Regulationsleistungen bilden wichtige Vorleistungen bei der Bereitstellung von Versorgungsleistungen durch Klima-, Hochwasser- und Krankheitsregulierung sowie Wasserreinigung. Die kulturellen Leistungen liefern die Grundlage für Ästhetik, Spiritualität, Bildung, Erholung und stiften darüber hinaus Identität, Freizeit- und Erholungswert. (s. HAAREN U. ALBERT 2016, S. 26–30)

Hinsichtlich der vorherrschenden **Normen und Werte** lässt sich daraus eine höhere Bedeutung für den gesicherten Zugang zu Ressourcen, Sicherheit vor Katastrophen, angemessene Lebensgrundlage, Zugang zu sauberer Luft und sauberem Wasser, sowie eine nachhaltige Energieversorgung in den Sektoren Strom, Wärme und Mobilität ableiten. Die Natur liefert dafür standortspezifische Potenziale für Wind-, Sonnen-, Meeres-, Bio-, Hydroenergie und Geothermie. Normen und Werte spielen im Zusammenhang der Energiewende neben technischen Lösungen die zentrale Rolle. Zur Erreichung der Ziele muss die Gesellschaft ihre Werte definieren und die Einordnung der Energiewende in einen größeren Zusammenhang wie dem Klimawandel, Artensterben, Versauerung der Meere sowie Boden- und Luftverschmutzung usw. weiter vorantreiben. Außerdem besteht ein direkter Zusammenhang zwischen der Energiewende und dem Lebens- und Konsumstil der Anspruchsgruppen. Konsum in Form von Energie- und Ressourcenverbrauch und Kultur stehen direkt miteinander in Verbindung und haben Auswirkungen auf die Umwelt. Die Auswirkung auf die globale Umweltkrise lässt sich somit in eine Persönlichkeits-, kulturelle, systemisch-strukturelle und technische Perspektive unterteilen. Die Persönlichkeitsperspektive umfasst das spezifische Umweltbewusstsein des Einzelnen und dessen zugehörigen persönlichen Werte. Die kulturelle Perspektive beschreibt das kollektive Umweltwissen, kulturelle Leitwerte und die Anerkennungsstruktur. In der systemisch-strukturellen Perspektive manifestiert sich die Wirtschafts- und Gesellschaftsordnung. Innerhalb der technischen Perspektive wird die *Green Economy* mit technologischen Innovationen und Effizienzsteigerung zusammengefasst. (s. BARSCH 2014, S. 1–18) Der Umgang mit den durch die Digitalisierung und Energiewende implizierten Veränderungen ist für die meisten Unternehmen entscheidend für den Erhalt ihrer Wettbewerbsfähigkeit und Existenz. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 24)

Modernste **Technologien** liefern die physische und die informationstechnische Grundlage für Innovationen um umweltverträgliches, qualitatives wirtschaftliches Wachstum zu ermöglichen. So fallen bspw. seit 2006 die Investitionskosten von Photovoltaik-

Kraftwerken (PV-Kraftwerken) der Größenordnung 10 bis 100 kWp durch den technologischen Fortschritt, sowie aufgrund von Skalen- und Lerneffekten im Mittel um ca. 13% pro Jahr und waren in 2016 somit insgesamt um 75% günstiger. Die Historie legt die Vermutung nahe, dass die Preisentwicklung für PV-Module einer Preis-Erfahrungskurve folgt, die bei einer Verdopplung der gesamten installierten Leistung zu einer ca. 23 prozentigen Preisreduktion im Markt führt. (s. WIRTH 2017, S. 8–9) Auch bei den Solarstromspeichern zeichnet sich ein Trend zur weiteren Kostenreduktion ab, sodass gerade große Speicher mit einer Nennkapazität von bis zu 30 kWh, um mehr als 50% günstiger als noch vor vier Jahren sind. (s. WEDEPOHL 2017) Energiespeicher gelten für das Gelingen der Energiewende nach allgemeiner Meinung bereits als unerlässlich. Kontroverse Diskussionen werden in diesem Zusammenhang aber weiter bezüglich der Frage geführt, ab welchem Zeitpunkt diese tatsächlich notwendig werden. (s. BOLAY ET AL. 2016, S. 1) Heutige Abschätzungen weisen hierbei einen Anteil von 60–80% EE an der Stromversorgung als relevante Größenordnung aus. (s. STERNER U. STADLER 2014, S. 49) Bei Windenergieanlagen der Leistungsklassen 2–3 MW und 3–4 MW sind zwischen 2012 und 2015 die spezifischen Hauptinvestitionskosten pro m² Rotorkreisfläche im Durchschnitt um 16% gesunken. (s. LÜERS ET AL. 2015, S. 9) Die Investition in eigene Erzeugungsanlagen wird vor dem Hintergrund dieser Kostenentwicklung für Unternehmen immer attraktiver und bilden gleichzeitig die Grundlage für weitere technische Innovationen in diesem Bereich mit dem Ziel die deutsche Technologieführerschaft weiter ausbauen zu können. Mit der neuen HS wurden durch die Bundesregierung die Ziele für Deutschland auf dem Weg zum weltweiten Innovationsführer bereits aufgezeigt. (s. BMBF 2014, S. 5–51) Bei **I4.0** steht die **digitale Vernetzung** von verteilten intelligenten interoperablen Produktionssystemen über Breitbandtechnologien (bspw. Ethernet, 5G) im Zentrum. Dabei verschmelzen reale und virtuelle Welt zunehmend im Internet der Dinge und Dienste. I4.0 Unternehmen verknüpfen Produkte, Prozesse und DL miteinander und veredeln diese zu **Smart Services** (intelligenten DL). Die Grundlage sämtlicher I4.0-Anwendungen und den damit verbundenen **Smart Services** stellt **Smart Data** dar. **Smart Data** beschreibt die Fähigkeit unvorstellbar große Datenmengen in Echtzeit so intelligent zu verarbeiten und direkt zu analysieren (*Big Data*-Technologien), dass daraus verlässliche Entscheidungen getroffen werden können, die es erlauben laufende Geschäftsprozesse zu optimieren. Der Begriff **Smart** soll damit zum Ausdruck bringen, dass der Mensch einen Teil seiner Kontrollaufgaben, die er bislang gar nicht oder aufgrund seiner kognitiven Fähigkeiten selbst durchgeführt, hat an Dinge und DL abgibt. (s. FLEISCH ET AL. 2005, S. 22) Der z.T. inflationäre Gebrauch des Begriffs ist höchstwahrscheinlich der noch anhaltenden hohen Begeisterung geschuldet, der mit der zunehmenden Gewöhnung an die aus heutiger Sicht noch neuartigen Ansätze wahrscheinlich wieder abnehmen wird. Im praktischen Sprachgebrauch und auch vermehrt in der Literatur findet er häufig Verwendung, sodass er auch im Rahmen dieser Arbeit vor allem zur Abgrenzung gegenüber konventionellen Ansätzen verwendet wird. Ähnlich zu den oben beschriebenen Entwicklungen internetbasierter DL stellt das **Cloud Computing** insbesondere für

kleine und mittelständische Unternehmen vielfältige Wachstumschancen und Entwicklungspotenziale dar, da sie selbst nicht in eigene IT-Infrastruktur und *Know-How* investieren müssen um auf innovative kapitalintensive Technologien zurückgreifen zu können, sondern diese, je nach Marktsituation bedarfsgerecht *Infrastructure as a Service* kaufen zu können. Die Gesellschaft steht somit in dieser Dekade an der Schwelle eines qualitativen Sprungs in der Organisation von Arbeit, deren Treiber kognitive Maschinen sein werden. (s. HOLTEL ET AL. 2017, S. 7)

Jede der bisherigen industriellen Revolutionen hatte massive Auswirkungen auf das Zusammenleben und Wirtschaften der verschiedenen **Anspruchsgruppen (Stakeholder)**. Die wesentlichen Akteure und Rollen im Strommarkt lassen sich anhand ihrer Marktfunktion und Marktrolle in folgende Anspruchsgruppen unterscheiden. Die Marktfunktion Stromnetzbetreiber gliedert sich in die Marktrolle ÜNB, Anschlussbetreiber, Bilanzkreisverantwortlicher, Bilanzkoordinator und Messstellenbetreiber. Die Marktfunktion Akteur im Strommarkt beinhaltet die Rollen des Bilanzkreisverantwortlichen, des Messstellenbetreibers und der Stromlieferanten. Die Marktfunktion organisierte Marktplätze besteht aus den Marktrolle der Buchungsplattform für grenzüberschreitende Stromnetzkapazitäten, Börsen und außerbörslichen Handel über *Over the Counter* (OTC)-Plattformen. Eine weitere Marktfunktion bilden Anlagenbetreiber sowie Behörden, energiewirtschaftliche Verbände, energiewirtschaftliche Institutionen sowie Dienstleister bilden weitere Marktrolle. (s. BNETZA 2017b, S. 2–5)

Die eindimensionale Betrachtungsweise der klassischen Problematik der reinen Beschaffung, Verwendung und Kosten von Energie ist überholt. Das EM ist Teil des strategischen Managements und Unternehmen haben die Aufgabe in einer sich ständig verändernden Umwelt zu überleben. Die Vermeidung von Engpässen und Kosten, die optimale Ausrichtung auf Kundenbedürfnisse und die Übernahme der Verantwortung für jene Umwelt in der produziert und konsumiert wird stellen die neuen Bezugspunkte des Energiemanagements dar. Ausgehend von dieser Sichtweise steht das Unternehmen im Schnittpunkt vielfältiger und oft widersprüchlicher Interessen. Abbildung 25 zeigt die Komplexität der Gesamtführung eines Unternehmens. Das Management muss mit den Ansprüchen und Forderungen aller Bezugsgruppen auseinandersetzen (*Stakeholder-Prinzip*) um seine Wettbewerbsfähigkeit zu sichern. (s. RAVEL 1994, S. 9–11)

5.2 Unternehmenstruktur im Kontext Energiemanagement

Der Erfolg eines Unternehmens basiert u.a. auf seiner strukturellen und organisatorischen Ausrichtung. (s. KAMPKER ET AL. 2011, S. 133) Daher soll im Folgenden auf die vier Säulen Aufbauorganisation, Ressourcen, IS und Unternehmenskultur als Bestandteil der Unternehmensstruktur im Hinblick auf das EM eingegangen werden. Organisationen als soziale Systeme und IS als sozio-technische Systeme vereinen neben betriebswirtschaftlichen und technologischen typischerweise immer auch menschliche Aspekte. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 28) Für das Prozessmanagement sind die Men-

schen die am Prozess teilnehmen, in allen Phasen mitwirken, ihn gestalten und verantworten am wichtigsten. (s. CHRIST 2015, S. 43) Diese nehmen im Rahmen des GPM unterschiedliche Rollen ein in denen sie bestimmte Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortungen in einer Person bündeln. (s. CHRIST 2015, S. 43) Jeder dieser Rollen erfordert bestimmte Fähigkeiten und Kenntnisse und ist mit bestimmten Kompetenzen verbunden. (s. CHRIST 2015, S. 43) Grundsätzlich kann der Unternehmung als Organisation und somit auch den zugeordneten Rollen eine allgemeine Entscheidungs- und Handlungsfähigkeit zu gesprochen werden. Die Aufgliederung und Zuteilung von Aufgaben auf einzelne Bereiche und Träger wird in diesem Zusammenhang als **Aufbauorganisation** bezeichnet. (s. RAVEL 1994, S. 7) Genau wie die allgemeine Rolle des EM sich verändert hat, hat sich auch die Aufgabe der Verantwortlichen in diesem Bereich verändert. EM ist keine punktuelle Optimierungsaufgabe mehr, sondern Teil der Grundaufgabe der Unternehmungsführung. (s. RAVEL 1994, S. 11) Stellen bilden die kleinste Einheit einer Organisation das die Aufgaben übernehmen können. Diese werden durch die Zuteilung von Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortung innerhalb der Organisation gebildet. Formale Führungsmittel wie Stellenbeschreibungen und Organisationshandbücher sind Mittel, um Aufgaben, Kompetenzen und Verantwortlichkeiten zu fixieren. (s. RAVEL 1994, S. 32) Die Entscheidung zur Einführung und die Überwachung der Wirksamkeit des EM sind Aufgaben der Leitungsebene (Topmanagement von Unternehmen oder Leitung von Gebietskörperschaften). Darüber hinaus plant diese die strategischen Ziele und definiert geeignete Maßnahmen zur Erreichung dieser. Außerdem werden die Verantwortungen, die Befugnisse, die Kommunikationswege zur Erreichung der strategischen Ziele durch die Leitungsebene festgelegt. (s. VDI 2016, S. 7) Je nach Struktur und Organisation eines Unternehmens werden weitere, in den Hierarchieebenen unter der Leitungsebene stehende Beauftragte mit der Umsetzung der vorgegebenen Ziele beauftragt (Energiebeauftragte / Energiemanager). Ihre Aufgabe ist es, die Erreichung der vorgegebenen strategischen Ziele durch geeignete operative Ziele anzustreben. (s. VDI 2016, S. 7) Für eine detaillierte Auseinandersetzung mit den Vor- und Nachteilen der konkreten Verankerung der Stelle des Energiebeauftragten innerhalb der verschiedenen Organisationsformen in Unternehmen (Linie-, Stab-Linie-, Projekt-, Matrixorganisation) sei an dieser Stelle auf die Literatur verwiesen. (vgl. RAVEL 1994, S. 33–47) Energieteams, als eine Gruppe von Fach- und Führungskräften, die gemeinsam die Verantwortung für Aktionen und Aktivitäten übernehmen, stellen neben dem Energiebeauftragten ein weiteres Durchsetzungsmittel dar. Dem Energieteamgedanken liegt dabei die Auffassung zugrunde, dass ein wirkungsvolles EM sowohl im direkt produktiven Bereich wie im Verwaltungsbereich Kräfte benötigt, die das EM mittragen. Auf diese Weise bilden typischerweise Leiter Produktion (Geschäftsleitungsmitglied), Energiebeauftragte, Leiter internes Rechnungswesen oder des Einkaufs, Verantwortliche für Personal- und Ausbildungsfragen sowie Kader aus Instandhaltung / Technik, aus Marketing / Verkauf sowie aus Forschung und Entwicklung ein Energieteam in Unternehmen. (s. RAVEL 1994, S. 66–68)

Die Betriebswirtschaftslehre fasst unter den Produktionsfaktoren wie in Kapitel 2.1 bereits erwähnt die Elemente menschliche Arbeitsleistungen, Betriebsmittel und Werkstoffe als betriebliche Elementarfaktoren zusammen. (s. GUTENBERG 1979, S. 3–5) Energie zählt zu den materiellen bzw. tangiblen **Ressourcen** der Produktion (s. SCHENK ET AL. 2014, vgl. 45) und geht folglich aus betriebswirtschaftlicher Sicht im Produktionsfaktor Werkstoffe auf. Aus klassischer volkswirtschaftlicher Sicht bilden Arbeit, Boden und Kapital die gleichberechtigten Produktionsfaktoren. Arbeit umfasst dabei die ausführenden Tätigkeiten mit dem Preis des Arbeitslohns. Der Produktionsfaktor Boden umfasst Felder, Wälder, Bodenschätze und dient der Produktion als An- und Abbau- sowie Stellfläche mit dem Preis Bodenrente. Der Produktionsfaktor Kapital repräsentiert schließlich die für die Produktion benötigten Mittel wie Gebäude, Anlagen etc. die im Produktionsprozess eingesetzt werden und deren Preis der Zinsertrag ist. (s. GONSCHORREK U. HOFFMEISTER 2007, S. 16–17) Vor allem in der Großserien- und Massenfertigung verändert die Automatisierung mit verstärktem Einsatz von Industrie-, Handhabungs- und Montagerobotern schon heute die Tätigkeit und Stellung des Menschen. (s. SCHENK ET AL. 2014, S. 92) In der Einzel- und Kleinserienproduktion kann die Automatisierung derzeit die intelligente und physische Anpassungs- und Lernfähigkeit des Menschen zwar noch nicht ersetzen, aber verschiedene neue Kommunikationslösungen zwischen Mensch und Technik zeichnen sich dennoch bereits heute schon ab. (s. SCHENK ET AL. 2014, S. 38) Arbeit in einer digitalisierten Welt wird so in völlig neuerartigen Arbeitssystemen stattfinden und völlig neue Kompetenzen im Umgang mit Technologien erfordern. Aus der zunehmenden Bedeutung der IKT für Unternehmen wird, schon seit Beginn der siebziger Jahre und deutlich verstärkt in jüngster Zeit, die Forderung laut Information als einen separaten Produktionsfaktor zu behandeln. (s. SEIDENBERG 1998, S. 2). Ob allerdings Information tatsächlich als eigenständiger Produktionsfaktor anzusehen ist hängt im Wesentlichen davon ab, welchen Zweck ein solcher Faktor dienen soll und welchen daraus resultierenden formalen und inhaltlichen Anforderungen Produktionsfaktoren und Faktorsysteme zu genügen haben. (s. SEIDENBERG 1998, S. 35) Das Informationen für jede Art von Produktion und somit auch für das EM von zentraler Bedeutung sind, steht dabei außer Frage. Information und Wissen werden wie bereits in einem früheren Kapitel erwähnt den immateriellen bzw. intangiblen Ressourcen zugeordnet. (s. SCHENK ET AL. 2014, S. 45) Insbesondere der Bereich der Stromversorgung durchlebt getrieben durch Digitalisierung und Energiewende massive Veränderungen, die auch Auswirkungen auf die Produktion besitzen. Die Energieversorgungsinfrastruktur in Europa war lange Zeit durch eine zentrale Erzeugung von Elektrizität in Großkraftwerken geprägt. Die eingesetzten Energieträger stammten dabei vorrangig aus fossilen Ressourcen. Nach dem vorherrschenden Paradigma Erzeugung folgt Last sorgten die Energieversorger stets dafür, dass die Nachfrage nach elektrischem Strom zu jeder Zeit gedeckt ist. In der konventionellen Energieumwandlung zu elektrischer Energie in Kern-, Kohle- und Gaskraftwerken ist eine stufenweise Fahrweise der Anlagen möglich, sodass relativ kurzfristig und einfach prognostizierbar das Angebot innerhalb eines bekannten Zeitintervalls er-

hört bzw. reduziert werden kann. Zur Ermittlung der notwendigen Bedarfe der Verbraucher bei gegebener (quasi konstanter) Erzeugungsleistung herrschte in diesem Szenario ein unilateraler Informationsfluss von den Verbrauchern hin zu den Erzeugern. Der Transport der physischen Einheiten elektrischer Energie erfolgt dabei bis auf wenige Ausnahmen in Form von Wechselspannung mit verschiedenen Spannungsniveaus von der Höchstspannungsebene bis runter auf Niederspannungsebene, an die typischerweise die Verbraucher angeschlossen sind. Durch den starken Ausbau der EE in den letzten Jahren zeichnet sich zunehmend ein Paradigmenwechsel in Richtung Last folgt (berücksichtigt) fluktuierende erneuerbare Stromerzeugung ab. Dabei sorgen insbesondere Windkraft und PV für wetterabhängige und somit im Jahresverlauf stark schwankende Stromerzeugungsmengen und stellen die existierende Energieversorgungsinfrastruktur vor allem auf Verteilnetzebene zunehmend vor besondere Herausforderungen. Hier verursachen vor allem die PV-Module auf den Dächern von Privathaushalten und auch Unternehmen, dass sich stellenweise der Energiefluss aufgrund der hohen Einspeisung umkehrt. Auch der Informationsfluss ist in diesem Szenario bilateral und innerhalb der verschiedenen Akteure stark vernetzt, was zu einer Erhöhung der Systemkomplexität führt, die lediglich durch den Einsatz von IKT beherrscht werden kann.

Bei der Gestaltung von **IS** muss immer ein wesentlicher Fokus auf den Herausforderungen einer gemeinsamen Ausrichtung zwischen Geschäft und IT im Unternehmen im Sinne einer Abstimmung fachlicher Anforderungen und technischer Implementierung unter Berücksichtigung kontinuierlicher Veränderungen liegen. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 31) Grundlegend ist in diesem Zusammenhang einerseits die Geschäftsdomäne, die sich vereinfachend beschrieben in den Organisationsstrukturen in Form der Aufbauorganisation widerspiegelt, die den Handlungsrahmen und das Beziehungsgefüge der Organisation vorgeben, sowie den Geschäftsprozessen der Ablauforganisation die innerhalb dieser Strukturen ablaufen zu berücksichtigen (s. KRÖSCHEL 2016, S. 31) Andererseits ist die IT als Domäne zu berücksichtigen, deren Gegenstand primär IS einschließlich der erforderlichen Infrastruktur sind. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 31) Heute lässt sich zunehmend eine bidirektionale Wirkungsfunktion der IT in Bezug auf organisatorische Veränderungen und den damit verbundenen Erfolg eines Unternehmens feststellen. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 32) Die IT nimmt dabei mehr und mehr die Rolle als *Enabler* bzw. strategischer Partner ein, indem sie eine differenzierte Geschäftstätigkeit und Unterstützung neuer Geschäftsfunktionen ermöglicht und auf diese Weise zum Wegbereiter neuer innovativer Geschäftslösungen wird (*Technology Push*). (s. KRÖSCHEL 2016, S. 32) Der Nutzen der IT entsteht dabei dadurch, dass die IT ein anderes Geschäft ermöglicht oder es ermöglicht, das bestehende Geschäft anders zu gestalten. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 32) Die Weiterentwicklung der IT eröffnet Organisationen somit Möglichkeiten neue strategische Gestaltungsoptionen wahrzunehmen, die zu einer verbesserten Wertschöpfung durch IT-Innovation führen und auf diese Weise den Gestaltungsspielraum des organisatorischen Handelns erweitern. (s.

KRÖSCHEL 2016, S. 32) Neue strategische Ausrichtungen oder die Anpassung von Geschäftsprozessen erfordern andererseits häufig Veränderungen innerhalb der darunterliegenden informationstechnischen Infrastruktur, da die IT hier eine Unterstützungsfunktion wahrnimmt und gefordert ist geschäftsgetriebene Neuausrichtungen der fachlichen Anforderungen bestmöglich zu erfüllen (*Business Pull*). (s. KRÖSCHEL 2016, S. 32) Eine einseitige Betrachtung und Gestaltung der IT im Unternehmen kann dann folglich entweder zu technologischen Defiziten, d. h. einer nicht vorhandenen oder schlechten Unterstützung der Geschäftsprozesse durch die IT und damit der möglicherweise unzureichenden Durchsetzung der Unternehmensstrategie, oder strategischen Nachteilen, d. h. der nicht vorhandenen oder schlechten Ausnutzung der Möglichkeiten der IT durch die Geschäftsstrategie, führen. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 32) Dieses grundsätzliche Wirkungsprinzip der Wechselwirkungen zwischen der Entwicklung von Geschäft, Geschäftsprozessen und der IT wird durch Abbildung 26 vereinfachend veranschaulicht.

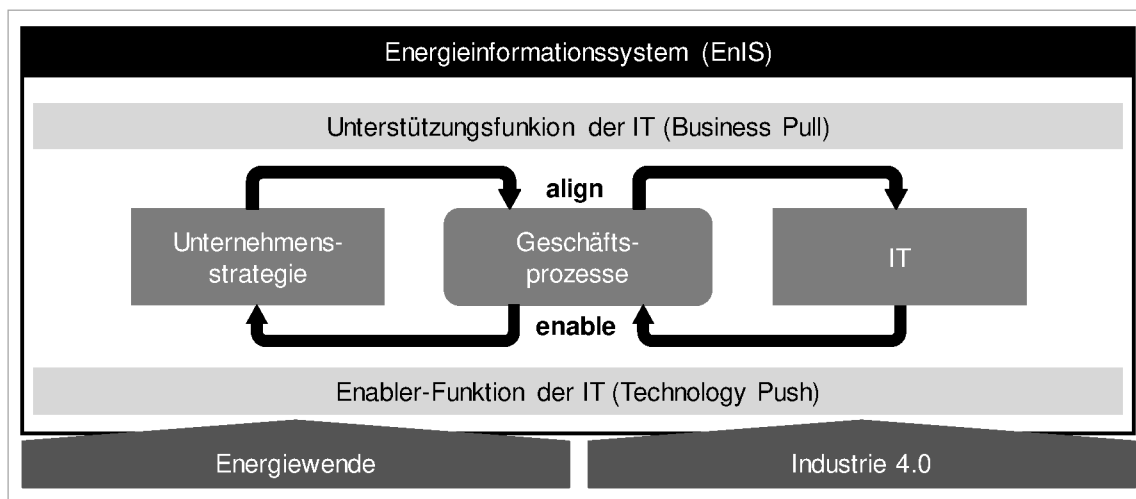


Abbildung 26: IT Enables vs. IT Follows Business (i. A. a. KRÖSCHEL 2016, S.34)

Die **Kultur** des Unternehmens spielt für das EM eine wichtige Rolle. Sie bietet innerhalb des Unternehmens eine Plattform in der das Unternehmen mit sich selbst und seinen Werten in Dialog treten kann. Auf diese Weise ist sie Reflexionsort über die gesellschaftliche Wirklichkeit. Rückwärtsorientiert ist die Unternehmenskultur das Gedächtnis einer Unternehmung zur Selbstvergewisserung über die eigene Identität. Gegenwartsbezogen dient sie zur Selbstbestimmung bzw. zukunftsorientiert ermöglicht sie eine visionäre Perspektive nach welchen Werten das Unternehmen zukünftig wirtschaften soll. (s. BARSCH 2014, S. 19) Erst wenn es gelingt energiebewusstes Verhalten mit der Wertstruktur des Unternehmens zu verbinden, kann entsprechendes Verhalten als gesichert betrachtet werden und muss nicht laufend erarbeitet bzw. eingefordert werden, sondern geschieht quasi automatisch. (s. RAVEL 1994, S. 73) Jeder zielgerichtete Kulturwandel erfordert die Anwendung selbstreflexiver Prozesse auf individueller Ebene die in der konkreten Alltagspraxis umgesetzt werden können. (s. BARSCH 2014, S. 19) Auf diese Weise muss die Unternehmenskultur nach Jahren nachlässigen Umgangs mit Energie aufgrund vermeintlichen Überflusses heute wieder

mit mehr Sorgfalt und Wertschätzung angereichert werden. (s. RAVEL 1994, S. 73) Dabei können neue Werte über verschiedene Kanäle in Unternehmen gelangen. So führen bspw. umgebende kulturelle Werte der Gesellschaft, wichtige oft schockartige Ereignisse, Erfolge oder bewusste Handlungen des Managements dazu neue Werte aufzunehmen. (s. RAVEL 1994, S. 75) In diesem Zusammenhang nimmt die Leitungsebene eine zentrale Rolle ein und gibt durch ihr Verhalten nachhaltig wirkende Signale die eine Vorbildwirkung für das Energiebewusstsein für das gesamte Unternehmen besitzen. Der Aufbau eines Energiebewusstseins kann nicht ohne Bezug und Unterstützung des obersten Managements gelingen. (s. RAVEL 1994, S. 77)

5.3 Unternehmensentwicklung im Kontext Energiemanagement

Um der zentralen Aufgabe einer nachhaltigen und im Vergleich zu den Wettbewerbern größeren Wertschöpfung für die *Stakeholder* des Unternehmens gerecht zu werden, ist eine fortwährende Unternehmensentwicklung erforderlich. (s. POSCH 2011, S. 317) Dies kann als Evolution eines ökonomisch orientierten sozialen Systems im Spannungsfeld der sich ändernden Chancen und Gefahren der In- und Umwelt verstanden werden, die zur laufenden Generierung und Ausschöpfung von strategischen Erfolgspotenzialen durch das Unternehmen erforderlich sind. (s. BLEICHER 2004, S. 498) Eine wichtige Fähigkeit des Unternehmens zur Bewältigung der im Laufe der evolutionären Entwicklung kontinuierlich erforderlichen Anpassung und Veränderung stellt das organisationale Lernen dar. (s. PISCHON U. LIESEGANG 1999, S. 76) Gleiches gilt für die Energiewirtschaft als funktionalen Teilbereich und Subsystem des Unternehmens, die ebenfalls einer evolutionären Entwicklung mit Anpassungs- und Veränderungsprozessen unterworfen ist. Zu diesem Zweck müssen in den organisationalen Lernprozessen auch energiewirtschaftlich relevante Aspekte berücksichtigt werden. (s. POSCH 2011, S. 318) Die erforderliche Dynamisierung des betrieblichen EM kann in Anlehnung an die Unternehmensentwicklung als **energiewirtschaftliche Entwicklung** definiert werden. (s. POSCH 2011, S. 318) Ein EnMS stellt die Gesamtheit miteinander zusammenhängender oder interagierender Elemente zur Einführung einer Energiepolitik und strategischer Energieziele, sowie Prozesse und Verfahren zu Erreichung dieser Ziele dar. (s. DIN EN ISO 2011, S. 8) Der Begriff EnMS umfasst demnach sämtliche zur Verwirklichung des EM erforderlichen Organisations- und Informationsstrukturen einschließlich der hierzu benötigten technischen Hilfsmittel bspw. in Form von *Soft-* und *Hardware*. (s. VDI 2007, S. 8) Das zielgerichtete Zusammenspiel der funktionalen Elemente des EnMS, die Einbindung in das übergeordnete System des Unternehmens und der darüber hinausgehende Abgleich mit der energiewirtschaftlich relevanten Umwelt erfordern zusätzlich zur Wahrnehmung der Managementfunktionen eine harmonisierende **energiewirtschaftliche Koordination**. (s. POSCH 2011, S. 287)

Die Energiepolitik wird als formale Verlautbarung der Betriebsleitung bezüglich der Aussage von der Organisation zu den übergeordneten Absichten und der Richtung der Organisation hinsichtlich ihrer energiebezogenen Leistung beschrieben. (s. DIN EN

ISO 2011, S. 9) **Strategische** Energieziele stellen festgelegte Ergebnisse bzw. zu erreichende Leistungen, entsprechend der Energiepolitik der Organisation in Bezug auf eine verbesserte energiebezogene Leistung, dar. (s. DIN EN ISO 2011, S. 9) Aus den strategischen Energiezielen ergeben sich operative Energieziele. Diese bilden detaillierte und quantifizierbare Anforderungen an die energiebezogene Leistung, die Gültigkeit für die Organisation oder Teile hiervon besitzen und die zur Erreichung der strategischen Ziele festgelegt und erreicht werden müssen. (s. DIN EN ISO 2011, S. 9) Die Norm definiert energiebezogene Leistung als messbare Ergebnisse bezüglich Energieeffizienz, Energieeinsatz und Energieverbrauch. (s. DIN EN ISO 2011, S. 9) Energieeffizienz wird als Verhältnis oder eine andere quantitative Beziehung zwischen einer erzielten Leistung bzw. einem Ertrag an DL, Gütern oder Energie und der eingesetzten Energie definiert. (s. DIN EN ISO 2011, S. 8) Der Energieeinsatz beschreibt die Art bzw. Methode der Anwendung von Energie. (s. DIN EN ISO 2011, S. 9) Mit Energieverbrauch ist die Menge der eingesetzten Energie gemeint. (s. DIN EN ISO 2011, S. 8) ISO 50001 basiert auf dem als PDCA-Zyklus (*Plan-Do-Check-Act*) bekannten kontinuierlichen Verbesserungsprozess und integriert das EM in das Tagesgeschäft eines Betriebs. (s. DIN EN ISO 2011, S. 5) Die Energieplanung (Plan) hat das Ziel zu Aktivitäten zur kontinuierlichen Verbesserung der energiebezogenen Leistung des Betriebs zu führen und steht somit im Einklang mit der Energiepolitik. (s. DIN EN ISO 2011, S. 13) Hierzu berücksichtigt die Energieplanung sowohl rechtliche Vorschriften als auch andere Anforderungen an den Betrieb hinsichtlich der energiebezogenen Leistung. (s. DIN EN ISO 2011, S. 13) Hierfür werden außerdem bestimmte Methoden und Kriterien zur energetischen Bewertung herangezogen. (s. DIN EN ISO 2011, S. 13) Die Feststellung des Status der energiebezogenen Leistung eines Betriebs, basierend auf Daten oder anderen Informationen, die zur Identifizierung von Möglichkeiten zur Verbesserung führen, wird unter dem Begriff energetische Bewertung verstanden. (s. DIN EN ISO 2011, S. 9) Diese beinhaltet die Analyse des Energieeinsatzes und Verbrauchs auf Basis von Messungen und anderen Daten, darauf aufbauend die Ermittlung der Bereiche mit wesentlichen Energieeinsatz im Betrieb, sowie die Identifikation von Möglichkeiten zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung. (s. DIN EN ISO 2011, S. 13) Unter Verwendung der Informationen aus der erstmaligen energetischen Bewertung und unter Heranziehung von Energieeinsatz- und Energieverbrauchsdaten eines Betriebs aus einem angemessenen Zeitraum kann die energetische Ausgangsbasis (EnB) erstellt werden. (s. DIN EN ISO 2011, S. 14) (**Betrieb**) Die EnB bildet quantitative Referenzpunkte als Basis für einen Vergleich der energiebezogenen Leistung. (s. DIN EN ISO 2011, S. 8) Energieleistungskennzahlen *Energy Performance Indicator* (EnPI) beschreiben von der Organisation definierte quantitative Werte oder Messgrößen für die energiebezogene Leistung. (s. DIN EN ISO 2011, S. 9) Die Konzepte und Methoden bezüglich der energiebezogenen Leistung wie sie bspw. in DIN 50006 beschrieben sind, können auch durch Organisationen angewendet werden, die nicht über ein bestehendes EnMS nach ISO 50001 verfügen. So können EnPIs und EnBs auch auf der Einrichtungs-, System-, Prozess- oder Ausrüstungs-

ebene oder für die Bewertung einzelner Maßnahmen zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung verwendet werden. (s. DIN ISO 2017, S. 5) Abbildung 27 verdeutlicht die Beziehung zwischen der energiebezogenen Leistung, der EnB und der EnPI.

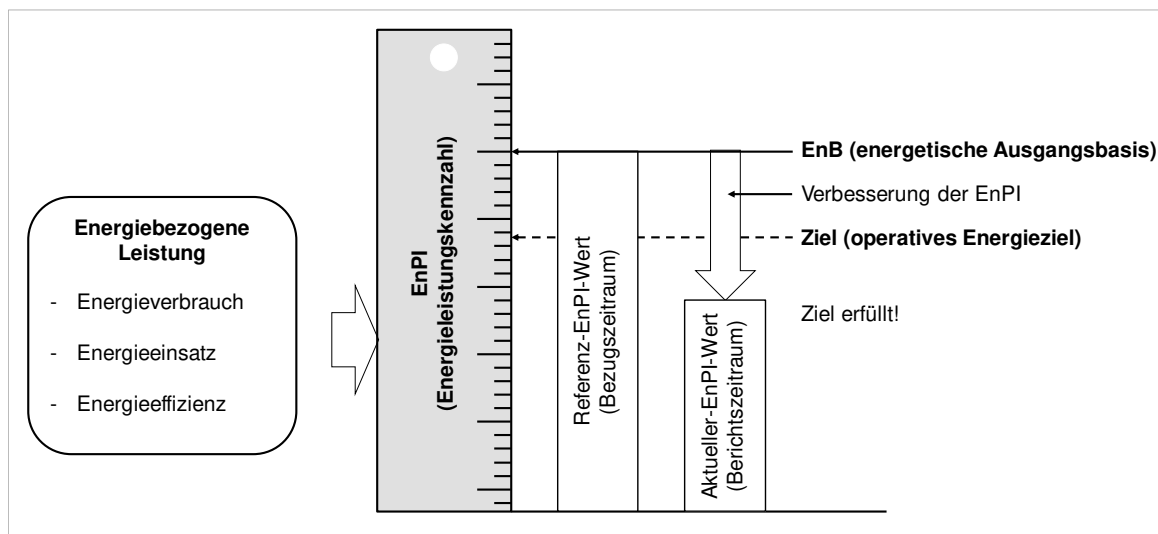


Abbildung 27: Beziehung zwischen energiebezogener Leistung, Energieleistungskennzahlen und energetischer Ausgangsbasis (s. DIN 50006:2017, S. 5)

Im Zuge der Einführungs- / Umsetzungsphase (Do) erfolgt die Einführung und Umsetzung der aus dem Energieplanungsprozess resultierenden Aktionspläne und anderen Ergebnisse zum EM. (s. DIN EN ISO 2011, 5,14) (**Erneuerung**). Hierzu zählen ebenfalls die Sensibilisierung für die Fähigkeiten, Schulungen und Bewusstsein der Mitarbeiter mit Blick auf die wesentlichen Energieeinsatzbereiche sowie die Kommunikation und Dokumentation der energiebezogenen Leistung und des EnMS des Betriebs. (s. DIN EN ISO 2011, S. 15) Im Rahmen der Überprüfung (*Check*) erfolgt die Überwachung, Messung und Analyse der Prozesse und der wesentlichen Merkmale der Tätigkeiten, die Bewertung der Einhaltung rechtlicher Vorschriften und anderer Anforderungen, die Begegnung mit Korrektur- und Vorbeugungsmaßnahmen bei auftretenden Nichtkonformitäten sowie die Lenkung von Aufzeichnung um die Konformität mit den Anforderungen des EnMS und den Ergebnissen bezüglich der energiebezogenen Leistung nachzuweisen. (s. DIN EN ISO 2011, 5, 17, 18) (**Controlling**). In diesem Zusammenhang unterscheidet man drei Hauptarten von EnPI. Gemessene Energiewerte erlauben durch Zähler Rückschlüsse über den Verbrauch eines ganzen Standorts bzw. eine oder mehrere Energieeinsätze. Das Verhältnis von Messwerten ermöglicht den Ausdruck der Energieeffizienz. Durch statistische Modelle können Beziehungen zwischen Energieverbrauch und relevanten Variablen mit Hilfe linearer und nicht linearer Regression aufgezeigt werden. Ingenieurwissenschaftlich-basierte Methoden erlauben schließlich die Darlegung der Beziehung zwischen Energieverbrauch und relevanten Variablen durch die Anwendung ingenieurwissenschaftlicher Simulationen. (s. DIN ISO 2017, S. 20) Die **Verbesserung** (*Act*) beinhaltet die Ergreifung von Maßnahmen zur kontinuierlichen Verbesserung der energiebezogenen Leistung und des EnMS. (s. DIN EN ISO 2011, S. 5)

5.4 Unternehmensprozesse im Kontext Energiemanagement

Die Digitalisierung treibt den Übergang von der Industrie- zur Informationsgesellschaft weiter voran. (s. SCHENK ET AL. 2014, S. 676) Als Bindeglied zwischen Geschäft und IT nehmen vor allem die Geschäftsprozesse der Unternehmen eine bedeutende Rolle ein. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 24) In diesem Zusammenhang ist insbesondere die aktive und gezielte Verbesserung von Geschäftsprozessen infolge sich ändernder Rahmenbedingungen von zentraler Bedeutung. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 47) Die Notwendigkeit der Anpassung folgt in diesem Zusammenhang aus verschiedenen externen und internen Auslösern. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 47) Externe Auslöser ergeben sich im Umfeld eines Unternehmens so wie bspw. die Digitalisierung und Energiewende. Interne Auslöser für Wandlungsbedarf umfassen überwiegend Veränderungen, die durch Identifikation möglicher Probleme oder Verbesserungspotenziale herrühren, ohne dass sich die externen Rahmenbedingungen des Geschäftsprozesses bzw. des Unternehmens geändert haben. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 47) Prozessverbesserungen werden entweder auf Basis einer revolutionären Vorgehensweise, durch radikale Prozesserneuerung erreicht oder auf Basis einer evolutionären Vorgehensweise durch kontinuierliche Prozessverbesserung vollzogen. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 48) In der Praxis wird heute üblicherweise eine Kombination beider Ansätze verfolgt, sodass revolutionäre und evolutionäre Ansätze hier komplementär zu verstehen sind. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 50) Veränderungen der Geschäftsprozesse betreffen typischerweise auch die IT, sodass hier eine kontinuierliche und dauerhafte Abstimmung von Geschäft und IT auf allen Ebenen des Unternehmens erfolgen muss. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 51) Eine enge Verzahnung von IT-Lösungen mit den wertschöpfenden Aktivitäten trägt zur verbesserten Zielerreichung im Rahmen der Geschäftsprozessoptimierung bei. (s. KRÖSCHEL 2016, S. 51) In Abbildung 28 sind die nachfolgend beschriebenen Unternehmensprozesse des EM zusammengefasst. Normative, strategische und operative Ebene lassen sich jeweils durch das erfasste Potenzial und der zeitlichen Reichweite der jeweiligen Steuerungsgrößen unterscheiden. Die normative Ebene determiniert das Nutzenpotenzial, welches direkten Einfluss auf die Bedeutung der Ressource Energie im Allgemeinen für das Gesamtunternehmen hat.

So spiegelt sich die aus der **Energiepolitik** abgeleitete Bedeutung in den übergeordneten Zielausprägungen der Unternehmensstrategie wieder und bildet auf diese Weise einen grundlegenden Kontingenzfaktor für die Ausprägung der übrigen fünf wesentlichen Managementfunktionen die in ihr gewissermaßen verschmelzen und erst auf strategischer und operativer Ebene Anwendung finden. (s. POSCH 2011, S. 161) Auf strategischer Ebene werden so Erfolgspotenziale erfasst und vor allem durch Ressourcenbereitstellung für Projekte aufgebaut. (s. POSCH 2011, S. 20) In der operativen Ebene erfolgt schließlich die unmittelbare Steuerung des innerbetrieblichen Energiewertschöpfungsprozesses welcher direkt im Rahmen der Erfolgsrealisierung zur Stei-

gerung der Liquidität und des Unternehmenserfolgs beitragen soll. Wesentliche Managementfunktionen der strategischen und operativen Ebene sind hierbei Energieplanung, Energieorganisation, energiewirtschaftliche Personalagenden, EnIM sowie Energiekontrolle.

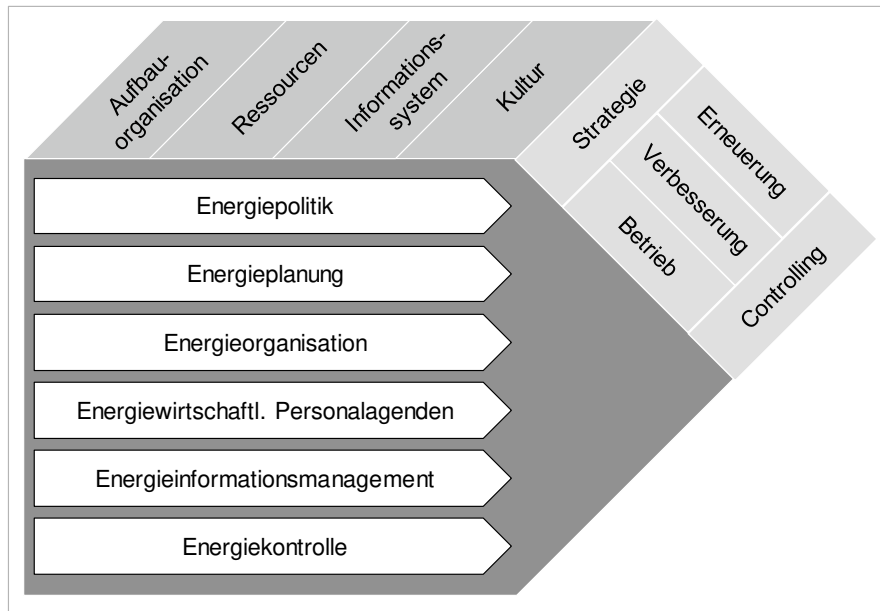


Abbildung 28: Unternehmensprozesse des EM

(i. A. a. Posch 2011, Boos et al. 2011, S. 56 und RÜEGG-STÜRM 2003, S. 22)

Der Kern der **Energieplanung** umfasst die systematisch begründete Ausformulierung energiebezogener Ziele und die Festlegung der zur Zielerreichung notwendigen Maßnahmen. Im Zuge der Planung erfolgt typischerweise die Auswahl zwischen alternativen Zielen und Vorgehensweisen zur bestmöglichen Erreichung der Unternehmensenergieziele. Die Energiebeschaffung, die Energieeffizienz, die Energiequalität, die energiebedingten Emissionen und die energetische Betriebsführung stellen die für die Energieplanung relevanten energiewirtschaftlichen Teilbereiche von Unternehmen dar. Auf diese Weise werden energiewirtschaftliche Grobziele, die direkt aus den Unternehmenszielen abgeleitet sind, durch die operative Energieplanung in Teilziele für die eben genannten strategisch relevanten Energiewirtschaftsbereiche transformiert. (s. POSCH 2011, S. 192)

Unter **Energieorganisation** werden die notwendigen Strukturen und Prozesse der Aufbau- und Ablauforganisation im Kontext der Ressource Energie zusammengefasst. Hauptziel der Energieorganisation stellt die Realisierung einer bestmöglichen organisatorischen Effizienz durch die Reduktion von Transaktionskosten dar. (s. POSCH 2011, S. 222) Die in Zusammenhang mit der Energieorganisation zu treffenden Entscheidungen betreffen somit in ihrer Gesamtheit das richtige Zusammenspiel aus Differenzierung und Koordination zu den jeweils gegebenen Umständen. Die Differenzierung kann dabei entweder aus der Arbeitsteilung zur geeigneten Gruppierung von Aufgaben, aus der Delegation zur adäquaten Abtretung von Kompetenzen an nachgeord-

nete Stellen oder aus der Arbeitszerlegung erfolgen, die zur personalisierten Aufgabenteilung führt. Die strukturelle Koordination umfasst die koordinierende Funktion formaler organisatorischer Regelungen. Unter der technokratischen Koordination werden personenunabhängige, institutionell verselbstständigte, formale Regelungen bezeichnet. In Abgrenzung dazu beruht die personenbezogene Koordination auf persönlicher Beeinflussung. Darauf aufbauend erfolgt schließlich durch die Konfiguration die strukturelle Zuteilung der Aufgaben und Kompetenzen. (s. POSCH 2011, S. 222–223)

Die **Energiekontrolle** überwacht die Sicherung der energiebezogenen Planerfüllung und die kontinuierliche Verbesserung des Energiemanagementprozesses. Generell kann die Energiekontrolle als systematischer, informationsverarbeitender Vorgang verstanden werden, indem ein beurteilender Vergleich zwischen zwei Größen vollzogen wird, dessen Ergebnis zu einem Informationsinput für neuerliche Entscheidungen herangezogen werden kann. In die Energiekontrollfunktion fließt in vielen Fällen ein hoher zeitlicher und auch materieller Aufwand, dessen erforderliche Effektivität und Effizienz nur durch eine spezifische Anpassung des Kontrollprozesses an den jeweiligen Kontrollzweck zu erreichen sind. (s. POSCH 2011, S. 273)

Unter den Begriff **energiewirtschaftliche Personalagenden** fallen alle Aspekte der Personalführung die das energiewirtschaftlich relevante Verhalten aller Anspruchsgruppen zur Erreichung der energiebezogenen Ziele verfolgen. (s. POSCH 2011, S. 150–169) Die menschliche Arbeitsleistung stellt einen der wesentlichen Faktoren im Zuge des Leistungserstellungsprozesses von Betrieben dar. (s. POSSELT 2016, S. 17) Maßnahmen die auf energiesparendes Verhalten hinwirken sind nur von dauerhaften Erfolg im Sinne des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses, wenn die Anspruchsgruppen regelmäßig geschult werden. (s. DIN EN ISO 2011, S. 8) Konkreter bestehen Betriebe daher aus einzelnen Personen, die ihre Interessen und Verhaltensmuster einbringen und die miteinander durch Austausch von Gütern und DL in Beziehung treten, sodass das Handeln eines Individuums das der anderen beeinflusst. (s. SCHMID 2004, S. 48) Dabei verfolgt jede Person individuelle Ziele bzw. tätigt Transaktionen, die sowohl ökonomischer als auch sozialer Natur sein können. (s. SCHMID 2004, S. 48) Dem ökonomischen Verhalten eines Individuums und seinem Handeln liegt dabei eine begrenzte Rationalität (*Bounded Rationality*) zugrunde. (s. SIMON 1955, S. 99–118) Diese beruht auf der Tatsache, dass Entscheidungen nur aufgrund unvollständiger Information getroffen werden können, da die Sammlung von Informationen und die Anzahl prüfbarer Alternativen Einschränkungen wie Zeitverfügbarkeit und individueller Aufnahmefähigkeit unterworfen sind. (s. SIMON 1955, S. 106) Außerdem rührt diese Begrenztheit aus der Unmöglichkeit eines Individuums die Ergebnisse aller möglichen Entscheidungen innerhalb eines stimmigen Wertesystems überprüfen zu können. (s. MORGAN 1997, S. 137) Im Hinblick auf den Entscheidungsprozess im Zusammenhang mit der energiebezogenen Leistung in Betrieben bedeutet das, dass die Suche nach einer Lösung niemals vollständig sein und die Situationsbewertung durch die kognitiven Fähigkeiten des Individuums begrenzt wird. (s. SCHMID 2004, S. 49)

Das **EnIM** stellt hierzu schließlich die Wahrnehmung der Informationsfunktion sicher und sorgt im Zuge der Entscheidungsfindung für die rechtzeitige, im Umfang und Repräsentation angemessene Zurverfügungstellung aller notwendigen Informationen. (s. POSCH 2011, S. 150–169) Im Rahmen dieser Arbeit erscheint es zweckmäßig die Begriffe EnIM und Wissensmanagement synonym zu verwenden. Energiewisensmanagement stellt das Bindeglied zwischen energierelevanten Daten und nutzenstiftendem Wissen in einem Expertensystem dar. (s. BRUHNKE U. ROSCHER 2015, S. 264) Der Ansatz des Energiewisensmanagements sieht vor, dass zunächst energierelevante Daten erfasst und in ein von Mensch und Maschine interpretierbares Format überführt werden, um anschließend um Kontextinformationen angereichert und von Wissensträgern um entscheidungskritische Informationen und Erfahrungswissen erweitert zu werden. (s. BRUHNKE U. ROSCHER 2015, S. 264) Das EnIM beschreibt das Wissensmanagement als Basis für zielgerichtete Entscheidungen im effizienten EM produzierender Unternehmen. Erst die Kombination von intraorganisationalem Wissen und teils externer Energieinformationen bietet eine nachhaltige Grundlage für langfristige Energieeffizienz und zukunftsorientierte Planungsprozesse auf dem Weg zur Automatisierung. (s. BRUHNKE U. ROSCHER 2015, S. 264)

Für ein effizientes EM ist der Einbezug von Kontextinformationen unerlässlich. Dies betrifft die Betriebsdatenerfassung (BDE) und Maschinenzustände einerseits und die Entwicklung von Kommunikations- und Logikbausteinen zur Verarbeitung der erfassten Daten andererseits. Die Informationen aus dem EnMS betrachtet im Kontext der Produktionsumgebung ermöglichen die Identifizierung von Einsparpotenzialen und somit die Ableitung von Maßnahmen für das innerbetriebliche EM. Produktionsübergreifende, statische Faktoren finden hierbei genauso Berücksichtigung wie dynamische Zustands- und Bewegungsdaten des Produktes selbst. (s. BRUHNKE U. ROSCHER 2015, S. 265) Die so erfassten Informationen entfalten erst in nachhaltig dokumentierter Form einen Mehrwert für das Unternehmen. Geeignet strukturierte Dokumentationsvorlagen, sollen einerseits der Wissensrepräsentation dienen, andererseits die Voraussetzung für den Informationsaustausch mit anderen Unternehmen bis hin zur intelligenten Vernetzung in kollaborativen Verbünden bilden. Hierbei sind kombinierte Wissensrepräsentation aus deklarativen und prozeduralen Wissensrepräsentationen anzustreben. Als deklaratives Wissen werden im Zusammenhang von Energiewisensmanagement die Energiedaten selbst und kontextbezogene Informationen verstanden. Dies können neben technischen Daten aus der Produktionsumgebung auch Informationen über Zeit, Ort oder bspw. das Wetter sein. Das prozedurale Wissen bildet die Verknüpfungen der Daten ab und beschreibt, wie die Informationen zur Anwendung kommen. Es geht dabei nicht nur um Wissen von Zusammenhängen und das Abbilden von Diagnosen, sondern auch um das strategische Wissen, welches sich ein Energieexperte erst im Laufe der Zeit aneignen kann. Aus dieser Wissensbasis lassen sich Regeln und Maßnahmen ableiten, die das EM bestimmen. (s. BRUHNKE U. ROSCHER 2015, S. 266)

Zusammenfassung

Mit Hilfe des um das betriebliche EM erweiterten Ordnungsrahmens wurde die notwendige Ausgangsbasis geschaffen, für die sich nun anschließende systematische Konstruktion der Modellstruktur einer generischen EnISA produzierender Unternehmen. Der Ordnungsrahmen bildet dafür den terminologisch-deskriptiven Referenzrahmen, der in detaillierter Form die begrifflichen Zusammenhänge und die fundamentalen Elemente des Untersuchungsbereichs beschreibt. Der auf argumentativ-deduktive Weise modellierte generische Referenzrahmen trägt darüber hinaus wesentlich zur Erfüllung der in Kapitel 4.1.2 definierten modellübergreifenden inhaltlichen Anforderungen in Form der Untersuchungsbereichspassung, Marktmodellflexibilität, Geschäftsmodellvielfalt, Technikneutralität, Partialmodellharmonie und Zielgruppenadäquatheit bei. Das nachfolgende Kapitel beinhaltet nun die Beschreibung der Ergebnisse des ersten vollständigen Durchlaufs des in Abbildung 24 gezeigten iterativen Vorgehens.

6 Konzeptionelle Grobstruktur einer empfehlungs-basierten Energieinformationssystemarchitektur

Grundvoraussetzung für die Beschreibung und Gestaltung einer generischen EnISA für produzierende Unternehmen stellt die systematische Erhebung, Dokumentation, Prüfung und Verwaltung sämtlicher relevanter Anforderungen der verschiedenen Anspruchsgruppen dar, die sich vor allem aus den Aufgaben des EnIM und den durch IS zu erbringenden Funktionen des im erweiterten Ordnungsrahmen Produktion und Management beschriebenen EM ergeben. Die Durchführung des *Requirements Engineering* erfolgte vornehmlich mit Hilfe von *Workshops*, *Experteninterviews*, Umfragen und Literaturrecherche im Zuge der Bearbeitung der öffentlich geförderten Projekte Polar, eco2production, Finesce und FIAixEnergy (s. Anhang A1).

Die Beschreibungen in diesem Kapitel skizzieren ein zentrales Zwischenergebnis auf dem Weg zur Zielerfüllung dieser Arbeit. Die folgenden Ausführungen stellen in der Retrospektive der Arbeit zwar lediglich eine Zwischenstation in Form einer Tiefenbohrung hinsichtlich verschiedener Möglichkeiten der Energiedatenmodellierung dar, nichtsdestotrotz flossen diese bereits in ein Standardisierungsprojekt des DIN mitein und mündeten in Form der DIN SPEC 91327:2015-10 in einer ersten konzeptionellen Referenzarchitektur eines empfehlungs-basierten Lastmanagementsystems für die Industrie. Ein vom Autor dieser Arbeit eingereichter Beitrag zur DIN SPEC 91327 wurde darüber hinaus mit dem DIN Innovationspreis 2016 (DIP16) ausgezeichnet (s. Anhang A2).

6.1 Anforderungen

In Anlehnung an die in 4.2.2 beschriebene methodische Vorgehensweise, stellt die Identifikation sämtlicher relevanter *Stakeholder*, die Festlegung des Kontexts sowie die Definition der Ziele den ersten Schritt des *Requirements Engineering* Prozesses im Zuge dieser Arbeit dar. Hierzu wurde durch die Anwendung der in 4.2.1 beschriebenen Methode des systematischen Vorgehens, in Kapitel 5 zunächst ein Ordnungsrahmen hergeleitet, der Kontext und einheitliches Begriffsmodell für die weiteren Untersuchungen der Anforderungserhebung liefert.

Die Diskussion über die Notwendigkeit der stärkeren Integration von Flexibilität auf Verbraucherseite ist heute in vollem Gange. Dennoch werden auch in Zukunft nicht sämtliche Potenziale im gewünschten Maße gehoben werden können, solange die Anforderungen der industriellen Verbraucherseite nicht beachtet werden. EnMS spielen in diesem Zusammenhang eine entscheidende Rolle. (s. BAUERNHANS� ET AL. 2014, S. 107), da sie der systematischen Erfassung und als Basis zur Entscheidung für Investitionen zur Verbesserung der Energieeffizienz dienen können. Auf diese Weise beinhalten EnMS alle Elemente einer Organisation, die zur Erstellung einer Energiepolitik, der Festlegung der strategischen Ziele und der Erreichung dieser Ziele nötig sind. Sie

umfassen somit die zur Verwirklichung des EM erforderlichen Organisations- und Informationsstrukturen einschließlich der hierzu benötigten Hilfsmittel. (s. KAHLENBORN ET AL. 2012, S. 16) Innerhalb von EnMS erbringen EnIS die Erfassung, Analyse und Aufbereitung aller energierelevanten Daten eines Unternehmens und stellen somit die Überwachungsfunktion sicher. Auf diese Weise sind Daten und Informationen zu Energieflüssen und zur Situationsanalyse innerbetrieblich vorhanden und können kontinuierlich ergänzt werden. EnIS sind hierbei allerdings nicht nur als Hilfsmittel zu verstehen, sondern eignen sich außerdem auch zur Information aller betroffener Mitarbeiter indem sie als Kommunikationsplattform für das gesamte Unternehmen dienen. (s. SCHMID 2004, S. 133) EnIS sind somit soziotechnische Systeme, die unternehmensintern und -übergreifend Informationen speichern, verarbeiten und kommunizieren und den Menschen und sein Handeln miteinbeziehen. Im Gegensatz zu IT-Systemen die rein technische Systeme darstellen und als Maschine oder Apparat die Informationsverarbeitung unterstützen, beziehen IS den Menschen und sein Handeln mitein. (s. FLUHR 2014, S. 34) In einem solchen soziotechnischen System gehen menschliche und sachtechnische Subsysteme eine integrale Einheit ein. (s. ROPOHL 2009, S. 141) Aus diesem Grund legt die Erarbeitung einer zunächst konzeptionellen unternehmensübergreifenden funktionalen Referenzarchitektur für EnIS den Grundstein für den Aufbau erforderlicher agiler IKT-Strukturen zur Berücksichtigung von Energiedaten in der Produktionsplanung. Insbesondere vor dem Hintergrund der aktuellen Entwicklungen rund um das Themenfeld I4.0, den damit verbundenen Technologien und schließlich den daraus resultierenden Anwendungen ergeben sich bereits eine Reihe von generischen Anforderungen an die Unternehmens-IT im Allgemeinen und an ein EnIS im Speziellen. Deshalb soll die fundierte und plausible Herleitung der Anforderungen an zukünftige EnIS auch entlang der dafür relevanten prioritären Zukunftsaufgaben für Wohlstand und Lebensqualität und den dadurch berührten Aktionsfeldern der neuen HS erfolgen (s. Abbildung 29). (s. BMBF 2014, S. 5–51) Die von Experten allgemein anerkannten I4.0-Anforderungen lassen sich wie folgt zusammenfassen: (s. KROPP 2015, S. 6–15):

- **Digitales Abbild der Fabrik** - Ziel: Planung und Steuerung auf Basis realitätsnaher Modelle und realer Daten (s. BAUERNHANSL 2014, 19f),
- **Durchgängigkeit des Engineerings** - Ziel: Bidirektionaler Informationsfluss entlang des Produktlebenszykluses (s. VOGEL-HEUSER 2014, S. 41),
- **Plug & Produce** - Ziel: Flexible An- und Abkoppelbarkeit verschiedener Automatisierungskomponenten (s. SCHLICK ET AL. 2014, S. 80),
- **Aufbruch Automatisierungspyramide** - Ziel: Adaptives Zusammenstellen von IT-Systemen unterschiedlicher Hierarchiestufen (s. SCHUH ET AL. 2014, 276ff),
- **Datenspeicherung und –verarbeitung** - Ziel: Neue, automatisierte Ansätze durch Datenintegration und Datenauswertung (s. PANTFÖRDER ET AL. 2014, S. 145),
- **Integration Mensch** - Ziel: IKT muss für Arbeitnehmer mobil, vielseitig und sehr einfach verwendbar sein (s. FALLENBECK U. ECKERT 2014, S. 399),

- **Interoperabilität** - Ziel: Logische Kopplung bisher unabhängiger IT-Systeme (s. PÖTTER ET AL. 2014, S. 166) und
- **Sicherheit** – Ziel: Sicherheit der Übertragung und Daten sowie Authentifizierung auf Anwender- und Anwendungsebene (s. HOPPE 2014, 339f)

Anforderungen an das digitale Abbild der Fabrik liefern die Grundvoraussetzung für sämtliche Überlegungen im Zusammenhang mit I4.0. Auf diese Weise müssen alle relevanten Dinge einer Unternehmung mindestens eindeutig identifizierbar und gegebenenfalls auch in Echtzeit lokalisierbar sein. Darüber hinaus müssen diese Dinge gegebenenfalls dazu befähigt werden sowohl relevante Informationen selbstständig zu erfassen (Sensorik), ihrer Umwelt zugänglich zu machen aber auch selbst Handlungen auszuführen (Aktorik). Auf diese Weise stehen der Gesamtorganisation alle Daten aus verschiedenen Systemelementen einer Produktion zur Verfügung und können so anschließend von den Planungs- und *Engineering* Prozessen berücksichtigt werden. Mit der Anforderung Durchgängigkeit des *Engineerings* wird durch Kopplung der Daten aus *Engineering*-, Laufzeit- und übergeordneten Systemen die Voraussetzung geschaffen, flexibel auf auftretende Veränderungen bspw. im Produktionsprozess oder durch Veränderungen innerhalb der IT-Systemlandschaft reagieren zu können. Dies macht explizit einen durchgängigen Datentransfer zwischen PLM- und PPS-System erforderlich und sollte mit einem Einsatz von weitgehend automatisierten und durchgängigen Werkzeugen für das *Engineering* erfolgen. Aus *Plug & Produce* gehen neuartige Anforderungen an die Organisation von Betriebsmittel hervor. Durch einheitliche Datenmodelle, wohldefinierte Schnittstellen und gemeinsam unterstützte Protokolle wird die Grundlage zur schnellen Rekonfigurierbarkeit bis zur Fähigkeit der Selbstorganisation von Betriebsmitteln geschaffen. Dieser Umstand geht mit einem zunehmenden Aufbruch der klassischen Automatisierungspyramide einher und führt zu einem Aufweichen der starren Hierarchiestrukturen und –eben innerhalb der Unternehmen aber auch über Unternehmensgrenzen hinweg. Auf diese Weise etablieren sich zunehmend hierarchielose Kommunikationsstrukturen, die sich durch eine hohe Flexibilisierung auszeichnen. Funktionalitäten einzelner Systeme werden so immer häufiger in Dienste gekapselt und in Form von *Apps* als *Services* angeboten. Dabei stellen diese heutzutage nicht mehr notwendigerweise lokale Lösung dar, sondern werden oft als *Cloud*lösungen realisiert. Die Anforderungen zu Datenspeicherung und –verarbeitung umfassen vornehmlich die Erfassung von Maschinen- und Prozessdaten der Produktion und Logistik. Typische Datenquelle im Unternehmen stellen u.a. Messgeräte und andere Feldgeräte (bspw. *Smart Meter*), Gebäudeautomationssysteme, ERP-systeme, MES, Auto-ID-systeme (RFID, *Barcode*) und *Indoor*-Lokalisierungssysteme dar. Die Speicherung der Daten erfolgt durch transparente Datenstrukturen unter Gewährleistung adäquater Datenqualität und Konsistenz. Die Analyse erfolgt sowohl auf strukturierten als auch unstrukturierten Daten mit Hilfe modernster Technologien (*Big Data*, *Complex Event Processing* etc.). Die Verarbeitung der Daten basiert somit auf einer gemeinsamen Syntax und Beschreibung der Geschäftsprozesse, der beteiligten Betriebsmittel, der Ressourcen etc. und beruht auf kontextsensitiver Interpretation. Der

Datenzugriff erfolgt durch verschiedenste *Stakeholder* mit unterschiedlichen Sichten. Diese sind idealerweise in einem Rollenmodell abgebildet, sodass die bedarfsgerechte und kontextsensitive Aufbereitung zur Verwendung der Daten in jedem Fall sichergestellt werden kann.

Betriebe und Fabriken sind in hoch entwickelten Industrieländern wie Deutschland, Orte innovativer, kreativer und wissensbasierter Wertschöpfung von Sach- und Dienstleistungen in effizienten Wertschöpfungsnetzwerken. (s. SCHENK ET AL. 2014, S. 1) Mit Blick auf die zukünftige Gestaltung von wandlungsfähigen, vernetzten, ressourcenschonenden und –effizienten Fabriken haben verschiedene Entwicklungen ebenfalls Einfluss (s. SCHENK ET AL. 2014, S. 1) auf die Integration der Menschen:

- Höhere Anforderungen an Kreativität, Kompetenz, Wissen und Innovationsfähigkeit der Menschen bei gleichzeitigen demografischen Veränderungen (s. SCHENK ET AL. 2014, S. 1)
- Zunehmende Individualisierung der Kundenwünsche (s. SCHENK ET AL. 2014, S. 1)
- Zunehmende Nachhaltigkeit und Ressourcenschonung (s. Schenk et al. 2014, S. 1)
- Fortschreitende Verbreitung moderner IKT (s. Schenk et al. 2014, S. 1)

Darüber hinaus sind diese Entwicklungen durchzunehmende partnerschaftliche Kommunikation, Kooperation und Vernetzung von Wissen, Prozessen und Leistungseinheiten verbunden (s. Abbildung 29). (s. SCHENK ET AL. 2014, S. 1)

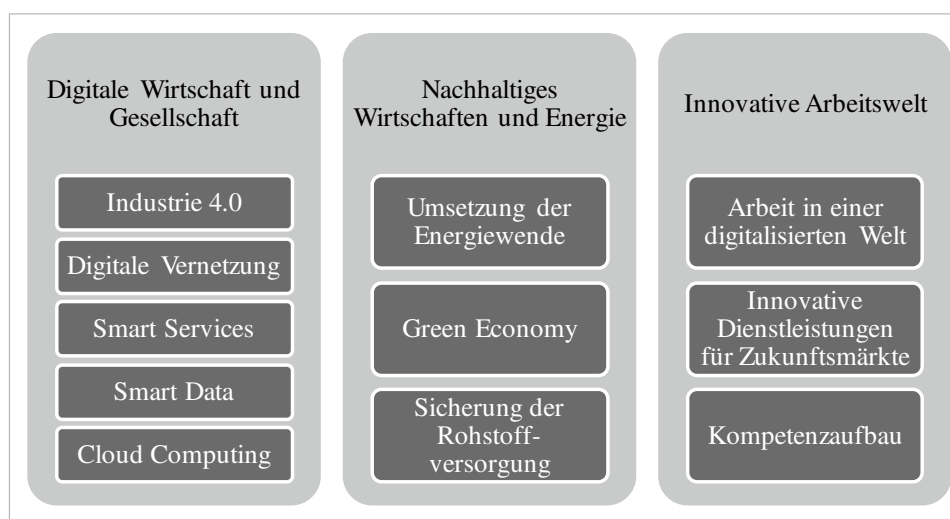


Abbildung 29: Relevante Zukunftsaufgaben und Aktionsfelder des betrieblichen EM (eigene Darstellung)

Kompetenzaufbau ist für die Nutzung moderner Technologien von zentraler Bedeutung. Hierbei erfolgt der Wissensaufbau zunehmend in Kooperation aus Mensch und Maschine. Lernfähige Systeme ermöglichen die Sammlung, Auswertung und Darstellung von Erkenntnissen die bessere operative und strategische Entscheidungen ermöglichen (*Business Intelligence*).

Durch Anforderungen an Interoperabilität wird der schnelle und flexible Einsatz von *Software-Services* beschrieben. Die schnelle Integration und der Einsatz neuer Technologien wird durch Konnektivität, Kompatibilität und Modularität erreicht. Die *Serviceorientierung* spiegelt sich auf allen Ebenen wider und impliziert die Anwendung modernster *Serviceorientierter* Technologien. Interoperabilität stellt eine der fundamentalen Anforderungen des IoT dar. Der Informationsaustausch erfolgt hierbei bestenfalls über einheitliche Kommunikationsstandards wie bspw. OPC UA etc.

Mit der Anforderung Sicherheit sind sämtliche Mechanismen zum Schutz der IT gemeint und umfassen im Wesentlichen Datenschutz und das Verhindern von unbefugtem Zugriff. Der Sicherheit kommt vor allem vor dem Hintergrund der heutigen Gefahren durch Industriespionage und Sabotage besondere Bedeutung zuteil, die durch zunehmende *Cloud*-basierte horizontale und vertikaler Vernetzung neuartige Herausforderungen an die Vermeidung des unautorisierten Zugriffs auf die Datenbasis stellt.

Oben beschriebene zukünftige allgemeine Anforderungen an IS für I4.0-Anwendungen im Allgemeinen bildeten die Ausgangslage für die weitere Analyse von allgemeinen Anforderungen an EnIS im Speziellen. Die vom Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) definierten Mindestanforderungen an EnIS lassen sich wie folgt zusammenfassen: (s. BAFA 2016)

- Erfüllung Norm
- Datenauswertung
- Visualisierung
- Berichtswesen
- Alarme
- Integration in bestehende Systeme
- *Support*

Die Anforderung zur Erfüllung der Norm ist dann gegeben, wenn das EnIS konform zu den Inhalten von DIN EN 50001 ist. Im Hinblick auf die Datenauswertung muss das System dazu fähig sein Summen, Mittel- und Extremwerte auszugeben. Darüber hinaus muss die Bildung von Kennzahlen zu Energieverbrauch, spezifischen Energieverbräuchen, Energieverbrauch pro Bezugsgröße, sowie Brennstoffverbrauch pro Bezugsgröße unterstützt werden. Bei der Kostenermittlung muss die Zuordnung von Kostenstellen und eine Eingabefunktion für Energietarife möglich sein. Die Anforderungen an die Visualisierung gelten dann als erfüllt, wenn die Darstellung per Linien- (Ganglinien) und Balkendiagramm erfolgen kann. Außerdem muss die Möglichkeit der individuellen Diagrammanpassung, die freie Wahl der zeitlichen Auflösung, die Aufnahme mehrerer Kurven in einem Diagramm, sowie das Einblenden von Grenzwerten erfolgen können. In Bezug zum Berichtswesen stellen die Ausgabe zeitgesteuerter Energieberichte und die Darstellung lang- und kurzfristiger Verbrauchsentwicklungen zentrale Anforderungen dar. Zusätzlich muss der Versand der Berichte per E-Mail / SMS / Fax in einem gängigen Ausgabeformat wie bspw. PDF oder DOC erfolgen können.

Alarmer müssen im Sinne eines Frühwarnmechanismus realisiert sein und die individuelle Festlegung von Schwellenwerten, sowie die automatische Alarmierung bei Überschreitung dieser unterstützen. Die Übermittlung des Alarms muss dabei wie bei der Anforderung an das Berichtswesen per E-Mail / SMS / Fax erfolgen können. Die Anforderungen an die Integration in bestehende Systeme schreiben den Datenimport zur Integration beliebiger Messdaten, den Datenexport in gängige *Office*-Formate wie bspw. .xls, .csv etc., sowie die Generierung von Datenpunktlisten vor. Außerdem muss das System in die Gebäudeleittechnik und Prozessleittechnik integrierbar sein. Die Anforderungen an den *Support* setzt schließlich voraus, dass Unterstützung im Problemfall, sowie die Mitarbeiterschulung, Einrichtung der *Software* sowie ein *Updateservice* im Bedarfsfall geleistet werden.

Eine wesentliche Anforderung an EnIS bildet die Entscheidungsunterstützung der Mitarbeiter im laufenden Betrieb. Hierbei haben sich zur Gestaltung energieoptimaler Produktionsprozesse die folgenden acht Gestaltungsrichtlinien des Energiewertstromdesigns für die Konzeption des Soll-Zustandes herauskristallisiert: (s. ERLACH U. WESTKÄMPER 2009, S. 54–75)

1. Ausrichtung auf den optimalen Betriebspunkt
2. Reduktion des Energiebedarfs im Normalbetrieb
3. Minimierung der An- und Abschaltverluste
4. Minimierung des Verbrauchs im Stand-by-Betrieb
5. Mehrfachnutzung des Energieeinsatzes
6. Ausgleich zwischen den Energieverbräuchen
7. Energieoptimale Abarbeitungsreihenfolge am Energiefresser
8. Synchronisation von Energiebereitstellung und Energieverbrauch

Ergänzend zu der Literaturanalyse zur Identifikation relevanter Anforderungen erfolgte im Rahmen des Projekts Polar eine umfangreiche Anforderungserhebung durch Experteninterviews. Die hier aufgenommenen Anforderungen wurden mit Hilfe der in Kapitel 4.2.2 beschriebenen Anforderungsschablone dokumentiert. Für die vollständige Liste der Anforderungen sei auf den Anhang A4 verwiesen. Dort werden sämtliche Anforderungen der verschiedenen Anspruchsgruppen gelistet, die in die Entwicklung der in DIN SPEC 91327:2015-10 beschriebenen Architektur eingeflossen sind und somit das Fundament der im nächsten Kapitel beschriebenen Datenmodellierung bilden.

6.2 Konzeptionelles Datenmodell

Ziel des im Rahmen von Polar entwickelten konzeptionellen Datenmodells war eine umfassende Darstellung der wesentlichen Basisfunktionsmodule bzw. Funktionsbausteine sowie der generischen Informationsflüsse eines praxistauglichen EnIS. Die auf diese Weise identifizierten Funktionsbausteine (Netznutzungslogik, Energiemonitoring, Lastmanagement und Steuerung) wurden in einem ersten Schritt zunächst als abstrakte *Blackboxen* modelliert anhand derer die elementaren Funktionen eines pra-

xistauglichen EnIS beschrieben werden konnten. Abbildung 30 verbildlicht diesen Ansatz am Beispiel des Lastmanagement Funktionsbausteins, dem insbesondere in einem Strommarktszenario mit dynamischen Preisen eine wichtige Rolle zuteil kommen würde. (s. MAASEM, ROSCHER ET AL. 2014a, S. 81)

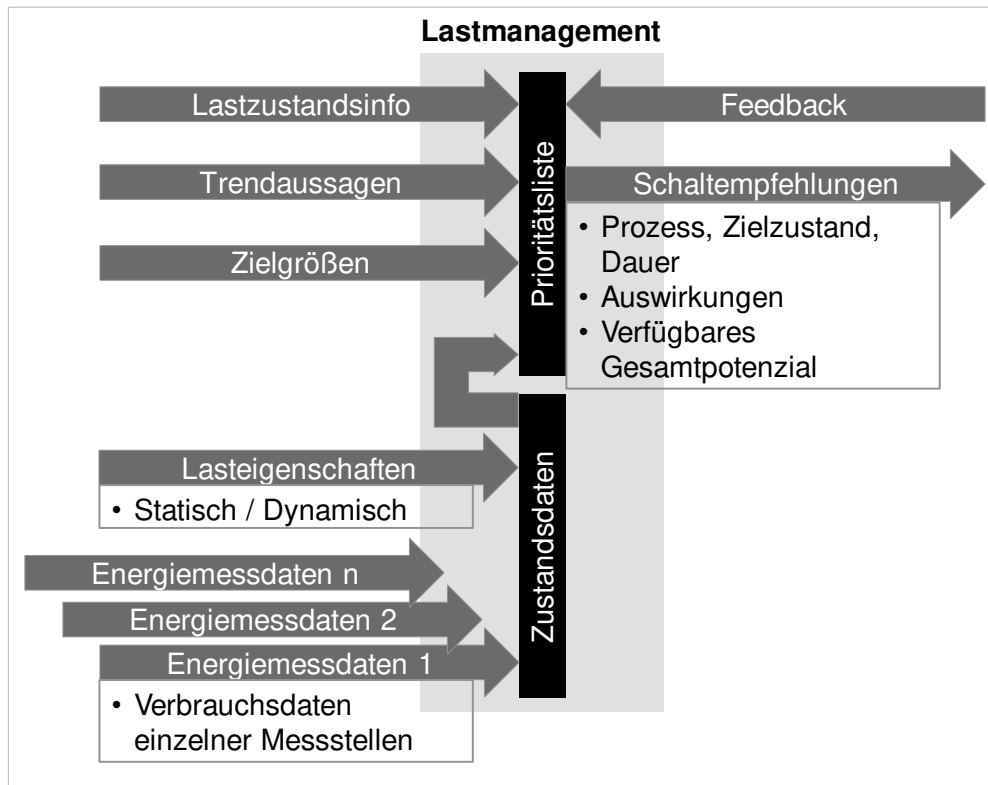


Abbildung 30: Informationsflüsse des Lastmanagement Funktionsbausteins (eigene Darstellung)

In einer iterativen Vorgehensweise konnte der innere Aufbau der Funktionsbausteine sukzessive konkretisiert werden. Dies soll nachfolgend exemplarisch für das Lastmanagement-Modul im Rahmen dieser Arbeit beschrieben werden. Die vollständige Darstellung des gesamten konzeptionellen Datenmodells wurde in der Spezifikationssprache für Geschäftsprozessmodelle *Business-Process-Model and Notation* (BPMN) modelliert und findet sich im öffentlich freiverfügbaren Abschlussbericht des Projekts Polar. (s. ZELLER, ROSCHER ET AL. 2016, S. 51–67) Später in Kapitel 7.3.1 erfolgt nochmals eine weitaus detailliertere Auseinandersetzung mit dem Begriff Lastmanagement und dessen konkrete Bedeutung für produzierende Unternehmen. Der Aufbau des Lastmanagement-Moduls beinhaltet die Teilmodule Sperrzeitenverwaltung, Potenzialberechnung, Prioritätsliste sowie Ausgabe von Schaltempfehlungen wie auch eine zentrale Speichermöglichkeit für statische Lasteigenschaften (s. Abbildung 31). Dynamische Lasteigenschaften werden innerhalb des Teilmoduls Sperrzeitenverwaltung betrachtet. Sowohl das Teilmodul Potenzialberechnung als auch das Teilmodul Sperrzeitenverwaltung laufen dabei für jede betrachtete Messeinheit einmal ab. Die Datenbank dynamischer Lasteigenschaften existiert jedoch nur einfach. (s. MAASEM, ROSCHER ET AL. 2014a, S. 81)

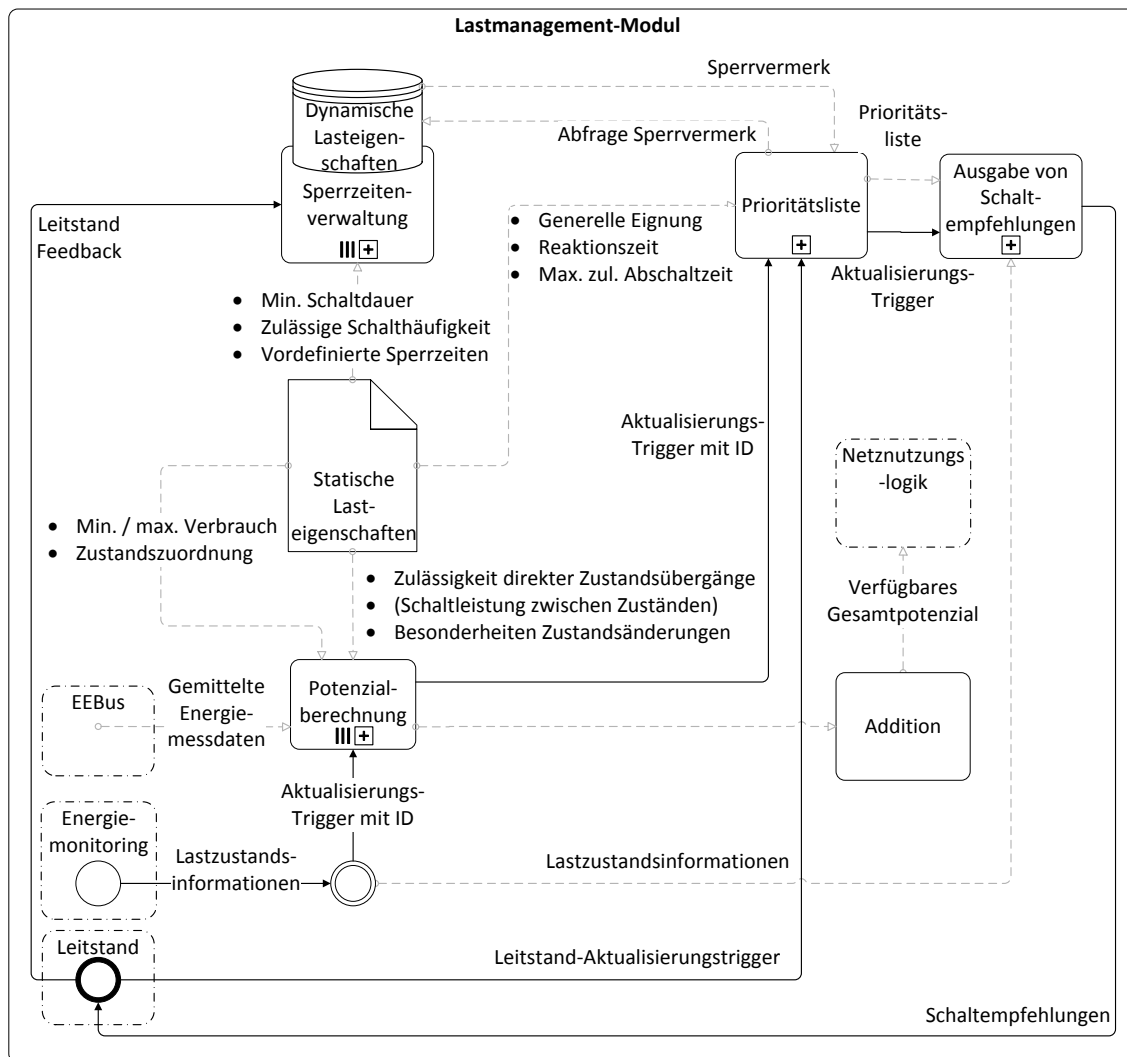


Abbildung 31: Darstellung des Lastmanagementmoduls in BPMN (eigene Darstellung)

Das Eingehen von Lastzustandsinformationen aus dem *Energiemonitoring* agiert als Starterereignis für das Aktivwerden des Lastmanagement-Moduls und sorgt für die Weitergabe eines *Aktualisierungstriggers* an das Teilmodul Potenzialberechnung. Die Lastzustandsinformationen werden direkt an das Teilmodul Ausgabe von Schaltinformationen weitergeleitet. Die Potenzialberechnung generiert verfügbare Potenziale aus den über den EEBus empfangenen, gemittelten Messwerten und den intern vorliegenden statischen Lasteigenschaften. Die verfügbaren Potenziale werden dann an die Prioritätsliste weitergegeben. Zusätzlich wird durch Addition das verfügbare positive und negative Gesamtpotenzial gebildet und der Netznutzungslogik zur Verfügung gestellt. Zur Verwaltung der Prioritätsliste werden zunächst Sperrvermerke aus der Sperrzeitenverwaltung abgefragt, die anhand von Leitstandfeedbacks aktualisiert werden. Sowohl in die Sperrzeitenverwaltung als auch in die Verwaltung der Prioritätsliste gehen dabei erneut statische Lasteigenschaften mit ein. Abschließend werden im Teilmodul Ausgabe von Schaltempfehlungen aus den zu Beginn eingegangenen Lastzustandsinformationen und der Prioritätsliste, Schaltempfehlungen generiert und an den Leitstand ausgegeben, sobald der entsprechende *Aktualisierungstrigger* die erfolgte

Aktualisierung von Potenzialberechnung und Prioritätsliste bestätigt. (s. MAASEM, ROSCHER ET AL. 2014a, S. 81–82)

Parallel zu den Arbeiten im Projekt Polar wurde im Rahmen des europäischen Projekts eco2production ein anderer Modellierungsansatz gewählt. Diesem lag entgegen des preissignalzentrierten Ansatzes in Polar die Integration der Zielgröße Energieeffizienz in das technische Regelkreismodell der Produktionsplanung und -regelung zugrunde. Das Regelkreismodell sieht vor, dass einer Prozessleitung bzw. dem Prozessregelzentrum (z.B. dem Produktionsplaner) Soll-Betriebspunkte, Prioritäten, Soll-Energieeffizienz etc. vorgegeben werden. Dort werden basierend auf diesen Vorgaben Programme, Pläne, Reihenfolgen etc. erarbeitet, welche anschließend in die Fertigung übergeben werden. Die Rückmeldung von Echtzeitinformationen über den Status des Prozesses in der Fertigung erfolgt auf Basis von Sensordaten sowie, Daten aus der Maschinensteuerung, welche direkt im Produktionsprozess abgegriffen werden. Hierzu werden diverse Sensordaten nach entsprechenden Mustern gefiltert und zu semantisch reichhaltigen, komplexen Ereignissen aggregiert. Für diese Art der Informationsverarbeitung wird ein Ereignis(daten-)modell benötigt, dass die relevanten Sensordaten in Form von Ereignistypen beschreibt, die anschließend bspw. mit der Technik des *Complex-Event-Processing* (CEP) weiter verarbeitet werden können. (s. ROSCHER ET AL. 2013, S. 144) Der Erster Schritt hin zu einem Ereignismodell für eine echtzeitfähige, energieeffiziente Produktionsplanung und -regelung ist die Identifizierung eines geeigneten Zielsystems. Dazu erfolgt über einen *Top-Down* Ansatz die Definition der Energieeffizienz als Oberziel (s. Abbildung 32). Zur Quantifizierung der Energieeffizienz findet ein verbreitetes Kennzahlensystem des EM Anwendung. Das *Energy Efficiency of Equipment* (EEE) untersucht den Energieverbrauch auf Maschinenebene. Zusätzlich werden die Hilfsprozesse (Technische Gebäudeausrüstung, Intralogistik, Prozessmittel etc.) energetisch überwacht und mit den Sollverbräuchen verglichen. Die auf dem *Shopfloor* erzeugten Sensor- und Prozessdaten werden *Buttom-Up* in relevante Ereignissen klassifiziert. Bspw. werden Informationen zur Leistungsaufnahme einzelner Bauteile oder Prozesse, aber auch Prozessdaten wie Zustandsdaten zu einfachen Ereignissen zusammengefasst. Werden diese einfachen Ereignisse miteinander in Verbindung gebracht und so in ihrer Aussagekraft erhöht spricht man von aggregierten komplexen Ereignissen. Aus den vergangenen Ereignissen der Leistungsaufnahme bspw. kann als Ereignis der Energieverbrauch eines Zeitabschnittes generiert werden. In Verbindung mit dem erfassten Maschinenzustand und historischen Energieverbräuchen kann verglichen werden ob der spezifische Verbrauch zum Maschinenzustand passt oder ob eventuell ein Fehler vorliegt, sodass eine Optimierung angestoßen werden kann. Diese Mechanismen werden über sogenannte Ereignismuster definiert. So wird der Ereignisstrom durchgehend nach diesen Mustern untersucht und eine Echtzeitsteuerung ist gewährleistet. (s. ROSCHER ET AL. 2013, S. 145–146)

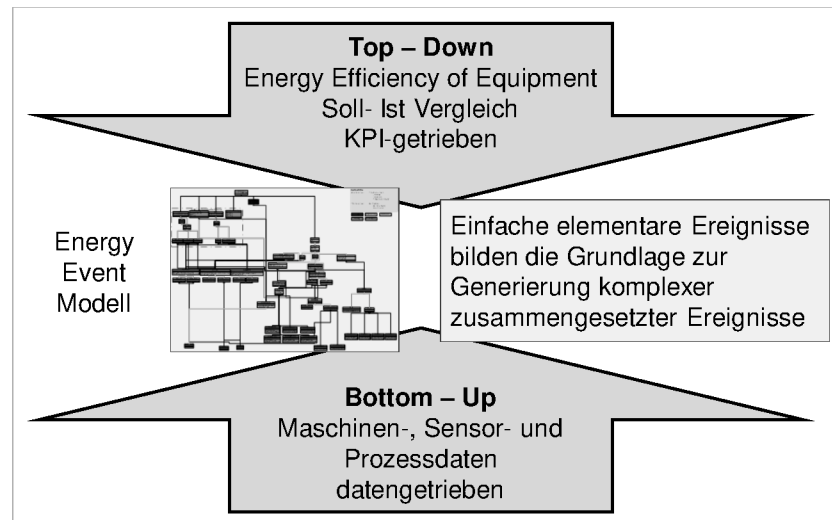


Abbildung 32: Vorgehensbeschreibung zur Ableitung von *Energy Events* (eigene Darstellung)

Für die Entwicklung des *Energy Event Models* (EEM) wurden einige Annahmen getroffen. Diese sind für ein generisches Modell notwendig und können hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit in produzierende Unternehmen als zulässig betrachtet werden.

- Alle Objekte wie Maschinen, Bauteile, Einzelteile, Prozessabschnitte, Sensoren etc. besitzen eine eindeutige ID.
- Eine Positionsbestimmung aller Objekte innerhalb des Produktionsbereichs ist jederzeit möglich. Die Umsetzung ist durch RTLS (*Real-time-location-system*) Technologien in modernen Produktionssystemen bereits implementiert.
- Alle Prozessschritte innerhalb der Produktion sind mit ihrem jeweiligen spezifischen Soll-Energieverbrauch bekannt. Durch einfaches Durchführen der Musterprozesse und der Aufnahme der Energieverbräuche ist die Erfüllung der Anforderung für die vollständige Prozesskette möglich.
- Ausschuss wird definiert als Teile oder Bauteile, die nachdem sie einmal das Lager verlassen haben, wieder in dieses zurückkehren. Diese Definition erleichtert die Zählung und Messung der im Ausschuss verschwendeten Energie, ohne eine explizite Modellierung der Qualitätssicherung erforderlich zu machen.
- Die Ereignisverarbeitung verfügt über die Informationen der Soll-Prozesse und Zustände.

Der Modellierung des EEM wurden die in DIN SPEC 91327:2015-10 definierten Funktionsbausteine zugrunde gelegt. Analog zu dem Vorgehen bei der Beschreibung des Datenmodells von Polar soll im Rahmen dieser Arbeit lediglich der Funktionsbaustein *Energiemonitoring* des Datenmodells von eco2production exemplarisch dargestellt werden. Die detaillierte Darstellung des gesamten Modells findet sich im öffentlich zugänglichen Abschlussbericht des Projekts eco2production. (s. ROSCHER ET AL. 2013)

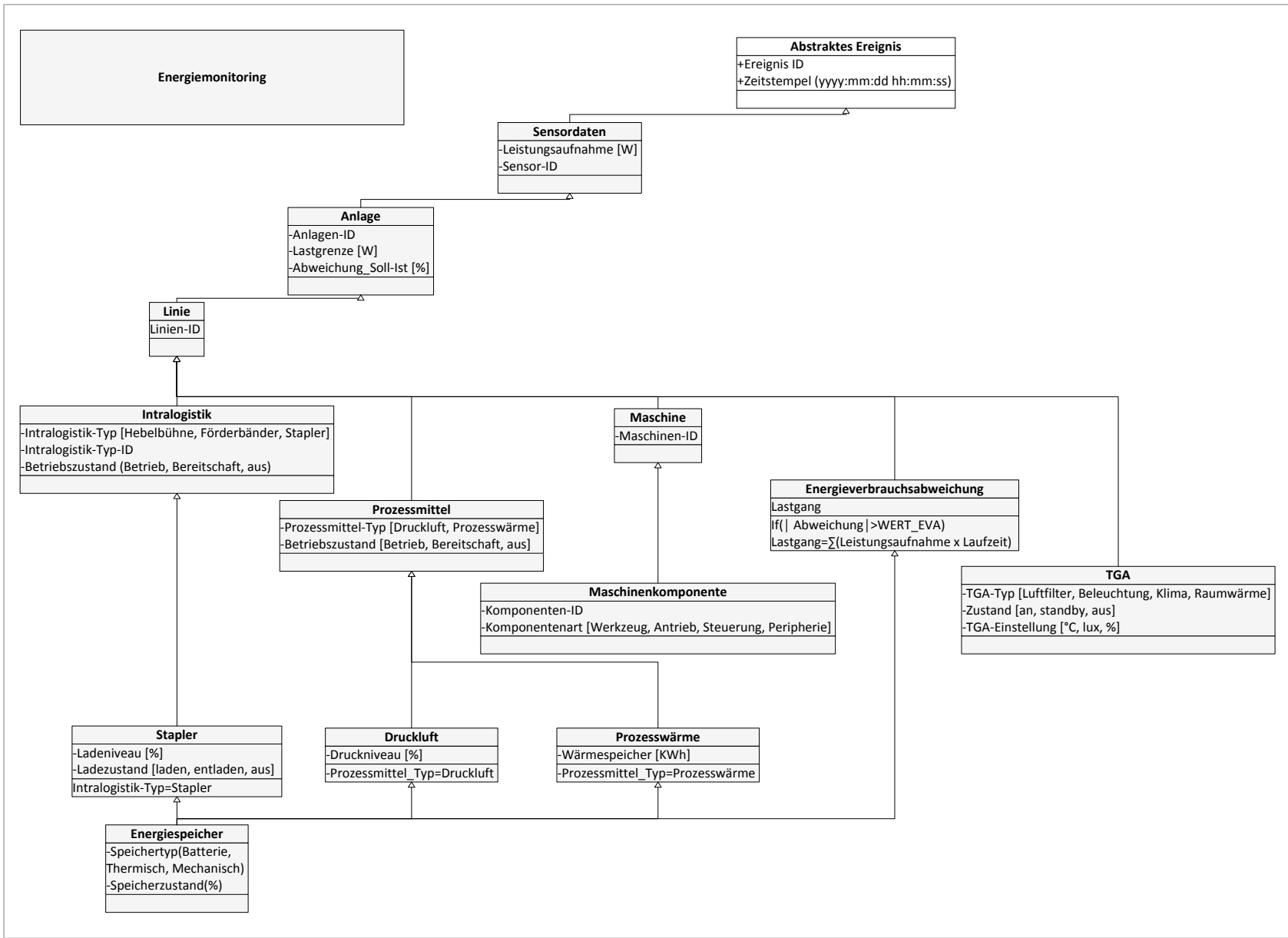


Abbildung 33: Energiemonitoring im EEM (eigene Darstellung)

Für das *Energiemonitoring* sind die Energiesensoren ausschlaggebend. Hier wird die aktuelle Leistungsaufnahme in den Ereignisinstanzen auf den unterschiedlichen Ebenen (Anlage, Linie, Maschine, Maschinenkomponente) wiedergegeben. Der so berechenbare Energieverbrauch wird im Ereignistyp Energieverbrauchsabweichung mit dem Soll-Verbrauch verglichen. Bei Abweichungen wird so eine Überprüfung angestoßen, warum es zu einer solchen Abweichung kommt. Dazu werden die verschiedenen Verbraucher einem Soll-Ist-Vergleich unterzogen. Bspw. im Ereignistyp TGA mit den unterschiedlichen TGA-Typen (Beleuchtung, Klima, Raumwärme, Luftfilter, etc.). Weitere Verbraucher sind in der Intralogistik zu finden. Neben dem elektrischen Strom werden auch andere Energieverbraucher durch den Ereignistyp Prozessmittel modelliert. Hierzu zählen bspw. die Druckluft oder Prozesswärme. Neben den Verbrauchern ist auch ein Energiespeicher modelliert, der innerhalb der Produktion sowohl als autonomer Speicher (bspw. Schwungmasse oder eigene Speicherbatterie) vorhanden sein kann, als auch integriert durch bspw. die Batteriespeicher der Stapler oder die Speicherung der Prozessmittel (Druckluft, Wärme) repräsentiert werden kann. (s. ROSCHER ET AL. 2013, S. 154) Das oben beschriebene Kennzahlssystem EEE ist ebenfalls im *Energiemonitoring* verortet. Die drei Ereignistypen Energienutzungsgrad, Energieleistungsgrad und Energiequalitätsrate berechnen den prozentualen Kennzahlenwert. Sobald dieser einen gewissen Grenzwert unterschreitet gilt er als kritisch und löst weitere Ereignisse im Steuerungsbereich aus. (s. ROSCHER ET AL. 2013, S. 154)

Wie bereits im Rahmen von Kapitel 4.2.3 erwähnt bietet sich zur Konkretisierung der Problemdefinition die Konstruktion von Basiselementen an, die abstrakte Objekte und Relationen darstellen, die für die spätere Organisationsgestaltung von Interesse sind. (s. SCHÜTTE 1998, S. 217) Auf diese Weise kommen sie dem Konsens über die Problemdefinition zugute indem sie den Rahmen vorgeben, innerhalb dessen sich die Referenzmodellerstellung bewegt. (s. SCHÜTTE 1998, S. 219) Die im nächsten Kapitel skizzierte Architekturbeschreibung und deren einzelnen Elemente, können vor diesem Hintergrund auch als Basiselemente angesehen werden.

6.3 Architekturbeschreibung eines empfehlungsbasierten Lastmanagementsystems

Auf Basis der erhobenen und analysierten Anforderungen, konnten vier kohärente Basisfunktionsmodule bspw. Basiselemente für die Gestaltung von EnIS im Rahmen der Forschungsaktivitäten (s. Anhang A1) identifiziert und in die Referenzarchitektur (s. Abbildung 34) mit aufgenommen werden: Netznutzungslogik, *Energiemonitoring*, Lastmanagement und Steuerung. Jedes dieser Module ist über die Abstraktionsschicht (*Middleware*) mit den anderen Modulen verbunden. Die **Abstraktionsschicht** bietet datentechnische Interoperabilität und so weitgehende referenzielle Entkopplung zwischen den beteiligten Computersystemen, sodass angeschlossene *Softwaresysteme* teilweise bzw. vollständig autonom miteinander kommunizieren können. Der Transport von Informationen erfolgt hierbei idealerweise über bereits etablierte *Transfer Control Protocol / Internet Protocol* (TCP / IP) oder zukünftig gesetzte Standards (OPC UA)

und stehen so für alle berechtigten Systeme zum bedarfsgerechten Abruf bereit. Das Funktionsmodul **Netznutzungslogik** stellt die Schnittstelle zwischen Unternehmen und dem **Smart Grid** (Energiemärkte) dar und tauscht kontinuierlich Daten in Form von Netzinformationen und Flexibilitätspotenzialen aus. Das Funktionsmodul **Energiemonitoring** bezieht zusätzlich zu den Verbrauchswerten (Energiemess- und Betriebsdaten) der Maschinen auch den von der Netznutzungslogik stammenden Anreizparameter.

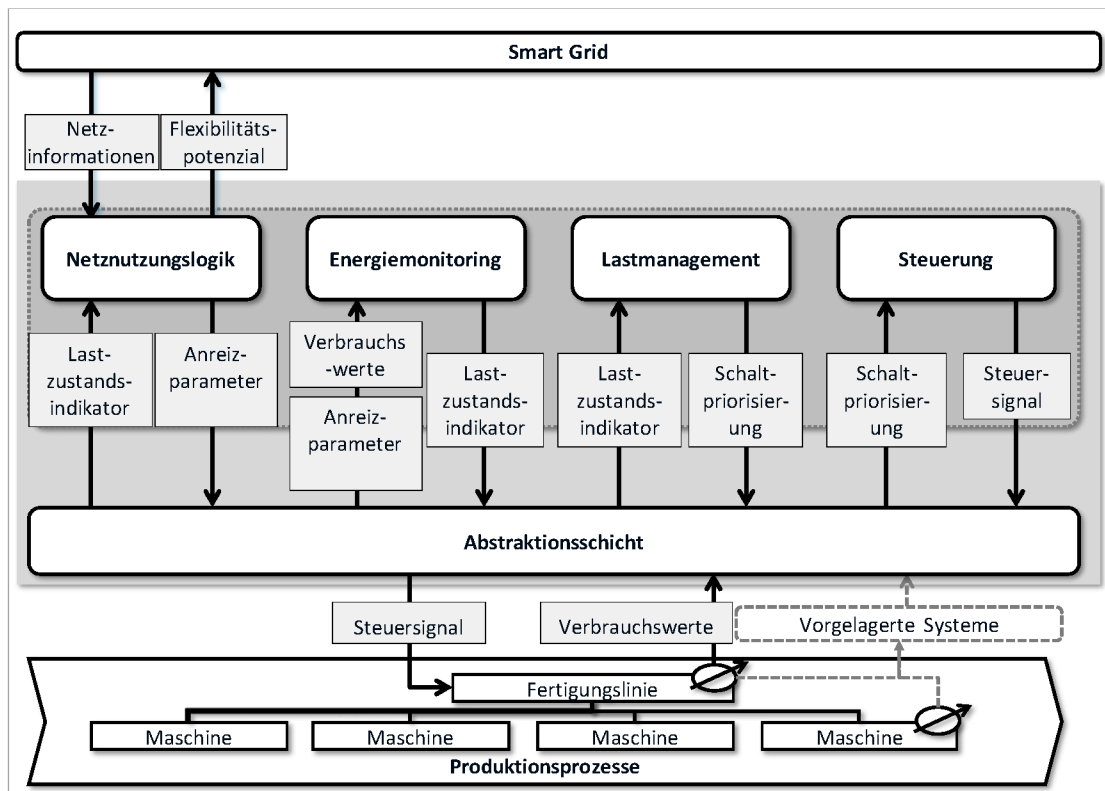


Abbildung 34: Informationslogistikkonzept für ein empfehlungs-basiertes EnMS
(eigene Darstellung in DIN SPEC 91327:2015-10)

Aus den zur Verfügung stehenden Informationen berechnet das **Energiemonitoring** einen Lastzustandsindikator, welcher im Wesentlichen den Lastzustand in Bezug auf die Anreizparameter kennzeichnet. Ziel des Funktionsmoduls **Lastmanagement** ist die zeitliche Verschiebung von Lasten der Produktionsebene, ausgehend von einer regelbasierten Bewertung der einzelnen Verbraucher. Dabei dient der vom **Energiemonitoring** generierte Lastzustandsindikator als eine globale Führungsgröße für die Berechnung einer Prioritätenliste, in welcher die zu schaltenden Verbraucher mit absteigender Eignung aufgelistet werden. Mit Hilfe der **Steuerung** können die Produktionsprozesse über Steuersignale beeinflusst werden, indem Maschinen und Anlagenteile manuell oder automatisch gestartet und beendet werden. Ist die Steuerung als Leitstand realisiert, kann die vom Lastmanagement generierte Prioritätenliste als Schaltempfehlungen (Schaltpriorisierung) ausgegeben werden, um dem Anwender die Möglichkeit zu geben, manuell auf diese zu reagieren. Langfristig soll die Entscheidungsfindung automatisch umgesetzt werden. Eine Visualisierung der Schaltempfehlungen und des

Lastzustands des gesamten Produktionssystems bleibt zur Überprüfung der automatisch getroffenen Entscheidungen jedoch weiterhin notwendig.

Die soeben beschriebenen Mechanismen wurden darüber hinaus auch indem Planspiel Energiemanager Polar umgesetzt, das als kostenloses *Serious Game* zum Download zur Verfügung steht (s. Anhang A5). (s. ROSCHER ET AL. 2015d)

6.4 Zwischenfazit

Die Ausführungen in diesem Kapitel zur Durchführung des RE und der darauf aufbauenden Ableitung konzeptioneller Datenmodelle, sowie den Ausführungen zum Ordnungsrahmen EM in der Produktion stellen zusammengekommen eine Methodik zur Beschreibung der Anforderungen an EnISA für produzierende Unternehmen dar. Dieser Umstand mündet in der Erreichung des in Kapitel 1.3 formulierten ersten Teilziels durch die Beantwortung der ersten Forschungsfrage.

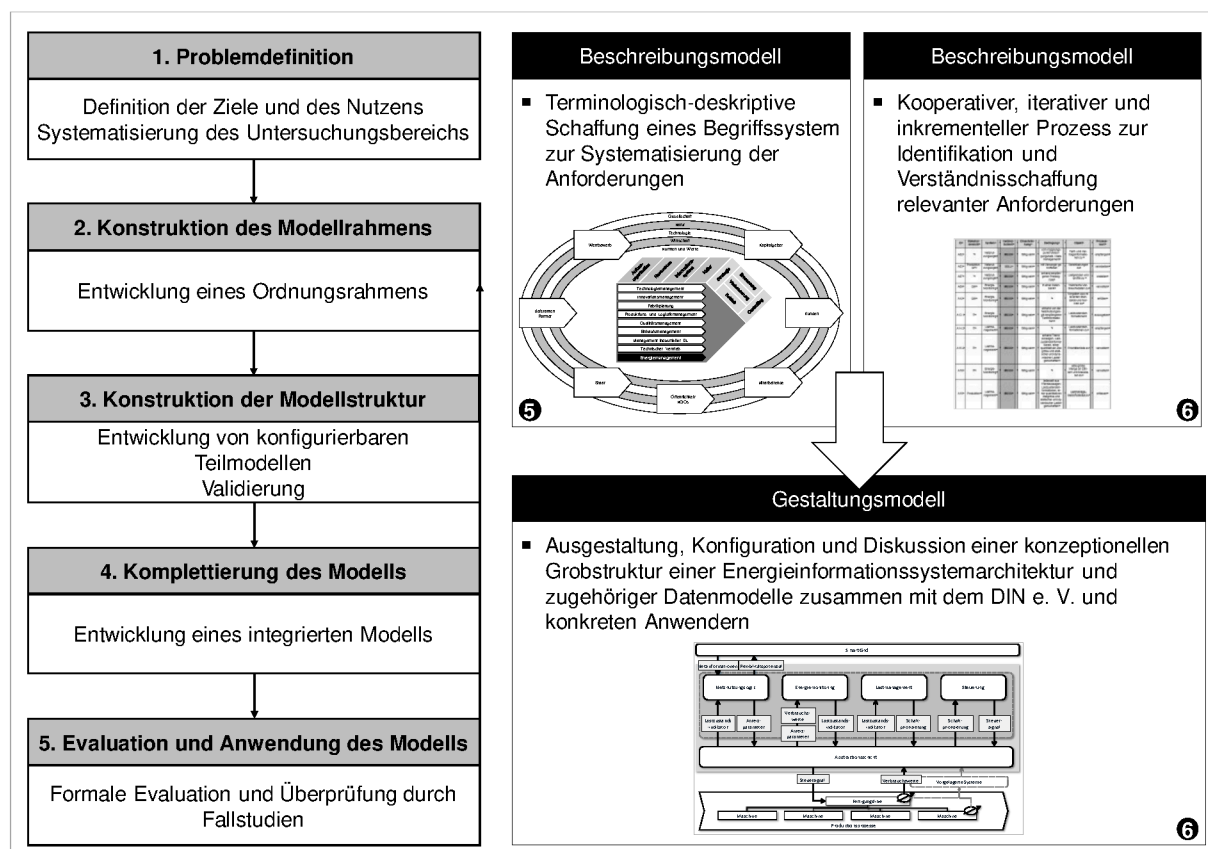


Abbildung 35: Zusammenhangsdarstellung der bislang erzielten Zwischenergebnisse (eigene Darstellung)

Für die nächsten Kapitel dieser Arbeit stellt DIN SPEC 93127 einen Bezugsrahmen in Form eines ersten konzeptionellen Fachkonzepts dar, das grundlegende Basiselemente für die Konstruktion des Modellrahmens definiert. Es lieferte somit ein erstes durch die Praxis hinsichtlich der Plausibilität kontrolliertes Zwischenergebnis und initiierte wie in Abbildung 35 dargestellt einen weiteren Durchlauf zur Spezifizierung eines integrierten Modells einer quasi normungsfähigen Referenzarchitektur für EnIS produzierender Unternehmen.

7 Referenzarchitekturmodell für Energieinformationssysteme der Produktion

Die Entwicklung eines generischen Referenzarchitekturmodells (RAM) für EnIS der Produktion (RAMEnIS) kann sinnigerweise unter Rückgriff auf bereits etablierte Ansätze erfolgen (s. Kapitel 3.3.4). Folglich wird in diesem Kapitel zunächst ein geeignetes Modell als konkrete Ausgangsbasis für die weiteren Untersuchungen gewählt. Anschließend erfolgt die Anpassung und Erweiterung des ausgewählten Modells durch eine systematische Beschreibung des Aufbaus und der Inhalte eines generischen RAMEnIS auch auf Basis der bereits gewonnenen Erkenntnisse aus den vorherigen Kapiteln. Neben der schrittweisen Ebenenorientierten Beschreibung werden darüber hinaus auch Ebenenübergreifende Aspekte sowie die Einsatzmöglichkeiten von Sichten beschrieben. Schließlich folgt die Zusammenfassung und ein Ausblick auf die folgenden Kapitel.

7.1 Ausgangsbasis

Unter Berücksichtigung der identifizierten Anforderungen kämen als Ausgangsbasis für die Entwicklung einer generischen EnISA für die Produktion grundsätzlich verschiedene bereits existierende Ansätze aus dem Produktions-, *Smart-Grid*-Umfeld und auch domänenunabhängiger Art in Frage.

Für das EM sind die aktuellen Entwicklung zu I4.0 und Energiewende die wesentlichen Treiber aktueller und zukünftiger Herausforderungen. Mit RAMI 4.0 existiert in diesem Zusammenhang bereits ein Referenzarchitekturmodell, das die Schaffung von Regeln zur datentechnischen Beschreibung entlang des Lebenslaufs und dem damit verbundenen allgemeinen Werteverlauf eines technischen Gegenstands ermöglicht. RAMI 4.0 stellt auf diese Weise ein RM für die Referenzarchitektur von I4.0 dar, das zur strukturierten Beschreibung von grundlegenden Ideen genutzt werden kann. Mit Blick auf den Beitrag zur Erreichung des gesteckten Ziels vorliegender Arbeit stellt RAMI 4.0 die beste Ausgangsbasis dar, da dieses die in Kapitel 4.1 beschriebenen formalen und inhaltlichen Anforderungen bereits erfüllt. Aufgrund der beabsichtigten logischen Erweiterung von RAMI 4.0 durch analytisch-deduktive Forschungsaktivität kann dadurch weitgehend sichergestellt werden, dass auch im Zuge der deduktiven Konstruktion der Modelle und der analytischen Auswertung der Ergebnisse die inhaltliche und formale Erfüllung erhalten werden kann. Dies gilt insbesondere auch für die Anforderungen Idealität, Unabhängigkeit, modularer Aufbau, *Piecemeal Engineering*, minimale Präjudizierung und offene Standards im Zusammenhang der Systemgestaltung. Folglich werden nachfolgend möglichst nachvollziehbar die einzelnen logischen Schritte der Modellkonstruktion beschrieben.

7.2 Allgemeiner Aufbau

Für die Beschreibung des RAMEnIS eignet sich insbesondere vor dem Hintergrund von I4.0 aus deutscher Betrachtung, das RAMI 4.0 als Ausgangsbasis. Für die praxistaugliche Anwendung für die Gestaltung spezifischer EnISA ist allerdings eine domänenspezifische Erweiterung bzw. Fokussierung auf die Belange des EM bzw. EnIS an der Schnittstelle zwischen I4.0 und Strommarkt 2.0 durch weitere Forschungsaktivität notwendig. (s. ROSCHER 2016c) Diese werden in nachvollziehbarer Weise in Form logischer Einzelschritte beschrieben und münden schließlich in einem **RAMEnIS 6.0**. Diese bewusst gewählte Darstellung der verkürzten Schreibweise mit der Zahl 6.0 (I4.0 + Strommarkt 2.0 = EnIS 6.0) soll einerseits den fundamentalen Bezug zum RAMI 4.0 erhalten, aber gleichzeitig sich klar davon durch den spezifischen Anwendungsbereich abgrenzen, um so dem Risiko einer Verwechslung schon alleine durch die verwendete Begrifflichkeit zu reduzieren. Die höhere Zahl sollte dabei allerdings nicht im zu engen Sinne, wie eigentlich bei der Versionierung von *Software* durchaus üblich, als strenge Versionsnummer interpretiert werden, da keine dokumentierten fünf Vorgängerversionen existieren. Nichts desto trotz liefern die Aktivitäten durchaus eine Weiterentwicklung des aktuellen Stands der Technik die für sich genommen auch eine höhere Versionsnummer legitimieren würde.

7.2.1 Objektwelten

Das RAMEnIS 6.0 folgt der im RAMI 4.0 definierten Gliederung der Objektwelten von I4.0. Die Objektwelt aus der *Assets* betrachtet werden gliedert sich in Informations- und physische Welt. Unter Vermögenswert (*Assets*) werden in dieser Arbeit wie an der in RAMI 4.0, grundsätzlich sämtliche technischen Gegenstände verstanden, die für eine Organisation einen Wert besitzen. (s. DIN SPEC 2016, S. 6) Für alle *Assets* gilt, dass sie zu einem bestimmten Zeitpunkt entworfen, erzeugt, genutzt und entsorgt werden und somit einen Lebenslauf besitzen. Ein *Asset* ist nicht an seine physische Existenz gebunden, hat aber in jedem Fall einen Informationsträger, ist eindeutig identifizierbar und ist in einem Prozess somit mittels Zeit, Ort und Zustand charakterisierbar. Außerdem ist jedes *Asset* durch die Information seiner Verwaltungsschale in der Informationswelt repräsentiert und kann dort nach den Regeln von I4.0 weitere spezifischere Repräsentationen besitzen. Durch Kombination von *Assets* entstehen neue *Assets* mit neuen Eigenschaften, deren Beschreibung mittels I4.0-Vokabulars erfolgt. (s. DIN SPEC 2016, S. 10)

Die *Asset* Beschreibung schließt somit neben den physisch anfassbaren Gegenständen auch nicht anfassbare Gegenstände wie *Software* explizit mitein. Die Informationswelt untergliedert sich weiter in Modell-, Zustands- und Archivwelt. Der **Modellwelt** werden Metadokumente (bspw. Standards, Normen, Richtlinien etc.), technische Dokumentationen (Funktions-, Anlagenpläne, Produktbeschreibungen etc.), operative Pläne (Produktions-, Projektpläne etc.) sowie Geschäftsprozessbeschreibungen zugeordnet. Die **Zustandswelt** beinhaltet alle verfügbaren Mess-, wirksamen Sollwerte und

aktuelle Konfigurationsparameter. Die **Archivwelt** beinhaltet schließlich sämtliche Lebenszyklusdokumentationen, Ereignisse, Zustands-, Projektverläufe und stattgefundene Prozesse (Produktion, Entwicklung, Instandhaltung etc.). Der **physischen Welt** gehören alle physischen Produkte, Betriebsmittel, Gebäude etc. an. (s. DIN SPEC 2016, S. 9)

Bei der Einordnung von EnIS-Software (EnIS-S) gilt demnach, dass lediglich das in einem Zielsystem konkret geladene, lauffähige Programm (EnIS-P) zur physischen Welt gehört. Programmcode, Algorithmen etc. der *Software* sind dahingegen Teil der Informationswelt. Neben *Assets* spielt der **Mensch** in der Objektwelt eine besondere Rolle und wird demnach aus einer eigenen Sicht in Form der humanen Welt betrachtet. Die besondere Rolle des Menschen liegt in seinen kognitiven Fähigkeiten wie Problemlösen, Kreativität, Imagination, Lernen etc. begründet und führt dazu, dass der Mensch als Teil der physischen Welt auch an der Informationswelt teilnimmt. ISA im Allgemeinen existieren ihrer Definition (s. Kapitel 2.2.3) folgend somit zunächst einmal nur in den Köpfen der Menschen. Erst die niedergeschriebene Beschreibung dieser so dokumentierten Form (s. HILLIARD ET AL. 2013, S. 1) gilt demnach analog zur EnIS-S als Bestandteil der physischen Welt.

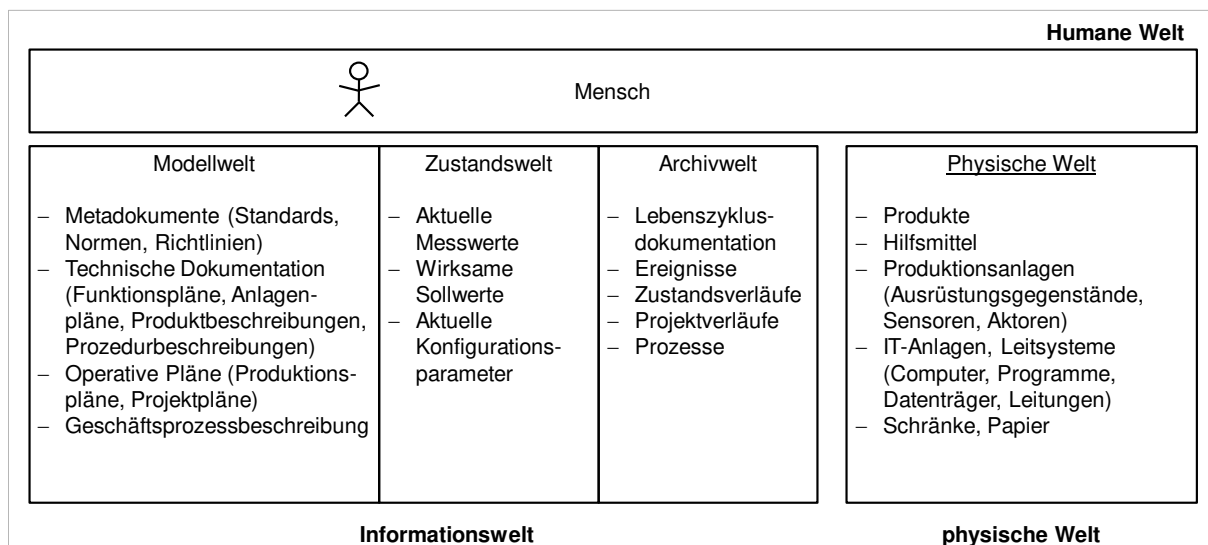


Abbildung 36: Gliederung der Objektwelten mit Beispielen (s. DIN SPEC 2016, S. 9)

7.2.2 Energiewertschöpfung-Achse

Die Verlauf-Achse dient im RAMI 4.0 der Beschreibung eines *Assets* zu einem bestimmten Zeitpunkt innerhalb seines Lebenslaufs von der Entstehung, über seine wertschöpfende Verwendung bis hin zu seiner Entsorgung. (s. DIN SPEC 2016, S. 23) Auf diese Weise wird ein *Asset* durch seinen Zustand zu einer bestimmten Zeit an einem bestimmten Ort charakterisiert. Hier wirkt der besondere Charakter von ISA und führt zu der wesentlichen und fundamentalen Adaption des RAMI 4.0 zugunsten der weiteren Entwicklung des RAMEnIS 6.0. Zur Verdeutlichung soll an dieser Stelle nochmals die Forschungsfrage dieser Arbeit (s. Kapitel 1.3) in Erinnerung gerufen werden. Diese

stellt die Frage, wie eine generische **EnISA** für produzierende Unternehmen beschrieben und gestaltet werden kann. In der Objektwelt von I4.0 existieren ISA zunächst aber ausschließlich in den Köpfen der Menschen und sind demnach keine Artefakte und auch keine *Assets* der physischen Welt. (s. HILLIARD ET AL. 2013, S. 1) EnISA stellen demnach ein *Asset* der Informationswelt mit dem menschlichen Gehirn als alleinigen Träger der Information dar (Informations-Asset Plan). Um den Verlust von Information bspw. durch Verschwinden des alleinigen Informationsträgers vorzubeugen, sollten Abbilder demnach auf mehreren Trägern angelegt werden. (s. DIN SPEC 2016, S. 9) Dazu müssten allerdings durch den Informationsträger sämtliche Informationen zur EnISA verbal in das Gehirn anderer Menschen transportiert werden oder durch eine EnISA-Beschreibung in der physischen Welt Repräsentation finden. Mit dem RAMI 4.0 ist das in seiner Ursprungsfassung allerdings aus zwei Gründen nicht praktikabel. Zum einen stellt das RAMI 4.0 zumindest in klassischer Form kein ISA-Rahmenwerk und auch keine IS-Beschreibungssprache zur Gestaltung von ISA im Allgemeinen dar (s. Kapitel 2.2.3). Zum anderen erlaubt es wenn überhaupt, lediglich eine äußerst abstrakte Artikulation der Wirkzusammenhänge des EM im Modell der Produktion. Diese stellt aber für den Transfer in eine physische Form (Entwicklung einer generischen EnISA-Beschreibung) auf Basis eines operationsanalytischen Ansatzes, ausgehend von einer auf einem menschlichen Informationsträger gespeicherten EnISA eine zwingende Voraussetzung dar.

Im RAMEnIS 6.0 kann dieser Mangel durch eine adäquate Substitution der Verlauf-Achse behoben werden. Dies kann lediglich zu Gunsten einer Fokussierung auf die Gedankenwelt der Menschen erfolgen, damit diese die gedanklichen Konstruktionszusammenhänge für die Beschreibung von EnISA im Kontext der Energiewende unter Berücksichtigung der daraus resultierenden Implikationen für die Produktion artikulieren können. Die unternehmensinterne Energiewertschöpfung überlagert für alle relevanten *Assets* des EM ihren Lebenslauf (s. Kapitel 2.3.1). Statt den Lebenslauf hinsichtlich der gesamten Wertschöpfung betrachten zu wollen, wird der Schwerpunkt im RAMEnIS 6.0 auf die unternehmensinterne Energiewertschöpfung für alle im Rahmen des EM relevanten *Assets* (s. Kapitel 5) gelegt (Energiewertschöpfung-Achse). Die so gewählte Darstellung mag auf den ersten Blick der Darstellung im SGAM sehr ähneln, allerdings können hier durch die explizite Fokussierung auf den Untersuchungsbereich Produktion die in Kapitel 3.3.4 skizzierten Schwächen vom SGAM für die Anwendung im Rahmen dieser Untersuchungen behoben werden. Analog zum RAMI 4.0 kann ein *Asset* so durch seinen Zustand zu einer bestimmten Zeit innerhalb der Energiewertschöpfung vom Bezug, über Umwandlung, Verteilung, Nutzung, Speicherung und Abgabe von elektrischer Energie charakterisiert werden. Mit anderen Worten können *Assets* eine Doppelrolle einnehmen und existieren in der Regel sowohl im RAMI 4.0, also auch im RAMEnIS 6.0. Die im Kontext des EM relevanten *Assets* stellen somit eine Teilmenge aller *Assets* der Produktion dar, die im speziellen Falle von EnISA, aber lediglich durch das zum RAMI 4.0 komplementäre RAMEnIS 6.0 beschrieben werden können.

Nach der Entwicklung der RAMEnIS 6.0 am Ende von Kapitel 7, ist somit der notwendige Zwischenschritt getan und es liegt von da an, neben dem Informations-Asset Plan im Kopf des Autors, eine generische EnISA-Beschreibung als physische Repräsentation in der Realwelt vor, die als Referenz für die Gestaltung spezifischer EnISA und anschließend konkreter EnIS-S bzw. EnIS-P für die Praxis dienen kann. Die Beschreibung der RAMEnIS 6.0 selbst, existiert ab dem Zeitpunkt ihrer Veröffentlichung dann auch im RAMI 4.0 und besitzt einen wie dort definierten Lebenslauf.

7.2.3 Hierarchie-Achse

Die Orientierung der Hierarchie-Achse folgt analog zum RAMI 4.0 dem RAM für eine Fabrik in Anlehnung an DIN EN 62264-1. Diese beschreibt u.a. eine rollenbasierte Ausrüstungshierarchie nach der *Assets* produzierender Unternehmen üblicherweise strukturiert sind. Gruppierungen auf niedriger Ebene werden dort zusammengefasst und bilden höhere Ebenen der rollenbasierten Hierarchie.

Dem RAMI 4.0 folgend wird mit dem Begriff **Vernetzte Welt** der Zusammenhang zwischen einem *Asset*, einer *Asset* Kombination und einem anderen *Asset* bzw. einer anderen *Asset* Kombination wie bspw. ein Werksverbund beschrieben. Ein **Unternehmen** stellt eine Ansammlung von Werken dar. Das Unternehmen verantwortet die Art, der hergestellten Produkte und legt fest, in welchem Werk sie auf welche Weise produziert werden. Ein Werk ist somit eine durch das Unternehmen festgelegte physische, geografische oder logische Gruppierung mit klar festgelegter Produktionsfähigkeit. Während im RAMI 4.0 eine möglichst breite Branchenunterstützung von Fabrikautomation bis Prozessindustrie anstrebt wird, wird aufgrund der Zielstellung dieser Arbeit eine Fokussierung in der Serien- oder Einzelfertigung verwendeten Ausrüstung innerhalb der Fertigungstechnik vorgenommen. Folglich wird abweichend zum RAMI 4.0 nicht der übergeordnete Begriff der Technischen Anlage, sondern der stärker abgrenzende Begriff der **Fertigungslinie** verwendet. Eine Fertigungslinie stellt somit einen spezifischen Typ des Ausrüstungselements dar und ist für die Betrachtungen innerhalb dieser Arbeit maßgeblich. Fertigungslinien besitzen eindeutig definierte Fertigungsfähigkeiten und Durchsatzkapazitäten. Der in RAMI 4.0 verwendete Begriff der Station wird in dieser Arbeit ebenfalls fertigungsspezifischer gefasst und somit durch **Maschinen** als Teil der Betriebsmittel ersetzt. Unter Maschinen fallen demnach sowohl Arbeits- als auch Kraftmaschinen in Form von Werkzeugmaschinen und Motoren. Analog dazu werden unter dem Begriff **Steuereinheit** vor allem speicherprogrammierbaren Steuereinrichtungen (SPS) verstanden, die die verbindungsprogrammierten Steuereinrichtungen (VPS) in den letzten Jahren weitgehend aus der Fertigung verdrängt haben. Unter **Feldgerät** soll dem Entwurf DIN EN 62453-1:2015-01 folgend eine vernetzte unabhängige physikalische Einheit eines industriellen Automatisierungssystems, die Steuerungs-, Betätigungs- und / oder Sensorfunktionen ausführt und Schnittstellen zu anderen solchen Einheiten besitzt verstanden werden. Produkt wird schließlich im Einklang mit RAMI 4.0 als kooperierendes bzw. kollaborierendes zu fertigendes **Produkt** bezeichnet.

7.2.4 Architektur-Achse

Die vertikale Achse beschreibt wie in RAMI 4.0 die Architektur bezüglich Eigenschaften und Aufbau von Systemen mit ihren Funktionen und funktionsspezifischen Daten in Form von Schichten. Unter Zuhilfenahme der sechs Architekturschichten *Business*, *Functional*, *Information*, *Communication*, *Integration* und *Asset* können die strukturellen Eigenschaften eines *Assets* bzw. einer Kombination von *Assets* beschrieben werden. Zwischen den Schichten im RAMEnIS 6.0 herrscht analog zum RAMI 4.0 eine lose Kopplung, bei der Interaktionen lediglich zwischen zwei benachbarten Schichten und innerhalb einer Schicht erfolgen dürfen.

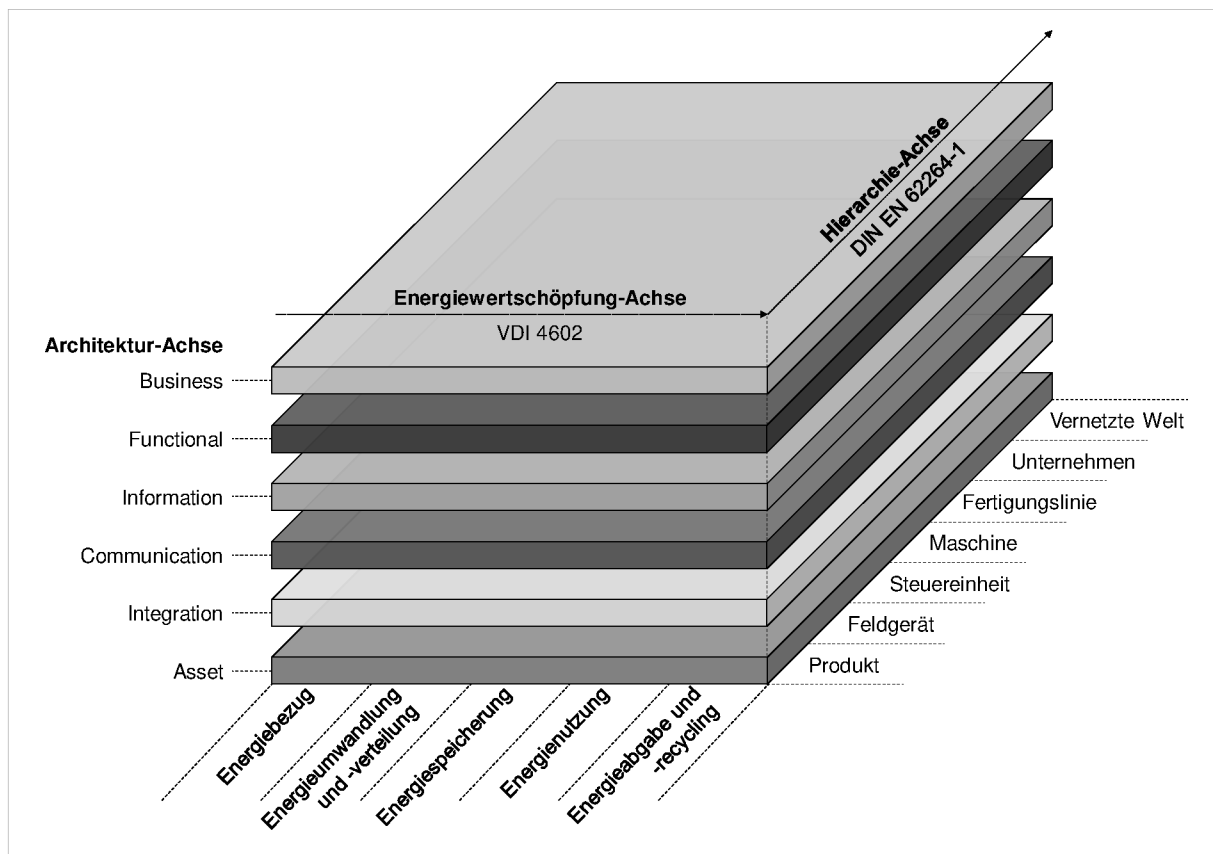


Abbildung 37: RAMEnIS 6.0 (i. A. a. DIN SPEC 2016, S. 19)

Abbildung 37 zeigt den Aufbau des so entstandenen kubischen Schichtenmodells. Die spezifische Ausgestaltung in Form der Beschreibung der jeweiligen Schichten aus der Gestaltungsperspektive für EnIS produzierender Unternehmen stellt die wesentliche Aufgabe im Rahmen der nächsten Kapitel dar.

7.3 Schichten

7.3.1 Business

Die Schicht *Business* beschreibt hier im Wesentlichen die geschäftliche Sicht des Betrachtungsbereichs des EM zu der zum einen die rechtlichen und regulatorische Rahmenbedingungen bzw. die organisatorischen Randbedingungen und zum anderen die Abbildung von Geschäftsmodellen und den sich daraus ergebenden Gesamtprozess

gehören. Das EM kann als erster Schritt auf dem Weg Richtung I4.0 beschrieben werden (s. SIX 2015) und insbesondere im Bereich *Smart Data* zur Weiterentwicklung des gesamten Unternehmens beitragen. Wie bereits an verschiedenen Stellen dieser Arbeit erwähnt stellen vor allem die deutsche Energiewende und die korrespondierenden Gesetze heute die Weichen für die rechtsverbindliche Realität der zukünftigen Produktion. Folglich bilden sie das Fundament für sämtliche weitere Untersuchungen dieser Arbeit und werden deshalb nachfolgend im Detail beschrieben.

Rechtlichen und regulatorische Rahmenbedingungen

Auf europäischer Ebene bilden das Richtlinien- und Zielpaket für Klimaschutz und Energie der EU (20 / 20 / 20 Ziele) und der EU-Klima- und Energierahmenplan 2030 die beiden maßgeblichen strategischen Leitplanken. Das Energiekonzept der Bundesregierung repräsentiert die nationale rechtliche und regulatorische Rahmenbedingungen und bildet somit die Grundlage für die deutsche Energiepolitik. (s. BMWI 2017) Unter diesem Dach definiert das Energiewirtschaftsgesetz (**EnWG**) die Rahmenbedingungen für die Versorgung mit Strom und bildet selbst die rechtsverbindliche Grundlage für zahlreiche Verordnungen mit hoher Relevanz für das EM in der Produktion. Den zentralen Kern des Strommarkt 2.0 ist das Preissignal, sodass dessen Ziele und Grundprinzipien im Gesetz zur Weiterentwicklung des Strommarktes (**Strommarktgesetz**) in das EnWG aufgenommen wurden, um so Marktpreissignale möglichst unverzerrt wirken lassen zu können. (s. BMWI 2015b, S. 2) Diese Regelungen zielen somit auf eine freie wettbewerbliche Preisbildung ab und beabsichtigen weiterhin Preisspitzen an den Strommärkten zuzulassen. (s. BMWI 2015b, S. 2)

Mit der zum 1. Januar 2013 eingeführten *Offshore*-Haftungsumlage werden Schadenersatzkosten, die durch verspäteten Anschluss von *Offshore*-Windparks an das Übertragungsnetz an Land oder durch langdauernde Netzunterbrechungen entstehen können, auf das Netzentgelt aufgeschlagen. Unternehmen des produzierenden Gewerbes können bei Überschreiten einer bestimmten Stromkostenintensität den Begrenzungsbetrag reduzieren. (s. IHK BERLIN 2016, S. 5–6) So regelt die Stromnetzzugangsverordnung (**StromNZV**) die Bedingungen für die Einspeisung von elektrischer Energie in die Stromnetze sowie die zeitgleiche Entnahme von Strom an räumlich davon entfernten Entnahmestellen der Elektrizitätsversorgungsnetze. Das Gesetz definiert bspw. die Grenze von 100.000 kWh / a für die Abwicklung der Belieferung als Standardlastprofil (SLP) vor. Danach muss ein Wechsel zum Messverfahren der registrierenden Leistungsmessung (RLM) erfolgen. Daneben regelt die Stromnetzentgeltverordnung (**StromNEV**) die Methode zur Bestimmung der Entgelte für den Zugang zu den Übertragungs- und Verteilernetzen (Netzentgelte), für die Durchleitung von Strom zu den Verbrauchern sowie für dezentrale Einspeisungen. Nach § 19 StromNEV können Unternehmen unter bestimmten Voraussetzungen ein reduziertes Netzentgelt beantragen. Für 2017 werden die Entlastungen für die Industrie auf rund 1,115 Mrd. Euro geschätzt. (s. ROIDER 2016) Mit der Abschaltbare-Lasten-Verordnung (**AbLav**) wird die Erschließung von Lastmanagementpotenzialen für die Sicherheit des Elektrizitätsversorgungssystems auf Übertragungsnetzebene beabsichtigt. Im Rahmen der AbLav

werden Anbieter von Abschaltleistung bspw. Industriebetriebe durch Vergütungszahlungen der ÜNB kompensiert. Die ÜNB gleichen ihre Zahlungen untereinander aus und legen den Betrag schließlich auf alle Letztverbraucher um. Die Konzessionsabgabenverordnung (**KAV**) regelt Rahmenbedingungen und die Bemessung von Konzessionsabgaben für Strom. Die Konzessionsabgabe ist ein Entgelt für die Einräumung des Rechts zur Nutzung der öffentlichen Verkehrswege und den Betrieb von Leitungen. Industrieunternehmen können unter bestimmten Voraussetzungen die Konzessionsabgabe begrenzen oder sich davon so gar vollständig befreien lassen. (s. IHK BERLIN 2016, S. 4) Durch die Ladesäulenverordnung (**LSV**) werden die technische Mindestanforderungen Aufbau und Betrieb von öffentlich zugänglichen Ladepunkten für Elektromobile festgelegt. Diese legt bspw. fest, dass das Laden von Elektrofahrzeugen von Arbeitnehmern beim Arbeitgeber keinen geldwerten Vorteil darstellt. Das Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (**KWK-G**) regelt die Förderung für die gemeinsame und besonders effiziente Erzeugung von Strom und Wärme. Seit 2002 wurde mit dem Gesetz ein KWK-Aufschlag eingeführt. Über diesen werden entgangene Einnahmen aus reduzierten Netzentgelten auf alle Verbraucher umgelegt. Unternehmen des produzierenden Gewerbes können bei Überschreiten eines bestimmten Stromkostenanteils am Jahresumsatz diesen Betrag auf einen reduzierten Wert begrenzen. (s. IHK BERLIN 2016, S. 5) Das Stromsteuergesetz (**StromStG**) regelt die Besteuerung von Strom, sowie die Ermäßigung oder die Befreiung von der Steuer unter bestimmten Voraussetzungen. Für Unternehmen des produzierenden Gewerbes existieren verschiedene Möglichkeiten der nachträglichen Steuerentlastung in Form einer vollständigen Entlastung für bestimmte Prozesse und Verfahren, in Form generell vergünstigter Steuersätze oberhalb eines Sockelbetrages und in Form des Spitzenausgleichs. Voraussetzung für den Spitzenausgleich stellt das Vorhandensein eines zertifizierten EnMS nach DIN EN ISO 50001 oder ein validiertes Umweltmanagementsystem nach EMAS oder, bei kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), ein alternatives System nach § 3 der Spitzenausgleich-Effizienzsystemverordnung (**SpaEfV**). (s. IHK BERLIN 2016, S. 8–11) Das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende (Messstellenbetriebsgesetz (**MsbG**)) regelt insbesondere den Einbau und Betrieb intelligenter Messsysteme sowie die energiewirtschaftliche Kommunikation von Messwerten. Das Gesetz über Energiedienstleistungen und andere Energieeffizienzmaßnahmen (**EDL-G**) soll die Entwicklung des Marktes für Energiedienstleistungen fördern und für eine bessere Aufklärung der Endkunden sorgen. Das EDL-G verpflichtet alle Nicht-KMU zu der Einführung eines Energie- oder Umweltmanagementsystems bzw. zur Durchführung eines Energieaudits nach DIN EN 16247-1. Diese Unternehmen sind erstmals bis zum 5. Dezember 2015 dazu verpflichtet ein Energieaudit durchgeführt zu haben und dieses von dort an mindestens alle vier Jahre erneut durchzuführen. Das **EEG** soll die Weiterentwicklung von Technologien zur Stromerzeugung aus EE fördern und Kostensenkungen erreichen. Die Erneuerbare-Energien-Verordnung (**EEV**) trifft Regelungen zur Vermarktung des nach dem EEG vergüteten Stroms, zur Ermittlung und Veröffentlichung der EEG-Umlage in Bezug auf Herkunftsnachweise, Regionalnachweise und die zugehörigen Register. Die EEG-Umlage ist die mit Abstand größte staatlich verursachte Belastung

des Strompreises und bestimmt sich aus der Differenz gesetzlich festgelegter Vergütungen für eingespeisten Strom aus EEG-Anlagen und dessen Vermarktungserlösen an der Strombörse (Differenzkosten). Stromkostenintensive Unternehmen im internationalen Wettbewerb können unter bestimmten Voraussetzungen von einer reduzierten EEG-Umlage profitieren. Eine Voraussetzung stellt das Vorhandensein eines zertifizierten EnMS nach DIN EN ISO 50001 oder eines validierten Umweltmanagementsystems nach EMAS oder, bei Stromverbrauch von weniger als 5.000.000 kWh, ein alternatives System nach § 3 der SpaEfV dar. (s. IHK BERLIN 2016, S. 7–8) Das Energieeinsparungsgesetz (**EnEG**) regelt den Erlass von Verordnungen, mit denen der Energieverbrauch in Gebäuden gesenkt werden soll. Schließlich regelt das Energieverbrauchsrelevante-Produkte-Gesetz (**EVPG**) im Zusammenwirken mit EU-Recht das Inverkehrbringen und die Inbetriebnahme von Produkten im Hinblick auf ihren Energieverbrauch. Das Gesetz setzt die sogenannte europäische *Ökodesign*-Richtlinie (2010 / 125 / EG) mit dem Ziel die Umweltwirkungen von energieverbrauchsrelevanten Produkten unter Berücksichtigung des gesamten Lebensweges zu mindern, in deutsches Recht um. Damit umfasst der Anwendungsbereich neben den energiebetriebenen Produkten, auch Produkte, die den Energieverbrauch anderer Systeme beeinflussen wie bspw. wassersparende Wasserhähne und Duschköpfe, die nicht nur den Wasserverbrauch, sondern vor allem den Energieverbrauch für die Warmwasserbereitung mindern. (s. UMWELTBUNDESAMT 2016) Das Energieverbrauchskennzeichnungsgesetz (**EnVKG**) setzt die Rahmenrichtlinie 2010 / 30 / EU über die Angabe des Verbrauchs an Energie und anderen Ressourcen in deutsches Recht um. Das EnVKG zielt darauf ab, für einzelne Produktgruppen Anforderungen an eine Kennzeichnung zum Verbrauch an Energie und anderen Ressourcen festzulegen. Entsprechende Anforderungen an die einzelnen Produktgruppen (vor allem Massenprodukte) sind in Form von EG- bzw. EU-Verordnungen festgelegt. (s. KLEIN 2017) Die Bekanntheit und Einfluss des EU-Energielabels nach EnVKG ist für die Kaufentscheidung der gelisteten Produkte heute schon maßgeblich. (s. WITT 2017, S. 1) Außerdem nimmt der Gesetzgeber dadurch aktiven Einfluss auf das Produktprogramm produzierender Unternehmen indem er Produkte, die die Mindestanforderungen für Energieeffizienz der europäischen *Ökodesign*-Verordnungen nicht erfüllen vom EU-Binnenhandel ausschließt (Glühlampenausstieg). Darüber hinaus sieht die Richtlinie aber auch die Möglichkeit vor, dass sich die Industrie freiwillig zu Mindesteffizienzstandards verpflichtet. In der EU sind 77% (Deutschland: 86%) der Konsumenten bereit mehr für umweltfreundliche Produkte zu bezahlen, wenn sie vollständig über die tatsächliche Umweltfreundlichkeit des Produkts informiert werden. (s. WILDNER .2013) So werden energieeffiziente Fertigungsprozesse und der Einsatz selbsterzeugtem Stroms aus EE von Unternehmen auch immer häufiger aktiv durch den Vertrieb als Verkaufsargumente und zur Bildung eines nachhaltigen Unternehmens*images* herangezogen. So wirbt BMW bspw. mit 100% Wasserkrafteinsatz bei der Herstellung der Carbonfasern, einer 100% Deckung des Energiebedarfs aus Windkraft für die Fertigung der Modellreihe i3 sowie einer nochmaligen Halbierung des Energiebedarfs im Vergleich zum Verbrauch anderer

BMW Modelle. (s. BMW AG 2017) Dabei schlagen sich Forderungen nach mehr Nachhaltigkeit auch zunehmend in den Auswahlkriterien bei der Zuliefererauswahl nieder, sodass hier vor allem verbindliche Nachweise vor allem in Übereinstimmung mit DIN 16247 (Energieaudits) und ISO 50001 (EnMS) gefordert werden. (s. DES GMBH 2017)

Die soeben beschriebenen rechtlichen und regulatorische Rahmenbedingungen lösen z.T. weitgehende Veränderungen in der Produktion aus. Was dies für die Stellung des EM der Produktion bedeutet, wurde bereits in Kapitel 2.3 und vor allem in Kapitel 5 ausführlich gezeigt. Die dort beschriebenen Aktivitäten werden folglich im nächsten Absatz nun auch in das Aktivitätenmodell des Betriebsmanagements der Norm DIN EN 62264-1 integriert.

Organisatorischen Randbedingungen

Die organisatorischen Randbedingungen der Unternehmens Steuerungsschnittstelle lassen sich anhand eines definierten Satzes von Aktivitäten anhand des erweiterten Modells des Betriebsmanagements in Anlehnung an die Normenreihe DIN EN 62264 darstellen. In diesem wird das Betriebsmanagement mit den Kategorien Produktions-, Instandhaltungs-, Qualitäts-, Lager- und Bestandsmanagement beschrieben. Durch Aufnahme des EM somit abermals der wachsenden Bedeutung der Ressource Energie Rechnung getragen. Das Produktionsmanagement bezeichnet im Modell sämtliche Aktivitäten, die die Funktionen koordinieren, steuern und verfolgen, die Rohmaterialien, Energie, Ausrüstung, Personal und Information nutzen, um Produkte innerhalb der festgelegten Kosten-, Qualität-, Mengen-, Sicherheit- und Terminvorgaben herzustellen. (s. DIN EN 2014, S. 12) Unter Instandhaltungsmanagement werden sämtliche Aktivitäten zusammengefasst, die die Funktionen zur Instandhaltung von Einrichtungen, Werkzeugen und *Assets* koordinieren, anweisen und verfolgen, um die Verfügbarkeit für die Produktion und die Planung reaktiver, periodischer, vorbeugender und proaktiver Wartungsmaßnahmen sicherzustellen. (s. DIN EN 2014, S. 11) Mit dem Qualitätsmanagement werden alle Aktivitäten, die die Funktionen zur Qualitätsmessung und Berichterstattung koordinieren, anweisen und verfolgen beschrieben. (s. DIN EN 2014, S. 12) Durch das Lager- und Bestandsmanagement werden wiederum sämtliche Aktivitäten, die Materialbestand und -transport koordinieren, anweisen, verwalten und verfolgen repräsentiert. (s. DIN EN 2014, S. 10) Analog zum Format der bisherigen Definitionen aus DIN EN 62264 soll das EM in Anlehnung an Norm VDI 4602:2007, folglich sämtliche Aktivitäten umfassen, die die Funktionen für die vorausschauende, organisierte und systematisierte Koordinierung von Beschaffung, Wandlung, Verteilung, Speicherung und Nutzung von Energie zur Erfüllung der Anforderungen des Produktionsmanagements unter Berücksichtigung ökologischer und ökonomischer Zielsetzungen beschreiben. (s. VDI 2007, S. 3)

Wie in Kapitel 5.4 bereits definiert beinhaltet die Energiepolitik die aus der Unternehmensstrategie abgeleitete Teilstrategie des betrieblichen EM und bildet auf diese Weise einen grundlegenden Kontingenzfaktor für die Ausprägungen der Energiepla-

nung und Energiekontrolle auf operativer Ebene. (s. POSCH 2011, S. 161) Die Steuerung des Energieeinsatzes umfasst die Zusammenstellung von Energiemanagementfunktionen, die das betriebliche EM verwalten und steuern.

Zusätzlich gibt es viele weitere unterstützende Managementaktivitäten, die ebenfalls zum Betriebsmanagement gehören, deren Elemente sich aber in Unternehmen nicht eindeutig zuordnen lassen, sondern in der Regel für viele andere Unternehmensbereich gleichzeitig gelten (bspw. Sicherheitsmanagement, IM etc.). (s. DIN EN 2014, S. 42)

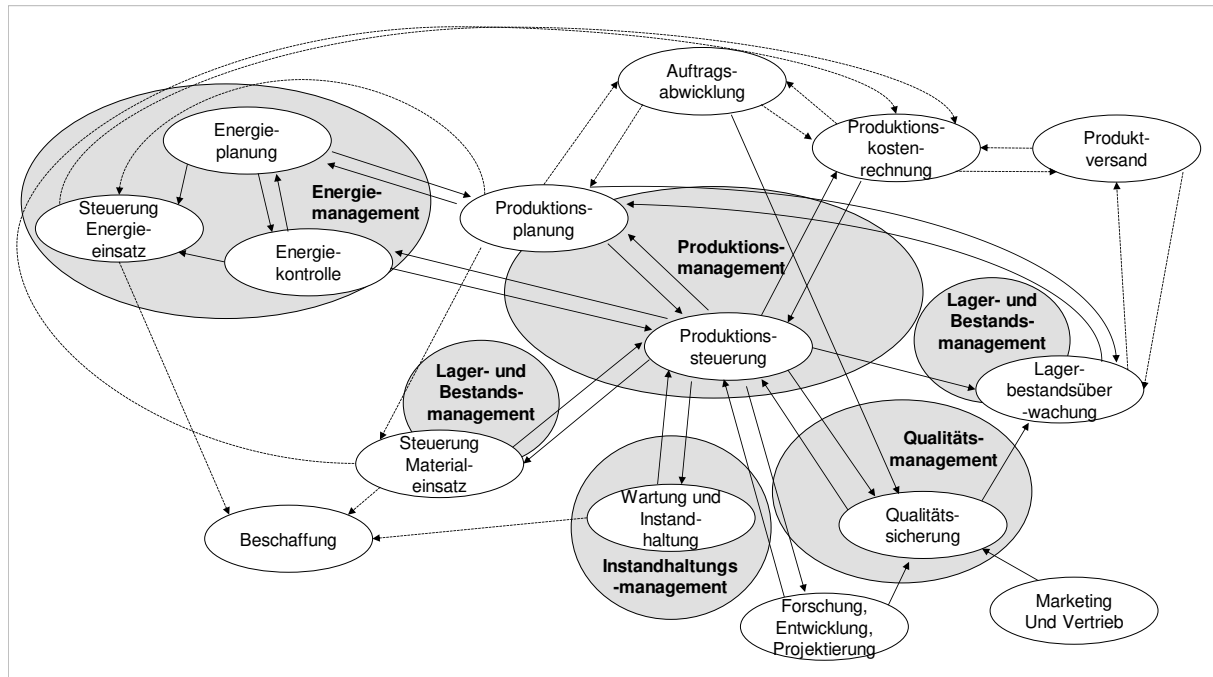


Abbildung 38: Erweitertes Modell des Betriebsmanagements
(i. A. a. DIN EN 2014, S. 42)

Die Norm verfolgt den Zweck einer einheitlichen und widerspruchsfreien Schnittstellenterminologie zur Verringerung von Risiken, Kosten und Fehlern die beim Implementieren dieser Schnittstellen auftreten können. Somit soll durch Anwendung der Norm der Aufwand beim Implementieren von neuen Produktangeboten reduziert werden. (s. DIN EN 2014, S. 8) Das Modell kann somit als weitere Sicht der bereits detailliert in Kapitel 5 hergeleiteten organisatorischen Randbedingungen des EM produzierender Unternehmen verstanden werden und bietet für die Praxis somit weitere Orientierungshilfe bei der Gestaltung einer spezifischen EnISA. Auf diese Weise beschreibt das Modell eine zusätzliche Sicht der Hierarchie-Ebene Unternehmen, die im Wesentlichen sämtliche Aktivitäten eines Produktionsbetriebs zur Koordination des Personals, der Einrichtungen und des Materials beinhaltet, sowie den Informationsaustausch mit den über- und untergeordneten Ebenen. (s. DIN EN 2014, S. 11) Das Betriebsmanagement soll demnach alle Aktivitäten zum Managen der Informationen über Planung, Nutzung, Fähigkeiten, Definition, Historie und Zustand aller Ressourcen innerhalb und im Zusammenhang mit einer Produktions- oder Fertigungsstätte beinhalten. (s. DIN EN

2014, S. 41) Die Modellstruktur und die Kategorien spiegeln aber nicht die tatsächlichen Geschäftsorganisationsstrukturen innerhalb eines realen Produktionsbetriebs wider, sondern stellen vielmehr ein Aktivitätenmodell dar. In der Praxis ordnen Unternehmen die tatsächlichen Verantwortlichkeiten für Kategorien, Aktivitäten oder Teilaktivitäten unterschiedlichen Gruppen der Unternehmensorganisation zu.

Die explizite Aufnahme des EM in das Modell des Betriebsmanagements geht mit einer Erweiterung der Funktionen und der möglichen Aktivitäten einher. Wie in Abbildung 39 dargestellt können Unternehmen verschiedene Nutzenniveaus in Abhängigkeit ihrer I4.0 Entwicklungsstufe erreichen, die jeweils zu einem weiteren Anstieg der eigenen Produktivität im Allgemeinen und implizit auch zu einer Verbesserung der Effektivität und Effizienz der Aktivitäten des EM führen. Hierbei stehen die verschiedenen Nutzenniveaus in direkter Verbindung zu den durch neuartige Technologien ermöglichten Anwendungsfällen für Funktionen des EM (*Energy Use Cases*). Beispiele dafür bilden insbesondere die *Energy Use Cases Quality Management* und *Predictive Maintenance*. (s. SCHUH ET AL. 2017, S. 7–9)

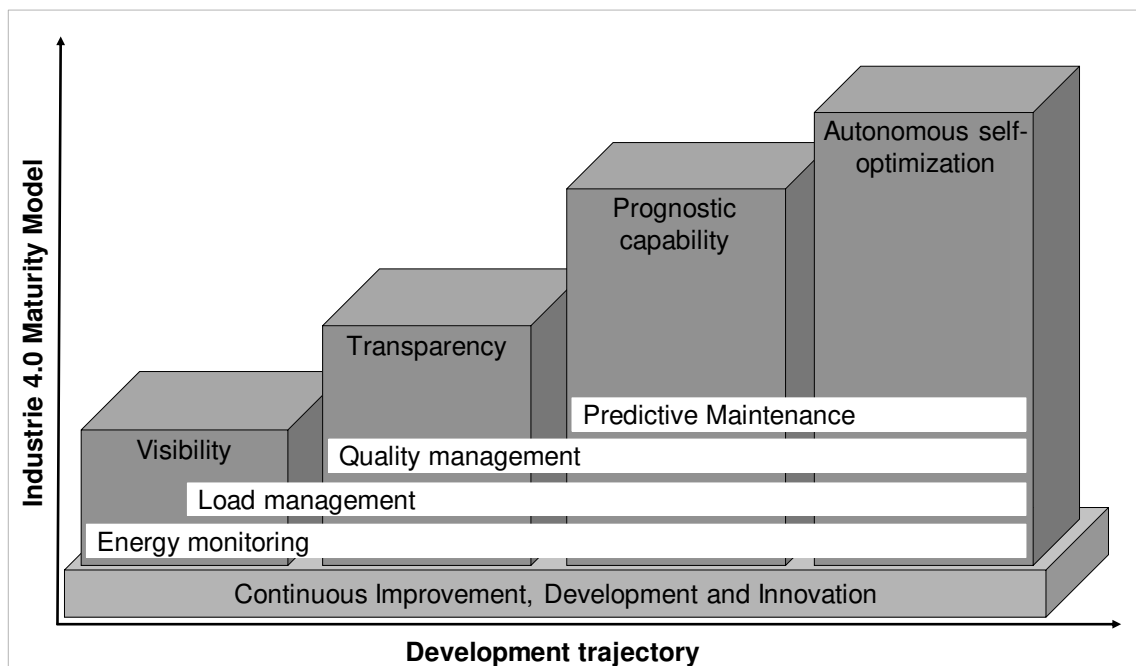


Abbildung 39: I4.0 Maturity Model mit Energie-Anwendungsfällen (s. SCHUH ET AL., S.7)

Zu deren Erreichung werden spezifische Branchenfachkenntnisse zwar weiterhin unerlässlich bleiben; die Fähigkeit, die richtigen Daten zu erheben und nutzenstiftend in den unterschiedlichen Unternehmensbereichen einzusetzen, wird in diesem Umfeld aber zum zentralen Differenzierungsmerkmal im internationalen Wettbewerb. Durch den systematischen Einsatz von IT muss es Unternehmen daher gelingen, eine geeignete digitale Datenbasis (auch digitales Abbild der Fabrik, Digitaler Schatten etc.) ihrer Abläufe aufzubauen. Diesen kann man als ein korrektes und aktuelles digitales Abbild (Informationslogistik- und Datenmodelle) der wertschöpfungsrelevanten Geschäftsprozesse und als Grundlage für die Datenanalyse verstehen (**Sichtbarkeit**). Daher entwi-

ckelt sich der mögliche Nutzen von Industrie-4.0-Anwendungen im Wesentlichen entlang der Beherrschung verschiedener Analysefähigkeiten im Umgang mit der digitalen Datenbasis in den jeweiligen Unternehmensbereichen (**Kontinuierliche Verbesserung, Entwicklung und Innovation**). Die Leistungsfähigkeit der Anwendungen erstreckt sich von nachträglicher Auswertung, über Erkenntnisgewinnung in Echtzeit bis hin zu vorausschauender Optimierung verfügbarer Stellgrößen durch entscheidungsfähige maschinenautonome Teilsysteme. Der bereits heute stellenweise praktizierte optimale Betrieb der GA mittels modellbasierter prädiktiver Regelung stellt hierfür ein Beispiel aus der Praxis dar. (s. PETER U. MÜLLER 2010)

In der Übertragung auf das EM produzierender Unternehmen, bedeutet **Transparenz**, die Anforderung zu erfüllen sämtliche relevanten Energieflüsse im Unternehmen zu identifizieren und durch IT zu erfassen, miteinander und mit anderen Systemen (s. Kapitel 2.1.2) zu vernetzen und so die Grundlage für eine virtuelle Repräsentation innerhalb der digitalen Datenbasis zu schaffen. In der Praxis bedeutet dies, bspw. vorgeschriebene Aktivitäten im Zuge der Energieaudits (s. DIN EN 16247) nach dem EDL-G für Nicht-KMU dahingehend zu intensivieren, abgeleitete Maßnahmen direkt auch hinsichtlich der Eignung für oben beschriebene Industrie-4.0-Anwendungen zu bewerten und auszulegen. Ohne zusätzliche Detailinformationen über die Vorgänge, die einen bestimmten Lastgang zur Folge hatten, sind heutige Effizienzmaßnahmen und Lastmanagementanwendungen auf einfachste Aktivitäten beschränkt und bleiben aus Datensicht weit hinter den heutigen technischen Möglichkeiten zurück. Führende Planungssysteme planen in Abhängigkeit der gegebenen Marktsituation überwiegend auf Tages- und Wochenbasis hinsichtlich der Zielgrößen Termintreue, Durchsatz, Bestände und *Time-to-Market*. Minutenaufgelöste Energiedaten haben, abgesehen von Ausnahmen bei energieintensiven Betrieben, dort keinen Einfluss auf die Auftragsreihenfolge- oder Maschinenbelegungsplanung.

Es ist anzunehmen, dass aktuelle Entwicklungen im Zuge der Energiewende und ein steigendes Nachhaltigkeitsdenken in der Gesellschaft irgendwann dazu führen werden, dass produzierende Unternehmen dem Thema Energieeffizienz zwangsläufig eine höhere Bedeutung beimessen. Für diesen Fall wäre es vielversprechend, den Umgang mit Energiedaten mittelfristig auf die nächste Entwicklungsstufe **Prognosefähigkeit** zu heben. In dieser Stufe ist das Wissen über die Zusammenhänge zwischen Aufträgen und dem Energieeinsatz so weit fortgeschritten, dass Unternehmen Flexibilitätspotenziale verlässlich identifizieren und vermarkten können. Dies ist an dieser Stelle auf eine intelligente Produktionsplanung zurückzuführen, die weitreichendere Analysen auf Basis aussagekräftiger Energieinformationen für Prozesse, Maschinen und Produkte (energetischer Fingerabdruck) ermöglicht. (s. ROSCHER ET AL. 2015c, S. 46) Auf diese Weise kann weiterhin nach den klassischen Zielgrößen geplant werden. Gültige Produktionspläne können dann aber in einem zweiten Schritt nochmals hinsichtlich des erforderlichen Energieeinsatzes und des prognostizierten Lastgangs verglichen, bewertet und mit dem *Smart Grid* ausgetauscht werden. (s. MAASEM, ROSCHER ET AL. 2014b, S. 22)

Langfristig sollten sich Unternehmen das Erreichen der Fähigkeit zur **(autonomen) Selbstoptimierung** auf Basis der vorhandenen Datenbasis zum Ziel setzen. Während dieser Entwicklungsstufe erreichen weitfortgeschrittene Datenoperationen die Fähigkeit zur Vorwegnahme zukünftiger Ereignisse, sodass Fehlentwicklungen schon bei ihrer Entstehung entgegengewirkt werden kann. Die Fähigkeit zur (autonomen) Selbstoptimierung übersteigt dabei das Erkennen bereits bekannter Fehlentwicklungen (Mustererkennung) und ermöglicht auch bis dato niemals eingetretene Effizienzverluste abzusehen (Prognosefähigkeit) und direkt geeignete Gegenmaßnahmen vorzuschlagen. Solche Systeme zeichnen sich durch einen hohen Reifegrad aus indem kontinuierliches Lernen dazu führt, dass sich die Durchführung der Geschäftsprozesse in Richtung globales Effizienzmaximum (optimale Durchführung) entwickeln. In diesem Szenario kann bereits ein Großteil aller Nutzenvorteile von I4.0-Anwendungen gehoben werden. Die in ferner Zukunft möglicherweise erreichbare höchste Entwicklungsstufe der Darstellung lautet Autonomie. Autonomie bedeutet in diesem Zusammenhang die unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten vorteilhafte Substitution menschlicher Entscheidungsträger durch Maschinen bzw. die Übertragung umfangreicher geschäftlicher Vertretungsmacht auf diese. In dieser Welt wird die prinzipielle Begrenztheit des menschlichen Seins durch leistungsfähigere Maschinen überwunden. Auf dieser Entwicklungsstufe ist ein hohes theoretisches Nutzenniveau erreicht und grundsätzlich eine optimale Geschäftsprozessdurchführung in Kooperation mit dem Menschen in allen möglichen Szenarien denkbar.

Die bis hierhin beschriebenen organisatorischen Randbedingungen können in Abhängigkeit der Ausprägung der Energiemanagementaktivitäten im Unternehmen teils massiven Einfluss auf das Geschäftsmodell, die diesem zugrunde liegenden Geschäftsprozessen und folglich auf die Strategie des Unternehmens als Ganzes haben. Aus diesem Grund werden diese Zusammenhänge im nächsten Kapitel aufgegriffen und einer detaillierten weiteren Analyse unterzogen werden.

Geschäftsmodelle und Geschäftsprozesse

Die Begriffe Geschäftsmodell und Strategie sind in der Literatur unscharf definiert und sie werden daher häufig unterschiedlich voneinander abgegrenzt. Im Rahmen dieser Arbeit werden Geschäftsmodelle (*Business Model*) definiert als eine modellhafte Repräsentation der logischen Zusammenhänge, wie eine Organisation Mehrwert für Kunden erzeugt und einen Ertrag für die Organisation sichern kann. (s. GRÖSSER 2017) Strategie wird definiert, als die grundsätzliche, langfristige Verhaltensweise (Maßnahmenkombination) der Unternehmung und relevanter Teilbereiche gegenüber ihrer Umwelt, zur Verwirklichung der langfristigen Ziele. (s. GILLENKIRCH 2017)

Für das EM existieren strategische Grundverhaltensweisen in den Kompetenzbereichen Energiebeschaffung, Energieeffizienz, Energiequalität, energiebezogene Emissionen und der energiewirtschaftlichen Betriebsführung. Energiewirtschaftliche Strategie

gien zeichnen sich durch ihren Beitrag zum Aufbau unternehmerischer Erfolgspositionen durch jeweils spezifische Anpassungen der strategische Grundverhaltensweisen in mehreren strategischen Feldern aus. (s. POSCH 2011, S. 193)

Eine zusammenfassende Übersicht über die möglichen strategischen Grundverhaltensweisen in den wesentlichen energiewirtschaftlichen Strategiefeldern liefert der in Abbildung 40 abgebildete morphologische Kasten.

Strategiefelder	Ausprägungen			
Energiebeschaffung	Vollversorgung	Eigenportfolio-management	Eigenportfolio-management mit Eigenstromerzeugung	Portfoliomanagement als Geschäftsfeld
Energieeffizienz	Minimalinvestition	Technologie / Prozess Optimierung	Einsatz neuer Technologien und Prozesse	Produkterneuerung
Energiequalität	Reaktiv	Proaktiv betriebsintern	Proaktiv betriebsintern und -extern	
Energiebedingter Umweltschutz	Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS)		Nachgeschalteter Umweltschutz (End-of-Pipe)	
Energetische Betriebsführung	Eigenbetrieb		Fremdvergabe	

Abbildung 40: Morphologischer Kasten energiewirtschaftlicher strategischer Grundverhaltensweisen (i. A. a. POSCH 2011, S. 204)

Die Merkmalsausprägungen der **Energiebeschaffung** werden durch den Grad des Portfoliomanagements und getrieben durch die Energiewende immer stärker durch den Umfang der Eigenstromerzeugung determiniert. Vollversorgung bedeutet die ausschließliche Belieferung durch elektrische Energie durch ein EVU. Eigenportfolio-management beinhaltet bereits die Kombination verschiedener Produkte, die einzeln jeweils nur einen Teilbedarf abdecken. Eigenportfolio-management mit Eigenstromerzeugung ergänzt das aktive Portfoliomanagement durch eigene Erzeugungsanlagen, immer häufiger auf Basis witterungsabhängiger EE. Im Portfoliomanagement als Geschäftsfeld erfolgt schließlich der Ausbau des Energiebezugs mit eigenständiger Durchführung von Termingeschäften und der Verwaltung eines eigenen Bilanzkreises als Geschäftsfeld, indem diese Kompetenz auch anderen Unternehmen als Dienstleistung (DL) angeboten wird. (s. POSCH 2011, S. 200)

Die **Energieeffizienz** kann wie, auch durch Abbildung 14 implizit dargestellt, in mehreren Stufen gesteigert werden und lässt sich produktionstheoretisch ebenfalls durch ein unterschiedliches Ausmaß an Steigerung anderer Produktionsfaktoren (im Wesentlichen Arbeit, Kapital und Technologie) ausdrücken. (s. POSCH 2011, S. 201) Minimalinvestitionen spiegeln in erster Linie kurzfristig wirksame Maßnahmen mit keinen oder nur äußerst geringen Investitionsaufwand wieder, wie Änderungen des Verhaltens der Mitarbeiter, Vertragsoptimierungen, Änderungen von Einstellung und Fahr-

weise elektrischer Anlagen oder messtechnische Maßnahmen zur Bereitstellung adäquater energiewirtschaftlicher Daten. In den nächsten Merkmalsausprägungen werden theoretisch verschiedene Substitutionen der Ressource Energie durch die Produktionsfaktoren Arbeit, Kapital und Technologie durchgeführt. Unter Technologie / Prozess Optimierung werden daher sämtliche Maßnahmen mit mittelfristigen Auswirkungen zusammengefasst, die durch Arbeits- oder Kapitaleinsatz bei gleichbleibendem technologischen Niveau zu einer Erhöhung der Effizienz führen. Beispiele dafür stellt die energetische Optimierung einzelner Maschinenkomponenten und die Optimierung der organisatorischen Maschinennutzung hinsichtlich einer Minimierung der Energieverschwendung durch eine verbesserte Betriebsweise dieser. Durch den Einsatz neuer Technologien und Prozesse unter Einbezug technischer Innovation werden weiter sämtliche Maßnahmen mit langfristigen Auswirkungen bezeichnet, die zu einer Minimierung der Energieverschwendung durch technologische Optimierung führen. Produkterneuerung beschreibt in diesem Zusammenhang den weitreichendsten Eingriff in das *Produktdesign*, welches entweder aus außerordentlicher Kostenattraktivität oder aus einer überdurchschnittlich hohen sozioökologischen Zielausprägung resultiert. (s. POSCH 2011, S. 201–202)

Die Merkmalsausprägungen der **Energiequalität** beschreiben die Art mit den Unternehmen Maßnahmen hinsichtlich einer unterbrechungsfreien Versorgung mit elektrischer Energie ergreifen. Diese hängen im Wesentlichen von der Höhe potenzieller Ausfallkosten und auch von der signifikanten Beeinflussung der Produktqualität durch die Qualität der elektrischen Energie ab. Bei geringem Schadensrisiko dominiert tendenziell eine reaktive Grundverhaltensweise die sich inhaltlich an die ausfallorientierte Instandhaltungsstrategie anlehnt. Bei höherem Schadensrisiko impliziert eine proaktive Grundverhaltensweise vorbeugende Maßnahmen wie die Vorhaltung von Notstromaggregaten. Dies geschieht entweder innerbetrieblich oder aber in besonderen Situationen auch betriebsextern bspw. in Kooperation mit den zuständigen EVUs. (s. POSCH 2011, S. 202)

Im Kontext **energiebedingter Umweltschutz** grenzt VDI 4075 zwei Arten zur Vermeidung von Umweltbelastungen durch Produktionsabläufe und / oder Anlagen voneinander ab. Mit dem Begriff produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS) werden sowohl technische als auch organisatorische Veränderungen verstanden, durch die sich eine deutliche Verminderung von Umweltbelastungen erzielen lässt. In Abgrenzung dazu wird der nachgeschaltete Umweltschutz (*End-of-pipe*) erst im Anschluss an den eigentlichen Produktionsprozess in Form von nachgeschalteten Schutzmaßnahmen betrieben. (s. VDI 2014b, S. 4) Demnach werden die nachsorgenden Technologien zur Einhaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen und Vorgaben als *End-of-pipe*-Technologien bezeichnet. (s. VDI 2014b, S. 3) PIUS beinhaltet im Vergleich zum nachgeschalteten Umweltschutz, auf die Gesamtproduktion bezogen, optimierte Energieverbräuche, Koppelprozesse, Abwärmenutzung, Nutzung regenerativer Energien und Nutzung energieeffizienter Technologien. (s. VDI 2014b, S. 6) Die Auswahl einer dieser beiden Grundverhaltensweisen stellt eine Tendenzaussage darüber dar, ob ein

Unternehmen dem energiebedingten Umweltschutz eher vor dem Hintergrund der Kosten betrachtet oder auch sozioökologische Maßstäbe anlegt. (s. POSCH 2011, S. 203)

Bei der **energetischen Betriebsführung** wird schließlich zwischen Eigenbetrieb und der Fremdvergabe der energetischen Betriebsführung bspw. in Form von Anlagen-*Contracting* oder Betriebsführungs-*Contracting* unterschieden. (s. POSCH 2011, S. 203)

Durch Kombination der strategische Grundverhaltensweisen und dem generischen Unternehmenszielprofil lassen sich generische Energiestrategien formulieren. Unter Zuhilfenahme der soeben beschriebenen Morphologie, können durch Kombination der Merkmalsausprägungen der strategischen Grundverhaltensweisen verschiedene Typen gebildet werden. In der Praxis können so für eine weitere Konkretisierung im Hinblick auf die Gestaltung einer konkreten Energiepolitik, auf die aus der Unternehmensstrategie ableitbaren energiewirtschaftlichen Grobziele hinsichtlich Qualität, Kosten, Zeit und Soziökologie (s. POSCH 2011, S. 182) zurückgegriffen werden. Hieraus lassen sich mögliche generische Strategien der Energiewirtschaft herausbilden, die als Leitlinien für Unternehmen hinsichtlich der theoretisch möglichen Handlungsalternativen dienen können und in Anlehnung an die jeweils spezifische Charakterisierung des Nutzenpotenzials, nach den Kriterien Attraktivität und Gefährdungspotenzial im konkreten Einzelfall weiter ausgestaltet werden können. Auf diese Weise erlaubt es Unternehmen konkrete Strategien abzuleiten, die einerseits durch die Intensität der Attraktivitätsoptimierung (Nutzenerhöhung bzw. Kostenreduktion) und andererseits durch die Intensität der Gefährdungsrisikoabsicherung (Absicherung des Preisrisikos bzw. Reduktion des Versorgungsausfallsrisikos) beschrieben werden können. (s. POSCH 2011, S. 182–186) In Abhängigkeit der eigenen Einstufung eröffnen sich für Industrieunternehmen daraus gegebenenfalls neue Betätigungsfelder die Grundlage für neue Geschäftsmodelle bieten. Bereitstellung von Regelleistung und Lastmanagement werden in diesem Zusammenhang als die wesentlichen neuartigen generischen Geschäftsmodelle für Industrieunternehmen angesehen. (s. MIDDENDORF U. KRAUTER 2014, S. 22) Regelleistung bedeutet, dass Kapazitäten aus flexiblen Erzeugungsanlagen oder Verbrauchern dem ÜNB zur Verfügung gestellt werden, um Stromüberdeckungen oder –unterdeckungen zu managen. Lastmanagement (häufig auch als *DR* oder *DSM* bezeichnet) steht für die Abkehr vom klassischen Mechanismus, Stromerzeugung folgt dem Verbrauch (s. Kapitel 5.2). Stattdessen ist es vor dem Hintergrund zeitlich schwankendem Energieangebots auch immer häufiger der Fall, dass die Angebotsseite bspw. durch (Preis-)Signale oder anderweitige Anreize, deren Notwendigkeit sich aus der aktuellen Netzauslastung bzw. der Erzeugungssituation ergeben, das Verbrauchsverhalten der Nachfrageseite beeinflussen möchte. (s. MIDDENDORF U. KRAUTER 2014, S. 22–25) Das theoretische Lastmanagementpotenzial ist in der deutschen Industrie auch bei produzierenden Unternehmen mit niedrigen bis mittleren Stromverbrauch nicht unerheblich. (s. ROSCHER ET AL. 2014b, S. 52) Zur besseren Verdeutlichung der bisher beschriebenen Sachverhalte wird im Anhang A6 exemplarisch ein

Geschäftsmodell für das EM produzierender Unternehmen beschrieben indem funktionale Speicher vermarktet werden sollen.

Zusammenfassung

Die Beschreibungen in diesem Kapitel führen Unternehmen zu einer Orientierung hinsichtlich der sich ergebenden Chancen und Risiken durch die Energiewende und Digitalisierung. Die Ausführungen ermöglichen Unternehmen eine strategische Verortung des EM durch die Ableitung spezifischer energiewirtschaftlicher Strategien und geben einen Überblick über die mit ihnen in Verbindung stehenden Auswirkungen auf das Geschäftsmodell, die Geschäftsprozesse und schließlich auch auf die einzelnen Aktivitäten und Funktionen im Betriebsmanagement. Im Kontext EM versprechen internetbasierte DL sowohl für IT-Anbieter als auch IT-Anwender große Wachstumspotenziale in Form verschiedener *Hardware*lösungen zur Unterstützung der Aktivitäten im Rahmen des EM (*Hardware as a Service*), sowie zur Erbringung von intelligenten Energiedienstleistungen (*Energy Use Cases*). Insbesondere kleine und mittelständische Unternehmen können auf diese Weise durch Kooperation mit Partnern aus der IT-Welt ihr Dienstleistungsportfolio erweitern ohne selbst aufwendig *Software* implementieren zu müssen. Ähnlich verhält es sich daher mit dem **Cloud Computing**, das in gewisser Weise die technologische Voraussetzung für internetbasierte DL darstellt. Für Unternehmen bietet es somit die Möglichkeit nicht in eigene IT-Infrastruktur und *Know-How* investieren zu müssen um auf innovative kapitalintensive Technologien zurückgreifen zu können, sondern diese, je nach Marktsituation bedarfsgerecht (*Infrastructure as a Service*) zukaufen zu können. Auf diese Weise lässt sich wie ein Beispiel aus Jülich (s. SCHAEFER 2016) belegt, schon heute das EM der GA an dafür spezialisierte Experten *outsourcen*. Die konkrete Beschreibung der durch IT-Unterstützung zu erbringenden Funktionen im EM erfolgt im nachfolgenden Kapitel. Dort werden die den Geschäftsmodellen und der in Kapitel 5.4 beschriebenen Unternehmensprozesse zugrunde liegenden logischen Funktionen identifiziert.

7.3.2 **Functional**

Analog zum RAMI 4.0 beschreibt die Funktionsschicht die logischen Funktionen eines *Assets* in Bezug auf fachliche Funktionalitäten im Hinblick auf seine Rolle im I4.0-System. Das im Rahmen dieser Arbeit betrachtete *Asset* ist eine EnISA, die als Mittel zum Zweck der Entwicklung einer generischen EnISA-Beschreibung dienen soll, die es schließlich erlaubt weitere spezifische EnISA-Beschreibungen hervorzubringen. Dazu müssen in diesem Kapitel als nächstes die erforderlichen generischen Funktionen beschrieben werden die vor ihrer konkreten Implementierung als Bestandteil der Informationswelt angesehen werden. Die Funktionsschicht von RAMEnIS 6.0, stellt somit dar, welche Funktionen notwendig sind um eine EnISA generisch beschreiben zu können, die vor allem die beteiligten Menschen bei der Aufgabenerfüllung unterstützen sollen. Dies geschieht aufgrund der losen Kopplung der Schichten zunächst völlig unabhängig von der tatsächlichen physischen Repräsentation durch *Software* oder an-

dere Technikbündel. Zur besseren Verständlichkeit wird nachfolgend an verschiedenen Stellen entgegen der eigentlich korrekten Begriffsverwendung EnISA-Beschreibung schon von dem daraus abgeleiteten Energieanwendungssystem bzw. EnIS (Oberbegriff für EnIS-S und EnIS-P) gesprochen. Eine synonyme Verwendung der Begriffe führt dabei in diesem Kapitel nicht zu Problemen, vereinfacht aber deutlich das Verständnis durch Vereinfachung der Formulierungen. An den Stellen an denen eine Abgrenzung allerdings notwendig ist wird diese dann auch expliziert.

Ein EnIS interagiert hauptsächlich mit Feldgeräten und Automationseinrichtungen, Schaltgerätekombinationen, Netzwerk-, Kommunikations- und Datenverarbeitungseinrichtungen (*Hardware*) und weiterer Anwendungs*software* und deren Funktionen. Entscheidungen hinsichtlich der Funktionalität werden normalerweise vor Festlegung der Struktur und der *Hardware* eines EnIS festgelegt. Die zukünftige Interaktion des Menschen mit Anwendungssystemen im Allgemeinen und mit EnIS im speziellen lässt sich analog zu den Entwicklungen der Interaktion des Menschen mit dem Internet herleiten. Aus historischer Perspektive war das Internet in den 70er-Jahren zunächst noch ein Experimentier- und Forschungsnetz und zwar vornehmlich für Wissenschaftler. In den 80er-Jahren wurde es durch E-Mail-Anwendungen zunehmend zum Kommunikationsmedium von Mensch zu Mensch. Die 90er-Jahre brachten mit dem *World Wide Web* (WWW) völlig neuartige Nutzungsformen, in denen Menschen über *Webbrowser* mit Maschinen in Form der *WWW-Server* kommunizierten. Die gegenwärtigen Entwicklungen sind dagegen durch das mobile Internet geprägt in denen das klassische Internet über Endgeräte wie *Smartphones*, *Tablets* etc. neue Märkte eröffnet und viele innovative Anwendungen ermöglicht. Am Horizont zeichnet sich nun aber bereits ein weiterer Qualitätssprung ab, der die Internetnutzung der kommenden Dekade(n) bestimmen dürfte und durch die autonome Kommunikation von Maschine zu Maschine bzw. von Ding zu Ding geprägt ist. (s. MATTERN 2005, S. 48) Die möglichen Implikationen für das EM wurden bereits anhand Abbildung 39 beschrieben. Nachfolgend werden daher jetzt, die mit diesen Entwicklungen im Zusammenhang stehenden allgemeinen als auch spezifischen Funktionen von EnIS *hard-* und *softwareunabhängig* beschrieben

Allgemeine IS-Funktionen

Die allgemeinen IS-Funktionen werden in Anlehnung an Norm EN ISO 16484-3:2005 und Norm VDI 3813 für die Untersuchungen im Rahmen dieser Arbeit adaptiert und demnach in Verwaltungs-, Kommunikations- bzw. Präsentations- und Verarbeitungsfunktionen unterteilt. Zu den **Verwaltungsfunktionen** von IS gehören Initialisierung, Koordinierung und Wartung aller Konfigurationsinformationen, die sich auf den Betrieb des Systems als Ganzes beziehen, einschließlich des Netzwerkmanagements. Mit der Funktion der **Systemzeitverwaltung** werden sämtliche Methoden hinsichtlich der Festlegung der Uhrzeit, Datum und Kalender im System beschrieben und beinhalten auch quantifizierbare Aussagen wie bspw. die Genauigkeit der Systemuhr, Synchronisation der Zeit im Gesamtsystem, Handhabung der Umschaltung von Sommer- / Winterzeit etc. Die Funktionen der **Systemselbstüberwachung** beinhalten sämtliche

Watchdog-Funktionen, sowie die Funktionen zur Systemreaktion im Fehlerfall. Der Begriff *Watchdog*-Funktion wird verallgemeinert für die Komponenten des Systems verwendet, die die Funktion anderer Komponenten überwachen. Die **Systemdiagnosefunktionen** sollen den gleichbleibenden Betrieb, Qualität und Leistung des Systems sicherstellen und liefern bspw. Aussagen über die jeweilige Auslastung der Speicherkapazität und anderer Systembetriebsmittel, der Ausfallrate von Übertragungsvorgängen der Systemnetzwerke sowie die Ursachen für die Systemausfälle. Darüber hinaus beinhaltet sie auch neben Management der schaltungstechnischen Maßnahmen der *Hardware* auch den intelligenten energiebewussten Umgang innerhalb des Systems selbst, sodass einzelne nicht benötigte Systemkomponenten zeitweise abgeschaltet oder mit reduzierter Leistung betrieben werden können. (s. FLEISCH U. MATTERN 2005, S. 54; MATTERN 2005, S. 54) Durch die **Wiederanlaufsfunktion** wird der systematische Neustart und die Wiederherstellung der Ausgangszustände aller zugehöriger interner Systemfunktionen nach einer unvorhergesehenen bzw. planungsmäßig herbeigeführten Unterbrechung der Stromversorgung gewährleistet. Durch die Funktion der **Systemaktivitätenaufzeichnung** werden allen Systemaktivitäten und –ereignisse für nachfolgendes Anzeigen auf Bildschirmen, Ausdrucken und Archivieren protokolliert. Gleiches gilt für die Funktion der **Bedieneraktivitätenaufzeichnung** zu der eine Aufzeichnung aller An- und Abmeldungen der Bediener, mit Name, Datum und Uhrzeit, Befehl, Ereignisquittierung, Parameter und Passwortänderung etc. gehören. Die **Datenpunktbenennungsfunktion** legt eindeutige Benennungsregeln zur Identifizierung aller physikalischen und virtuellen Datenpunkte fest. Datenpunktadressen (*Identifier*) werden für den Zugriff auf und die Anzeige von Informationen genutzt, die durch Funktionen innerhalb der vernetzten Systeme bereitgestellt werden. Um das System vor Missbrauch zu schützen, müssen über die **Funktion der Systemzugriffskontrolle** mehrere Zugriffsebenen, in Form von definierten Profilen zur Verfügung gestellt werden. Daten von Zustands- oder Wertänderungen, die von Ein- / Ausgabe-, Verarbeitungs- oder Managementfunktionen herkommen, müssen durch adäquate Funktionen der **Datennutzung und –speicherung** unterstützt werden und beinhalten typischerweise Zeitstempel mit Datums- und Zeitangabe für eine anschließende Auswertung. Außerdem müssen bestimmte Daten aus verschiedenen Gründen bspw. im Rahmen der gesetzlichen Aufbewahrungspflicht etc. mit Hilfe einer **Datenarchivierungsfunktion** auch dauerhaft und rechtskonform archiviert werden können. Dies beinhaltet ebenso **Funktionen für Backup und Restore** die eine vollständige Datensicherung und Wiederherstellung aller Funktionen und deren Konfigurationsdaten auf allen zutreffenden Ebenen durchführen können. Bereits heute müssen bestimmte Daten für die Verwendung in vielen unterschiedlichen Systemen verfügbar sein und auch der geregelte Zugriff auf Ursprungsdatenbanken durch **Datenimport- bzw. Datenexportfunktionen** gewährleistet sein.

Zu den **Kommunikationsfunktionen** gehören sämtliche Funktionen zur Gewährleistung der Fähigkeit des Datenaustausches des vernetzten Systems mit seiner Umwelt.

Der Datenaustausch erfolgt hierbei über eine Vielzahl unterschiedlicher herstellerspezifischer und / oder standardisierter Kommunikationsprotokolle. Auf diese Weise bieten **Fernbedienungsfunktionen** Verfahren zur Herstellung einer Fernkommunikation zwischen IS, mobile betriebliche IS, Bedien- und Beobachtungssysteme und Programmeinheiten örtlich verteilter Systeme. Diese Funktion beinhaltet bspw. die Möglichkeit der grafischen Fernbedienung über eine grafische Benutzerschnittstelle (*Graphical User Interface*), *Upload / Download* von Konfigurationsdaten und Programmen, Zugriff auf aktuelle Werte und Zustände etc. Die **Integritätsfunktion** erlaubt die Erkennung und Behebung von unbeabsichtigten Veränderungen des Inhalts beim Datenaustausch. Mit der **Authentizitätsfunktion** kann bei der Übertragung der Daten vertrauenswürdig festgestellt werden, ob die Kommunikation zwischen den richtigen Teilnehmern stattfindet. Über die **Nachvollziehbarkeitsfunktion** bzw. Protokollierfunktion wird für die nachträgliche Auswertung festgehalten welche Daten wann und an wen übertragen wurden. (s. BSI 2017)

Der Funktionsbereich der **Bedien- und Anzeigefunktionen** umfasst das System-, Ereignis- und Zustandsmanagement, Einstellung von Parametern und manuelles Ein-/Ausschalten. Außerdem umfassen sie die lokale Vorrangsbedienung mit Funktionen für eingeschränkten Bedienzugriff bei Einrichtbetrieben, sowie die technische Bearbeitung und Instandhaltung des Systems. Bedien- und Anzeigefunktionen wandeln Bedienvorgänge des Nutzers in Ausgabeinformationen und / oder Eingabeinformationen in wahrnehmbare Informationen über Zustände des EM für den Nutzer um und bilden damit die Interaktionsschnittstelle zwischen Automationssystem und Nutzer. Mensch-System-Schnittstelle beschreiben somit die Wechselwirkung zwischen einem Bediener und einem EnIS der Produktion.

Zu den **Präsentationsfunktionen** gehören sämtliche Funktionen zum Austausch von Informationen mit Menschen. Hier ist die Gebrauchstauglichkeit (*Usability*) von System von zentraler Bedeutung und wird durch den Entwurf der Norm DIN EN ISO 9241-11, als Ausmaß definiert, indem ein System durch bestimmte Benutzer genutzt werden kann, um in einem bestimmten Nutzungskontext bestimmte Ziele effektiv, effizient und zufriedenstellend zu erreichen. (s. DIN EN ISO 2017, S. 13) Auf diese Weise kann dasselbe System in Abhängigkeit von den Zielen, der Art der Benutzer und weiteren Elementen des Nutzungskontextes eine äußerst unterschiedliche Gebrauchstauglichkeit aufweisen, da sie von den Eigenschaften, Fähigkeiten und sonstigen individuellen Unterschieden der Benutzer, den Merkmalen der von ihnen auszuführenden Arbeitsaufgaben beeinflusst wird. Zusätzlich hängt die tatsächliche Gebrauchstauglichkeit eines Systems auch von den physischen, gesellschaftlichen, kulturellen und organisationsbezogenen Umgebungen ab. (s. DIN EN ISO 2017, S. 14) Die zentrale Grundanforderung bei der ergonomischen Gestaltung von Mensch-Maschine-Systemen stellt folglich die Anpassung der technischen Systemkomponenten an die Fähigkeiten und Fertigkeiten des Menschen dar. Bei der Gestaltung komplexer Systeme und der damit verbundenen vorrangig informatorischer Arbeit besitzt die informationstechnische Ge-

staltung einen hohen Stellenwert. Hier sind die Anforderungen und Merkmale der Aufgabe auf die Fähigkeiten und Grenzen des Menschen in psychologischer und physiologischer Hinsicht insbesondere im Hinblick auf die Eigenschaften der menschlichen Informationsverarbeitung abzustimmen. (s. BRÖHL ET AL. 2015, S. 13) Grundlegende Mindestanforderung für Mensch-System-Schnittstellen von EnIS ist die Unterstützung der Funktionen zum Systemmanagement, der Ereignisbehandlung, der Darstellung von Zustandsinformationen, der Parametereinstellung und der technischen Bearbeitung des Systems. Die hierzu erforderlichen Verbindungen zu den Steuereinheiten, Feldgeräten und intelligenten Produkten werden durch **Ein- / Ausgabefunktionen (E / A-Funktionen)** geschaffen. Steuereinheiten, Feldgeräte und intelligente Produkte sollten dazu die Funktionen Schalten, Stellen, Melden von Zuständen und Ereignissen, Zählen und Messen erfüllen.

Verarbeitungsfunktionen beschreiben sämtliche Funktionen zum Überwachen, Steuern, Regeln und Rechnen, sowie dem systemübergreifenden Optimieren allgemeiner Anwendungen. (s. DIN EN ISO 2005, S. 11) Die Funktionen der allgemeinen Anwendungen umfassen u.a. die Verarbeitung von Alarm- / Ereignismeldungen von Controllern / Automationsstationen die Zustandsänderungsinformation senden, Druckerauswahlstrategie, Informationsverteilung etc. (s. DIN EN ISO 2005, S. 20) In diesem Zusammenhang bilden **Sensorfunktionen** die Verarbeitungsfunktionen für physikalische Größen oder technische Signale zur Umwandlung in geeignete Ausgabeinformationen. Analog stellen **Aktorfunktionen** die Verarbeitungsfunktionen zur Umwandlung von Eingabeinformationen in physikalische Stellgrößen dar. Rechenfunktionen werden für die Berechnung abgeleiteter Werte als Eingabe für andere Funktionen und für die Bereitstellung komplexer Daten an Benutzer angewendet um für verschiedene Szenarien folgerichtige Entscheidungen zu ermöglichen. Optimierungsfunktionen werden für das systemübergreifende EM angewendet, um vielfältige Ziele des EM wie die Verbesserung der energiebezogenen Leistungen realisieren zu können. (s. DIN EN ISO 2005, S. 54)

Abbildung 41 stellt eine IoT-Applikationsarchitektur dar, die zum einen die logische funktionale Sicht auf das EnIS (s. SCHEMM ET AL. 2006, S. 11) und zum anderen den dieser Arbeit zugrunde liegenden integrierten betrieblichen EM-Ansatz repräsentiert. Die IoT-Applikationsarchitektur dient im Wesentlichen zur systematischen Erfassung aller Daten die für die energiebezogene Leistung des Unternehmens relevant sind und liefert die erforderliche datentechnische Ausgangsbasis zur Entscheidungsunterstützung im Kontext unterschiedlicher EM-Entscheidungen. Neben den bis hierher allgemeinen Systemfunktionen sind es vor allem die energiemanagementspezifischen Systemfunktionen über die sich EnIS von anderen IS abgrenzen. VDI 4602 liefert eine Zusammenstellung der wichtigsten wiederkehrenden Funktionen, die je nach konkreter Aufgabenstellung vom Anwender für seine Zwecke genauer spezifiziert werden müssen. Diese und weitere Funktionen können in EnIS realisiert werden (s. VDI 2007, S. 16) und werden deshalb nachfolgend beschrieben.

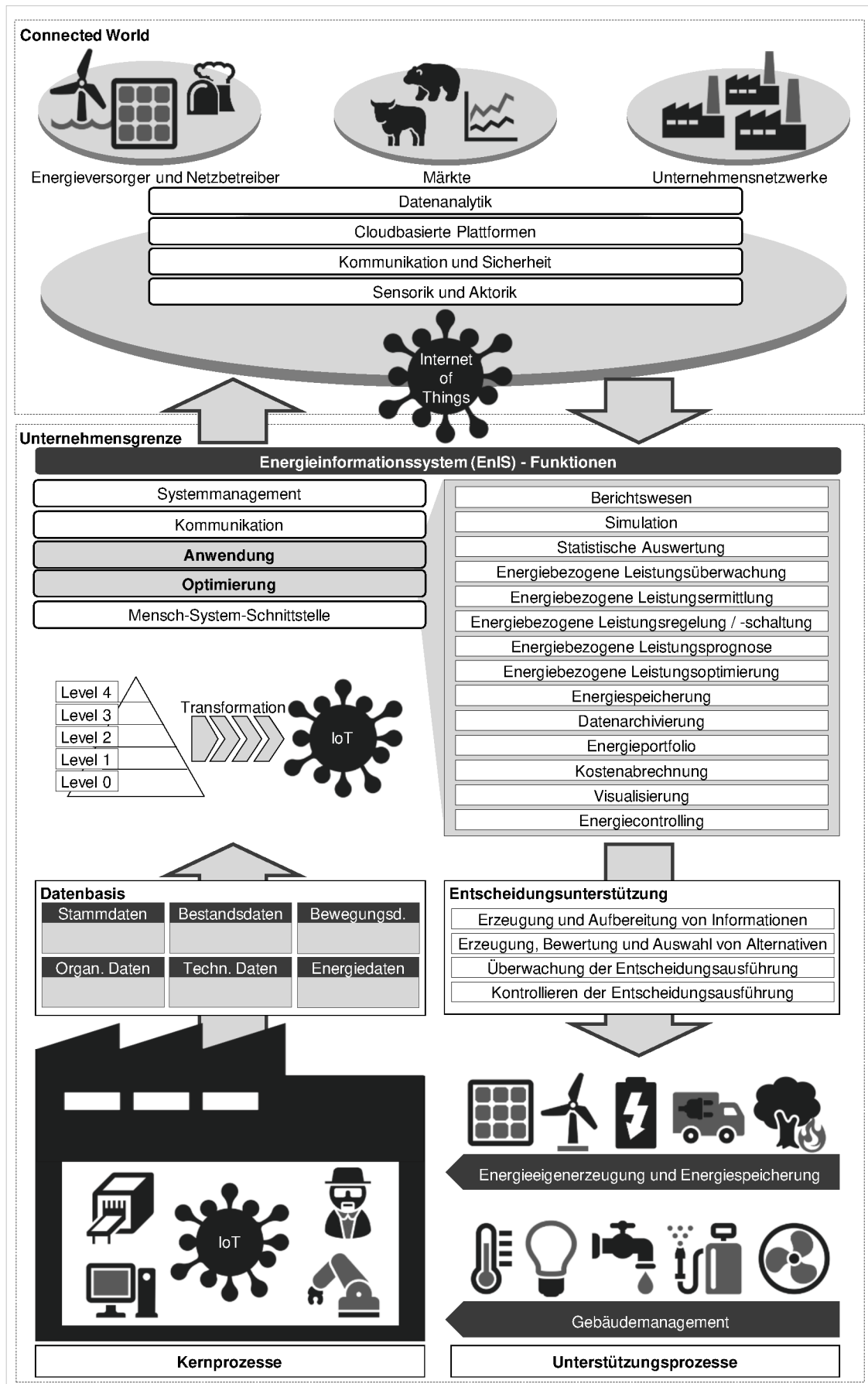


Abbildung 41: IoT-Applikationsarchitektur
(eigene Darstellung in ROSCHER U. GRAUS 2016)

Energiemanagementfunktionen

Energiemanagementfunktionen werden von der *Software* eines EnIS ausgeführt. Die in diesem Kapitel zusammengetragenen Inhalte stellen aus Sicht dieser Arbeit die wesentlichen generischen Funktionen dar, grundsätzlich ist jedem Anwender aber gleichzeitig freigestellt weitere Energiemanagementfunktionen einzuführen. (s. VDI 2007, S. 16) Der Anwendungszusammenhang der Funktionen ist aufgrund der breit gefächerten Energiemanagementaktivitäten in produzierenden Unternehmen von sehr vielfältiger Natur und beinhaltet bspw. anlagenspezifische Energiemanagementfunktionen die die Handlungen eines Benutzers bestimmen, der operative Entscheidungen hinsichtlich der Beaufsichtigung von Anlagen trifft und den Energieverbrauch und die Betriebskosten auswertet und beurteilt. Weitere Beispiele stellen die Kommunikation mit Einrichtungen im Automationsnetzwerk und die Kommunikation zum Datenaustausch mit internen Anwendungssystemen und / oder mit Fremdsystemen dar, bei denen Energiemanagementfunktionen die strategischen Entscheidungsunterstützungen des obersten Managements innerhalb der PuK-Systeme begleiten.

Die Anforderungen an die Energiemanagementfunktion des **Berichtswesens** müssen gerade wegen der verschiedenartigen Anwendungszusammenhängen genauesten an die betrieblichen Anforderungen angepasst werden. (s. VDI 2007, S. 22) Die Aufgabe dieser Funktion besteht somit in der Zurverfügungstellung verschiedenster zu erstellender Berichte wie Jahres-, Monats- und Selbstkostenberichte, sowie die Darstellung spezifischer Energieflüsse bspw. als Sankey-Diagramm. Außerdem ermöglicht die Funktion die freie Gestaltung der Berichte durch ihre Anwender, erlaubt die Berichterstellung durch Benutzereingaben zu jeder Zeit und ermöglicht die automatische Versendung der Berichte nach Ablauf des Berichtszeitraums über gängige Kommunikationskanäle wie z.B. per E-Mail. (s. VDI 2007, S. 22)

Unter **Energiecontrolling** fallen sämtliche Funktionen zur Unterstützung des EM bei der Analyse und Kontrolle der energiebezogenen Leistung. (s. VDI 2007, S. 14)

Die **Kostenabrechnung** weist anfallende Energiekosten den jeweiligen Kostenträgern bspw. nach Kostenstellen, auftragsbezogen und / oder anlagen- bzw. maschinenbezogen zu. (s. VDI 2007, S. 22)

Im Rahmen der **Datenarchivierung** erfolgt die dauerhafte Ablage und der rollenspezifische Zugang zu den relevanten Daten zur energiebezogenen Leistung eines Unternehmens. (s. VDI 2007, S. 22) Die Aufgaben der Funktion beinhalten die Ablage von Urdaten bspw. in Form von Mess- und berechneten Daten, die Ablage von Daten beliebiger Verdichtungsstufen, die dauerhafte Archivierung der Daten und die Festlegung des Zugangskonzepts zu diesen. (s. VDI 2007, S. 22–23)

Ein **Energieportfolio** bezeichnet die Kollektion von Energieträgern die von einer Organisation gekauft, bereitgestellt und für ihre Zwecke bspw. im Rahmen des Leistungserstellungsprozesses genutzt werden. (s. VDI 2007, S. 16) Voraussetzung hierfür ist eine transparente Darstellung des Energieverbrauchs und eine verursachungsgerechte Abrechnung der Energiekosten. (s. DIN EN ISO 2011, S. 8) Die Aufgaben

der Funktion beinhalten, die Bewertung von bestehenden Energieportfolios, das Management von zukünftigen Energieportfolios und die Optimierung des Portfolios. (s. VDI 2007, S. 17)

Im Entwurf der Überarbeitung der VDI Richtlinie 4602-1 wird die Funktion der **Energiespeicherung** ergänzt. Hier wird dem Umstand Rechnung getragen, dass vor allem durch den Ausbau der volatilen EE die Anforderung zur zeitlichen Entkopplung von Energiebedarfsverläufen und von Bereitstellungsverläufen besteht. Die Aufgaben der Funktion Energiespeicherung beinhalten folglich die Auswahl und der angemessene Einsatz der Speicher unter Berücksichtigung von Anschaffungskosten, Speicherverlusten und die Auswirkungen der Speichernutzung auf die Haltbarkeit und den damit verbundenen spezifischen Kosten der Speicher. (s. VDI 2016, S. 11)

Die **Leistungsermittlung** beinhaltet die Feststellung der aktuellen energiebezogenen Leistung an einem bestimmten Punkt durch geeignete Messung. (s. VDI 2007, S. 18) Die Aufgaben der Funktion beinhalten die Überprüfung eingehender Messwerte zu Energie- und Massenstromdaten auf Plausibilität. Außerdem umfassen sie die Korrektur ungültiger Messwerte durch konstanten Verbrauch oder durch gleitende Mittelwertbildung der letzten x Minuten, sowie die Kennzeichnung dieser korrigierten Eingangswerte in den Datenbanken und Displays. Dies schließt auch die Dokumentation von Korrekturen in Protokolldateien mit ein. Eine weitere Aufgabe besteht in der zusätzlichen Gegenprüfung von Gesamtmessungen und der Summe der Einzelmessungen, die bei zu starker Abweichung in den Protokolldateien vermerkt werden müssen. Die Berechnung des Verbrauchs nicht gemessener Verbraucher aus anderen Messungen (*Softwaremessungen*) und die automatische Stillstandserkennung, Auswertung der Telegramme der Prozessrechner auf Stillstände sowie die Weitergabe der Informationen an sich anschließende Energiemanagementfunktionen stellen schließlich die übrigen Aufgaben dieser Funktion dar. (s. VDI 2007, S. 18–19)

In der **Leistungsüberwachung** wird die energiebezogene Leistung einer Abrechnungsperiode überwacht und bei Überschreitung bzw. Abweichung definierter Korridore Aktionen ausgelöst. (s. VDI 2007, S. 19) Die Leistungsüberwachung liefert damit die Entscheidungsgrundlage um den Verbrauch zu begrenzen oder zusätzliche Versorger miteinzubeziehen. (s. VDI 2007, S. 19) In der Leistungsüberwachung können ebenfalls Informationen zur Leistungsschaltung bzw. Leistungsregelung angezeigt werden. (s. VDI 2007, S. 19) Die Aufgaben der Funktion beinhalten folglich die Information des *Operators* durch Alarm und die Aktivierung des Schaltungs- / Regelungsmoduls. (s. VDI 2007, S. 19) *Energiemonitoring* stellt somit eine Kombination der Funktionen Leistungsermittlung und Leistungsüberwachung dar und beinhaltet somit neben dem Erfassen, Vergleichen der Messwerte mit Grenzwerten auch das Visualisieren dieser in Tabellen, Diagrammen, Grafiken etc. (s. VDI 2007, S. 27) Hierbei stellt die Information der Mitarbeiter inklusive der Betriebsleitung über die Entwicklung der Energieeffizienz, des Energieeinsatzes und des Energieverbrauchs, sowie die Erreichung der strategischen und operativen Energieziele ein zentrales Produkt des kontinuierlichen *Energiemonitorings* mit Hilfe von EnIS dar. (s. SCHMID 2004, S. 133)

Die **Leistungsschaltung bzw. Leistungsregelung** umfasst sämtliche Maßnahmen die zur Einhaltung bestimmter energiebezogener Leistungen an einem bestimmten Punkt erforderlich sind. (s. VDI 2007, S. 19–20) Die Aufgabe dieser Funktion umfasst im Wesentlichen die Auswahl der Verbraucher und das Vorschlagen dieser für die Regelung bzw. Schaltung. (s. VDI 2007, S. 20) Neben der konkreten Umsetzung von Maßnahmen zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung stellt die Information, Sensibilisierung und Motivation aller Mitarbeiter in diesem Zusammenhang eine zentrale Aufgabe des betrieblichen EM dar. (s. SCHMID 2004, S. 133)

Innerhalb der **Leistungsoptimierung** fällt auf die Berechnung der unter Produktionsvorgaben, energiebezogenen Gesichtspunkten und Marktsituationen optimalen Produktionsleistung das Hauptaugenmerk. (s. VDI 2007, S. 20) Die Aufgabe dieser Funktion beinhaltet die Vergleichsmäßigung der Leistung durch Optimierung innerhalb eines Energieträgers, sowie der Leistung durch Abstimmung verschiedener Anlagen unterschiedlicher Energieträger. Außerdem stellt der Ausgleich der Leistung durch Abstimmung unterschiedlicher Energieträger in gleichen oder unterschiedlichen Anlagen eine weitere Aufgabe dieser Funktion dar. (s. VDI 2007, S. 20) Grundlage der Leistungsoptimierung stellen verschiedene Analysen dar, die die systematische Untersuchung von Prozessen auf Basis von Daten aus einem entsprechenden *Energiemonitoring* und / oder auch aus Daten einer Modellierung bzw. Simulation der beobachteten Prozesse umfassen und somit zum Zweck spezifischer Zielerreichungen eingesetzt werden können. (s. VDI 2007, S. 27) In diesem Zusammenhang interpretieren Diagnosen die Ergebnisse der Analysen und geben bei Abweichungen des aktuellen Anlagenzustands vom definierten Normalzustand, Empfehlungen für Gegenmaßnahmen und geben Prognosen über den weiteren Verlauf der betrachteten Prozesse ab. (s. VDI 2007, S. 28) Unter Prognosen werden die durch Messung, Erfahrungswissen oder Simulation begründeten Vorhersagen eines in der Zukunft liegenden Zustands bezeichnet. (s. VDI 2007, S. 28)

Durch **Simulation** mit Historie- und Prognosedaten sollen verschiedene Arten von Parameterstudien betrieben werden können. (s. VDI 2007, S. 20) Die Aufgaben dieser Funktion beinhalten die Variation von historischen Daten, die Prognose des Verbrauchs durch Ergänzung bzw. Streichung von Verbrauchern sowie die Auswirkungen von Änderungen bei anlagenspezifischen Verbrauchsmengen, die Ermittlung des Einflusses auf den Betrieb bei Änderungen der Energiekosten, sowie die Aufdeckung von Zusammenhängen zwischen Energieträger, Verbrauch und Kosten. (s. VDI 2007, S. 20–21) In der Literatur wird der Unterschied zwischen dem technisch-wirtschaftliche Machbaren und der tatsächlichen Umsetzung im Zusammenhang mit Energieeffizienzmaßnahmen als Energieeffizienz-Lücke (*Energy Efficiency Gap*) bezeichnet. (s. SCHMID 2004, S. 33–34) In Analogie dazu soll der Begriff energiebezogene Leistungs-Lücke (*Energy Performance Gap*) für den Unterschied zwischen dem technisch-wirtschaftliche Machbaren und der tatsächlichen Umsetzung im Zusammenhang mit Maßnahmen zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung in Betrieben stehen. Ursachen für diese Lücke werden in einer Reihe von existierenden Hemmnissen gesehen,

die bspw. auf Kapitalmangel, Zeitmangel, Informationsmangel und fehlendes oder mangelndes Wissen über Maßnahmen zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung zurückzuführen sind. (s. SCHMID 2004, 34–35, 53-54)

Durch **statistische Auswertung und Bildung spezifischer Verbrauchszahlen** können charakteristische Verbrauchsmuster identifiziert, Verbrauchsabhängigkeiten von der Produktion ermittelt und die Bewertung verschiedener Prognoseverfahren ermöglicht werden. (s. VDI 2007, S. 22) Darüber hinaus ist die Adaption von verbrauchsabhängigen Parametern eine weitere Aufgabe dieser Funktion. (s. VDI 2007, S. 22)

Durch **Leistungsprognose** soll die an einem Punkt anliegende Leistung zu einem in der Zukunft liegenden Zeitpunkt prognostiziert werden können. (s. VDI 2007, S. 21) In diesem Zusammenhang unterscheidet man zwischen Kurzfrist- (bis zu zwei Stunden im Voraus), Mittelfrist- (bis zu zwei Tage im Voraus) und Langfristprognose (bis zu einem Jahr im Voraus) bei den verschiedensten Methoden zur Prognose des zukünftigen energiebezogenen Leistungsbedarfs zur Verfügung stehen sollten. (s. VDI 2007, S. 21) Die Aufgabe dieser Funktion umfasst folglich die Zurverfügungstellung verschiedener Methoden zur Prognose für jeden Zählpunkt oder Verbraucher. (s. VDI 2007, S. 21) Die Form der Informationsverteilung und Verarbeitung von verfügbaren Informationen aus Messungen, Erfahrungswissen oder Simulationen ist in diesem Zusammenhang eine der wichtigsten Stellhebel für die erfolgreiche Umsetzung technisch Machbarer Maßnahmen zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung von Betrieben. (s. SCHMID 2004, vgl. 55)

In diesem Zusammenhang stellt das **Energiewissensmanagement** das Bindeglied zwischen energierelevanten Daten aus Messungen, Simulationen etc. und nutzenstiftendem Erfahrungswissen in einem Expertensystem dar. Der Ansatz des Energiewissensmanagements sieht vor, dass zunächst energierelevante Daten erfasst und in ein von Mensch und Maschine interpretierbares Format überführt werden, um anschließend um Kontextinformationen angereichert und von Wissensträgern, um entscheidungskritische Informationen und Erfahrungswissen erweitert zu werden. Das Energiewissensmanagement beschreibt das Wissensmanagement als Basis für zielgerichtete Entscheidungen im Rahmen des EnIM produzierender Unternehmen. Erst die Kombination von intraorganisationalem Wissen und teils externer Energieinformationen bietet eine nachhaltige Grundlage für langfristige Energieeffizienz und zukunftsorientierte Planungsprozesse auf dem Weg zur Automatisierung. (s. BRUHNKE U. ROSCHER 2015, S. 264) Als deklaratives Wissen werden im Zusammenhang von Energiewissensmanagement die Energiedaten selbst und kontextbezogene Informationen verstanden. Dies können neben technischen Daten aus der Produktionsumgebung auch Informationen über Zeit, Ort oder bspw. das Wetter sein. Das prozedurale Wissen bildet die Verknüpfungen der Daten ab und beschreibt, wie die Informationen zur Anwendung kommen. Es geht dabei nicht nur um Wissen von Zusammenhängen und das Abbilden von Diagnosen, sondern auch um das strategische Wissen, welches sich ein Energieexperte erst im Laufe der Zeit aneignen kann. Aus dieser Wissensbasis

lassen sich Regeln und Maßnahmen ableiten, die das EM bestimmen. (s. BRUHNKE U. ROSCHER 2015, S. 266)

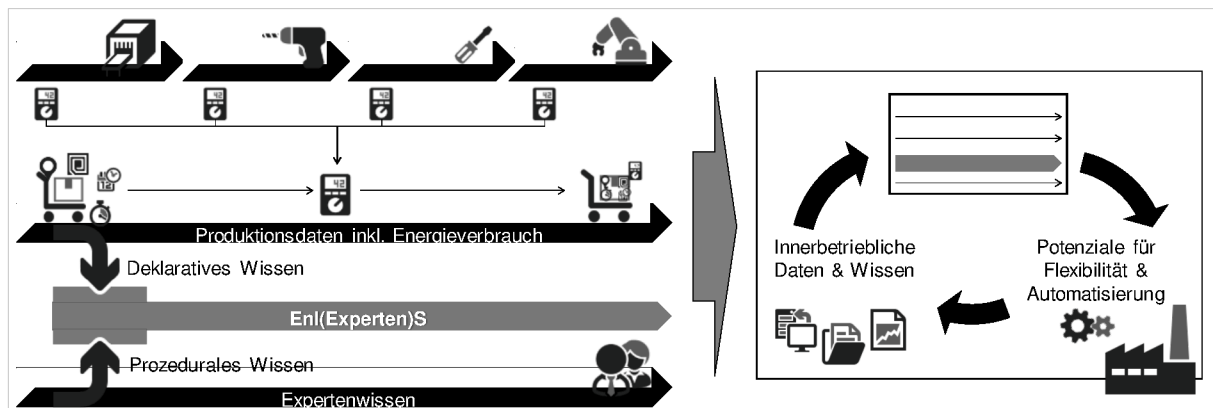


Abbildung 42: Energiewissenmanagement Expertensystem
(s. BRUHNKE U. ROSCHER 2015)

Abbildung 42 zeigt schematisch die Konsolidierung der eben genannten Komponenten im Expertensystem. Daten, Informationen, Wissen und Maßnahmen, die für das EM strukturiert festgehalten werden, ermöglichen die Ableitung von Potenzialen für die eigene Flexibilisierung bis hin zur Automatisierung. Auf diese Weise kann ein langfristig wirksames und nachhaltiges EM entstehen. Gleichzeitig bilden sie die Grundvoraussetzung für die kontextsensitive Unterstützung verschiedener Anwender selbst in komplexen Entscheidungssituationen. Grundlage des Energiewissenmanagements stellt die Datenanalytik (DA) dar. DA bildet den Kern von *Smart Data*. (s. ROSCHER U. GRAUS 2016, S. 4) DA ist ein Prozess zur Transformation von Daten zu Informationen, welche für eine Entscheidungsfindung nützlich sind. Dieser Prozess beginnt mit der Modellierung der zugrunde liegenden Daten und führt über eine systematische Untersuchung der Daten hinsichtlich aller bestimmenden Faktoren und Komponenten zu einer Handlungsempfehlung. (s. GRAUS 2016, S. 46) Der Umfang der Entscheidungsunterstützung durch Maschinen kann dabei als Maß für den Grad der Künstliche Intelligenz (KI) dieser herangezogen werden. (s. HOLTEL ET AL. 2017, S. 14) Obwohl bereits 1956 das erste Mal eingeführt (s. MCCARTHY ET AL. 1955), existiert für den Begriff KI bis heute keine einheitlich akzeptierte Definition. (s. HOLTEL ET AL. 2017, S. 9) Auch im Rahmen dieser Arbeit soll daher auf eine wissenschaftliche Definition aus der Perspektive der maschinellen Simulation des menschlichen Denkens verzichtet werden und viel mehr einem praxisorientiertem Ansatz folgend, der Grad der KI anhand der Ausprägung der Automation des Entscheidens bei der Interaktion zwischen Mensch und Maschine (s. HOLTEL ET AL. 2017, S. 13) zur Abgrenzung herangezogen werden. Dies reduziert die Kernfrage für den Funktionsumfang hinsichtlich kognitiver Fähigkeiten eines Systems vereinfachend darauf inwieweit Prozesse des menschlichen Entscheidens unterstützt werden. (s. HOLTEL ET AL. 2017, S. 14) In Stufe 0 trifft der Mensch seine Entscheidungen alleine ohne auf die Unterstützung einer Maschine zurückzugreifen. In Stufe 1 erfolgt durch die Einführung von Systemen wie Werkzeuge der Tabellenkalkulationen an die Stelle alleiniger Entscheidung, ein assistiertes Entscheiden. In Stufe 2 erfolgt

ein teilweises selbstständiges Entscheiden des Systems entlang einer reglementierten Kette von Optionen in dedizierten Anwendungsfällen, in denen der Akteur seine Präferenzen zuvor bereits geäußert hat. In Stufe 3 entwickelt das System aus einer gegebenen Situation heraus eigene Vorschläge, bei dem es dem menschlichen Bediener aber weiterhin obliegt diese anzunehmen, abzulehnen oder durch Hinzufügen zusätzlicher Parameter zu verändern (geprüftes Entscheiden). In Stufe 4 delegiert der Mensch das Entscheiden und die Kontrolle für zuvor definierte Situationen vollständig an das System und übernimmt lediglich in Ausnahmesituationen. Im Gegensatz zu Stufe 3 treffen Systeme der Stufe 4 innerhalb eines definierten Zeitintervalls auch eigene Entscheidungen, in sämtlichen Fällen in denen der Mensch ihren Aufforderungen zur Kontrollübernahme nicht rechtzeitig nachkommt. In der Stufe 5 übernimmt das System schließlich dauerhaft und zuverlässig die Kontrolle über Entscheidungen innerhalb einer großen und komplexen Anwendungsdomäne, sodass grundsätzlich kein menschlicher Bediener mehr von Nöten wäre, dieser aber auf Wunsch dennoch manuell eingreifen kann (Autonomes Entscheiden). (s. HOLTEL ET AL. 2017, S. 21–23)

Zusammenfassung

Die Beschreibungen in diesem Kapitel liefern Unternehmen einen Überblick über die generischen Funktionen konventioneller und auch zukünftiger EnIS zur Unterstützung der wesentlichen Aktivitäten im Rahmen des betrieblichen EM. Die Ausführungen ermöglichen Unternehmen die Identifikation erforderlicher Funktionen zur Unterstützung der aus der Energiepolitik abgeleiteten Geschäftsprozesse auch über den Funktionsumfang konventioneller EnIS hinaus. So wurde gezeigt, dass es für die Evolution konventioneller EnIS zu autonomen CPS mit der Fähigkeit zur Selbstorganisation in verteilten miteinander kollaborierenden Subsystemen der Anwendung neuerartiger Verfahren für das EM auf Basis Künstlicher Intelligenz (KI) wie bspw. Expertensysteme, Multi-Agentensysteme, Neuronale Netze etc. bedarf (s. BRUHNKE U. ROSCHER 2015, S. 261) Die Art und Weise wie zukünftige EnIS arbeiten unterscheidet sich grundsätzlich von konventionellen Systemen. Entscheidungsunterstützung in immer komplexeren Situation durch leistungsfähige intelligente DA oder KI, prägnante Visualisierungen und intuitive Bedienbarkeit bilden dabei das Fundament. (s. ROSCHER U. GRAUS 2016, S. 2) Die Realisierung der Energiemanagementfunktionen kann dabei aber grundsätzlich an verschiedenen Stellen durchgeführt werden und muss nicht zwangsläufig in einem eigenständigen EnIS erfolgen. Diese können somit grundsätzlich auch als Erweiterung in das **ERP**-System, in die Feinplanungssysteme (**MES**), direkt in die Steuereinheiten (**SPS**) integriert oder als eigenständige interoperable EnIS realisiert werden. Allerdings spricht für den Aufbau eines spezialisierten EnIS derzeit vor allem, der nicht weitreichende Eingriff in die laufende Produktion und dessen Steuerung durch den Aufbau eines gekapselten Systems auf der sprichwörtlichen grünen Wiese.

Wichtigste Ressource sämtlicher Energiemanagementfunktionen sind Daten und Informationen. Dazu zählen neben den für das EM zentralen Energiedaten, auch weitere

Betriebs-, Bewegungs- und Stammdaten. (s. ROSCHER U. GRAUS 2016, S. 1) Die detaillierte Auseinandersetzung mit den relevanten Informationsgrößen wird folglich Inhalt des nächsten Kapitels sein.

7.3.3 *Information*

Die Informationsschicht beschreibt die von der fachlichen Funktionalität des *Assets* verarbeiteten, generierten oder modifizierten Daten. Auf diese Weise strukturiert die Informationsschicht die für EnIS relevanten Datenobjekte. Die Kernaufgabe in I4.0 ist die datentechnische virtuelle Abbildung eines *Assets* der physischen Welt in die Informationswelt (Repräsentation durch Informationen). (s. DIN SPEC 2016, S. 10) Die Repräsentation durch Informationen hält Daten zu den *Assets* entweder in der eigenen I4.0-Komponente oder in einem übergeordneten IS. (s. DIN SPEC 2016, S. 13) IS konkretisieren Geschäftsprozesse in Form einer detaillierten Spezifikation der automatisierten Informationsverarbeitung. Zur Abwicklung von Geschäftsprozessen kommen Anwendungen bzw. Applikationen (*Apps*) zum Einsatz, die eine Menge von Funktionen unter Rückgriff auf Datensammlungen zur Verfügung stellen. (s. SCHEMM ET AL. 2006, S. 10) Kernherausforderungen bei der Entwicklung automatisierter IS stellt die semantische und syntaktische Informationsverarbeitung dar, bei der insbesondere die Transformation von semantischem Wissen in syntaktische Strukturen das größte Problem jedes Automatisierungsprojekts darstellt. Der Mensch ist im Gegensatz zum Computer, der (noch) lediglich syntaktische Informationsverarbeitung leisten kann, von Natur aus zur semantischen Informationsverarbeitung fähig. (s. JAROSCH 2016, S. 5) Auf diese Weise können Computer nur diejenigen Informationen berücksichtigen, die ihnen entweder explizit eingegeben wurden oder die sie nach Methoden der KI durch die Anwendung von Ableitungsregeln aus den explizit formulierten Angaben herleiten können. Die Sachkenntnis über die logische Struktur der Daten und über die konkreten Schritte der Informationsverarbeitung liegt bei den menschlichen Experten der betroffenen Fachabteilung oder externer Dienstleistungsunternehmer (Berater). (s. JAROSCH 2016, S. 7–8)

Generisches Fachkonzept Energieinformationsmanagement (FEnIM)

Eine wesentliche Herausforderung bei der Entwicklung von Anwendungssystemen besteht nun darin, das semantische Wissen der Fachabteilung in die syntaktischen Strukturen der Datenbank und des Anwendungsprogramms zu transformieren. Ein Mittel zur Repräsentation des Fachwissens stellen Fachkonzepte dar. Der übergeordnete Gesamtzusammenhang des EM in produzierenden Unternehmen wurde bereits im Ordnungsrahmen in Kapitel 5 dargestellt. Abbildung 43 zeigt das generische Fachkonzept des Energieinformationsmanagements (FEnIM), das in erster Linie die sachlogischen Zusammenhänge des Informationsflusses zwischen als Entität verwalteten *Assets* innerhalb produzierender Unternehmen darstellt. Die gewählte Darstellung erlaubt sowohl die traditionelle unternehmensfunktionszentrierte als auch die modernere produktzentrierte Energieklassifikation (s. COSGROVE ET AL. 2017, S. 205) sämtlicher

Assets des Systems. Das FEnIM repräsentiert somit mit anderen Worten eine generische Beschreibung der neuen betrieblichen Realität mit besonderem Fokus auf die unternehmensinternen Energiewertschöpfungsketten in produzierenden Unternehmen. Diesem liegt eine technologieinitiierte bzw. *Bottom-up-Innovations* geprägte Sichtweise auf das EM produzierender Unternehmen zugrunde, die sich aus den heute technologischen Möglichkeiten der hoch qualitativen Abbildung bisher nicht messbarer bzw. nicht kontrollierbarer und folglich nicht managebarer Aufgabenstellungen ableitet. Diese folgt der Hypothese, dass alles was durch neue Technologie messbar wird, prinzipiell auch bewirtschaftet werden kann. (s. FLEISCH ET AL. 2005, S. 22)

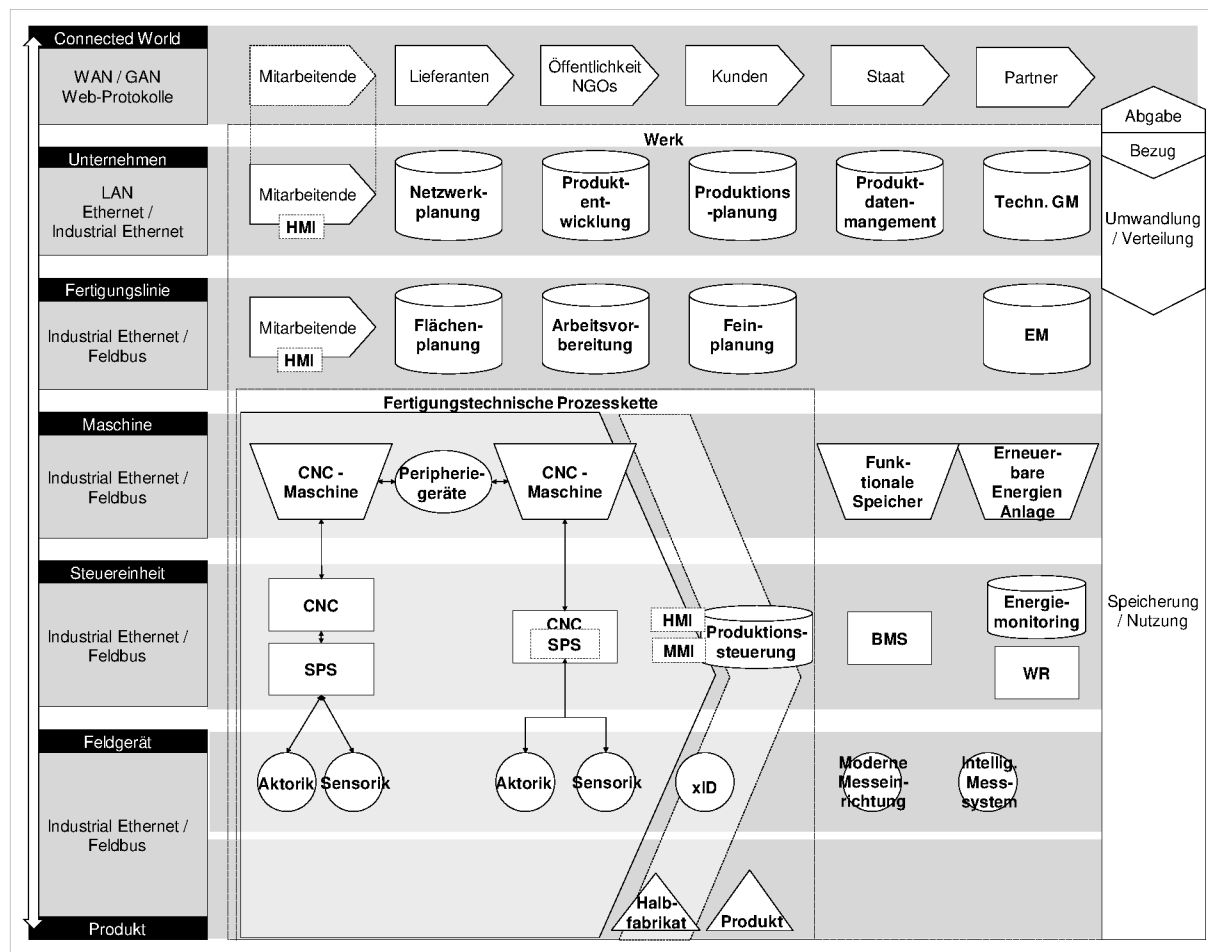


Abbildung 43: Fachkonzept EnIM (eigene Darstellung)

Connected World

Die Öffentlichkeit und NGOs nehmen Einfluss auf den Staat und das *image*, welches ein Unternehmen nach Außen hin vertreten möchte. Der Staat liefert durch die in Kapitel 7.3.1 beschriebenen Gesetze und Verordnungen (EEG, Strommarktgesetz, Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende etc.) die Eckpfeiler für das deutsche Energiesystem für das Zeitalter der EE. (s. KAHLEN U. SASCH 2016, S. 1) Darüber hinaus werden durch den Strommarkt 2.0 Eintrittsbarrieren für Anbieter von Lastmanagementmaßnahmen und EE Anlagen im Regelleistungsmarkt abgebaut und auf diese Weise der Einsatz von Flexibilitätsoptionen erleichtert. (s. BMWI 2015b, S. 2) Bislang waren

Informationen über die Stromflüsse sehr limitiert vorhanden und stehen daher im krassen Gegensatz zum dezentralen Stromversorgungssystem der Zukunft, dass durch bidirektionale Informations- und Stromflüsse gekennzeichnet sein wird. (s. BMWi 2015a, S. 1) Die Transparenz im Strommarkt 2.0 soll im Wesentlichen durch aktuelle Strommarktdaten durch die Einrichtung einer nationalen Informationsplattform sowie der Einrichtung eines zentralen Marktstammdatenregisters (MaStR) erhöht werden, um auf diese Weise effiziente Erzeugungs-, Verbrauchs- und Handelsentscheidungen zu fördern. (s. BMWi 2015b, S. 3) Das MaStR soll ab Herbst 2017 als eine über das Internet erreichbare Datenbank realisiert werden und erlaubt sodann registrierten Marktakteuren den automatisierten Zugriff auf die hinterlegten Daten über standardisierte Schnittstellen. (s. BNETZA 2017a, S. 3) Im MaStR werden ausschließlich Stammdaten hinterlegt werden können wie bspw. Standorte, Kontaktinformationen, technische Anlagendaten, technische Zuordnung etc., Bewegungsdaten die die energiewirtschaftlichen Aktivitäten abbilden und betreffen wie Lastzeitreihen, Energiemengen, Vertragsbeziehung etc. sind explizit nicht Bestandteil des Registers. (s. BNETZA 2017a, S. 3) Akteuren, Einheiten, Genehmigungen, Netzanschlusspunkten, Lokationen, Speichern sowie EEG- und KWKG-Anlagen werden im MaStR eindeutige Nummern zugewiesen. (s. BNETZA 2017a, S. 4) In diesem neuartigen Energiesystem entwickeln sich Unternehmen mehr und mehr zu sogenannten Prosumern, die aktiv an der Gestaltung des Stromversorgungssystems teilnehmen. (s. BMWi 2015a, S. 1) Diese Veränderungen führen insbesondere zu neuartigen Anforderungen an die einzusetzenden Mess-, Kommunikationstechnologien und Datenverarbeitungssysteme denen durch das MsbG Rechnung getragen werden soll. (s. BMWi 2015a, S. 1) In diesem Zusammenhang kommen intelligenten Messsystemen eine wichtige Rolle zuteil, da sie je nach Ausstattung für Letztverbraucher, Netzbetreiber und Erzeuger die notwendigen Verbrauchsinformationen bereitstellen die, zur Übermittlung von Netzzustandsdaten verwendet werden, sichere und zuverlässige Steuerungsmaßnahmen unterstützen und als eine Art Kommunikationsplattform für die Partner im intelligenten Energienetz (*Smart Grid*) dienen können. (s. BMWi 2015a, S. 1)

Durch das *Common Information Model* (CIM) ist bereits eine Domänenontologie für EVU durch die Normen IEC 61970 und 61968 definiert worden, die Objektmodelle für Komponenten des elektrischen Netzes sowie Elemente für die Netzmodellierung und –den Netzbetrieb liefern, mit deren Hilfe eine standardisierte Beschreibung und Definition von Applikationsschnittstellen ermöglicht wird. Hierzu bildet IEC 61970 eine Paketstruktur aus über 290 Klassen, mehr als 890 Attributen und ca. 150 Assoziationen zur modellhaften Beschreibung der realen Objekte in der Domäne Energie. Daneben existieren Serialisierungen, die das Format des Datenmodells in maschinenlesbare und -speicherbare Instanzen überführen. Die *Generic Interface Definition* (GID) für das CIM legt dabei fest, wie die Daten des semantischen Basismodells ausgetauscht werden und bildet auf diese Weise eine Menge von Schnittstellenstandards die wiederum Technologiemappings für verschiedene Plattformen zur Verfügung stellen (bspw. OPC, COBRA etc.). (s. USLAR 2012, S. 2–20)

In Deutschland hat die Bundesnetzagentur in ihren Festlegungsverfahren BK6-06-009 GPKE einheitliche Geschäftsprozesse und Datenformate für die Energiewirtschaft zur Abwicklung der Belieferung von Kunden mit Elektrizität festgelegt. Als Basis für den elektronischen Datenaustausch ist das Datenformat UN / EDIFACT bestimmt worden, das seither unter der Dachmarke EDI@Energy in Deutschland geführt wird und dort Nachrichtenbeschreibungen, Anwendungshandbücher und weitere Dokumente kontinuierlich an die Gegebenheiten im Energiesystem angepasst werden.

Unternehmen

Ein wichtiger Bestandteil für wirksames EM und somit auch für die erfolgreiche Umsetzung der vom Staat vorangetriebenen Energiewende stellen (Werks-)Gebäude dar. (s. ASCHENDORF 2014, VIII) GA durch vernetzte Überwachungs-, Steuer-, Regel- und Optimierungseinrichtungen ermöglicht den Komfort und die Sicherheit bei der Nutzung eines Gebäudes zu steigern und dabei gleichzeitig auch die energiebezogene Leistungen eines Unternehmens signifikant zu verbessern. Die Verbesserungspotenziale sind dabei in aller Regel derart hoch, dass sich ihre Kosten in kürzester Zeit amortisieren. (s. BÜCHEL U. VOGELER 2008, S. 3) Gebäudeautomationssysteme lassen sich grundsätzlich in zentrale, dezentrale und halbdezentrale (hybride) Systeme unterteilen. Zentrale Systeme verfügen über Sensoren und Aktoren die über eine oder mehrere Zentralen über ein Netzwerk miteinander verbunden sind. Charakteristisch für zentrale Systeme ist das lediglich die Zentrale, Funktionen auf den Aktoren auslösen kann, die grundsätzlich auch ohne sensorische Auslösung auf Basis von Zeitprogrammen oder Anwesenheitssimulationen angestoßen werden können. Zu den bekanntesten zentralen Systemen zählen u.a. Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) aus der Industrieautomation die mit und ohne zusätzlichen Controller für die GA ausgestattet sein können. (s. ASCHENDORF 2014, S. 43) Im Gegensatz zentralen Systemen sind in dezentralen System alle Teilnehmer durch einen oder mehrere Controller mit zusätzlicher Intelligenz versehen. Diese Intelligenz spiegelt sich *hardwareseitig* durch das Vorhandensein von Kommunikations-, Funktions- und Anwendungsprozessoren wieder. Beispiele dezentraler Systeme im Markt sind KNX / EIB, LON und LCN. (s. ASCHENDORF 2014, S. 44) Hybride Systeme stellen eine Mischform der zentralen und dezentralen Ansätze dar, in denen durch miteinander verbundener Zentralen bestimmte Funktionalitäten untereinander aufgeteilt werden können. (s. ASCHENDORF 2014, S. 49–50) Beispiele solcher Systeme im Markt stellen insbesondere die für die GA optimierten SPS von WAGO und Beckhoff dar. (s. ASCHENDORF 2014, S. 57) Allerdings haben sich entgegen der Meinung vieler Fachexperten konventionelle Elektroinstallationen bis heute gegenüber Bussystemen behaupten können, obwohl dadurch diese elektrische Schaltungen vereinfacht und wesentlich flexibler gestaltet werden können ohne die Energieverteilung zu mindern. (s. ASCHENDORF 2014, VII) Besonders die Teildisziplin der Raumautomation sorgt für eine konsequente Vermeidung von Energieverschwendung direkt dort, wo im Gebäude die Energie eingesetzt wird. (s. BÜCHEL U. VOGELER 2008, S. 8) Grundlage hierfür bilden bspw. Informationen zur Bau-

physik (Wärme, Feuchtigkeit, Akustik, Brandschutz, Tageslicht und Klima), Energieausweis / Gebäudepass (Anlagentechnik, Gebäudetyp, Gebäudenutzfläche, Kennwerte zum Stromverbrauch), Betriebsferien etc. aber auch externe Informationen wie Wetterprognosen etc. (s. SCHAEFER 2016) In diesem Zusammenhang finden, ursprünglich im *Smart Home* Bereich (s. SCHILLER 2016) und heute auch immer öfter für industrielle Anwendungen (s. DÖLLE 2017), einfache Einplatinencomputer wie bspw. der *Raspberry Pi* Verwendung die verhältnismäßig kostengünstige Rechenleistung für verschiedenste Einsatzzwecke bieten. Auch in diesem Zusammenhang kommen intelligenten Messsystemen, neben der Funktion als eine Art Kommunikationsplattform zum *Smart Grid* (s. BMWI 2015a, S. 1), eine für produzierende Unternehmen weitaus wichtigere Rolle zuteil. Durch ein entsprechendes *Energiemonitoring* können die verschiedensten physikalische Parameter für eine Vielzahl von Messstellen kontinuierlich bis in den Millisekunden Bereich erfasst werden. Für das EM bilden intelligente Messsystemen den datentechnischen Kristallisationspunkt zwischen den Aktivitäten des Büro- und des Fertigungsbereichs. Mit anderen Worten erzielen intelligente Messsysteme somit sozusagen den digitalen Hattrick durch die Zurverfügungstellung der notwendigen Datenbasis für die Partizipation im *Smart Grid*, für die intelligente GA und für die energieeffiziente bzw. energieflexible Produktion.

Fertigungslinie

Innerhalb der Güterproduktion ist zu beobachten, dass schon alleine das Messen von Energieverbräuchen zu Energieeinsparungen führen kann, da es mit einer allgemeinen Sensibilisierung der Prozessbeteiligten für das Thema Energieeffizienz einhergeht. Der Abgleich der Messwerte mit Erfahrungswissen bzw. der Vergleich verschiedener Messwerte miteinander (*Benchmarking*) offenbart weitere Prozessverbesserungen (*Best Practice*) und erlaubt durch Modellierung die Diagnose monokausaler und teilweise auch multikausaler Wirkzusammenhänge. Für die Prognose im Zuge der Energieeinsatzplanung ist die Anwendung optimierender und heuristischer Verfahren bereits verbreitet. Heuristiken erlauben dabei eine zeitkritische Entscheidungsfindung auf Basis von begrenztem Wissen und bilden heute den bevorzugten Lösungsweg für Analysen. (s. ROSCHER ET AL. 2015b, S. 21) Die Tatsache, dass viele Maßnahmen zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung bereits mit *State-of-the-Art*-Technologien realisiert werden könnten, aber dennoch bis heute nicht flächendeckend in der Praxis eingesetzt werden, ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass Energiedaten in den etablierten Unterstützungssystemen der Produktion (PPS-System, MES etc.) bislang selten / keine Berücksichtigung finden. (s. ROSCHER U. GRAUS 2016, S. 2)

Abbildung 44 zeigt einen schematischen Informationsfluss des Szenarios der Integration der energiebezogenen Leistung, neben den klassischen produktionslogistischen Zielgrößen wie Termintreue, Durchlaufzeit, Qualität etc. in das produktionslogistische Zielsystem. (s. BRANDENBURG 2016, S. 131) Grundvoraussetzung für die Operationalisierung des theoretischen Konstrukts der produktionslogistischen Zielgröße der energiebezogenen Leistung stellt die Integration der Energiedaten dar, damit diese bei der Entscheidungsfindung im Unternehmen systematisch berücksichtigt werden können.

Das dargestellte System entspricht einem Regelungssystem mit Energiedaten als fortlaufend gemessene Regelgrößen und der energiebezogenen Leistung als Rückführgröße an die übergeordnete Regeleinrichtung. Die Regeleinrichtung bildet dann durch Stellgrößen gegebenenfalls eine entsprechende Anpassung ab. (s. HEINRICH ET AL. 2017, S. 122) Ein solches System kann auch als CPPS angesehen werden, da es Produktions-, Logistik-, *Engineering*-, Koordinations- und Managementprozesse umfasst, die mittels Sensoren unmittelbar physikalische Daten erfassen bzw. mittels Aktoren auf physikalische Vorgänge einwirken und gleichzeitig über ein Kommunikationsnetz miteinander und zu weiteren verfügbaren Daten, Diensten und über Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS) auch zum Menschen verbunden sind. (s. HEINRICH ET AL. 2017, S. 7) Die notwendige Verheiraturung mit weiteren feinaufgelösten Daten aus der Produktion und deren Analyse in Echtzeit, zur Hebung nicht trivialer Effizienzpotenziale (Eingriffe in die laufende Produktion), stellen daher große Innovationspotenziale für das EM durch *Smart Data* dar. (s. ROSCHER U. GRAUS 2016, S. 1) Eingriffe in die Produktion im Rahmen des DR lassen sich in drei grundsätzliche Arten untergliedern. Durch die Funktion der Lastenschaltung / -regelung können Lasten der Produktion ohne Nachholbedarf kurzzeitig abgeschaltet werden. Daneben können Lasten zeitlich verschoben werden, indem die Leistung von Maschinen im Abrufzeitraum reduziert oder diese abgeschaltet werden um zu einem späteren Zeitpunkt wieder in den Ausgangszustand versetzt zu werden (mit Nachholbedarf). Analog können Lasten zeitlich verschoben werden, indem die Leistung von Maschinen im Abrufzeitraum erhöht werden oder diese gezielt eingeschaltet (Speicher) werden.

Eine Rückführung der Daten kann aber auch innerhalb der Konstruktion zu stetigen Verbesserungen der Modelldaten führen. Schon heute entwickeln sich die 2D- und 3D-Modelle zum Informationsträger für den gesamten CAD / CAM-Prozess, da die Fertigung möglichst viele Informationen bereits direkt aus den digitalen Modellen extrahieren möchte. Die mit dem CAM-System erstellten Arbeitspläne bilden gewissermaßen das vorhandene Fertigungswissen ab und entwickeln sich mit steigender Komplexität der Fertigungsprozesse zunehmend zu einem Differenzierungsmerkmal von Wettbewerbern. (s. KIEF ET AL. 2017, S. 641–642) Dies gilt gleichermaßen für Rückschlüsse die aus Energiedaten gewonnen werden können und durch Anwendung von Simulation zu Veränderungen bspw. der Bauteilgeometrien, verwendeten Materialien etc. führen mit dem Ziel die energetische Leistung gleichwohl im Lebenszyklus des Produkts und des eigentlichen Fertigungsprozesses kontinuierlich zu verbessern. Für bestimmte Anwendungen vor allem bei kleinen Stückzahlen kann bspw. die Technologie des 3D-Drucks gegenüber herkömmlichen Verfahren als eine nachhaltige und Energieeffizienz fördernde Zukunftstechnologie betrachtet werden. Beim 3D-Druck wird anders als bei subtraktiven Herstellungsverfahren bei der Produktion von Bauteilen erheblich weniger Material verbraucht. Darüber hinaus lassen sich quasi beliebige Bauteile aller möglichen geometrischen Formen herstellen, die gleichzeitig besonders leicht und dennoch hochfest sind. (s. FASTERMANN 2017, S. 302–303) Auch hier stellt das Elekt-

rofahrzeug von *Streetscooter* bzw. einer der ersten Prototypen der C16 Reihe, ein anschauliches Beispiel aus der Praxis für diesen Zusammenhang dar, bei dem durch den 3D-Druck der Front-, Heck- und Türpaneele sowie Stoßfänger, Seitenschweller, Radkästen und Scheinwerferblenden und auch Innenraum-Komponenten wie das Armaturenbrett, die Konzeption und Konstruktion des Fahrzeugs erheblich beschleunigt werden konnten. (s. TEIPEL 2014)

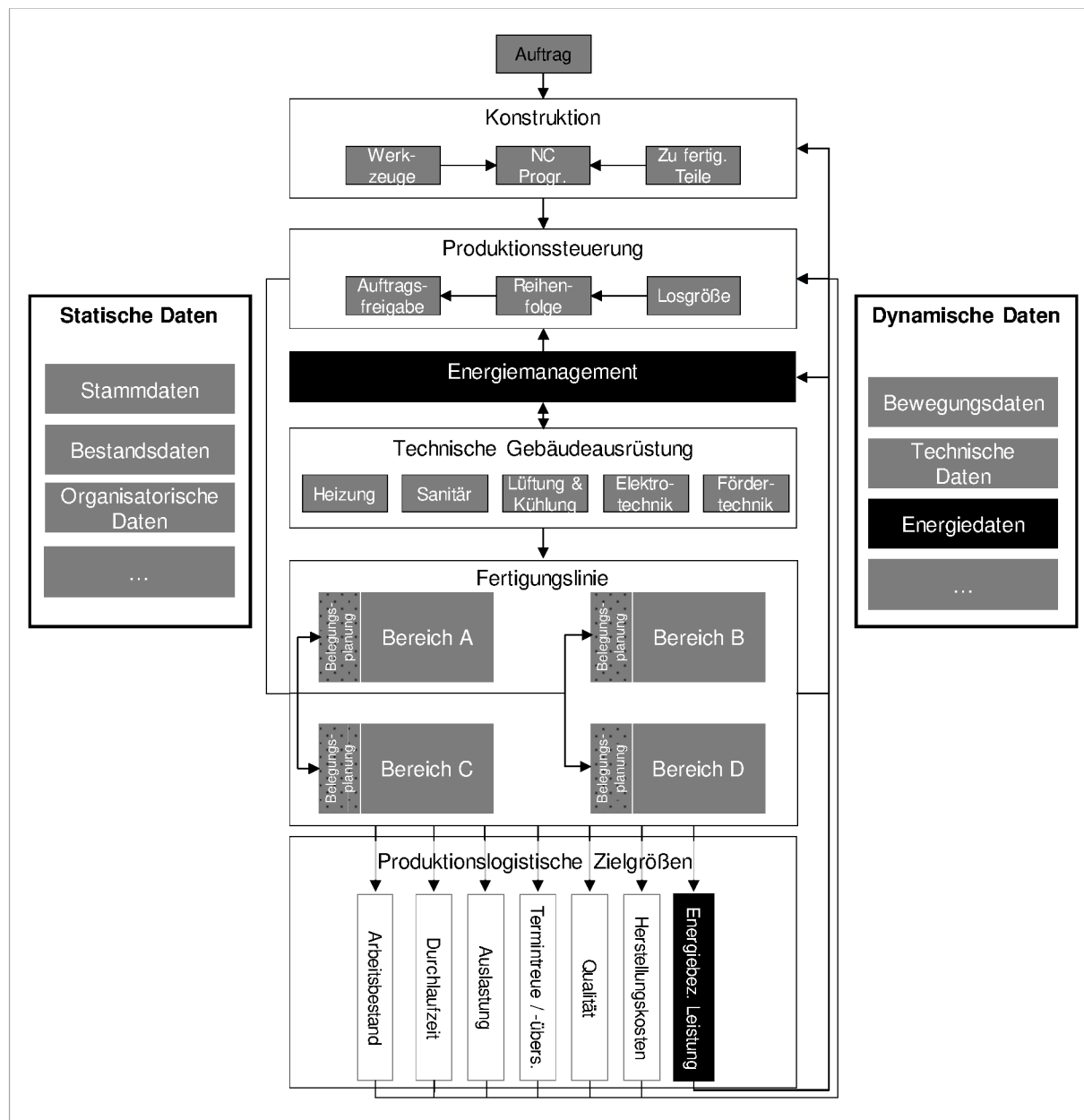


Abbildung 44: Energiebezogene Leistung als Zielgröße der Produktionslogistik
(i. A. a. BRANDENBURG 2016, S. 132)

Maschine und Steuereinheiten

Auf dem *Shopfloor* bilden *Computerized Numerical Control*-Maschinen (CNC-Maschinen) den Grundstein moderner Fertigungseinrichtungen. (s. KIEF ET AL. 2017, S. 279) Bearbeitungszentren stellen CNC-Maschinen mit mindestens 3 *Numerical*

Control-Achsen (NC-Achsen), einem Werkzeugmagazin mit automatischem Werkzeug- und Werkstückwechsler dar. (s. KIEF ET AL. 2017, S. 371) Ein Bearbeitungszentrum mit einem begrenzten nacheinander abgearbeiteten Teilevorrat wird als flexible Fertigungszelle bezeichnet. (s. KIEF ET AL. 2017, S. 436) Industrieroboter haben ähnliche Kennzeichen und Merkmale wie CNC-Maschinen, jedoch sehr unterschiedliche Kinematiken und spezielle, flexible Steuerungen. (s. KIEF ET AL. 2017, S. 438) Die Bearbeitung von Werkstücken mit CNC-Maschinen erfordert die Programmierung werkstückspezifischer NC-Programme. Ein NC-Programm enthält alle Informationen zur Bewegung der Achsen in Form der Weginformationen und zur Aktivierung der Schaltfunktionen. (s. HEINRICH ET AL. 2017, S. 49) Der NC-Programmaufbau ist für die manuelle Programmierung bzw. Programmierung an der Maschine durch DIN Norm 66025 bzw. DIN / ISO 66026 standardisiert. Für dreidimensionale und sehr komplexe Bearbeitungen scheiden in der Regel beide dieser Programmierarten aus. Hier wird die Programmierung u.a. aus Effizienzgründen über CAD / CAM-Systeme oder PC mit Programmiersystem realisiert. (s. HEINRICH ET AL. 2017, S. 611) Spezielle Anpassungen an spezifische CNC-Maschinen erfolgen entweder im CAD-Rechner oder in einem nachgeschalteten Programmiersystem (CAM) durch sogenannte Postprozessoren. (s. HEINRICH ET AL. 2017, S. 614)

Lohnenswert wird eine flexible Produktion erst mit eigenen Erzeugungsanlagen, die Unternehmen ermöglichen am Markt zu kaufen, Eigenerzeugung zu nutzen oder die Produktion anzupassen. (s. BOLAY U. MEYER 2015, S. 15) Nahezu alle Unternehmen die in Energieeffizienzmaßnahmen investieren schaffen sich auch Anlagen zur Energieerzeugung an, sodass die eigene PV-Anlagen oder eigene Blockheizkraftwerke (BHKW) inzwischen fast zum Standard wird. (s. ZUBERER 2015, S. 1) In größeren Anlagen im industriellen Bereich sorgen Wechselrichter (WR) für die Steuerung von PV-Anlagen. In Kombination mit Datenloggern liefern diese verschiedene Betriebsparameter auch über das Internet. Ganz ähnlich verhält es sich mit BHKW die bereits verschiedene Betriebsparameter über das Internet mit ihrer Umwelt teilen können.

Feldgeräte, Sensoren und Aktoren

Die Erfassung von Bewegungsdaten in produzierenden Unternehmen kann durch Maschinen- und Betriebsdatenerfassungssysteme erfolgen. Sensoren stellen nachgeordneten Baugruppen, erfassend oder messend, Informationen in der Regel in Form von elektrischen Signalen über Veränderungen in zumeist technischen Systemen zur Verfügung. (s. HEINRICH ET AL. 2017, S. 29) Hierzu erfolgt in den meisten Fällen eine Umwandlung nicht elektrischer Messgrößen in elektrische Signale die anschließend in standardisierte Einheitssignale gewandelt werden. (s. HEINRICH ET AL. 2017, S. 30)

Sensoren stellen wichtige *Enabler* für die Realisierung CPS. In CPS werden informations- und *software*technische Komponenten mit mechanischen Komponenten über ein Netzwerk miteinander verbunden, kontrolliert und gesteuert. Kontrolle und Steuerung werden in CPS weitgehend im Netzwerk verteilt und immer häufiger durch eingebettete Systeme (*Embedded System*) vollständig automatisch durchgeführt. Abbildung

45 zeigt die Funktionselemente eines Sensors und eine Einordnung verschiedener Sensortypen in Abhängigkeit des Funktionsumfangs.

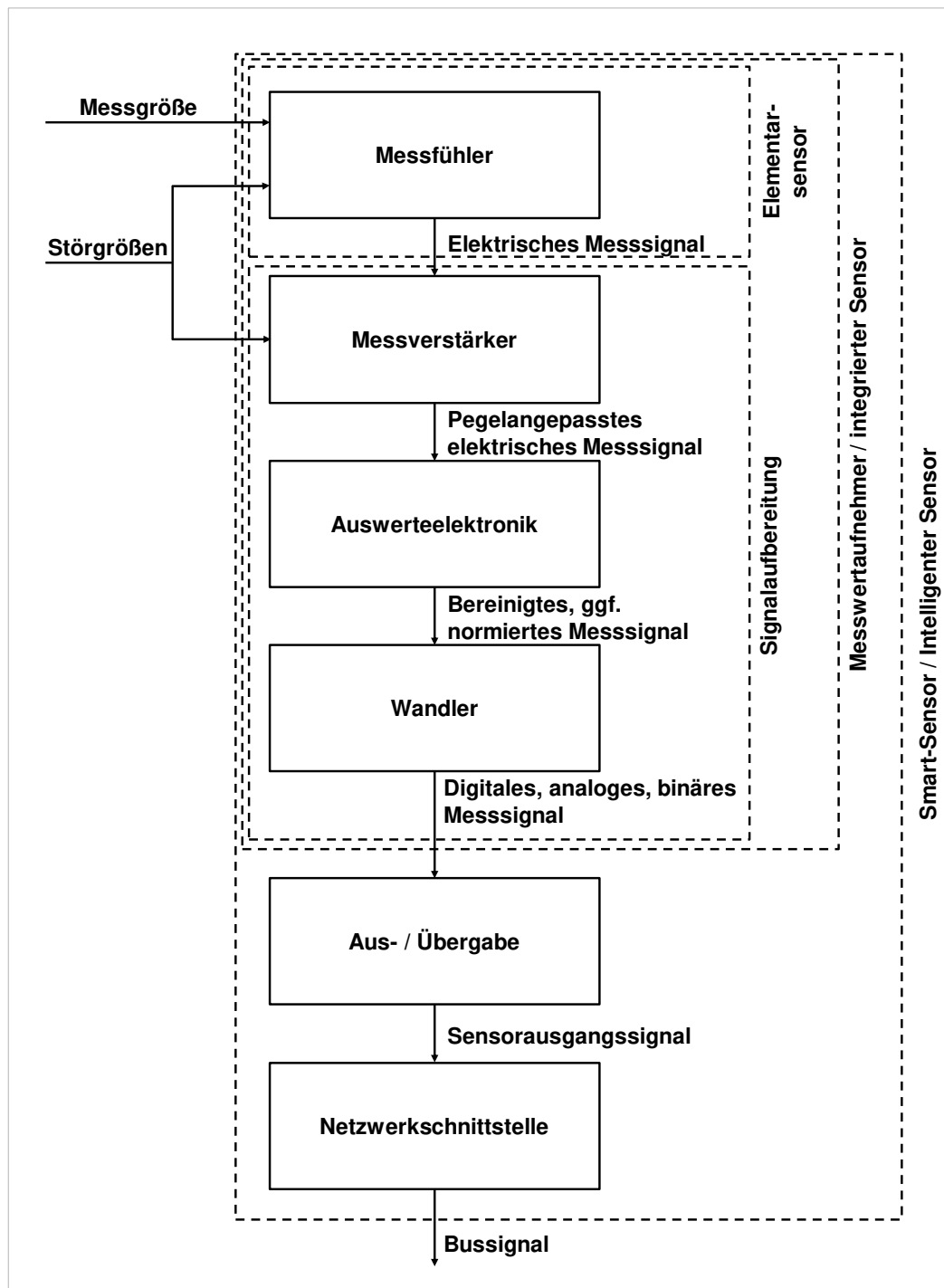


Abbildung 45: Funktionselemente eines Sensors (s. HEINRICH, S.38)

Durch den Zusammenschluss verschiedener miniaturisierter und energieeffizienter Sensoren (Sensorknoten) innerhalb eines funktechnologiebasierten Kommunikationsnetzwerks entstehen Sensornetzwerke. (s. MATTERN 2005, S. 58) Die Aufgabe eines einzelnen Sensorknotens in einem Sensornetzwerk besteht grundsätzlich nur darin, bestimmte Umgebungsparameter mit dem ihm zur Verfügung stehenden Mitteln zu

erfassen. Innerhalb des Sensornetzwerks tauschen benachbarte Sensoren mit redundanten oder komplementären Mitteln zur Aufgabenerfüllung Informationen aus. Diese Kooperation der einzelnen Sensorknoten im Netzwerk ist entscheidend dafür wesentliche Eigenschaften eines Phänomens zu erkennen und über die Zeit hinweg zu beobachten. (s. MATTERN 2005, S. 59) Sensoren lassen sich in einem solchen Netzwerk hinsichtlich ihrer Leistungsaufnahme in Mikrowattknoten, Milliwattknoten und Wattknoten gliedern. Mikrowattknoten nehmen nur einfachste sensorische Aufgaben wahr und können so über Monate hinweg autonom betrieben werden. Milliwattknoten grenzen sich von diesen durch höherwertige Aufgaben und dafür meist kürzeren batteriebetriebenen Nutzungsdauern ab. Wattknoten stellen schließlich an das Stromnetz angeschlossene Systeme dar und nehmen in solch einem Verbund zumeist die *Server*- oder *Gateway*-funktion wahr. (s. MATTERN 2005, S. 54)

Eine interessante Entwicklung stellen in diesem Zusammenhang und auch im Hinblick auf die energiebezogene Leistung im Unternehmen (Funk-)Sensoren dar, die ohne explizite Energieversorgung ihre Messwerte einige Meter weit melden können. Die dazu notwendige Energie beziehen sie dabei entweder aus ihrer Umgebung (s. *Energy harvesting*, DIN EN 62830) oder direkt aus dem Messvorgang selbst indem bspw. piezoelektrische oder pyroelektrische Materialien bei Druck- bzw. Temperaturmessungen eingesetzt werden. (s. MATTERN 2005, S. 47)

Eine wichtige Gruppe innerhalb der Industriesensorik stellen RFID- und Auto-ID Systeme (**XID**) dar, da diese die physischen *Assets* für die Informationswelt sichtbar machen. Dabei implizieren insbesondere die Mobilität der realen Objekte (Produkte, Betriebsmittel etc.) eine größere räumliche Verteilung der IT-Infrastruktur. (s. SCHRAMMEL 2008, S. 64) Das zentrale Identifikationsmerkmal von XID ist die eindeutige Identifikationsnummer (*Unique Identifier*, (UID)), die je nach Technologie entweder vom Hersteller vergeben oder selbst aus einem reservierten Nummernbereich generiert werden kann. Die UID wird beim Aufbringen des Transponders auf ein Objekt mit diesem eindeutig verknüpft. Objektbeschreibungsdaten enthalten Informationen über allgemeine Charakteristika eines Objektes, dessen Beziehungen zu anderen Objekten, sowie spezifische Eigenschaften. Diese Daten befinden sich entweder in einem verbundenen System und werden bei der Initialisierung mit der UID verknüpft oder können auch direkt auf dem Transponder befinden. Unter *Tracking*-Daten versteht man Zeitstempel und Ort der Erfassung. Die Verbindung von UID mit *Tracking*-Daten stellt ein elementares Erfassungsereignis dar, mit dessen Hilfe ein Objekt auf seinem Weg verfolgt werden kann. Umgebungsdaten (bspw. Temperatur) werden entweder vom Transponder selbst erfasst und werden bei der Erfassung ausgelesen oder mit zusätzlichen Sensoren gemessen und einem anderen System zu einem Ereignis verknüpft. Prozessdaten bezeichnen schließlich sämtliche Informationen über den Prozessschritt, indem ein Ereignis aufgetreten ist und beinhaltet bspw. Informationen darüber von wem und aus welchem Grund das Objekt erfasst wurde und in welchem Status es sich befindet. (s. SCHRAMMEL 2008, S. 74–75) Es existieren bereits auch batte-

rielse Varianten der RFID-Technik, bei der der Sensor in Abhängigkeit vom gemessenen Wert ein jeweils spezifisches Funkecho zurücksendet, sobald er mit einem Hochfrequenzsignal bestrahlt wird. (s. MATTERN 2005, S. 47) Darüber hinaus beinhaltet sie auch neben Management der schaltungstechnischen Maßnahmen der *Hardware* auch den intelligenten energiebewussten Umgang innerhalb des Systems selbst, so dass einzelne nicht benötigte Systemkomponenten zeitweise abgeschaltet oder mit reduzierter Leistung betrieben werden können. (s. MATTERN 2005, S. 54) Für die Abstimmung zwischen Erzeugung und Verbrauch stehen demnach Flexibilisierungsmaßnahmen wie DR, *X-to-Grid*, KWK-Wärmespeicher, *Power2Heat* und *Power2Gas* neben verschiedenen herkömmlichen Stromspeichertypen wie supraleitende magnetische Energiespeicher (SMES), Superkondensatoren, Schwungradspeicher, Druckluftspeicher, Pumpspeicher sowie Batterien innerhalb der Gruppe der funktionale Speicher grundsätzlich innerhalb produzierender Unternehmen zur Verfügung. Diesen können prinzipiell dieselben beschreibenden Attribute (bspw. Speicherkapazität, Nutzungsgrad, Speicherverluste etc.) zugeordnet werden und auch sekundäre Kosten wie bspw. durch Störungen der Geschäftsprozesse zugewiesen werden. (s. PFEIFROTH 2017) Batteriemanagementsysteme (BMS) bezeichnen Steuergeräte, vor allem an elektrischen Speichern von Fahrzeugen, die die Überwachungs- und Sicherheitsfunktionen im Betrieb der Batteriemodule sicherstellen sollen. BMS sind in der Lage, den aktuellen Batterieladezustand *State-of-Charge* (SOC), *State-of-Health* (SOH), sowie weitere speicherspezifische Parameter wie Zellspannung, Zellstrom, Zelltemperatur etc. zu ermitteln und diese an andere Entitäten im Bedarfsfall zu übermitteln. (s. ROSCHER ET AL. 2014a, S. 13) Der SOH stellt im Zusammenhang des Einsatzes der Batterien eine zentrale Größe für die Wirtschaftlichkeitsberechnungen dar, da sie ein Maß für den Zustand der Batterie und die verbleibende Lebensdauer darstellt. Dabei haben verschiedene Faktoren wie die Energieentnahme pro Zeit (Ladeprofil), Einfluss auf die Batteriealterung, sodass sich die Beanspruchung von Speichersystemen durch DR anhand der Veränderung des SOH auch bepreisen lässt (Kosten für Batterieverschleiß).

Produkt

XID-Technologien eröffnen Unternehmen einen weiteren Entwicklungsschwerpunkt von I4.0 in Form von *Smart Products*. Knapp jedes zweite Unternehmen erklärt zurzeit mindestens ein *Smart Product* in der Erprobungs- oder in der Pilotphase zu besitzen, während jedes dritte Unternehmen bereits marktfähige Produkte im Angebot haben will. (s. FREISINGER 2017) Ein konkretes Beispiel für ein *Smart Product* stellt, demnach das auch für diese Arbeit an verschiedenen Stellen relevante Produkt des Elektrofahrzeugs dar. Der *Streetscooter* verfügt über eine sogenannte *Car2Cloud-Box* (*Gateway*) die eine IKT-Kernkomponente zur Kommunikation zwischen den Fahrzeugen und den *Cloud*-Elementen darstellt. (s. DEINDL, ROSCHER ET AL. 2015, S. 289) *Gateways* ermöglichen völlig unterschiedliche und inkompatible Netze miteinander zu verbinden und

decken dabei alle sieben Schichten (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 157) des in Abbildung 48 abgebildeten und in Kapitel 7.3.4 detailliert beschriebenen *Open Systems Interconnection*-Referenzmodell (OSI-RM) ab.

Smart Products stehen somit immer häufiger im Spannungsfeld zwischen der kundenseitigen Forderung nach einer nachhaltigen energieeffizienten Produktion und einem immer höheren Bedarf nach Individualisierung. Die Produktionslandschaft von *Smart Products* ist folglich heute durch eine hohe Produktvielfalt und immer kürzeren Produktlebenszyklen geprägt. Diese führen in der Konstruktion (*Engineering*) zu immer komplexer werdenden Bauteilgeometrien in immer kleineren Lösgrößen und somit auch zu einem höheren Datenaufkommen durch Papierzeichnungen, 2D und 3D CAD-Daten. In der Arbeitsvorbereitung führt das zu einer steigenden Frequenz neu zu programmierender NC-Programme. Auf dem *Shopfloor* schlägt sich dies in der zunehmenden Installation von *allround* Maschinen nieder. Dies führt in der Arbeitsvorbereitung wiederum zu steigenden Ansprüchen an CAM-Systeme aufgrund der steigenden Komplexität bei der Beherrschung, die mit sehr unterschiedlichen und zahlreicher werdenden Bearbeitungsverfahren einer Komplettbearbeitung einhergehen. (s. KIEF ET AL. 2017, S. 630–631) Auch diesem Zusammenhang kann die Rückführung von Energiedaten zusammen mit den Bewegungsdaten der Produktion bei der Zusammenführung mit den spezifischen Daten des *Smart Products* im *Engineering* zu Verbesserungen der energiebezogenen Leistung auf verschiedenen Ebenen führen. Auf Produkt- und Fertigungsprozessebene können somit bereits bestehende EnPI wie bspw. *Energy-Efficiency-of-Equipment* (EEE) viel schärfer einzelnen Aktivitäten und Akteuren zugerechnet werden. (s. ROSCHER ET AL. 2015a, S. 42) Außerdem erlaubt die viel detaillierte Datenbasis auch die Definition völlig neuartiger EnPI wie den energetischen Fingerabdruck (s. ROSCHER ET AL. 2015c, S. 46) eines beliebigen *Assets*. Die so immer weiter wachsende Datenbasis geht mit einem stetigen Wissenszuwachs (Fertigungswissen) (s. KIEF ET AL. 2017, S. 641) der Organisation einher und erlaubt auch den Vergleich der eingesetzten Technologien im Produktionsprozess zwischen verschiedenen Werken (*Benchmarking*). Dies kann zur Verbesserung der Prozessführung beitragen oder aber zu Investitionen in energieeffizientere Technologien führen.

Das Elektrofahrzeug als Produkt repräsentiert darüber hinaus einen besonderen Fall indem das eigentliche Produkt selbst aktives Element innerhalb der unternehmensinternen Wertschöpfung sein kann, indem es aufgrund seines integrierten funktionalen Speichers *Vehicle-to-Grid* und Netzdienstleistungen im Sinne des Unternehmens ermöglicht. (s. ZELLER, ROSCHER ET AL. 2015, S. 111) Im Anwendungsfall der *Streetscooter* GmbH wird bei tatsächlicher Realisierung der geplanten Jahresproduktion von 20.000 E-Transportern in 2018 (s. WILKENS 2017) das im Anhang A6 beschriebene Aggregatoren-Geschäftsmodell in naher Zukunft bereits ein ernstzunehmender *Business Case*.

Für sämtliche bisherigen Betrachtungen lässt sich zusammenfassend festhalten, dass je vollständiger die zugrunde liegenden Modelldaten die Realität abbilden können, desto qualifizierter können technische Systeme und Prozesse simuliert und daraus

verlässliche Entscheidungen getroffen werden. Die Fertigungssimulation stellt somit heute eine Schlüsseltechnologie für die computergestützte Produktentwicklung und Produktionstechnik und somit auch für das EM dar. (s. KIEF ET AL. 2017, S. 648) Die bisher in diesem Kapitel beschriebenen Informationsflüsse im FEnIM stellen somit zusammen mit der Datenmodellierung und Speicherung zwei Seiten einer gemeinsamen Medaille dar.

Datenmodellierung und Datenspeicherung

Im Prozess der Datenmodellierung werden vorliegende konzeptionelle Datenmodelle bspw. als Bestandteil von Fachkonzepten der syntaktischen Ebene der Informationsverarbeitung zugerechnet. (s. JAROSCH 2016, S. 158) Damit diese auch durch Computersysteme verarbeitet werden können muss eine Transformation des konzeptionellen Datenmodells in ein logisches Datenschema überführt werden. Die zentrale Herausforderung besteht an dieser Stelle vor allem darin das konzeptionelle Modell möglichst ohne Einbußen an semantischem Gehalt mit den verfügbaren Strukturierungsmitteln vorhandener kommerzieller DBMS in das logische Datenschema zu überführen. (s. JAROSCH 2016, S. 159–160)

Für die Spezifikation von Datenelementen gilt IEC / TR 62832-1:2016 in der allgemeine Prinzipien für ein Rahmenwerk der digitalen Fabrik (*Digital Factory (DF) Framework*) definiert wurden. Das DF *Framework* definiert ein Rahmenwerk abstrakter Definitionen für *Assets* von automatisierten Systemen, den strukturellen und Verhaltensbeziehungen, dem Eigenschafts- bzw. Merkmalsmanagement, der hierarchischen Beziehungen sowie den technischen Aspekten. (s. ADOLPHS ET AL. 2016, S. 10) Abbildung 46 gibt einen Überblick über die Begriffszusammenhänge der DF *Frameworks* die nachfolgend skizziert werden.

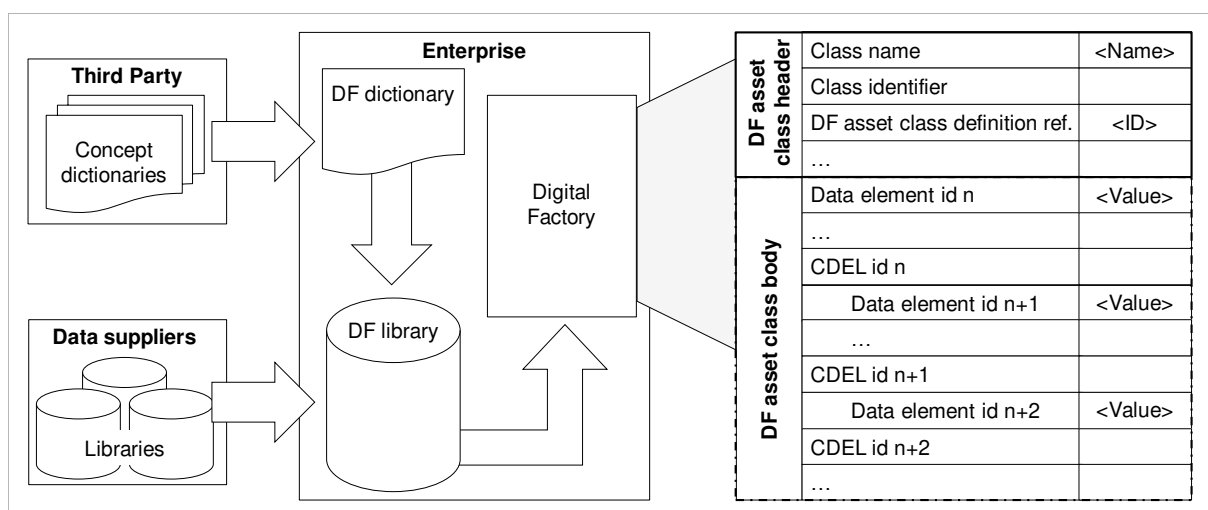


Abbildung 46: DF Framework (s. IEC 2016b, S. 15)

Reale *Assets* der Produktion (*Production System (PS Assets)*) werden in Form von DF *Assets* virtuell abgebildet. Klassen von *Assets* werden durch DF *Asset Class* modelliert und repräsentieren damit ein oder mehrere PS *Assets* mit dem gleichen Satz von Eigenschaften. PS *Asset* Eigenschaften werden durch Datenelemente beschrieben. (s.

ADOLPHS ET AL. 2016, S. 10) *Concept Dictionaries* werden von Dritten wie bspw. Standardisierungsorganisationen angeboten und in das DF *Dictionary* integriert. *Concept Dictionaries* enthalten *Asset* Klassendefinitionen (*Asset Class Definition*), Datenelementtypen (*Data Element Type*) sowie Sammlungen von Datenelementtypendefinitionen (*Collections of Data Element Typs (CDEL) Definitions*) und müssen durch *Concept Identifier* (auch: *International Registration Data Identifier*) gemäß ISO TS 29002-5 bzw. ISO / IEC 11179 innerhalb des DF RM eindeutig identifiziert sein. (s. IEC 2016b, S. 17–19) DF *Dictionaries* werden dazu genutzt um unternehmensspezifische DF *Asset Classes* zu entwerfen. Ein DF *Dictionary* kann *Concept Dictionaries* mehrerer verschiedener Domänen wie bspw. der Automatisierungs- und Energietechnik in sich bündeln. DF *Dictionaries* enthalten Datenelemente sowie CDEL. Ein Datenelement stellt eine Repräsentation eines *Asset* Charakteristikums in Form einer Referenz zu einem Datenelementtyp und dem zugehörigen Wert dar. Der Wert eines Datenelements kann dabei definiert oder undefiniert sein. DF *Asset* Klassen beschreiben eine Zusammenstellung von DF *Assets* die sich einheitliche Datentypen teilen. DF *Asset* Klassen stellen Ableitungen einer oder mehrerer DF *Asset* Klassendefinitionen dar und bestehen aus einem *Header* und *Body* Teil. Der *Header* dient als Verwaltungsinstrument zugehöriger DF *Asset* Klassen innerhalb von *Libraries*. Auf diese Weise liefert der *Header* Informationen zur Identifikation, optionale Informationen zur Filterung und Referenzen zu anderen DF *Asset* Klassendefinitionen. Die Informationen im *Header* werden als CDEL organisiert. Ein DF *Asset* Klassen *Body* beschreibt die Charakteristika und Struktur oder die Anforderungen eines *Assets*. Die Inhalte des *Bodys* leiten sich aus den referenzierten DF *Asset* Klassendefinitionen ab und können darüber hinaus durch weiteren Inhalt (Datenelemente und CDEL) ergänzt werden. (s. IEC 2016b, S. 19–24)} Abbildung 46 zeigt ein Beispiel einer DF *Asset* Klasse *Libraries* vereinfachen Wiederverwendungen beim Systemdesign indem sie standardisierte Klassen anbieten. Die Normenreihe DIN EN 61360 und DIN EN 61987 stellen die beiden wesentlichen *Concept Dictionaries* für die Definition der Datenstrukturen und –elemente von *Asset* der Produktion. DIN EN 61360-1 liefert die allgemeine Grundlage für die eindeutige Festlegung charakteristischer Eigenschaften in Form von Datenelementtypen für alle Elemente elektronischer Systeme. (s. IEC 2016b, S. 6) Innerhalb der Normenreihe IEC 61987 finden sich darauf aufbauend spezifische Kataloge der Prozessleittechnik über die sowohl die physischen als auch die rollenbasierten Bestandteile der DF *Asset Body class* für beliebige *Assets* der industriellen Leittechnik abgeleitet werden können. (s. IEC 2016b, S. 21)

Hierbei sind die technischen Möglichkeiten der Ablage der verschiedenen spezifizierten Datenelemente der Digitalen Fabrik, insbesondere in Form von Angaben über *Assets* und über ihre sachlogischen Zusammenhänge, in Datenbanken allerdings sehr vielfältig und hängen im Wesentlichen vom zugrunde liegenden Datenbank Modell ab, dem eine Datenbank zu zuordnen ist. Eine Definition des Begriffs Datenbank Modell bezeichnet dieses als ein logisches Beziehungsgebilde, durch das festgelegt wird, in welcher Weise die Datensätze, die die einzelnen Objekte beschreiben, miteinander in

Verbindung gebracht werden können. (s. JAROSCH 2016, S. 115) Man untergliedert in hierarchische, netzwerk-, relationale, objektorientierte, objekt-relationale, verteilte, deduktive Datenbank Modelle sowie XML. (s. KEMPER U. EICKLER 2009, S. 26) Das relationale Datenbank Modell hat sich heute zum Marktstandard entwickelt (s. KEMPER U. EICKLER 2009, S. 116), wohingegen den beiden erstgenannten Datenbank Modellen heute eher nur noch historische Bedeutung zukommt, da diese nur noch in Altinstallationen von DBS vorkommen. (s. KEMPER U. EICKLER 2009, S. 26) Das relationale Datenbank Modell besteht im Wesentlichen aus flachen Tabellen (*Relationen*), in deren Zeilen sich die Datenobjekte befinden. (s. KEMPER U. EICKLER 2009, S. 71) Für komplexere Anwendungsbereiche wie bspw. ingenieurwissenschaftliche Entwurfsanwendungen war das verhältnismäßig simple relationale Datenbank Modell nicht mehr ausreichend. Hierzu wurden durch objektorientierte Datenbank Modell die strukturelle Repräsentation mit der verhaltensmäßigen (operationalen) Komponente in einem Objekttyp integriert. Auf diese Weise werden strukturell und verhaltensmäßig ähnliche Objekte in einem gemeinsamen Objekttyp spezifiziert. Weiterhin können Objekttypen durch den Vererbungsmechanismus in eine Generalisierungs- bzw. Spezialisierungshierarchie strukturiert werden. (s. KEMPER U. EICKLER 2009, S. 371) Das objekt-relationale Datenbank Modell stellt eine funktionale Erweiterung des relationalen Datenbank Modells, durch die Integration von Konzepten der objektorientierten Datenmodellierung in das relationale Modell dar. (s. KEMPER U. EICKLER 2009, S. 409) Unter dem deduktiven Datenbank Modell versteht man eine Erweiterung des relationalen Datenbank Modells um eine auf dem Prädikatenkalkül (Logik der ersten Stufe) basierende Deduktionskomponente. Durch Auswertung von Deduktionsregeln kann auf diese Weise weiteres Wissen aus den in der Datenbasis abgespeicherten Fakten gewonnen werden. (s. KEMPER U. EICKLER 2009, S. 433) Verteilte und parallele Datenbanken gewinnen durch die Digitalisierung und immer größere globale Vernetzung in den letzten Jahren immer drastischer an Bedeutung. Durch parallele Datenbanken lassen sich vor allem Leistungs- und Verfügbarkeitsbeschränkungen zentralisierter Datenbanken weitgehend beheben, sodass Transaktionen und Anfragen einer Datenbank parallel auf mehreren Prozessoren bzw. Rechnern in einem lokalen *Cluster* bzw. Rechenzentrum ausgeführt werden können. (s. RAHM ET AL. 2015, S. 5) Verteilte DBS unterstützen im Gegensatz zu parallelen DBS eine geografisch verteilte Datenverarbeitung, sowie eine Anpassung an dezentrale Organisationsstrukturen. (s. RAHM ET AL. 2015, S. 6) Die Kooperation zwischen autonom arbeitenden Stationen, die über ein Kommunikationsnetzwerk Informationen austauschen um eine globale Aufgabe durchführen zu können, ist demnach charakteristisch für verteilte DBS. (s. KEMPER U. EICKLER 2009, S. 461) Aktuelle Ansätze zur parallelen und verteilten Datenverarbeitung werden in sogenannten NoSQL-Systemen (NoSQL-S) berücksichtigt und basieren nicht auf dem relationalen Datenbank Modell, sondern verwalten Sätze in Form von Schlüssel-Wert-Paaren, Dokumenten oder Graphen (NoSQL-S). (s. RAHM ET AL. 2015, S. 4) Im Kontext von *Big Data* haben NoSQL-S in den letzten Jahren viel Aufmerksamkeit und somit auch stärkere Verbreitung gefunden. Dieser Umstand resultierte im Wesentlichen aus dem Internet und den sozialen Netzwerken, in denen es vermehrt darum geht, neben

strukturierten Daten, vor allem auch große Mengen teilstrukturierter bzw. unstrukturierter Daten in Form von Texten, Fotos, Videos etc. hoch skalierbar im Hinblick auf Datenvolumen und Nutzeranzahl unter ständiger Erreichbarkeit verarbeiten zu können. Die *Open-Source* Umgebung Hadoop wird heute für zahlreiche *Big Data* Anwendungen eingesetzt und bildet eine der populärsten Umsetzungen des Ausführungsmodells *MapReduce*. (s. RAHM ET AL. 2015, S. 65) Die *Extensible Markup Language* (XML) ist ein standardisiertes Datenaustauschformat zwischen verteilten Anwendungen im Internet. Aufgrund seiner Eigenschaften kann man XML auch als Datenbank Modell für semi-strukturierte Daten betrachten, da in XML kontext- bzw. anwendungsspezifische Tags verwendet werden, die die Bedeutung der Elemente angeben und nicht nur lediglich die Formatierung bzw. Struktur. Folglich kann das XML Datenbank Modell neben Daten mit einheitlicher fest vorgegebener Struktur, auch Elemente beinhalten die diesem einheitlichen statischen Schema nicht unterliegen. (s. KEMPER U. EICKLER 2009, S. 573) Für weitergehende Informationen zu den existierenden Datenbank Modellen soll an dieser Stelle an die reichlich vorhandene Datenbank Literatur verwiesen werden. (vgl. KEMPER U. EICKLER 2009)

In der betrieblichen Praxis unterscheidet man im Wesentlichen zwei Klassen von Datenbank Anwendungen. Die erste Klasse repräsentiert *Online Transaction Processing* (OLTP)-Anwendungen die in der Regel das operative Tagesgeschäft der Unternehmen abwickeln wie bspw. SAP R / 3 etc. Die zweite Klasse bilden entscheidungsunterstützende (*Decision Support*) Anwendungen, die auf Basis von Auswertungen (*Online Analytical Processing* (OLAP)) dazu beitragen sollen aus großen Datenmengen die möglichst richtigen Schlussfolgerungen zu ziehen. (s. RAHM ET AL. 2015, S. 3) OLAP- Anwendungen greifen im Gegensatz zu OLTP-Anwendungen nicht nur auf den jüngsten aktuell gültigen Zustand des Datenbestands zu, sondern beziehen explizit historische Daten in die Auswertungen mit ein. Auf diese Weise bilden OLAP-Auswertungen die Grundlage für strategische Unternehmensplanung und sind demnach meist integrierter Bestandteil umfassender *Decision-Support-Systeme* oder Management-Informationssysteme. (s. KEMPER U. EICKLER 2009, S. 517) Der Betrieb von DBS sowie den damit verbundenen OLTP- und OLAP-Anwendungen erfolgt dabei immer häufiger nicht mehr nur noch in den Unternehmen und Einrichtungen in denen die Daten anfallen, sondern immer häufiger von über das Internet erreichbaren *Cloud-Plattformen*. (s. RAHM ET AL. 2015, S. 4)

Im konventionellen EM kommen typischerweise derzeit noch überwiegend OLTP-Anwendungen zum Einsatz und bieten für die transaktionsbasierten Energiemanagementfunktionen wie Energieportfolio, Kostenabrechnung, *Energiecontrolling*, Berichtswesen etc. den datenbanktechnischen Zugriffsrahmen. Zukünftig werden im EM aber immer häufiger OLAP-Anwendungen herangezogen werden, um den immer weiter steigenden Anforderungen an Unterstützung in immer komplexeren Entscheidungssituationen gerecht werden zu können. Folglich werden OLAP-Anwendungen für Energiemanagementfunktionen wie Leistungsoptimierung, Simulation, Leistungsprognose, DA etc. im zukünftigen praktischen Einsatz immer interessanter.

Zusammenfassung

In diesem Kapitel wurde gezeigt, dass die Einsatzmöglichkeiten des EM und den EnIS als Unterstützungssysteme wesentlich von der existierenden Infrastruktur und der vorhandenen Datenbasis abhängt. In der Praxis zeigt sich aber das in der Industrie bezüglich des allgemeinen Einsatzes von IS heterogene Verhältnisse vorherrschen. So nutzen im Jahr 2015 insgesamt 68% der Unternehmen des Verarbeiteten Gewerbes ERP-Software. Der tatsächliche Einsatz ist dabei aber stark von der Unternehmensgröße abhängig. So setzen kleine Unternehmen bis 49 Mitarbeiter lediglich in 51% der Fälle ERP-Software ein, wohingegen diese bei Unternehmen mit mehr als 250 Mitarbeitern bereits in 93% der Fälle Verwendung findet. (s. DESTATIS 2015b, S. 19) Horizontal integriert bspw. durch den Einsatz von SCM-Software sind nur noch 26% der gesamten Unternehmen. Bei kleinen Unternehmen bis 49 Mitarbeiter sind es sogar nur noch 21% und bei Großunternehmen 62%. (s. DESTATIS 2015b, S. 21) Aber auch die vertikale Integration von kaufmännischen Anwendungen und MES zeichnen vor allem im Mittelstand ein uneinheitliches Bild. 67% setzen hier bereits auf IT-Lösungen für die BDE bzw. MDE und 58% haben ihr MES an ihre kaufmännische Systeme angebunden. (s. PAC 2016, S. 10–11)

Für ein effizientes EM ist der Einbezug von Kontextinformationen unerlässlich. Dies betrifft die **BDE und Maschinenzustände** einerseits und die Entwicklung von Kommunikations- und Logikbausteinen zur Verarbeitung der erfassten energierelevanten Daten andererseits. Die völlig neuartigen Rahmenbedingungen impliziert durch Energiewende und Digitalisierung, machen die Definition von Fachkonzepten in vielfältigsten Anwendungszusammenhängen als notwendige Ausgangsbasis für die Abbildung von realem Expertenwissens in die Informationswelt erforderlich. Erst die durch Computerrechenleistung unterstützte Analyse der Informationen aus den verschiedensten technischen System der Fertigung im Kontext der jeweiligen Produktionsumgebung ermöglichen die Identifizierung von Potenzialen zur Verbesserung der energetischen Leistung von Unternehmen und ermöglichen somit die Ableitung der dazu erforderlichen Maßnahmen im EM. Produktionsübergreifende, statische Faktoren finden hierbei genauso Berücksichtigung wie dynamische Zustands- und Bewegungsdaten des Produktes selbst. (s. BRUHNKE U. ROSCHER 2015, S. 265) Zur Erreichung dieser Ziele stellt die universelle Datenmodellierung und die Transformation der durch sie repräsentierten konzeptionellen Datenmodelle in logische Datenschemata des im Einzelfall jeweils zugrunde liegenden Datenbank Modells, folglich eine zentrale Voraussetzung dar.

7.3.4 Communication

Über die Kommunikationsschicht wird der I4.0-konforme Zugriff auf Informationen und Funktionen innerhalb vernetzter Assets beschrieben. (s. DIN SPEC 2016, S. 21) Ein Asset der Informationswelt gilt in seinem IS je nach Umfang der im IS verfügbaren Informationen entweder als nicht bekannt, anonym bekannt, individuell bekannt oder wird als Entität verwaltet. Individuell bekannte Assets sind im Gegensatz zu anonym bekannten Assets für IS über einen bekannten Namen eindeutig identifizierbar. Als

Entität verwaltete *Assets* besitzen darüber hinaus eine Repräsentation durch Informationen in Form eigener Objekte zur Verwaltung und Nutzung in der Informationswelt. (s. DIN SPEC 2016, S. 13) Die eigene Kommunikationsfähigkeit eines *Assets* ist hinsichtlich der Bekanntheit im IS keine zwingende Voraussetzung für die Verwaltung als Entität und kann ebenfalls über externe Mess-, Identifikationssysteme oder durch den Menschen ermöglicht werden. (s. DIN SPEC 2016, S. 17) Einer der zentralen Leitgedanken von I4.0 lautet, wie schematisch in Abbildung 47 dargestellt, das adaptive Zusammenstellen von IT-Systemen unterschiedlicher Hierarchiestufen (Aufbruch der klassischen Steuerungsstruktur (Automatisierungspyramide)) (s. SCHUH ET AL. 2014, 276ff) zu Gunsten einer logischen Kopplung bisher unabhängiger IT-Systeme (Interoperabilität) (s. PÖTTER ET AL. 2014, S. 166).

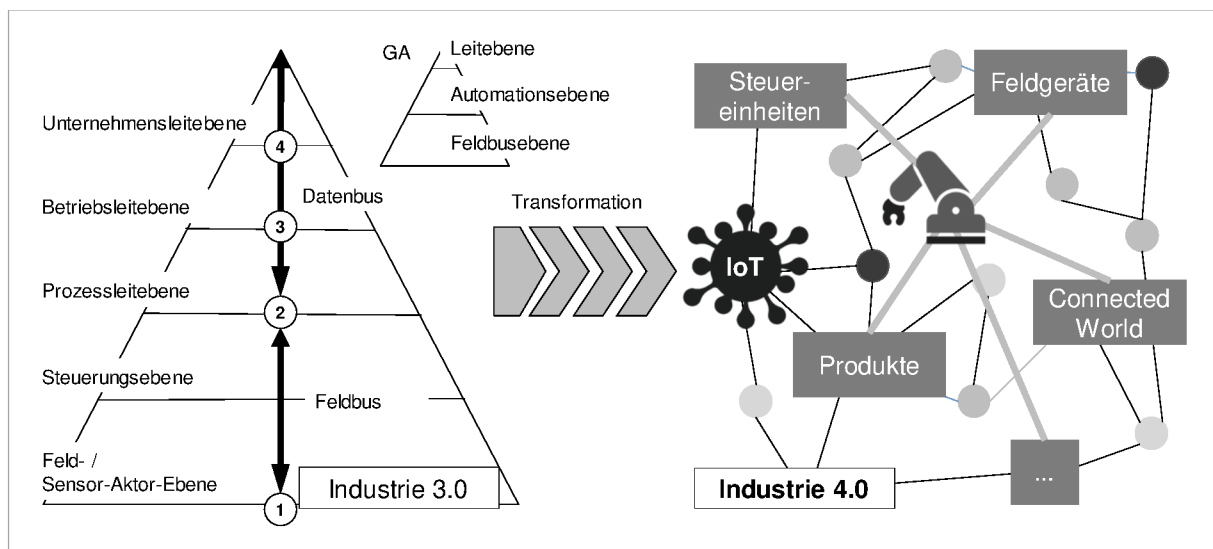


Abbildung 47: Aufbruch der Automatisierungspyramide durch das Internet der Dinge (eigene Darstellung)

Die Automatisierungspyramide erlaubt seit Jahrzehnten die logische Aufteilung der immer komplexer werdenden Produktion und den damit verbundenen vielfältigen Aufgaben innerhalb des Unternehmens. Sie besteht theoretisch aus vier hierarchisch aufeinander aufbauenden kaskadierenden kybernetischen Regelkreisen, wohingegen die Abgrenzung der oberen drei Regelkreise (2, 3 und 4) aufgrund der immer stärkeren Verschmelzung der Funktionalitäten von SCADA-, ME- und ERP-Systemen schon heute kaum noch trennscharf möglich ist. Die hierarchische Trennung wird heute aber zunehmend zu Gunsten flexiblerer Strukturen, die die direkte Kommunikation von Punkt zu Punkt ermöglichen, aufgegeben.

Eine Gruppe miteinander verbundener Systeme die in der Lage sind miteinander zu kommunizieren bezeichnet man im Allgemeinen als ein Netzwerk. (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 15) Die Struktur der Verbindung zwischen den Akteuren eines Netzwerkes bezeichnet man als Topologie. (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 15). Dabei beruhen alle Netzentwürfe auf den drei Grundtopologien *Bus*- bzw. Reihen oder auch Linien-, Stern- bzw. Knoten- und Ring- oder auch Schleifennetz. (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 23–24) *Bus* (*Business Line*) ist eine Gruppe von Leitungen, über die mehrere

parallel angeschlossene Geräteeinheiten binäre Signale austauschen können. In der Praxis unterscheidet man zwischen Adressbus, Datenbus und Steuerbus. Darüber hinaus findet häufig eine Netzwerkklassifizierung anhand der räumlichen Distanz zwischen den verbundenen Systemen statt, sodass man bei einer Ausdehnung bis ca. 500 m von einem *Local Area Network* (LAN) spricht. Bei einer sehr großen Ausdehnung wird das Netzwerk als *Wide Area Network* bezeichnet und ein globales, weltumspannendes Netzwerk wird *Global Area Network* (GAN) genannt. (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 24)

Die Möglichkeiten der Ausgestaltung der Kommunikationsstruktur sind vielfältiger Natur und werden durch sogenannte Netzwerkprotokolle definiert. Durch die Norm ISO / IEC 7498-1:1994-11 wird ein RM auf Grundlage einer Schichtenarchitektur für die Einordnung von unterschiedlichen Netzwerkprotokollen beschrieben (OSI-RM). Im OSI-RM wird jeder der sieben Schichten eine bestimmte nur von dort auszuführende Aufgabe im Kommunikationssystem zugeordnet. (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 16) Die einzelnen Schichten arbeiten nach festgelegten Regeln (Protokolle). (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 16) Wie in Abbildung 48 illustriert sind die Schichten 1-4 hauptsächlich für die Verrichtung von Diensten für den Datentransport (transportorientiert) und die Schichten 5-7 für Dienste für die Anwendung (anwendungsorientiert) verantwortlich. Die Schichten von der Anwendungs- bis zur Vermittlungsschicht werden typischerweise als *Software*lösungen realisiert, während die Verbindungssicherungsschicht und die physikalische Schicht meist als *Hardware* realisiert werden. (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 16)

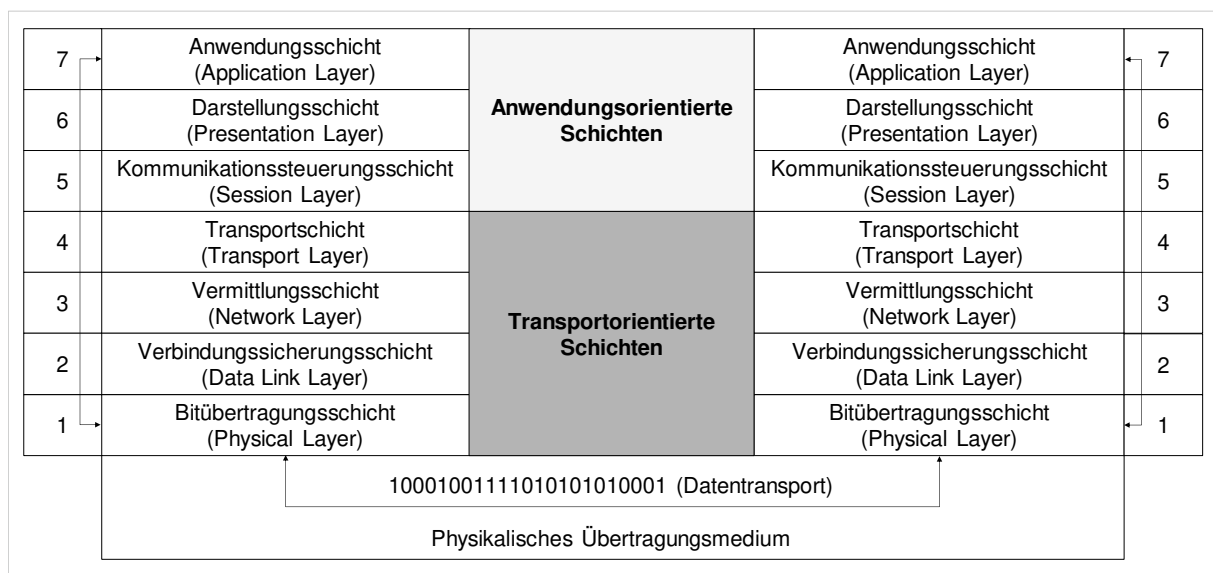


Abbildung 48: OSI-RM (s. METTER, S.17)

Jede Schicht im OSI-RM hängt bezüglich ihrer Kommunikationsfähigkeit von der über bzw. von der unter ihr liegenden Schicht ab, arbeitet aber dennoch unabhängig von diesen. Jede Schicht kann somit nur mit der gleichnamigen Schicht auf anderen Systemen kommunizieren und reicht somit wie in Abbildung 48 dargestellt ein spezifisches Datenpaket nach unten durch (Datenkapselung). Im Zuge der Datenkapselung wird

jedem Datenpaket für den Transport ein *Header* vorangestellt. (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 19–20)

Ethernet TCP / IP

Die Leistungsfähigkeit von Steuerungssystemen wird nicht allein durch die Automatisierungsgeräte und den menschlichen Bedienern und Beobachtern determiniert, sondern neben diesen vor allem durch ein leistungsfähiges Kommunikationsnetzwerk. In Industrie 3.0-Anwendungen finden heute bereits neben herstellerspezifischen Kommunikationsprotokollen zum Datenaustausch immer häufiger standardisierte Protokolle Anwendung.

Ethernet bildet die am weitesten verbreitete Datennetztechnologie, die es jedem Teilnehmer eines LAN erlaubt, mit jedem anderen an das Netzwerk angeschlossene System, Daten in Form von Datenrahmen (*Frames*) bzw. Paketen auszutauschen. Heute verbindet die Ethernet-Technologie aber auch Geräte in WAN und GAN. Aus Sicht des OSI-RM spezifiziert die Ethernet standardisierende IEEE-Norm 802.3, sowohl die physikalische Schicht (OSI-RM Layer 1), als auch die Verbindungssicherungsschicht (OSI-RM Layer 2). (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 25) Siehe dazu Abbildung 48. Zur gezielten Adressierung verbundener Systeme im Netzwerk müssen sämtliche Ethernet-Interfaces über eindeutige *Hardware*- oder *Media Access Control* (MAC) – Adressen verfügen. Diese MAC-Adresse ist für jedes Gerät weltweit eindeutig und in der Regel fest in der *Hardware* codiert. (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 30) Mit *Power over Ethernet* (PoE) wird eine standardisierte Technologie (s. IEEE Normen 802.3af bzw 802.3at) bezeichnet, die es ermöglicht netzwerkfähige Geräte über das angeschlossene Ethernet-Kabel gleichzeitig mit Strom zu versorgen. (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 42)

Ethernet kann als Basis für verschiedene Netzwerkprotokolle verwendet werden. Die TCP / IP-Protokollfamilie bildet dabei die Grundlage der nahezu gesamten Kommunikation im Internet und hat sich sowohl im Büro als auch im industriellen Umfeld bereits etabliert. (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 53) Ethernet erlaubt auch den Aufbau von Funknetzwerken (*Wireless-LAN* (LAN)) und ist für Schicht 1 und Schicht 2 des OSI-RM durch die IEEE Normen 802.11x standardisiert. (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 160) Alle Teilnehmer eines Funknetzwerkes teilen sich das Übertragungsmedium Luft, sodass für einen störungsfreien parallelen Betrieb mehrerer Funknetze, die Zuweisung verschiedene Frequenzbänder für die unterschiedlichen Anwendungen erforderlich ist. (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 166) Bei den WLAN-Topologien unterscheidet man zwischen Ad-hoc- und Infrastrukturnetzwerken. (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 168) Neben der WLAN-Technik existieren für den Nahbereich weitere Kommunikationstechniken (s. IEEE 802.15.x) wie bspw. *Bluetooth* (s. IEEE 802.15.1), *Zigbee* (s. IEEE 802.15.4) und *Ultra Wide Band* (s. IEEE 802.15.3). Darüber hinaus existieren weitere Nahfeldkommunikationsstandards wie z. B. der auf RFID-Technik basierende *Near Field Communication* (NFC) Übertragungsstandard (s. ISO / IEC 13157, -16353, -22536, -28361).

Aber auch im Bereich eines globalen Kommunikationsstandards zeigen aktuelle Entwicklungen im Kontext 5G gerade für den Bereich Industrie vielversprechende Innovationspfade auf. Demnach werden viele der neuen 5G-Funktionen schwerpunktmäßig auf die Anforderungen der Maschinen- und vertikalen Industrie ausgelegt sein, sodass diese eine 1000-fach höhere Kapazität, eine 100-fach höhere Verbindungsdichte, eine 10-fach höhere Geschwindigkeit und eine 10-fach geringere Latenzzeit im Vergleich zu den Mobilfunktechnologiestandards der 4. *Generation* (4G) bieten werden. (s. JACOBFEUERBORN 2017) Aufgrund der vielfältigen physikalischen Spezifika der Funktechnologie, die im Fertigungsbereich massiven Einflüssen ausgesetzt ist, ergeben sich in der praktischen Anwendung besondere Anforderungen an die Funkfeldplanung. Dies führte in der jüngeren Vergangenheit zu dem Beginn der Entwicklung des Industrial Ethernet, das vorhandene Standards nutzt und diese um notwendige nutzenbringende Details für die industrielle Kommunikation erweitert. (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 47)

Das TCP regelt die Übertragung und somit den eigentlichen Datenverkehr während das IP sich für die eindeutige Ansprache eines ausgewählten Systems im Netzwerk verantwortlich zeichnet. Auf der Transportschicht bildet das *User Data Protocol* (UDP) eine weitverbreitete Alternative und es existieren auch auf der Vermittlungsschicht weitere Protokolle wie ARP, RARP, ICMP etc. (vgl. METTER U. BUCHER 2007) Noch heute nutzen die überwiegende Anzahl der Unternehmen die Version vier des IP (IPv4) obwohl seit vielen Jahren bereits Version sechs (IPv6) zur Verfügung steht und das Kontingent für freie IPv4-Adressen bei vier von fünf Regional Internet Registries (RIR) bereits erschöpft ist. (s. HEYWOOD 2016) Dabei glich die Entscheidung hinsichtlich eines Umstiegs auf IPv6 für viele Unternehmen über lange Zeit einem klassischen Henne-Ei-Problem. Viele Inhalte des Internets sind noch heute ausschließlich über IPv4-Adressen zugänglich, weil Anbieter durch eine Umstellung zumeist eine Verschlechterung des Kundenerlebnisses befürchten und sie gleichzeitig keinen kundenseitigen Bedarf für IPv6 sehen. Der Bedarf beim Kunden wird auch solange nicht angeregt, solange kein ersichtlicher zusätzlicher Mehrwert aus dem Umstieg auf IPv6 resultiert. Allerdings könnte dieses Problem nun durch den steigenden Preis für *Second-Hand* IPv4-Adressen einer Lösung zugeführt werden, da der Umstieg zu IPv6 sich dadurch zunehmend zur preiswerteren Alternative entwickelt. (s. HEYWOOD 2016) Dabei bietet der neue Standard IPv6 mehr als nur 3,4 mal 10 hoch 38 (340 Sextillionen) verschiedene Adressen und ermöglicht bspw. ein effizienteres *Routing*, echte Ende-zu-Ende-Kommunikation, verbesserte Priorisierung usw.. (s. ZAGLOV 2014) IPv6 hat somit beste Voraussetzung der Standard für das Internet der Dinge zu werden, wenngleich heute noch nicht absehbar zu sein scheint wann es IPv4 ablösen kann und so eine unbestimmte Zeit des Übergangs und das Parallelbetriebs beider Standards andauern wird. Im Bereich der Schaltanlagenautomatisierung und weiteren Bereichen der Energieversorgung ist durch Norm IEC 61850 bereits ein ethernetbasiertes Stationsleitprotokoll in der Branche etabliert. Die Norm definiert den *Engineering*prozess, die Daten- und

Dienstmodelle, den Konformitätstest und die gesamte Kommunikation in Schaltanlagen. (s. SIEMENS AG 2012, S. 2) Das Stationsleitprotokoll nutzt TCP / IP und die Manufacturing Messaging Specification (MMS) zur Übertragung sogenannter GOOSE-Nachrichten (s. IEC 61850-8-1).

Industrial Ethernet und Feldbus

Die Anforderungen an Kommunikationssysteme im industriellen Umfeld unterscheiden sich in fast allen Aspekten wie Netzkomponenten, angeschlossenen Endgeräten, Netztopologien, Verfügbarkeiten, Datenaufkommen, Umgebungsbedingungen etc. ganz deutlich von denen der konventionellen *Office*-Kommunikation. Getrieben durch aktuelle Entwicklungen nimmt die Dezentralisierung der Fertigungsautomatisierung stetig zu und geht mit einer Zerlegung zentraler komplexer Steuerungsaufgaben in verteilte kleinere übersichtliche Teilaufgaben einher die gleichzeitig in einem erhöhten Kommunikationsbedarf mündet. (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 46) Die Signalübertragung zwischen Sensoren, Aktoren und der Steuereinheiten ist heute bei komplexen Maschinen und Anlagen mit mehreren verketteten Stationen üblicherweise zweigeteilt in Feld- und Sensor-Aktor-Ebene. Für die Signalübertragung zwischen Maschinenschnittstelle und zentraler Anlagensteuerung haben sich zahlreiche standardisierte Feldbussysteme als Alternative zu festverdrahteten Einzelverbindungen bereits durchgesetzt. Auf Sensor-Aktor-Ebene beschreibt Norm IEC 61131-9 ein feldbusneutrales Kommunikationsprotokoll über das intelligente Sensoren und Aktoren innerhalb von Automatisierungssystemen Punkt-zu-Punkt kommunizieren können. Unter dem Namen *IO-Link* verfügt dieser Standard über beste Voraussetzungen das bevorzugte Installationssystem zum Anschluss von Sensoren, Aktoren sowie Bedien- und Anzeigenelementen in der Produktion zu werden, da leistungsfähige Bussysteme in der Regel auf Maschinenebene nicht wirtschaftlich einsetzbar sind. (s. DRUNK U. FEINÄUGLE o.J., S. 1–2) Darüber hinaus beschreibt ebenfalls auf Sensor-Aktor-Ebene Norm DIN EN 62026-2:2015-03 das Aktuator- / Sensor *Interface* (AS-i). Das AS-i repräsentiert eine Lösung für die Netzwerkverbindung von Sensoren und Aktoren. *IO-Link* stellt somit ein Ergänzungssystem in der untersten Feldebene (Punkt-zu-Punkt) zu intelligenten Verdrahtungssystemen wie AS-i dar, das bspw. beliebige Bustopologien unterstützt. (s. SCHERFF ET AL. 1999, S. 35) XID-Systeme sind keine für sich stehenden Systeme, sodass in der Regel eine Anbindung an existierende Systeme erforderlich ist. Hierdurch ergeben sich eine Reihe verschiedener externe Systemschnittstellen, die nicht alle durchgehend standardisiert sind. (s. SCHRAMMEL 2008, S. 71–73) Im Bereich RFID existieren dabei neben Technologie-Standards (ISO 18000) für die verschiedenen Frequenzen (*Low Frequency* (LF), *High Frequency* (HF), *Ultra-High Frequency* (UHF) etc. auch Standards für die eindeutige Identifizierung von Waren (*Electronic Product Code* (EPC)).

Feldbusse sind mittlerweile fester Bestandteil jeder komplexen Fertigungslinie und haben auch über die Produktion hinaus aufgrund ihrer technischen Eigenschaften für andere Bereiche der Automatisierung wie bspw. in der Gebäudeautomatisierung Ein-

satzbereiche gefunden. Auf diese Weise existieren eine Vielzahl verschiedener Feldbussysteme im Markt. In der Praxis determiniert häufig der auf dem *Shopfloor* eingesetzte Typ der SPS, welcher Feldbus letztendlich eingesetzt wird (s. KLASSEN ET AL. 2010, S. 127), da nahezu alle unabhängigen Hersteller von Endgeräten der Automatisierungstechnik, Komponenten anbieten die Schnittstellen für mehrere Bussysteme vorhalten. (s. SCHERFF ET AL. 1999, S. 34) Ebenfalls relevant bei der Auswahl eines Feldbusses ist die Akzeptanz beim Kunden, der oft ein spezielles Feldbussystem vorschreibt. (s. SCHERFF ET AL. 1999, S. 34) Häufig organisieren sich Hersteller und Anwender in Verbänden. So unterstützt der Profibus & Profinet International Dachverband bspw. die Technologien Profibus, Profinet (Teil der Normen IEC 61158 und IEC 61784-2), Interbus, IO-Link (s. Norm IEC 61131-9) und weitere. CAN in Automation (CiA) ist eine internationale Anwender- und Herstellervereinigung, die bspw. die Technologien CANopen (s. Norm EN 50325-4) und CAN FD (s. ISO 11898) unterstützen. Ein weiteres Beispiel stellt die CC-Link Partner Association (CLPA) dar, in der im Wesentlichen die Unterstützung der Technologien Standard CC-Link und CC-Link IE im Vordergrund stehen. Schließlich soll als letztes Beispiel noch die gemeinnützige Modbus *Organization* erwähnt werden die vor allem die Technologien Modbus *Remote Terminal Unit* (RTU) und Modbus TCP (s. Norm IEC 61158) unterstützen.

Neben den spezifischen Feldbusprotokollen der Produktion existieren weitere für das EM relevante Netzwerkprotokolle bspw. in der GA. Analog zur Automatisierungspyramide der Produktion existiert auch eine wenngleich etwas weniger umfangreiche Automatisierungspyramide in der GA. Diese kann mit dreischichtigem Aufbau von der Feldbusebene, über die Automationsebene bis zur Leitebene in der Spitze dargestellt werden. Es existieren neben standardisierten Kommunikationsprotokollen wie KNX (s. Norm ISO / IEC 14543-3-x), BACnet (s. Norm ISO 16484-5) auch verschiedene herstellerspezifische Formate (Apple HomeKit, Google Weave, Microsoft AllJoyn etc.) wobei das KNX Protokoll das derzeit führende Kommunikationsprotokoll im europäischen und chinesischen Markt für *Smart Home* und dem gewerblichen Zweckbau darstellt. (s. VARDANIAN 2017, S. 1) Welcher *Bus* letztlich für die einzelnen Aufgaben am besten geeignet ist, hing in der Vergangenheit vor allem davon ab auf welcher Hierarchiestufe (Abbildung 47 links, Automatisierungspyramide) innerhalb der Produktion sich der Anwendungsbereich erstrecken soll. Die heterogene Landschaft verschiedener teils inkompatibler industrieller Kommunikationssysteme und proprietärer *Hardware* stellt heute aber zunehmend eine Barriere für die erforderliche Interoperabilität und somit für die Netzwerkverbindung zwischen Feldgeräte- und Unternehmensebene für I4.0-Anwendungen dar. Auf der Steuerungsebene ist Ethernet als Datenbus schon heute weltweiter Standard, am weitesten verbreitet und die erforderlichen Schnittstellen-Bausteine klein, preiswert und serienmäßig verfügbar. Aber auch für den übergreifenden Informationsaustausch setzen Unternehmen zunehmend auf ein einheitliches Protokoll. Auch hier hat sich Ethernet und TCP / IP durchgesetzt und bilden neben der Bürokommunikation auch die Basis des Internets. Für die Anwendung in der Fabrikauto-

mation herrschen allerdings viel höhere Anforderungen an Industrial Ethernet. In diesem Zusammenhang stellt Echtzeit-Kommunikation die wichtigsten Anforderungen dar, sodass gewährleistet werden kann, dass wichtige Informationen sofort bzw. in den erforderlichen Zeitintervallen vollständig deterministisch übertragen werden. Daneben stellt Zuverlässigkeit in den rauen und von teilweise starken Magnetfeldern durchzogenen Produktionsumgebungen eine weitere wichtige Anforderung dar, damit die fehlerfreie Datenübertragung zu jedem Zeitpunkt gewährleistet ist. Gleiches gilt für die Anforderungen an die Sicherheit um auch unautorisierte Zugriffe in jedem Fall verhindern zu können. (s. KIEF ET AL. 2017, S. 182–184) Feldbusse für industrielle Anwendungen sind in der Norm IEC 61158 standardisiert. Durch Norm IEC 61784-4 werden die unterschiedlichen Feldbussprofile in *Communication Profile Families* (CPF) einsortiert. Auf dem Markt existieren mit EtherCAT (CPF 12), EtherNet/IP (CPF 2/2), Profinet (CPF 3), Ethernet Powerlink (CPF 13), Sercos III (CPF 16/3), CC-Link IE (CPF 8) und Modbus/TCP (CPF 15/1) bereits verschiedene Industrial Ethernet Kommunikationsprotokolle. Für eine detaillierte Gegenüberstellung soll an dieser Stelle aber auf die Literatur verwiesen werden. (vgl. LIN ET AL. 2014)

NC-Maschinen werden noch häufig über automatisch lesbare Datenträger bspw. USB mit neuen NC-Programmen bespielt. Immer häufiger besteht aber auch eine direkte Datenverbindung zum Rechner (DNC), sodass NC-Programme direkt in die CNC übertragen werden können. *Distributed Numerical Control* (DNC) bezeichnet folglich die Rechneranbindung der CNCs über Datenleitungen (Datenbusse) zur unmittelbaren Übertragung der NC-Programme. Die Verbindung zum DNC-Rechner ist dabei nicht dauerhaft, sondern lediglich für die Dauer der Übertragung notwendig, wobei Programme mit Überlänge auch Stück für Stück nachgeladen werden können. (s. KIEF ET AL. 2017, S. 49–52) Insbesondere aufgrund der Langlebigkeit der NC-Werkzeugmaschinen sind heute in den Fabriken noch fast alle Übertragungsarten anzutreffen (s. KIEF ET AL. 2017, S. 672) und so werden wahrscheinlich auch Feldbusse neben dem Industrial Ethernet noch einige Jahre koexistieren.

OPC UA und DSS

Aufgrund der Vielfältigkeit der zur Verfügung stehenden Bussysteme bzw. Protokolle und dem damit verbundenen Aufwand der Integration haben sich für den Austausch von Informationen zwischen Steuereinheiten und Bedien- und Beobachtungssystemen, unabhängige standardisierte Mechanismen bewährt die über herstellerübergreifende Schnittstellen betrieben werden können. (s. BERNHARD 2011, S. 4) *Open Platform Communication* (OPC, früher *OLE for Process Control*) ist der am weitesten verbreitete Kommunikationsstandard in der Industrie.

OPC UA (s. Norm IEC 62541) bildet die neueste *Technologiegeneration* und erweitert den vorhergehenden Industriestandard um Funktionen wie Plattformunabhängigkeit, Skalierbarkeit, Hochverfügbarkeit und Internetfähigkeit. OPC UA basiert auf einer *Service Oriented Architecture* (SOA) und verwendet ein TCP-basiertes, binäres Protokoll

für den Datenaustausch über einen bei IANA eingetragenen Port 4840. (s. OPCF 2014, S. 12–13)

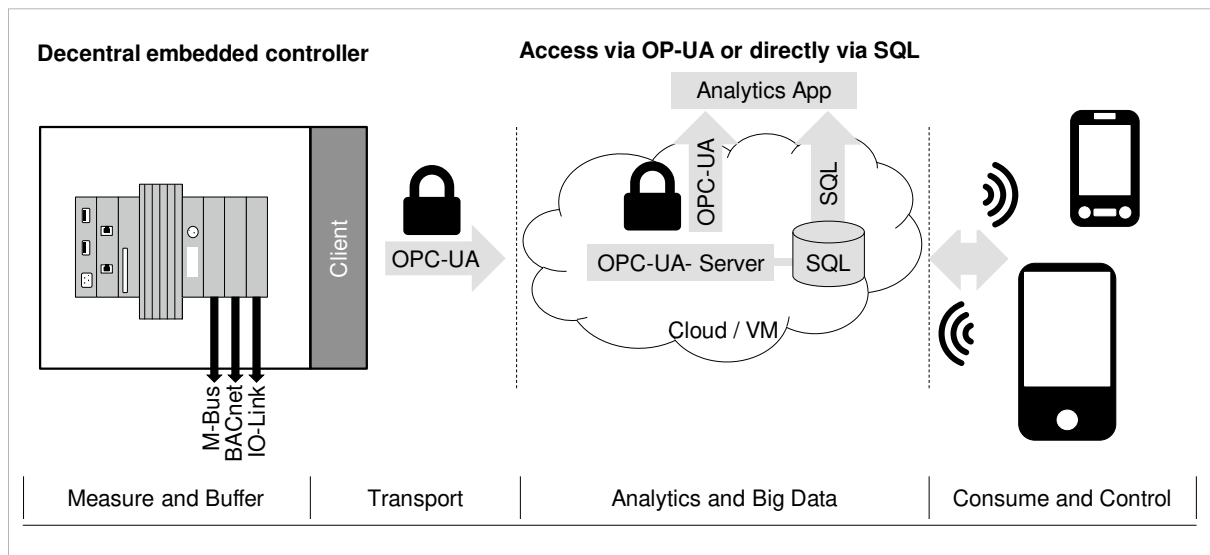


Abbildung 49: Application: Smart Metering – Measurement of Physical Data
(s. HOPPE 2015, S. 55)

Beim Designparadigma der SOA, erhält ein Dienstanbieter Anfragen (Requests), bearbeitet diese und sendet die Ergebnisse mit der Antwort (Response) zurück. OPC UA definiert dazu u.a. verschiedene Gruppen generischer Dienste für unterschiedliche Aufgaben (Lesen, Schreiben, Melden, Ausführen etc.). Die so standardisierten Dienste sind dadurch kompatibel und interoperabel, ohne dass der Aufrufer spezielles Wissen über den Aufbau oder das Verhalten eines Dienstes haben muss. Kernpunkte der OPC UA bilden darüber hinaus der Austausch semantischer Informationen und die Übertragungssicherheit. Normen wie ISA 88 (auch IEC 61512, Chargenverarbeitung), ISA 95 (auch IEC 62264, MES Ebene), oder CIM mit der IEC 61970 für EM sowie IEC 61968 für Energieverteilung definieren und standardisieren, zunächst unabhängig davon wie die Daten übertragen werden, die Semantik der Daten in denen von ihnen adressierten Domänen. In gemeinsamen Arbeitsgruppen mit Standardisierungsgremien werden derzeit weitere Abbildungsregeln für deren Informationsmodelle auf OPC UA spezifiziert (Companion Standards, bspw. IEC 62541-100, IEC61131-3, ISA 95, MTConnect). (s. opcf 2014, S. 14–19) MTConnect bildeten einen weiteren Kommunikationsstandard im Kontext I4.0 der vor allem in Nordamerika breite Anwendung findet. (s. Jasperneite et al. 2015, S. 1) MTConnect und OPC UA lassen sich verknüpfen und so ist insbesondere das Zusammenführen der Datenmodelle bereits dokumentiert. MTConnect bewährt sich in der Praxis vor allem als Lösung für die unidirektionale, vertikale Konnektivität im Bereich der Werkzeugmaschinen. Verlässt man die Domäne der Werkzeugmaschinen oder wird mit Kommunikationsanforderungen wie Wechselseitigkeit oder Ereignisorientiertheit konfrontiert, dann besitzt der universelle Ansatzes von OPC UA zu Kosten einer steigenden Komplexität bereits Vorteile. Das Prinzip der Companion-Standards zur Definition von OPC UA Informationsmodellen verfolgt die

OPC Foundation auch mit anderen Organisationen wie PLCOpen und -AutomationML. (s. Jasperneite et al. 2015, S. 5)

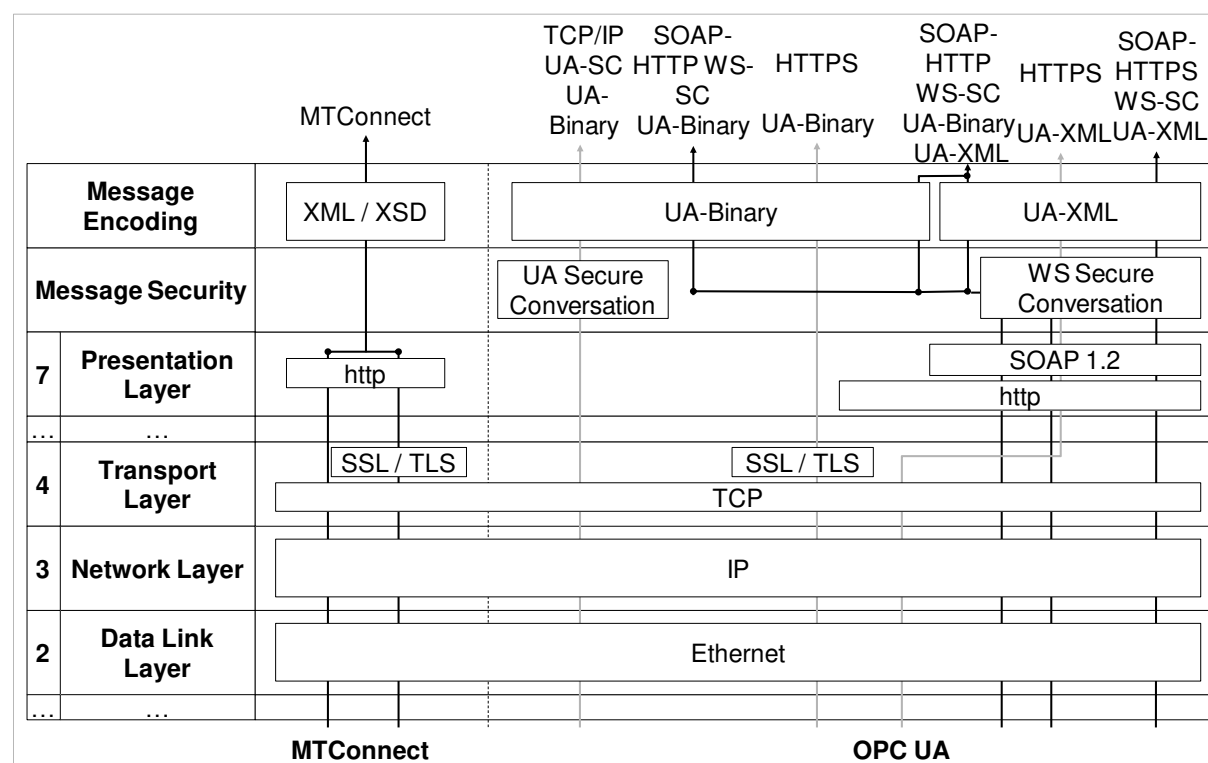


Abbildung 50: MTConnect und OPC UA im Überblick (s. SCHNEIDER 2016, S.1)

Ein weiteres Beispiel stellt der *AIM AutoID Companion-Standard* dar indem sämtliche XID-Techniken wie *Barcodes*, *2D-Codes*, *RTLS* etc. abgebildet werden sollen. (s. WEINLÄNDER 2015, S. 2) Der *Data Distribution Service* (DDS) bildet neben OPC UA einen weiteren weitverbreiteten Kommunikationsstandard mit Anwendungen u.a. im Energie-, Industrie- und Transportbereich mit verteilten intelligenten Maschinen. DDS ist streng datenzentrisch, sodass die Schnittstelle selbst die Daten enthält, die Infrastruktur diese Daten versteht und das System diese verwaltet. Zudem erstellt es Regeln wie Anwendungen diese Daten austauschen. Datenzentrierung grenzt sich somit von Objektorientierung, vor allem dadurch ab, dass bei der Datenzentrierung Methoden gekapselt und Daten exponiert werden und nicht anders herum, wie es bei der Objektorientierung der Fall ist. Durch die einfache Redundanz und den Verzicht auf *server* ist beim DDS-Standard eine zuverlässige Verfügbarkeit bei kontinuierlichem Dauerbetrieb von >99,999% gewährleistet. Reaktionen in Echtzeit garantieren Antworten unter 100 ms, sogar unter Last und bei komplexen Datentypen. (s. SCHNEIDER 2016, S. 1)

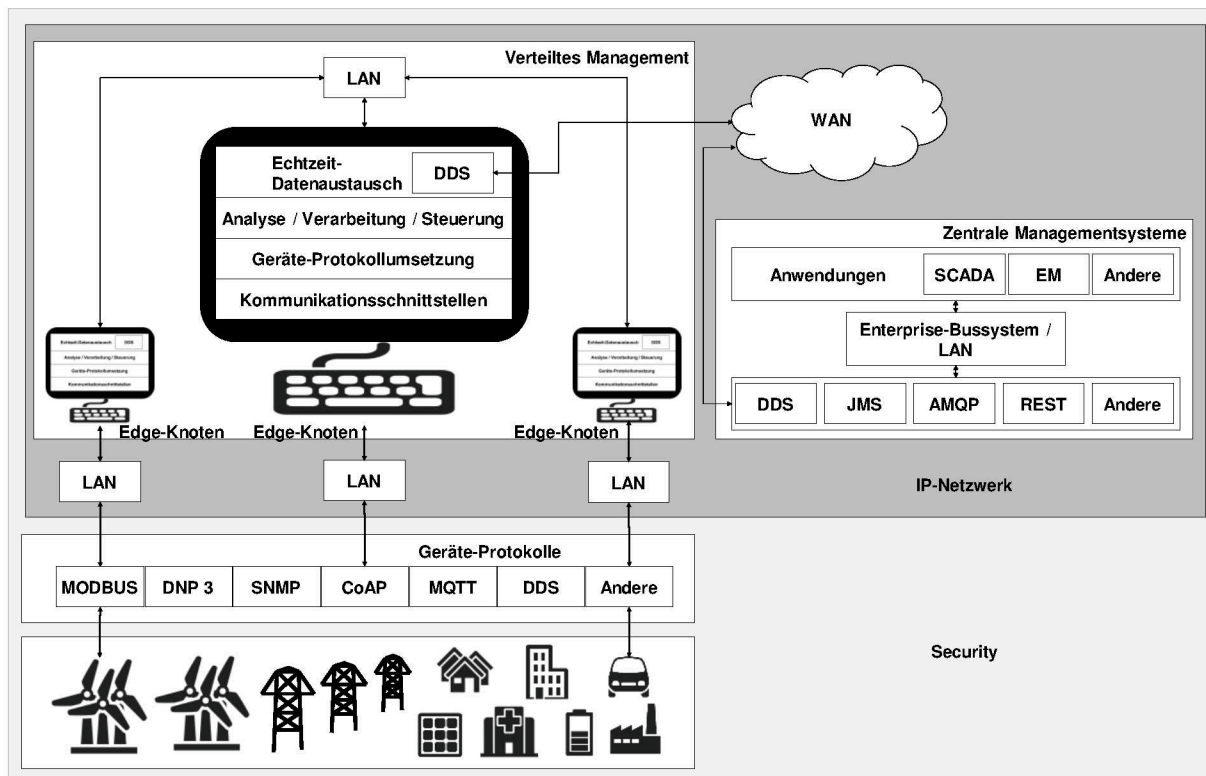


Abbildung 51: DSS im Überblick (s. SCHNEIDER 2016, S.2)

OPC UA und DDS stellen somit Basistechnologien mit grundverschiedenen *Designs* für das IoT und I4.0 dar. Beide repräsentieren etablierte Protokolle und haben ihre Daseinsberechtigung durch spezifische Vor- und Nachteile in den verschiedenen Anwendungsbereichen. OPC UA und DDS können sich sinnvoll ergänzen. Aus Sicht des führenden Systems DDS liegt der Fokus zur Verbindung auf einer bidirektionalen Brücke (*Gateway*) zwischen DDS und OPC UA. Im Falle einer Anwendung von DDS innerhalb OPC UA, wird DDS als ein Kommunikationsmodell für OPC UA Pub / Sub verwendet. (s. SCHNEIDER 2016, S. 2)

7.3.5 Integration

Die Integrationsschicht repräsentiert die Übergangsschicht von der physischen Welt zur Informationswelt. Mit ihr wird die vorhandene Infrastruktur beschrieben die zur Realisierung der Funktion eines *Assets* erforderlich ist. Analog zu RAMI 4.0 gehören zum Inhalt der Integrationsschicht die Bereitstellung der Repräsentation der realen Resource eines *Assets* durch Informationen zu *Assets* (Physik, *Hardware*, Dokumente, *Software* etc.) Darüber hinaus sind auch Beschreibungen zu den technischen Elementen (RFID-Reader, Sensoren, Mensch-Maschine Schnittstelle (HMI), Signalwandler etc.) und rechnergestützten Steuerung technischer (Sub-)Prozesse Teil der Integrationsschicht. (s. DIN SPEC 2016, S. 22)

Intelligente Zähler, Messgeräte, Sensoren auf Komponenten-, Maschinen-, Fertigungslinien- oder Fabrikebene liefern in Abhängigkeit der zugrunde liegenden Anforderungen an die Granularität einen kontinuierlichen Datenstrom verschiedener physi-

kalischer Messwerte. (s. ROSCHER ET AL. 2015b, S. 21) Aber auch der Einzug von mobilen Endgeräten und die Nutzung von *Social-Media*-Anwendungen führen dazu, dass produzierende Unternehmen mit einem immer schneller ansteigenden Datenvolumen konfrontiert werden. Den Anwendungsbereich von *Big Data* erreichen Unternehmen indem Moment indem die vorhandene eigene Infrastruktur nicht mehr in der Lage ist, die vorhandene Datenmenge und die verschiedenen Datenarten in der nötigen Zeit zu verarbeiten. Demnach bezeichnet der Begriff *Big Data* den Einsatz großer Datenmengen aus vielfältigen Quellen mit einer hohen Verarbeitungsgeschwindigkeit zur Erzeugung wirtschaftlichen Nutzens. (s. BARTEL ET AL. 2012, S. 21) Aus der Sicht der Integration von IS geht *Big Data* mit neuartigen Herausforderungen und neuen technologischen Möglichkeiten für Speicherung, Analyse und Verarbeitung schnell wachsender Datenmengen einher.

In diesem Zusammenhang bezeichnet *Data Mining* ein Gebiet im Datenbankbereich, bei dem es darum geht große Datenmengen nach bisher unbekannten Zusammenhängen zu untersuchen. Die Herausforderung besteht dabei in erster Linie bspw. unter Anwendung von Methoden des Bereichs *Knowledge Discovery*, hoch skalierbare Algorithmen zu entwickeln die auch auf sehr große Datenbanken anwendbar sind. (s. KEMPER U. EICKLER 2009, S. 543) Die Vorgehensweisen bei der Auswertung von Datenmengen im Sinnes des *Data Mining* lassen sich in die Klassifikation von Objekten, das Finden von Assoziationsregeln sowie die Ermittlung von *Clustern* von ähnlichen Objekten untergliedern.

In der WI umfasst Integration von IS, ein Anwendungssystem, die für den Betrieb notwendige *Hard-* und *Software*, sowie aufgrund des sozio-technischen Charakters auch explizit den Menschen. (s. PERO ET AL. 2014, S. 126)

Es existieren eine Vielzahl verschiedener Programmiersprachen die oft auf spezifische Anwendungsbereiche zugeschnitten sind. Zu den am weitesten verbreiteten Programmiersprachen zählen u.a. JavaScript, Java, PHP, Python, C#, C++, Ruby, CSS, C, R, Go, Swift, Lua, Matlab und Visual Basic. (s. O'GRADY 2016) Die Entscheidung für eine Sprache in Unternehmen ist meist langfristig ausgelegt und hat weitreichende Auswirkungen für die *Software* wie bspw. die Übertragbarkeit auf andere Rechnersysteme, Verfügbarkeit und Effizienz der *compiler* oder Einschränkungen bzgl. Speicherplatz, *Compilations-* und Rechenzeiten.

Dabei streben erste Entwicklungen bspw. im Bereich der Automatisierung der SPS-Programmierung nach IEC 61131-3 bereits einen zunehmenden Brückenschlag zur Automatisierung auf IT-Basis an. So ermöglicht *Open Core Engineering* die direkte Übersetzung zwischen Hochsprachen und der Programmiersprachen für SPS, sodass Entwickler über die Programmierschnittstelle *Open Core Interface* eigenständig individuelle Funktionen erstellen können die parallel zur Firmware direkt in der Steuerung oder in externen mobilen Endgeräten ablaufen (*Smart Devices*) können. (s. KNOLL 2014)

IS dienen ihrem Benutzer als Gehilfe zur Erfüllung aller notwendigen Teilaufgaben am Geschäftsprozess durch das Bereitstellen von Funktionen direkt am Arbeitsplatz.

Eine integrierte Systemunterstützung der Geschäftsprozesse ist notwendig, um in Echtzeit auf Kundenwünsche einzugehen, maßgeschneiderte Lösungen anzubieten und diese in enger Kooperation mit Partnern in der Wertschöpfungskette zu wettbewerbsfähigen Kosten herzustellen. (s. SCHEMM ET AL. 2006, S. 6)

Das Kerngeschäft (bspw. ERP-Systeme) vieler Unternehmen läuft heute noch größtenteils auf Großrechnern (*Mainframes*) auf denen auch weiterhin ein Großteil aller unternehmenskritischen Geschäftsdaten liegt. (s. HAFEN 2017, S. 1) Allerdings handelt es sich dabei häufig um Altsysteme (*Legacy Systems*), sodass vor allem in der Automatisierungstechnik, Entwicklungen in der jüngeren Vergangenheit und auch zukünftig weiter in Richtung modularer Verteilung von (Steuerungs-)Systemen gehen.

In diesem Zusammen beschreiben Integrationsarchitekturen die *softwaretechnische* Umsetzung der Integration ursprünglich separat entwickelter, heterogener, meist verteilter Anwendungssysteme. (s. SCHEMM ET AL. 2006, S. 11)

Man unterscheidet Peer-to-Peer-, Client-Server- und Serviceorientierte-Architekturen (Service-oriented Architecture).

In *Peer-to-Peer*-Architekturen werden Anwendungen direkt miteinander verbunden und die Integration erfolgt über spezifische Adapter. Aufgrund verschiedener Nachteile wie bspw. mangelnder Skalierfähigkeit, werden *Peer-to-Peer*-Architekturen zumeist durch *Client-Server*-Architekturen abgelöst. (s. STEPPAN 2015)

Bei *Client-Server*-Architekturen werden die beteiligten IS gewissermaßen entflechtet und so stehen einem *server* normalerweise mehrere *clients* gegenüber. Unumgänglich sind solche Architekturen bei der Ersetzung monolithischer *fat clients* durch schlanke *rich clients*. (s. STEPPAN 2015, S. 2)

Mit *Enterprise Application Integration* (EAI) wird die Integration zwischen verschiedenen Systemen über einen zentralen Integrations-*Server* bezeichnet. Verschiedene Anwendungssysteme werden über Standardschnittstellen (Adapter) angebunden ohne selbst angepasst werden zu müssen. EAI-Architekturen verlagern somit den Integrationsaufwand von der Anpassung einer Anwendung (bspw. komplexe Standardanwendungen wie ERP-Systeme) zur Entwicklung spezieller Adapter.

Der Ansatz SOA sieht vor, Anwendungen oder Anwendungsbestandteile als Dienste (*Services*) zu konzipieren, die sich beliebig verteilen und dynamisch zu Geschäftsprozessen verknüpfen lassen. Dabei spielt es bei diesem Ansatz prinzipiell keine Rolle, ob *Services* von internen Anwendungen bereitgestellt oder extern bezogen werden. (s. SCHEMM ET AL. 2006) Im Gegensatz zum EAI werden Anwendungen im progressiven Konzept einer SOA, mit expliziter Orientierung an den Geschäftsprozessen des Unternehmens so verändert, dass sie interne Funktionen als leicht wiederverwendbare *Services* offenlegen müssen. (s. STEPPAN 2015, S. 4) Sämtliche Akteure einer SOA

kommunizieren nicht direkt miteinander, sondern indirekt bspw. über einen zentralen *Enterprise Service Bus* (ESB).

Integrationsarchitekturen lassen sich weiter in Abhängigkeit ihres Betrachtungsfokus in daten- oder funktionsorientierte Ansätze aufteilen.

Bei der Datenintegration werden verschiedene Anwendungssysteme dadurch zusammengeführt, dass sie direkt auf die von den jeweiligen Systemen gespeicherten Daten zugreifen und so die gemeinsame Nutzung von Daten durch mehrere Anwendungssysteme ermöglicht wird. (s. SCHEMM ET AL. 2006, S. 17)

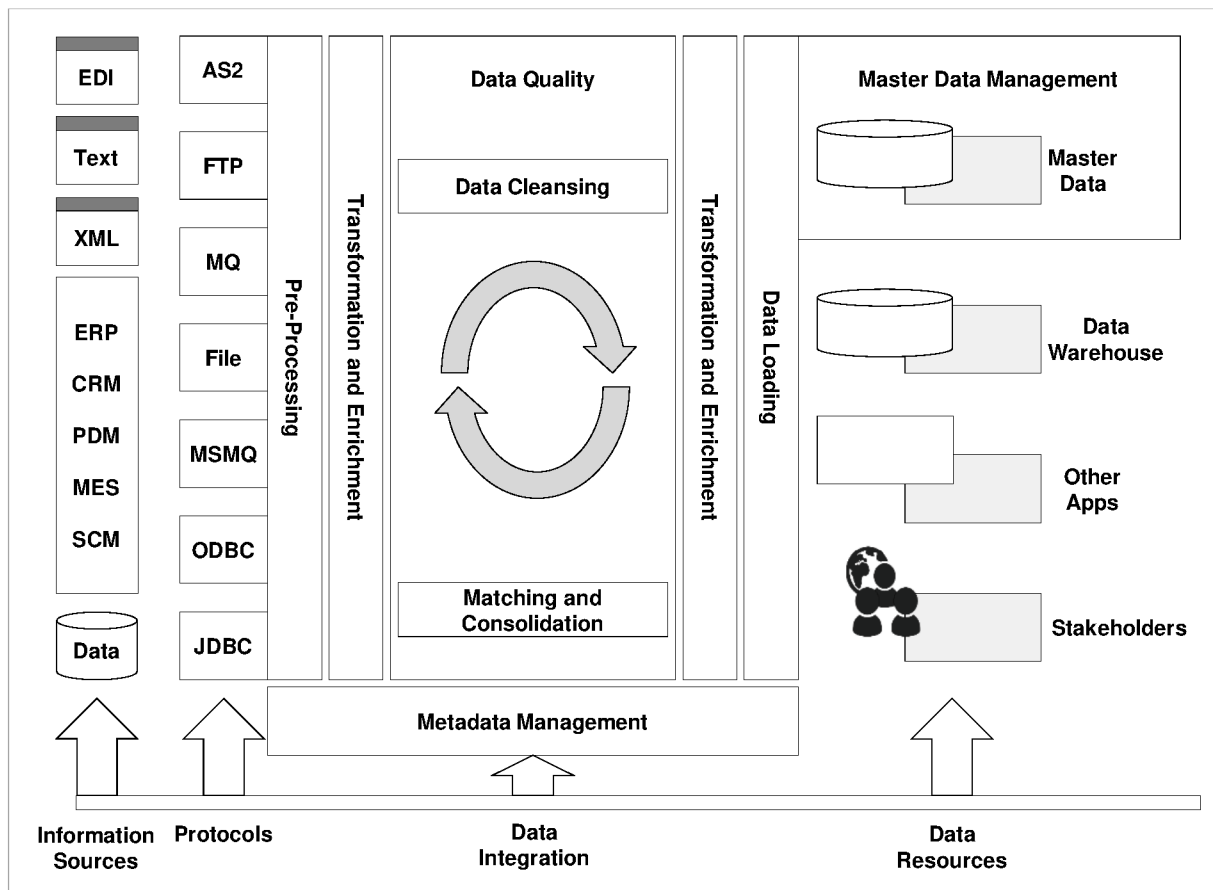


Abbildung 52: Data Integration (s. IBC 2018, o. S.)

Die datenorientierte Integration kann dabei auf zwei unterschiedlichen Ansätzen beruhen. Beim Ansatz der Datenreplikation werden physische Kopien von redundant vorliegenden Datensätzen in den zu integrierenden Datenbanken gegebenenfalls unter Einbezug von Transformationen ausgetauscht. Bei föderierten IS erfolgt der Zugriff dahingegen ohne die Notwendigkeit der physischen Kopie aber gegebenenfalls auch unter dem Einbezug von Transformationen in ein einheitliches Datenschema (*Data Warehouse*). (s. SCHEMM ET AL. 2006, S. 18)

Aufgrund der frühen Entwicklung und weiten Verbreitung der Datenintegration haben sich eine Reihe datenorientierter Integrationsmechanismen herausgebildet, angefangen von einfachen Mechanismen bspw. in Form des Austauschs strukturierter Textda-

teilen, über komplexere Integrationsmechanismen bspw. in Form datenorientierter *Middleware* wie *Open Data Base Connectivity* (ODBC) / *Java Data Base Connectivity* (JDBC) oder Replikationsmechanismen relationaler DBMS bis hin zu umfangreichen Integrationsmechanismen in Form föderierter DBMS oder (ETL)-Werkzeugen im Rahmen von *Data-Warehouse* Lösungen.

Im Kontext OLTP- und OLAP-Anwendungen besteht weitgehender Konsens darüber, dass die nicht auf derselben physischen Datenbasis ausgeführt werden sollten, da OLTP-Datenbanken hinsichtlich ihrem logischem und physischem Entwurf auf Änderungstransaktionen mit Zugriff auf sehr begrenzte Datenmengen hin optimiert sind. Gleichzeitig sind die operationalen Datenbestände eines Unternehmens meist auf viele verschiedene Datenbanken verteilt.

OLAP-Auswertungen benötigt diese Informationen aber in konsolidierter, integrierter Form, da ihre Anfragen in der Regel weitaus komplexer sind und ihre (parallel ablaufende) Auswertung die Leistungsfähigkeit der OLTP-Anwendungen deutlich beeinträchtigen könnte. (KEMPER U. EICKLER 2009, S. 518)

Dieser Umstand führt in der Praxis häufig zum Aufbau eines *Data-Warehouse*, unter dem man folglich ein dediziertes DBS benennt, das die für *Decision Support* Anwendungen notwendigen Daten in konsolidierter Form sammelt. (s. RAHM ET AL. 2015, S. 3) Das *Data-Warehouse* wird initial aus verschiedenen Datenressourcen geladen (*data loading*) deren Daten zunächst konsolidiert (*Matching and Consolidation*) und bereinigt (*data cleansing*) werden müssen. Außerdem werden in vielen Anwendungen die Daten beim Laden in das *Data-Warehouse* durch Aggregation bereits angereichert (*transformation and enrichment*). Der Datenbestand des *Data-Warehouse* wird zwar periodisch aufgefrischt (*data quality*), spielt aber im Vergleich zu den Anforderungen der Mehrbenutzersynchronisation bei OLTP-Anwendungen aber eher eine untergeordnete Rolle. (s. KEMPER U. EICKLER 2009, S. 518) Abbildung 52 veranschaulicht die allgemeinen Zusammenhänge der Datenintegration in Verbindung mit OLAP-Anwendungen.

Im Gegensatz zur Datenintegration basiert die Integration heterogener Anwendungssysteme im Fall der Funktionsintegration auf der Ebene der Anwendungslogik. Das Grundkonzept dieser in unterschiedlichen Variationen auftretenden Integrationsform besteht darin, einzelne Teilfunktionalitäten von Applikationen nach außen als Dienste anzubieten und somit die gemeinsame Nutzung von Funktionalitäten durch mehrere Anwendungssysteme zu ermöglichen. Funktionsorientierte Integrationsmechanismen werden in der Literatur häufig unter dem Begriff funktionaler *Middleware* zusammengefasst. *Middleware* bezeichnet eine *Softwareschicht* in einer vielschichtigen Architektur, die konkrete Eigenschaften eines IS abstrahiert. Der Begriff *Middleware* beschreibt dabei jene *Softwareschicht*, die für den Informationsaustausch zwischen verteilten Komponenten verantwortlich ist, sodass *Middlewares* deshalb häufig im Bereich der verteilten Systeme eingesetzt werden, um die darunter liegenden *Softwareschichten*, wie bspw. Netzwerkkommunikation und Betriebssystem, zu abstrahieren. Anwen-

dungsentwickler können so auf abstrakte Art und Weise über ein Netzwerk kommunizieren. (s. DANGEL ET AL. 2010, S. 43) Dabei setzt jede *Middleware* auf mindestens einem Kommunikationsmodell auf. Die klassischen Kommunikationsmodelle bilden *Remote Procedure Call* (RPC), Verteilte Objekte und der nachrichten-basierter Ansatz. Den grundlegendsten Mechanismus zur funktionalen Integration von Anwendungssystemen stellen RPC dar. Es handelt sich hierbei um definierte Schnittstellen, die einen transparenten Zugriff auf bestimmte Funktionen der zu integrierenden Systeme über ein vom Anwender abstrahiertes Netzwerk ermöglichen. Verteilte Objekte stellt ein Kommunikationsmodell für objektorientierte Sprachen dar und definiert Schnittstellen um die *Implementation* zu verbergen (bspw. *Common Object Request Broker Architecture* (COBRA), DDS etc.). Beim Nachrichten-basierten Ansatz besteht im Gegensatz zu den beiden anderen Kommunikationsmodellen eine geringe Kopplung der Kommunikationspartner, da die Übertragung von Nachrichten, anstatt von zeitlich gekoppelter Methoden- oder Funktionsaufrufe, erfolgt. (s. DANGEL ET AL. 2010, S. 45) Spätestens seit der Einführung des *Simple Object Access Protocols* (SOAP) haben sich *Webservices* in vielen Unternehmen etabliert. Wesentliche Vorteile von *Webservices* liegen in ihrer vergleichsweise einfachen Programmierung auf Basis der standardisierten *Webservice Definition Language* (WSDL) für die *Serviceschnittstelle*. (s. STEPPAN 2015, S. 3)

Die Vorteile von SOA sind im Wesentlichen auf die Strukturierung von Diensten nach Geschäftsprozessen zurückzuführen. Dabei ist es grundsätzlich zunächst einmal unerheblich ob *Services* intern oder extern zur Verfügung gestellt werden. Das *Cloud Computing* stellt in diesem Zusammenhang unter Umständen eine effiziente und kostentransparente Alternative für die Umsetzung und dem Bezug von externen Diensten dar. Generell lassen sich *Cloud*-Lösungen in sogenannte *Public, Private und Hybride Clouds* unterteilen. Die Unterscheidung bezieht sich dabei jeweils auf die Zugänglichkeit der *Cloud*. Die *Public Cloud* wird von einem externen IT-Dienstleister betrieben, während bei einer *Private Cloud* die Ressourcen vom Unternehmen selbst vorgehalten werden. Die *Hybride Cloud* bietet folglich eine Mischform. *Cloud*-Lösungen lassen sich weiterhin nach ihrem Leistungsumfang unterteilen. (s. NIENKE U. KRENKE 2014, S. 1) Die Bandbreite reicht von der einfachen Bereitstellung von Rechen- und Speicherleistung bis hin zu fertigen Anwendungen für spezifische Anforderungen (s. BITKOM 2009). Gerade für I4.0-Lösungen ist die *Cloud* eine Schlüsseltechnologie. So ist es bspw. mit Hilfe vordefinierter Schnittstellen möglich Sensoren schnell und einfach in einer *Cloud*-Plattform anzumelden und Daten dort hin zu übertragen (s. Metnitzer 2012). Der Zugriff eines Benutzers von *Cloud-Services* erfolgt meist über einen *Webbrowser* oder über standardisierte Protokolle wie bspw. REST oder SOAP. (s. RUPPEL 2010, S. 3) Dieses Prinzip verbindet drei große Vorteile. Erstens verringert sich der Integrationsaufwand im eigenem Unternehmen und Prototypen können schnell und einfach entwickelt werden. Zweitens ermöglicht die *Cloud* über bestehende Bausteine bspw. eine umfassende Datenanalyse über *Big Data* ohne Applika-

tionen und Kompetenzen im eigenen Unternehmen aufbauen zu müssen. Drittens bietet so eine Lösung einfache Skalierungsmöglichkeiten, welche bspw. die Ausweitung des Systems auf einen neuen Standort vereinfachen. (s. NIENTKE U. KRENGE 2014, S. 1)

Im Zusammenhang mit *Cloud Computing* und IoT wird auch immer wieder der Begriff Plattform verwendet. In der *Software*technik stellen Plattformen Systeme dar, die aus *Software*- und gegebenenfalls *Hardware*-Bausteinen bestehen. Plattformen dienen zur Ausführung von *Software*-Bausteinen eines Systems und bieten diese Dienste an. Dabei werden Plattformen immer mächtiger und bieten heutzutage nicht mehr nur reine infrastrukturnahe Dienste an, sondern immer öfter auch fachliche Funktionalitäten. Die *Middleware* ist ebenfalls eine Plattform. (s. VOGEL ET AL. 2009, S. 253) Auf dem Markt existieren bereits eine Vielzahl verschiedener IoT Plattformanbieter (bspw. Infosys Information Platform, QSC Q-loud IoT, Google Cloud Platform etc.). Diese vereinen im Wesentlichen Funktionen wie Geräte-, Daten-, Benutzermanagement, *Rules-Engine*, *Analytics*, Datenvisualisierung, Entwicklungsumgebung / Schnittstellen (APIs) und Sicherheit. Darüber hinaus bieten diese Benutzeroberflächen (UI) und weitere Werkzeuge wie *Machine Learning*, CEP und vieles mehr.

Die Systeme in der Produktion werden immer komplexer, gleichzeitig sollen die Mitarbeiter durch den Anstieg an Komplexität aber nicht von den wertschöpfenden Tätigkeiten abgehalten werden, sondern vielmehr optimal durch IS bei der Arbeitserfüllung unterstützt werden. Umgebungsinformationen werden von den menschlichen Rezeptoren aufgenommen, aufbereitet und auf der Stufe der Informationsverarbeitung (Kognition) weiterverarbeitet. Dort wird entschieden ob eine Information zu einer Handlung führt oder hingenommen wird. Die Informationsverarbeitung umfasst die Stufen Wahrnehmung und Entscheidungs- bzw. Handlungsauswahl. (s. ZELLER, ROSCHER ET AL. 2015, S. 51) Jeder Benutzer verwendet an seinem Arbeitsplatz zur Erfüllung seiner Teilaufgaben am Geschäftsprozess in der Regel verschiedene Anwendungen. Eine umfassende Unterstützung des Benutzers erfordert im Hinblick auf die Integration dieser Anwendungen am elektronischen Arbeitsplatz, insbesondere die Einbindung der verschiedenen Applikationen in den Arbeitsablauf, die Darstellung der erforderlichen Informationen in einer einheitlichen Benutzeroberfläche sowie den Datenaustausch zwischen verschiedenen Anwendungen. (s. SCHEMM ET AL. 2006, S. 16) Bei der Interaktion zwischen Mensch und Maschine werden Informationen ausgetauscht, die neben der expliziten Übertragung der Information auch eine implizite Kommunikation auf Basis von Annahmen und Kontextwissen über die Anwendung beinhalten. (s. ZELLER, ROSCHER ET AL. 2015, S. 58) Der Mensch kann gleichzeitig eine Vielzahl verschiedener Informationen verarbeiten. Der Zusammenhang zwischen der Realität und dem, was Menschen dank ihres visuellen Systems über sie wahrnehmen, ist allerdings nicht trivial und so kann dieselbe Realität bei verschiedenen Menschen unterschiedliche (subjektive) Wahrnehmungen hervorrufen (bspw. Farbfehlsichtigkeit). (s. DÖRNER ET AL. 2013, S. 2)

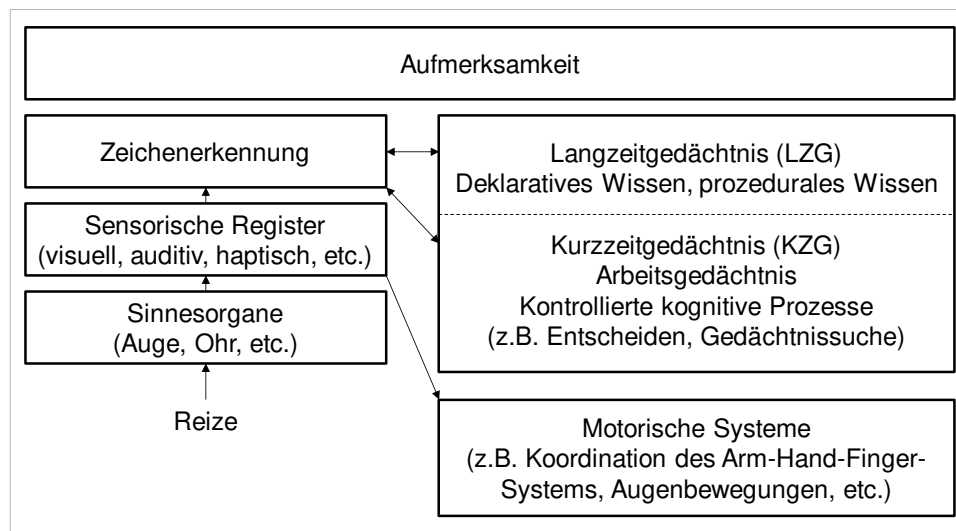


Abbildung 53: Grundmodell menschlicher Informationsverarbeitung
(s. BUTZ U. KRÜGER 2015, S.8)

Eine Definition der Mensch-Maschine-Interaktion liefert ISO 9241-110 und bezeichnet diese als einen Dialog zwischen einem Benutzer und einem interaktiven System, in Form einer Folge von Handlungen des Benutzers (Eingaben) und Antworten des interaktiven Systems (Ausgaben) die zur Zielerreichung führt. Dabei nimmt der optimale Bedienkomfort im spezifischen Anwendungszusammenhang eine bedeutende Rolle ein und steht in einer engen Wechselwirkung mit der Ergonomie. Neben der klassischen körperbezogenen Ergonomie die Aspekte wie Anatomie, Anthropometrie, Physiologie und Biomechanik untersucht, spielen die kognitive Ergonomie und auch die organisatorische Ergonomie bei der Gestaltung der MMS eine Rolle. In der kognitiven Ergonomie werden mentale Prozesse wie Wahrnehmung, Gedächtnis und Beurteilungen untersucht, während die Organisationsergonomie im Wesentlichen Aspekte wie Arbeitsaufteilung, Arbeitszeiten, Gruppenarbeit etc. beleuchtet. (s. ZELLER, ROSCHER ET AL. 2015, S. 59) MMS werden auf unterschiedlichsten Geräten realisiert. In der Praxis erfolgt die Umsetzung in der Regel über Portale, die zumeist internetbasierte, personalisierbare und integrierte Zugangssysteme zu verschiedenen unternehmensinternen und -externen Informationsquellen und Anwendungsprogrammen darstellen. (s. SCHEMM ET AL. 2006, S. 16) Jeder Nutzer erhält idealerweise über nur einen einzigen Anmeldeprozess, über verschiedene Kanäle (bspw. Bedien- und Beobachtungseinheiten, *Webbrowser*, mobile Endgeräte etc) Zugriff auf die für ihn autorisierten Funktionen und Inhalte. (s. SCHEMM ET AL. 2006, S. 16) Aktuelle Prognosen gehen von einer zunehmenden Mobilisierung des Arbeitsplatzes aus, sodass der Zugriff über mobile Endgeräte (insbesondere *Smartphones* und *Tablets*) bspw. auf ERP-Systeme bereits von zweidrittel der Anbieter angeboten wird. (s. GRONAU U. FOHRHOLZ 2016, S. 58) Im Kontext EM sind daher ähnliche Entwicklungen zu erwarten, sodass insbesondere *reporting* und Analysewerkzeuge zur Strukturierung und Visualisierung von Datenbeständen zur Entscheidungsunterstützung durch mobile Endgeräte zu erwarten sind.

Eine Zukunftstechnologie die in einer Vielzahl von Anwendungsgebieten in der Industrie zunehmend an Bedeutung gewinnt stellt *Virtual Reality* (VR) dar. Begünstigt durch

die schnelle Entwicklung von *Displayhardware*, neuer Interaktionsgeräte und *Tracking-systeme* erreichen VR Anwendungen Marktfähigkeit. (s. DÖRNER ET AL. 2013, V) Ein VR-System beschreibt ein aus *Hardware* und *Software* bestehendes Computersystem, um die Vorstellung einer virtuellen Realität zu realisieren. Den durch ein VR-System dargestellten Inhalt bezeichnet man als virtuelle Welt, die bspw. aus Modellen von Objekten, deren Verhaltensbeschreibungen für Simulationsmodelle und deren Anordnung im Raum bestehen. Wird virtuelle Welt durch ein VR-System dargestellt, so wird von einer virtuellen Umgebung für einen oder mehrere Nutzer gesprochen. (s. DÖRNER ET AL. 2013, S. 7) Auf diese Weise bildet jede virtuelle Realität eine MMS. Unter *Augmentierter Realität (augmented reality)* versteht man allgemein die Anreicherung der Realität durch künstliche kontinuierlich an den aktuellen Standpunkt des jeweiligen Betrachters angepasste virtuelle Inhalte. (s. DÖRNER ET AL. 2013, S. 241–242) Mit dieser Technologie wird es bspw. möglich unsichtbare Energieflüsse in der Produktion sichtbar zu machen und so die energiebezogene Leistung kontinuierlich zu verbessern. (s. BOSCH REXROTH AG 2016)

Die Technologien von I4.0 werden massiven Einfluss auf die zukünftige Arbeitswelt nehmen und können bspw. dazu beitragen, dass Menschen durch technische Hilfsmittel unterstützt ihren Arbeitsplatz behalten oder dadurch sogar wieder in den Arbeitsmarkt integriert werden können. Dabei gehen aktuelle Studien davon aus, dass dadurch insgesamt mehr neue Arbeitsplätze geschaffen, als alte verdrängt werden. Dies geht allerdings mit einer klaren Verschiebung zu Gunsten neuer Berufsfelder der IT-Branche und im *Data Science* einher. (s. LORENZ ET AL. 2015, S. 2)

7.3.6 **Asset**

Die *Asset* Schicht spiegelt die dingliche Realität wider, also das reale *Asset* in der physischen Welt. Im Kern der Betrachtung dieser Arbeit steht die EnIS-S deren lauffähiges Programm (EnIS-P) per Definition zur physischen Welt gehört. Nach RAMI 4.0 können durch Beschreibung mehrerer *Assets* in der *Asset* Schicht, diese zu einem komplexeren *asset* zusammengefasst werden. (s. DIN SPEC 2016, S. 22) *Assets* die sämtliche Fähigkeiten eines I4.0-Dienstsystemteilnehmers aufweisen werden in einem I4.0-System als I4.0-Komponente bezeichnet. (s. DIN SPEC 2016, S. 16)

Das Vorhandensein der Verwaltungsschale, die die virtuelle digitale und aktive Repräsentanz eines *assets* in einem I4.0-System darstellt ist hierfür zwingende Voraussetzung. Dabei müssen die Verwaltungsschale und ihre Objekte aber nicht zwangsläufig auf dem *asset* selbst hinterlegt sein, sondern können auch auf ein oder mehrere IT-Systeme verteilt werden. (s. DIN SPEC 2016, S. 30) Hauptaufgabe der Verwaltungsschale ist die Aufnahme der Laufzeitdaten eines *assets*, die Abbildung dieser in Informationen und schließlich die Bereitstellung der Informationen für verschiedenste Anwendungsfälle. (s. DIN SPEC 2016, S. 30) Abbildung 54 stellt den Nukleus des EnIS-P in seinem dinglichen Zusammenhang dar. Der Mensch nutzt das EnIS-P über eine

MMS um Zugang zu Funktionen (*Services*) bzw. fachspezifischen Algorithmen zu erhalten, die auf Basis von in Datenbanken gespeicherten Daten, zur individuellen Zielerreichung beitragen.

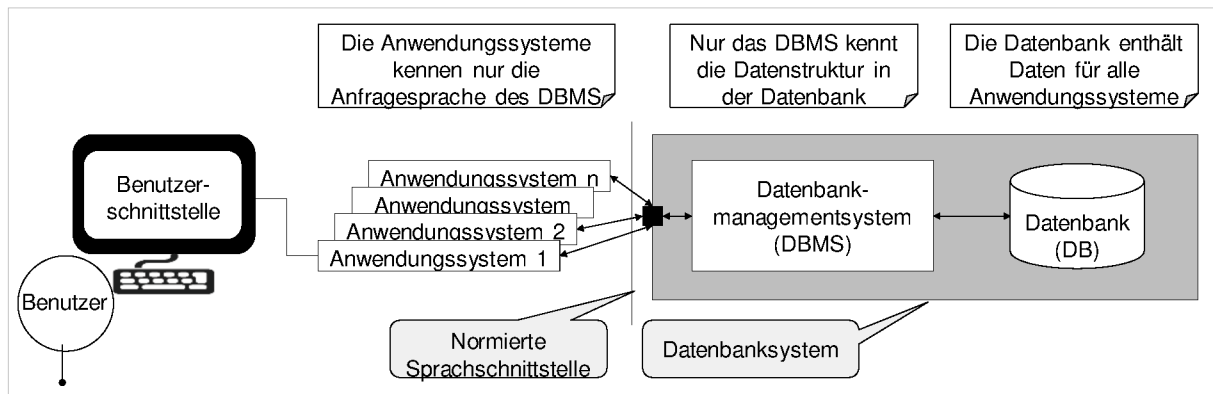


Abbildung 54: Architektur von Datenbankenanwendungssystemen
(i. A. a. JAROSCH, S. 18, RAMI 4.0, S. 38)

Die Struktur der Datenbank muss dabei so festgelegt werden, dass sich alle benötigten Daten mit ihren sachlogischen Zusammenhängen redundanzfrei speichern lassen. Datenbankenanwendungssysteme haben gegenüber den herkömmlichen Datei-Anwendungssystemen wesentliche Vorteile (Flexibilität, physische Datenunabhängigkeit, Mehrbenutzerbetrieb, Datenintegrität etc.) (s. JAROSCH 2016, S. 14), sodass letztere im Rahmen der Gestaltung von EnIS nach dem RM dieser Arbeit keine Beachtung finden. Das EnIS-P ist von der physischen Speicherstruktur der Daten entkoppelt und kann daher nicht direkt auf diese zugreifen, stattdessen kommuniziert es über normierte Sprachschnittstellen mit dem DBS, das die Verwaltung großer Datenmengen in der Regel für alle Anwendungssysteme zentralisiert. Das DBS besteht wiederum aus der physischen Datenbank und den Programmen des DBMS. (s. JAROSCH 2016, S. 18)

In der nächst höheren Betrachtungsebene ist das EnIS-P bereits im dinglichen Zusammenhang des in Kapitel 5 eingeführten Ordnungsrahmens zu betrachten. Die Unternehmensstruktur determinierenden Aspekte mit konkretem Bezug zu den mit dem EnIS-P in Verbindungen stehen physischen *assets* entlang der unternehmensinternen Energiewertschöpfung bilden Ressourcen und IS. Für den Energiebezug, die –umwandlung und –verteilung stellen der externe Netzanschluss (Nieder-, Mittel- oder Hochspannung), die Fabrikgebäude, die elektrischen Haupt-, Unter- und Gruppenverteilungen, Transformatoren, elektrische Heiz-, Kühl- und Lüftungsanlagen, elektrische Warmwasserbereitungsanlagen, die Licht- und Drucklufttechnik die wesentlichen *assets* dar. Im Bereich der Eigenstromversorgung und Stromspeicherung sind es Windkraft-, PV-Anlagen und BHKWs, sowie Batteriespeicher. Im Rahmen der Energienutzung bilden die verschiedenen Betriebsmittel insbesondere in Form von NC-Werkzeugmaschinen und deren Peripherie, sowie der von diesen über Energiemessgeräte bzw. Messwandler und -umformer wie Rogowskispulen erfassten Daten die wesentlichen *assets* von EnIS-P. Diese sind exemplarisch anhand der Gegebenheiten in der Demonstration Fabrik Aachen in Abbildung 55 dargestellt.

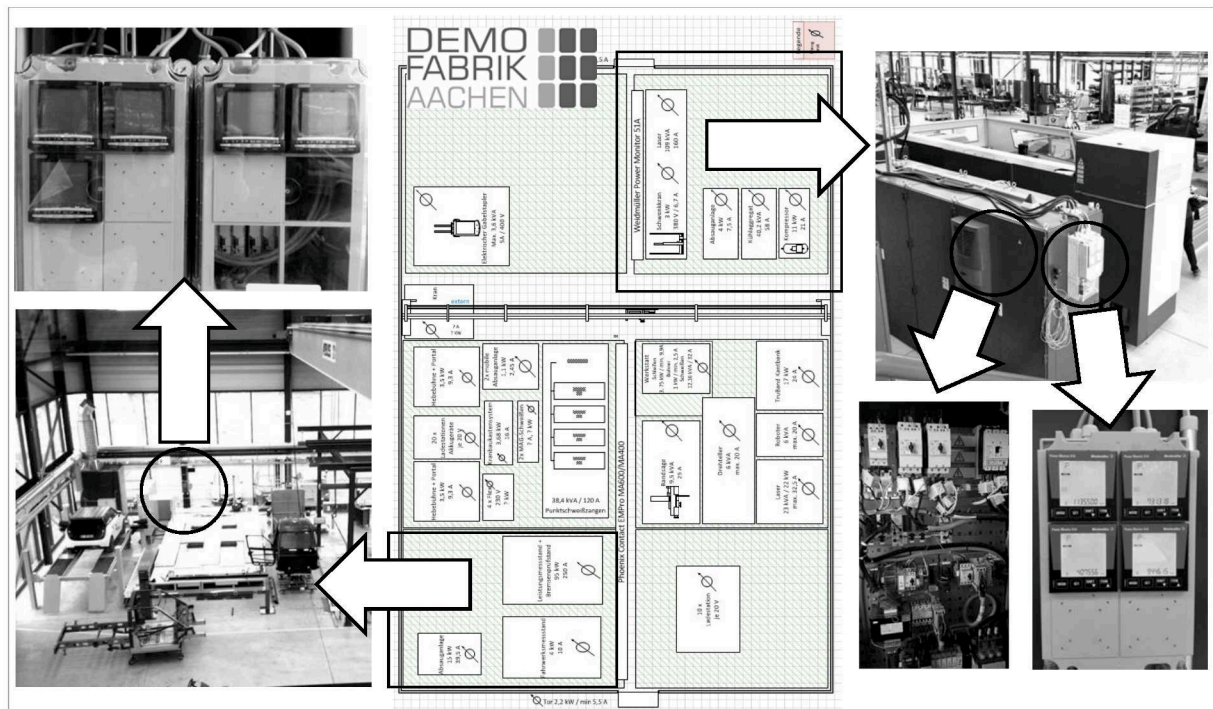


Abbildung 55: Assets der DFA (eigene Darstellung)

Darüber hinaus stellen auch alle weiteren operativen elektrischen Verbraucher auf dem *Shopfloor* wie Sensorik, Aktorik, Robotik, Feldgeräte, Steuereinheiten, Werkstückförderer relevante *assets* dar. Basisstationen von Sensornetzwerken basieren typischerweise auf kleinen 8, 16 oder 32-bit Microcontrollern wie bspw. Atmel AVR, ARM Cortex M etc. Diese sind über *Hardware*schnittstellen miteinander verbunden. Diese werden weiter in parallele und serielle Schnittstellen unterteilt. Parallele Schnittstellen finden außerhalb von *Office*-Anwendungen heute kaum noch Verwendung. Über serielle Schnittstellen erfolgt der Datenaustausch über nacheinander (seriell) übertragene *Bits*. *Electronic Industries Alliance* (EIA) / *Radio Sector* (RS)-232 stellt eine aus heutiger Sicht veraltete Schnittstelle dar, die durch die neuen Standards EIA- / RS-422 (Norm ITU-T V.11) und *Telecommunications Industry Association* (TIA)-485-A (früher: EIA- / RS-485) weitgehend abgelöst wurde.

Unter IS fallen in Abgrenzung zu Ressourcen sämtliche im Produktionskontext eingesetzten Programme (Kapitel 2.1.2) und die für den Betrieb dieser notwendigen IT-Infrastruktur. Die IT-Infrastruktur umfasst typischerweise lokale und mobile Arbeitsplatzrechner bzw. *Workstations* bestehend aus Ein- und Ausgabegeräten, Peripheriegeräten, Betriebssystemen und *Mainboards*, ebenso passive und aktive Netzwerkkomponenten wie *Hubs*, *Switches* (intelligente *Hubs*), *Access Points* (*Router*), *Bridges*, *Gateways*, *Firewalls* etc. Dabei determiniert die global eingesetzte Datennetztechnologie Ethernet auch die Komponenten der leitungsgeführten Kommunikation wie Kabel- und Steckertypen (RJ45, M12, ST, SC). Bei der elektrischen Signalübertragung werden Koaxial- (unsymmetrisch) und *Twisted-Pair*-Kabel (symmetrisch) unterschieden. Bei der optischen Signalübertragung kommen Glasfaserlichtwellenleiter auch Glasfaserleiter zum Einsatz. Diese sind häufig in der Nähe von großen Maschinen im

Einsatz, da sie im Gegensatz zur elektrischen Signalübertragung unempfindlich gegen jede Art von elektromagnetischen Feldern sind. (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 102) Mit der Datennetztechnologie Ethernet können neben leitungsgeführten Netzwerken auch Funknetzwerke realisiert werden. Ein RFID-System besteht im Wesentlichen aus Transponder, RFID-Lesegerät, RFID-Drucker, mobile Erfassungsgeräte, RFID-Gate, Lichtschranken und *Edgware*. Darüber hinaus bilden *Hostrechner* bzw. *server* einen wesentlichen Bestandteil der IT-Infrastruktur in Unternehmen. Durch die immer stärkere Verflechtung von Unternehmen mit seinen externen *Stakeholdern* bilden auch externe IS für EnIS-P wichtige physikalische *Assets*. Hier sind neben den bis hierher beschriebenen und nur quasi gespiegelten *Assets* im externen Umfeld bei Zulieferern etc. besonders externe Rechenzentren vor dem Hintergrund des steigenden Bedarfs nach zentral bereitgestellter IT-Leistung im Kontext Energiewende und I4.0 von zentraler Relevanz.

Durch das MsbG werden u.a. Regelungen getroffen, die die Ausstattung von Messstellen der leitungsgebundenen Energieversorgung mit modernen Messeinrichtungen und intelligenten Messsystemen, die technischen Mindestanforderungen an den Einsatz dieser, sowie die zur energiewirtschaftlichen Datenkommunikation und zur allgemeinen Datenkommunikation mit *Smart-Meter-Gateways*, betreffen. (s. MSBG Ausfertigungsdatum: 2016, S. 4) Abbildung 56 zeigt eine Unterscheidung der in der Praxis anzutreffenden Stromzählertypen.

	Ferrariszähler	Moderne Messeinrichtung (mME)	Intelligentes Messsystem (iMSys)	Kommunikationseinheit (Smart-Meter-Gateway)
Zählertyp	Analoger Zähler	Digitaler Zähler ohne Kommunikationseinheit	Digitaler Zähler mit Kommunikationseinheit	Kommunikationsschnittstelle
Funktionen des Zählers	Aktueller Zählerstand	- Aktueller Zählerstand - Gespeicherte Werte - tages- - wochen- - monats- - Jahresgenau 2 Jahre im Rückblick ⇨ aufrüstbar mit einer Kommunikationseinheit zum iMSys	- Aktueller Zählerstand - Gespeicherte Werte ¼ h genau abrufbar in - Tages- - Wochen- - Monats- - Jahresanzeige	- Schnittstelle zwischen Zähler und Kommunikationseinheit - Kann ein oder mehrere Zähler anbinden - Automatische Datenübertragung zum Messstellenbetreiber
Zuständig für Einbau, Messung und technischen Betrieb	Örtlicher Netzbetreiber als Messstellenbetreiber	Grundzuständiger Messstellenbetreiber (i.d.R. örtlicher Netzbetreiber) oder ein vom Verbraucher beauftragter Messstellenbetreiber		Smart-Meter-Gateway-Administrator entweder der grundzuständige Messstellenbetreiber oder ein wettbewerbliches Unternehmen

Abbildung 56: Abgrenzung verschiedener Stromzählertypen (s. BNETZA 2017c, o.S.)

Ab dem Jahr 2017 müssen alle Messstellen an Zählpunkten mit einem Jahresstromverbrauch von über 10.000 kWh innerhalb verschiedener Übergangsfristen, sowie Messstellen an Zählpunkten mit einer unterbrechbaren Verbrauchseinrichtung, vor der Teilnahme am Flexibilitätsmechanismus mit einem intelligenten Messsystem ausgestattet werden. (s. MsbG Ausfertigungsdatum: 2016, S. 18) Ein leistungsfähiges intelligentes Netz erfordert zwangsläufig vor allem sichere Informations- und Telekommunikationstechnologien sowohl auf Ebene der Datenerfassung als auch auf der ersten Weiterverteilungsstufe, dem *Smart-Meter-Gateway*, das als Kommunikationseinheit in der Sicherheitsarchitektur eines intelligenten Messsystems die Schlüsselrolle einnehmen wird. (s. BMWI 2015a, S. 3)

7.4 Zwischenfazit

Die Ausführungen in diesem Kapitel zur RAMEnIS stellen die Beschreibung einer generischen EnISA für produzierende Unternehmen dar und führt durch die Beantwortung der zweiten Forschungsfrage zu der Erreichung des in Kapitel 1.3 formulierten zweiten Teilziels.

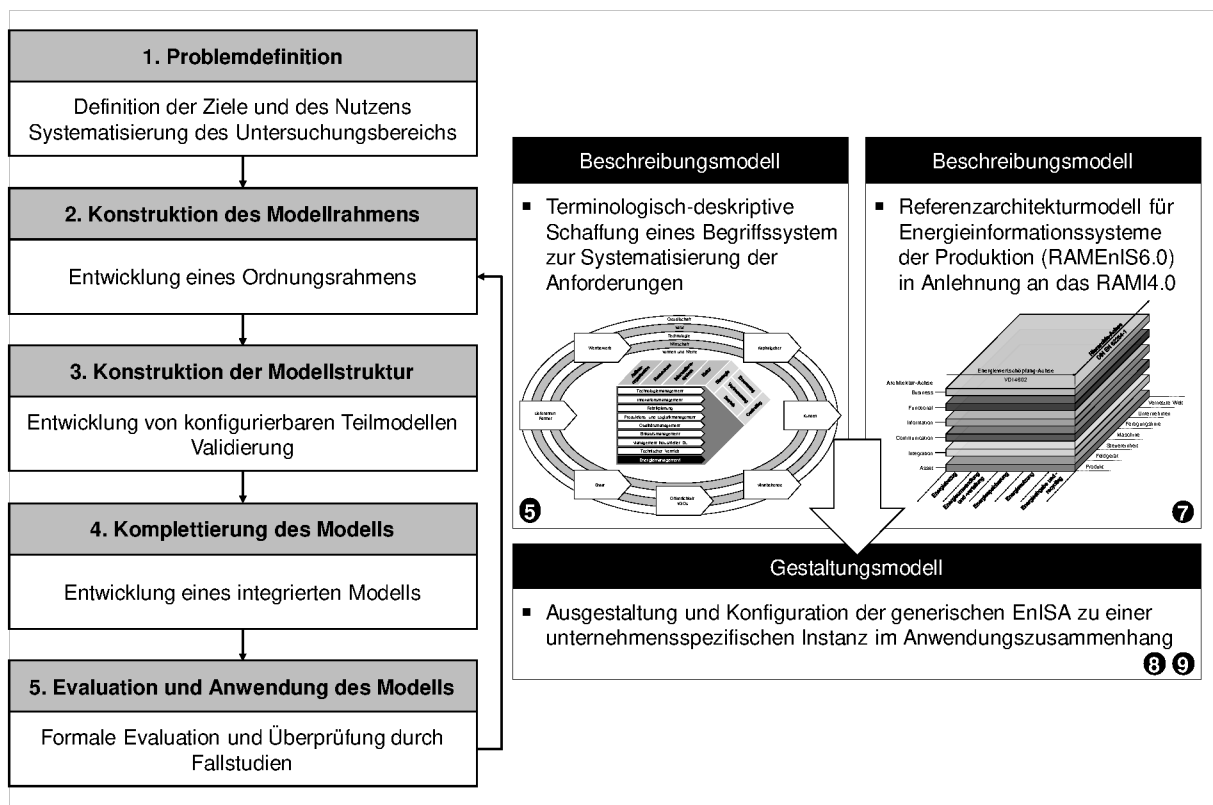


Abbildung 57: Zusammenhangsdarstellung der bislang erzielten Ergebnisse,

Mit der Absicht sich der übergeordneten Zielstellung der Arbeit weiter anzunähern, wird in nächsten Kapitel 8 die Entwicklung eines Gestaltungsmodells zur Ableitung spezifischer EnISA in der Praxis durchgeführt

8 Gestaltung einer spezifischen Energie-informationssystemarchitektur in der Praxis

Die Strategie eines Unternehmens, bestehend aus Vision, Mission und Zielbild bildet den Oberbau unternehmerischer Tätigkeiten und Entscheidung im heutigen Ökosystem produzierender Unternehmen (Kapitel 5). Durch Ausrichtung an der Unternehmensstrategie werden die vorhandenen Ressourcen zielgebunden eingesetzt. Da der effiziente Ressourceneinsatz sich auch im Erfolg des Unternehmens widerspiegeln und sogar zu Schaffung von Wettbewerbsvorteilen beitragen kann (s. MATZEN U. TESCH 2017, IX), wird der Formulierung und Aufrechterhaltung einer konsistenten Unternehmensstrategie eine hohe Bedeutung beigemessen. In der Managementliteratur existieren zahlreiche Vorgehensweisen zur Entwicklung und Umsetzung von Unternehmensstrategien, sodass an dieser Stelle für detailliertere Ausführungen auf diese verwiesen werden soll. (vgl. SCHUH ET AL. 2011, S. 82) Untergeordnete Bereiche der Unternehmensstrategie werden durch Teilstrategien an den Zielvorstellungen des gesamten Unternehmens ausgerichtet. (s. ROSCHER ET AL. 2014a, S. 16) In diesem Zusammenhang sind die Teilstrategien für den Einsatz von IT im Unternehmen (IT-Strategie) und die Energiepolitik für das betriebliche EM im Allgemeinen und EnIS im Speziellen von zentraler Bedeutung. Um Investitions- und Kostenentscheidungen bei der Gestaltung von EnIS vollständig greifen zu können, bedarf es in einem ersten Schritt einer integrativen Sicht auf die beiden Handlungsfelder IT-Strategie und Energiepolitik. Die IT-Strategie bildet den langfristigen strategischen Rahmen der Felder IT-Management (operatives Management der Leistungserbringung), IT-Steuerung (Messung und Korrektur der Leistungserbringung) und IT-Architektur (technische Grundlage der Leistungserbringung). Operativ wird die IT-Architektur durch IT-Management und IT-Steuerung beeinflusst mit dem Ziel die optimale Unterstützung der Geschäftsprozesse durch die aus den Geschäftsfeldstrategien abgeleiteten Prozessarchitekturen (*IT Follows Business*) zu realisieren (s. Abbildung 26). Nachhaltige Wettbewerbsvorteile im Kontext I4.0 und Energiewende können allerdings nur realisiert werden, wenn sich die Unternehmens-IT nicht ausschließlich auf die Unterstützung vordefinierter Geschäftsprozesse beschränkt, sondern flexible Möglichkeiten für interoperable Umsetzung neuartiger Anwendungen über das bisherige Leistungsportfolio hinaus erlaubt. Auf diese Weise nutzt die IT-Abteilung idealerweise ihr technisches *Know-How* über aktuell ungenutzte Potenziale und zukünftige Trends um neue Geschäftsfelder zu erschließen (*IT-Enables Business*) (s. ROSCHER ET AL. 2014a, S. 18)

Hieraus ergeben sich ganz unterschiedliche strategische Optionen insbesondere unter Einbezug der Energiepolitik, deren energiebezogene Fragestellungen sich mit fortschreitenden Energiewende direkt oder indirekt auf alle Unternehmensbereiche auswirken. (s. MATZEN U. TESCH 2017, X) So sehen sich vor allem energieintensive Industrien in Deutschland neben einem weltweiten Preiswettbewerb auch einer zunehmend polarisierten öffentlichen Debatte gegenübergestellt, die sich von der ursprünglichen

geführten Auseinandersetzung um Energietechnologien und deren Umwelt- und Sicherheitsrisiken, hin zu einer Gerechtigkeitsdebatte über reduzierte Strompreise für Industrien, sowie die Legitimation klimapolitischer Instrumente verschoben hat. (s. MÖLLER U. NIESE 2017, S. 35) Die Entwicklung einer Energiepolitik liegt grundsätzlich im Ermessen der Unternehmensleitung, wobei sich gerade bei energieintensiven Unternehmen dieses Ermessen zunehmend zu einer Pflicht zur Entwicklung und Umsetzung einer entsprechenden Teilstrategie verdichten kann, um die nachhaltige Rentabilität des Unternehmens zu sichern. (s. BLECH 2017, S. 187) Hieraus ergibt sich zunehmend die Notwendigkeit auch aufbereitete Energiedaten in die Managementunterstützungssysteme zu integrieren.

8.1 Methode zur Gestaltung spezifischer EnISA

Die Gestaltung einer spezifischen EnISA als Grundlage für die Realisierung eines konkreten EnIS in der Praxis erfolgt auf Basis der in Kapitel 7 hergeleiteten RAMEnIS 6.0. Ein systematisches Vorgehen dieser Gestaltung kann wie in Abbildung 58 dargestellt als Methode einer Dauerschleife mit fünf Einzelschritten erfolgen. Es beschreibt ein iteratives Vorgehensmodell bei dem die Wiederholung von vorangegangenen Arbeitsschritten ausdrücklich vorgesehen ist. (s. KRCMAR 2015a, S. 80)

Im **ersten Schritt** muss die Ausgangsbasis über die individuellen strategischen, rechtlichen und regulatorischen, sowie den organisatorischen und geschäftlichen Rahmenbedingungen geschaffen werden. Dies geschieht unter strenger Berücksichtigung der vorherrschenden Gegebenheiten der dinglichen Realität in Form der vorhandenen *assets* einer Unternehmung.

Im **zweiten Schritt** können hieraus auf Basis der identifizierten lukrativen Geschäftsmodelle (*Business Models*) bzw. Anwendungsfälle (*Use Cases*) mit positiven Effekten auf vorhandene bzw. als *enabler* zur Etablierung neuartiger innovativer Geschäftsprozesse, die zur Realisierung erforderlichen fachlichen Funktionen abgeleitet werden.

Im **dritten und vierten Schritt** erfolgt darauf aufbauend eine weitere Konkretisierung der fachlichen Funktionen (*Functional*) durch die Fachkonzeption und Datenmodellierung der zur Funktionserfüllung notwendigen Informationen (*Information*). Eine Iteration der Schritte 1 bis 4 ist in der Praxis für eine Harmonisierung der Arbeiten empfehlenswert und trägt dem Systemtechnikprinzip vom Groben zum Detail Rechnung.

Im **fünften und sechsten Schritt** werden die vorhandenen Gegebenheiten mit Hilfe eines Überblicks über alle beteiligten geschäftskritischen Systeme und die dazugehörigen Kommunikationsschnittstellen (*Communication*) mit Bezug zum Integrationsvorhabens neuer Energiemanagementfunktionalitäten in die vorhandene IT-Landschaft bewertet (*Integration*).

Im **siebten Schritt** findet schließlich die Anwendungsentwicklung statt, die in einem konkreten EnIS-P (*asset*) mündet, das idealerweise sämtliche an das System gestellten Anforderungen für eine gewisse Zeit erfüllt. Sich ändernde Rahmenbedingungen und die kontinuierliche Weiterentwicklung machen früher oder später aber auch die

Anpassung dieses Programmes notwendig und stoßen einen weiteren Durchlauf der hier beschriebenen Dauerschleife an.

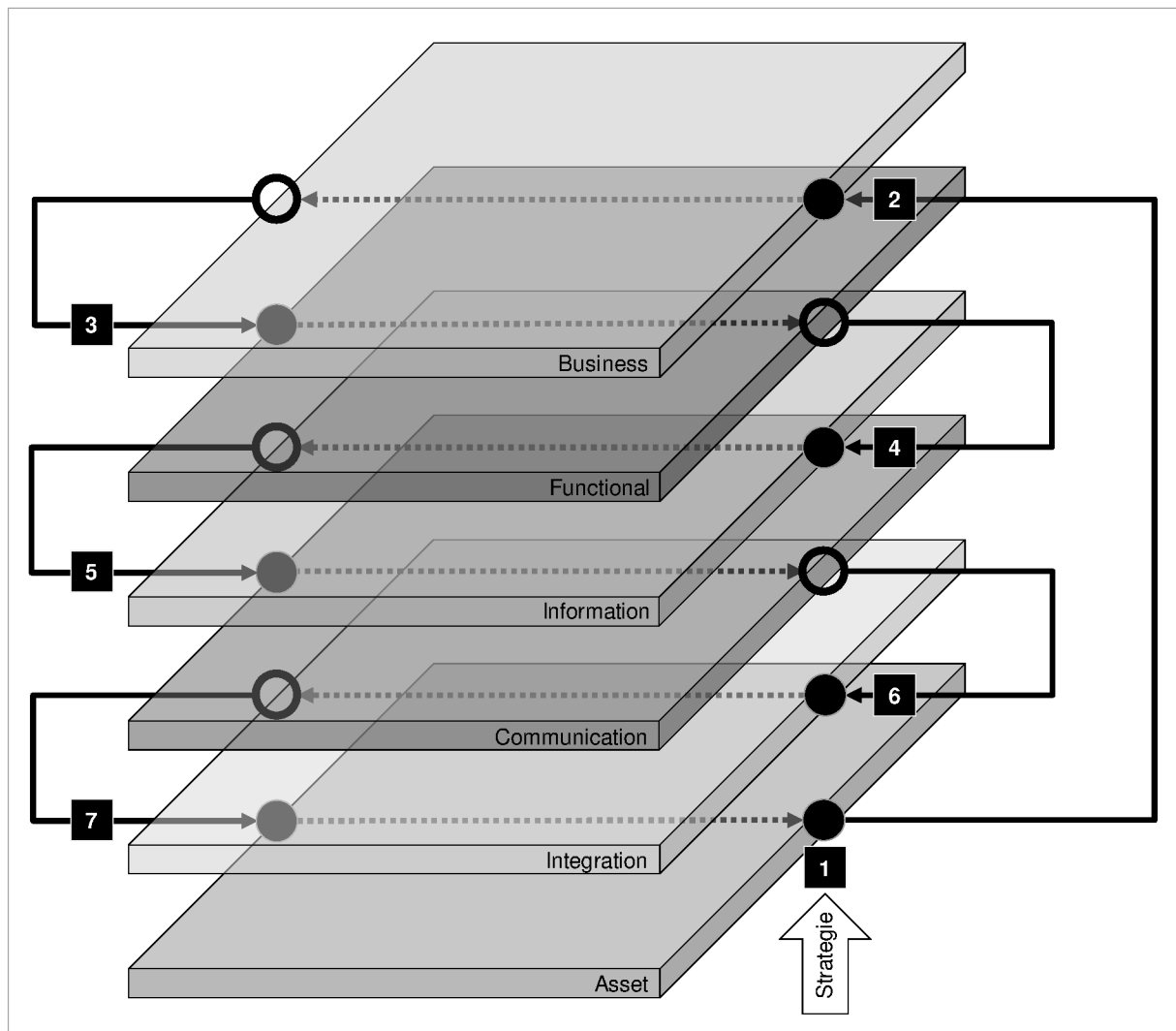


Abbildung 58: Iteratives Vorgehen zur Gestaltung von EnIS (eigene Darstellung)

Das soeben beschriebene iterative Vorgehen weist im Vergleich zur sequenziellen Ablaufgestaltung einen verhältnismäßig schwachen Grad der Formalisierung auf. (s. KRCMAR 2015a, S. 81) Dies ist vor dem Hintergrund der Zielstellung dieser Arbeit ein möglichst generisches Modell zu erarbeiten auch durchaus so gewollt. Auf diese Weise kann das Vorgehensmodell grundsätzlich mit anderen Vorgehensmodellen wie SCRUM, RUP, Vorgehensmodell (V-Modell) oder Spiralmodell kombiniert werden. (s. KRCMAR 2015a, S. 80)

8.1.1 Ausgangsbasis

Bevor der Einstieg in die Gestaltung einer spezifischen EnISA erfolgen kann, müssen die in Kapitel 7.3.1. beschriebenen allgemeinen Rahmenbedingungen aus Sicht des betrachteten Unternehmens artikuliert und dokumentiert werden. Die Unternehmensstrategie ist zunächst speziell in Bezug auf die Aktivitäten im Kontext I4.0 (IT-Strategie) und Energiewende (Energiepolitik) zu konkretisieren. Im Mittelpunkt der strategischen

Überlegungen sind dabei die strategischen Erfolgspositionen (SEP), die mit den vorhandenen spezifischen *assets* des Unternehmens ausgebaut bzw. zukünftig erreicht werden sollen. Als Ordnungsrahmen bietet sich hierfür das in Kapitel 5 dieser Arbeit, um die Unternehmensprozesse des EM (s. ROSCHER 2016b, S. 66) erweiterte Produktion und Management-Modell aus Aachen (s. BOOS ET AL. 2011, S. 56) welchem das neue St. Galler Management-Modell (s. RÜEGG-STÜRM 2003, S. 22) zugrunde liegt. Darüber hinaus existieren eine Vielzahl verschiedener *Strategietool* die in der Praxis bereits Anwendung finden. (vgl. STICH ET AL. 2009) Ein praktisches Beispiel für die Anwendung einer Methode zur Dokumentation eines EM Geschäftsmodells (*Vehicle-to-Grid*) mit dem *Business Model Canvas* findet sich im Anhang A6. Die so durch veränderte Energiemanagementtätigkeiten implizierten neuen bzw. adaptierten Geschäftsmodelle haben folglich auch Auswirkungen auf die Geschäftsprozesse und somit auch auf das GPM. Diese werden in der Praxis häufig durch BPM-Systeme unterstützt und werden idealerweise durch einen systematischen Auswahlprozess begleitet. (s. ROSCHER U. SCHMITZ 2013)

8.1.2 Funktionskatalog

Auf Basis der konkretisierten Ausgangsbasis vor allem hinsichtlich der Unternehmensstrategie und der daraus abgeleiteten IT-Strategie kann nun in einem nächsten Schritt der Funktionsumfang des EnIS determiniert werden. Dieser ist somit stark mit der IT-Strategie verflochten, da diese die Möglichkeiten der IT-Unterstützung des EM und somit die realisierbaren *Use Cases* determiniert. An diesem Punkt muss sich die Geschäftsleitung eines jeden Unternehmens bereits festlegen, welchen zukünftigen Weg sie einschlagen will und welche Bedeutung dabei dem EM beigemessen werden soll. In Abbildung 59 ist ein generisches Reifegradmodell gezeigt, das unterschiedliche Entwicklungsstufen des EM produzierender Unternehmen voneinander abgrenzt. Die Abgrenzung erfolgt anhand der Ausprägung der Merkmale elektronische Datenverarbeitung (EDV) energierelevanter Daten, der Leistungsfähigkeit der Energiedatenanalyse, dem Einfluss der energiebezogenen Leistung auf das Produktionssystem, sowie die Interaktion des betrachteten Unternehmens mit dem Energiesystem indem es sich befindet. (s. ROSCHER 2016b, S. 73)

Der Systematik des Reifegradmodells folgend lässt sich jedes produzierende Unternehmen hinsichtlich seiner bisherigen Aktivitäten im EM einstufen. Das nicht Vorhandensein von Aktivitäten bzw. nur in absolut rudimentärer Form wird folglich als *vacates* EM der Stufe 0 bezeichnet. Die nächste Stufe bezeichnet auditiertes EM und trifft auf Unternehmen zu die mit möglichst einfachen Mittel ihre energiebezogene Leistung verbessern wollen. Unternehmen der Stufe 1 betreiben entweder durch gesetzlichen Verpflichtung (EDL-G) oder aufgrund von Kosten- oder Effizienzproblemen, aber immer häufiger auch aus sozialer Verantwortung für die Umwelt EM. Qualifiziertes EM der Stufe 2 ist charakteristisch für diejenigen Unternehmen, die beginnen das EM neben Kosten- auch aus Wettbewerbsaspekten zu betrachten. Unternehmen die qualifiziertes EM betreiben definieren standardisierte Geschäftsprozesse für das zielgerichtet Management der Ressourcen Energie und Information (EnIM) im Unternehmen.

Emanzipiertes EM der Stufe 3 beschreibt den Vorgang der zunehmenden Lösung aus der Abhängigkeit und untergeordneten Rolle der energiebezogenen Leistung gegenüber den bereits etablierten produktionslogistischen Zielgrößen. Die Bedeutung der Ressource Energie ist bei diesen Unternehmen derart hoch, dass sie zunehmend auch bereit sind aus Gründen der energiebezogenen Leistung in die laufenden Produktionsabläufe einzugreifen. Das EM wird auf dieser Stufe von allen Mitarbeitern getragen, sodass stetige Verbesserungen der energiebezogenen Leistung zur Tagesordnung gehören. Unternehmen der Stufe 4 haben die höchste Reifegradstufe dieses Modells bereits erreicht und betreiben ein vollständig automatisiertes EM. Das EM ist in solchen Unternehmen im größeren Kontext von I4.0 zu betrachten. Die Automatisierung des EM stellt die logische Konsequenz aus dem Vorhandensein von CPS in vollständig vertikal und horizontal integrierten CPPS dar. Die Entscheidungsfindung kommt fast einer mystischen Energieleistungsprophezeiung gleich die für den Menschen nicht mehr ohne Unterstützungssysteme nachvollziehbar ist, da sie durch Systeme mit KI geführt werden, die in der Regel immer den beabsichtigten Zielzustand auch tatsächlich erreichen.

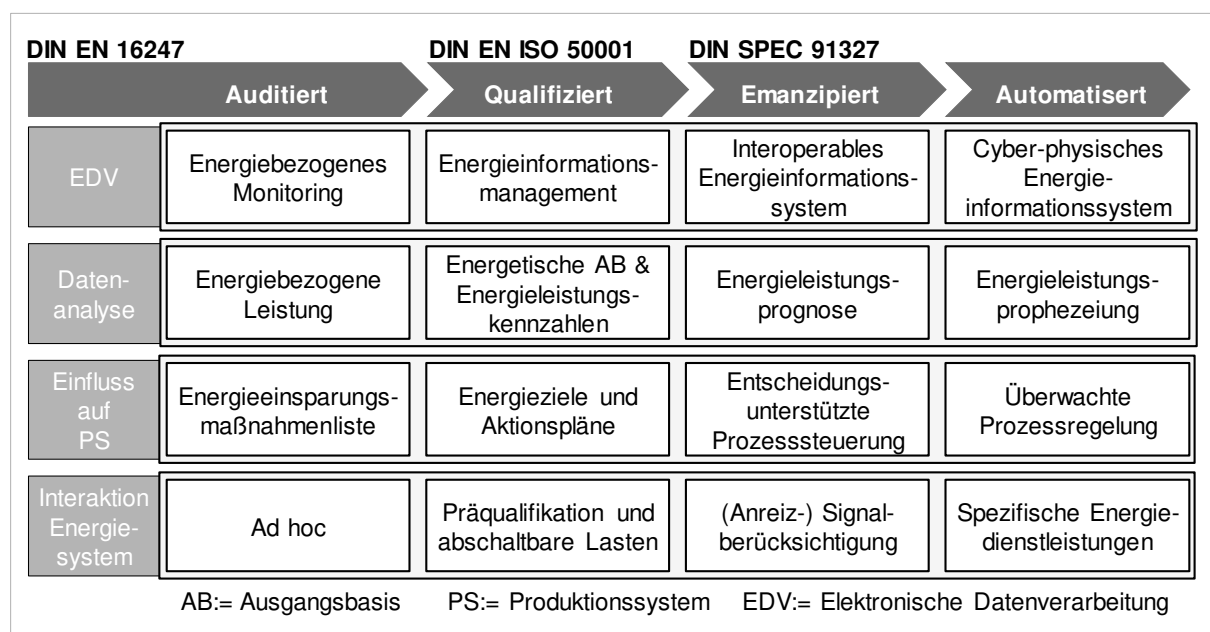


**Abbildung 59: Reifegradmodell für das EM produzierender Unternehmen
(s. ROSCHER 2016B, S. 73)**

Realistischerweise sollten sich heutige Unternehmen innerhalb der ersten drei Stufen einordnen und gleichzeitig artikulieren können, welchen Reifegrad sie im jeweiligen Planungshorizont der aus der Unternehmensstrategie abgeleiteten Energiepolitik erreichen wollen. Hieraus determiniert sich quasi zwangsläufig der Umfang des Katalogs von Funktionen, die für die Realisierung der angestrebten Energiemanagementaktivitäten notwendig sind.

8.1.3 Informationslogistik

Der Funktionskatalog erlaubt die konkrete Ableitung des Informationsbedarfs von der Realität zum konzeptionellen Datenmodell (Informationslogistikkonzept). Durch die

Datenmodellierung soll ein präzises und vollständiges Modell für den Informationsbedarf des betrachteten Realitätsausschnitts aufgestellt werden (s. JAROSCH 2016, S. 26), das anschließend als Grundlage für die weitere Gestaltung der spezifischen EnISA dient. Auch an dieser Stelle findet das Systemtechnikprinzip vom Groben zum Detail Anwendung. Als grafische Beschreibungssprache wird in der Praxis häufig das *Entity-Relationship-Model* verwendet, da es sich sehr gut dafür eignet zunächst die typmäßige Struktur der Daten zu beschreiben ohne zu diesem Zeitpunkt die konkreten Datenwerte benennen zu müssen. (s. JAROSCH 2016, S. 27) Dieser Prozess erfolgt in der Regel iterativ bevor das so immer schärfer werdende konzeptionelle Modell in einem zweiten Schritt schließlich in konkrete maschinenlesbare Datenmodelle transformiert werden muss. Im iterativen Prozess des Entwurfs eines konzeptionellen Datenmodells müssen zunächst die Typen von Objekten über die Informationen gespeichert werden sollen, ermittelt werden (Klassifizierung). Anschließend muss die Reduktion der Vielfalt der Angaben zu den Objekten auf die für die Verarbeitung relevanten Eigenschaften der Objekte durchgeführt werden (Abstraktion). Im nächsten Schritt erfolgt die Festlegung der Verfahrensweise, nach der Objekte desselben Objekttyps voneinander unterschieden werden können (Identifizierung). Schließlich erfolgt eine Beschreibung der sachlogischen Zusammenhänge zwischen den relevanten Objekttypen. (s. JAROSCH 2016, S. 28–29) Für diesen Zusammenhang liefern die Ausführungen in Kapitel 6 und insbesondere in Kapitel 7.3.3 dieser Arbeit praktische Beispiele. Sofern im Unternehmen bereits ein Architekturrahmenwerk Anwendung findet, sollte die durch das konzeptionelle Fachkonzept bereits grob-konfigurierte EnISA darin integriert werden, bevor eine Ausdetaillierung bis hin zur Implementierungsfähigkeit erfolgt. (s. FLUHR 2014, S. 136)

Wie bspw. in Abbildung 43, Abbildung 44 und Abbildung 61 gezeigt lassen sich Energiedaten nicht separiert betrachten, sondern müssen für anspruchsvollere Anwendungen immer im Kontext der PPS betrachtet werden. (s. GRAUS 2016, S. 46) Dem Informationsangebot liegt wie in Abbildung 61 gezeigt in jedem Fall ein irgendwie geartetes Management der Informationsressource zugrunde, das neben traditionellen Datenbanken auch immer häufiger *Big-Data*-Architekturmodelle enthält. (s. GRAUS 2016, S. 47–48) Die konkrete Datenmodellierung muss im Einklang mit der IT-Strategie des Unternehmens erfolgen. Dies hat zur Folge, dass im Einzelfall sowohl konservative konventionelle Techniken zum Einsatz kommen können oder aber auch bereits innovative IoT-Ansätze wie sie im DF *Framework* beschrieben werden.

Zur Komplexitätsbeherrschung bedient man sich durch Aufteilung unterschiedlicher Schritte somit dem antiken Prinzip des Teilen und Herrschens (lat.: *Divide et impera*) und beschreibt zunächst die betriebliche Realität unter zwei verschiedenen Blickwinkeln. Zum einen unter dem Aspekt der benötigten Funktionen (Kapitel 8.1.2) und zum anderen mit der konzeptionellen typmäßigen Struktur der Daten sowie den konkret auszuführenden Informationsspeicherungs- und Informationsverarbeitungsprozessen

(Kapitel 8.1.3). Die unterschiedlichen Sichten werden später dann zu einer Gesamt-sicht zusammengeführt und im nun beschriebenen nächsten Schritt hinsichtlich der Integration in die vorhandene IT-Landschaft einer weiteren Untersuchung unterzogen.

8.1.4 IT-Integration

Wie in Kapitel 3.3. bereits gezeigt existieren zahlreiche verschiedene Architekturrahmenwerke die in Unternehmen bereits Anwendung finden können. Für diejenigen Unternehmen die solche Gestaltungshilfen bereits einsetzen, ist eine Integration der spezifischen EnISA in ihr vorhandenes Architekturrahmenwerk bzw. in entsprechende Modelle notwendig, um durch die konfigurierte EnISA keine zusätzliche Insellösung zu schaffen. Die Integration kann bspw. durch Abbildungen der Ebenen der EnISA auf die Sichten anderer Architekturmodelle erfolgen, da trotz Unterschieden im Detail große, grundsätzliche Übereinstimmungen bei ISA-Konzepten vorliegen. (s. FLUHR 2014, S. 139) Aber auch für Unternehmen ohne etablierte Gestaltungshilfen muss eine sorgfältige Planung der Integration selbstverständlich ebenfalls auf Basis der vorhandenen Infrastruktur bzw. der Zielvorstellung einer zukünftig angestrebten Infrastruktur durchgeführt werden. Im Idealfall resultiert daraus zunächst eine Bestandsaufnahme in Form einer Übersicht über die vorhandene IT-Infrastruktur. Ein praktisches Beispiel dafür wäre die Synthese aus der Konkretisierung der Abbildungen 61 und Abbildung 50 bzw. Abbildung 51. Gebräuchlich ist in diesem Zusammenhang auch der Begriff der IT-Landkarte, die Orientierung bieten und den Anwender zum gewünschten Ziel lotsen soll. (s. BECHTLE AG 2017) Eine Landkarte alleine stellt für sich genommen zwar bereits eine Verbesserung dar, führt aber lediglich Menschen die diese überhaupt lesen bzw. schneller lesen können, wie bspw. Ortskundige um in diesem Sprachbild zu bleiben, effizient an ihr Ziel. Dieser Umstand ist der Störanfälligkeit der Wissensvermittlung in Form verbaler Kommunikation der natürlichen Sprache geschuldet, die naturgemäß durch Ungenauigkeiten, Mehrdeutigkeiten und individueller Interpretation gekennzeichnet sind. (s. JAROSCH 2016, S. 8–9) Gerade im Kontext des EM sind aber interdisziplinäre Experten gefragt, die nicht notwendigerweise dasselbe Begriffsverständnis aufweisen, sodass neben einer Landkarte auch immer eine spezifische Unterstützung mitgeliefert werden sollte wie bspw. ein Reiseführer und Kompass. Reiseführer und Kompass repräsentieren in der Praxis bspw. die Methoden des IT-*Roadmappings*. *Roadmapping* ist eine oft eingesetzte praxisorientierte Möglichkeit der Planung zukünftiger Entwicklungen und Aktivitäten. Daher scheint es sinnvoll, *Roadmaps* auch in der IT-Integration einzusetzen. Durch eine besondere Gestaltung des *Roadmappings* kann dabei die Kommunikation zwischen den *Stakeholdern* herbeigeführt und vereinfacht werden. Dies geschieht operativ in mit den typischen *Stakeholdern* der Geschäftsführung, mit den Leitern der Fachbereiche, den Energiebeauftragten, der IT und idealerweise auch mit Vertretern aller anderen Personengruppen die das System später in ihrem Arbeitsalltag einsetzen sollen. Dies kann bereits zu einem frühen Zeitpunkt der kategorischen Ablehnung eines neuen Systems vorbeugen. Diese im Rahmen des *Roadmapping*prozesses identifizierten Lücken und Unklarheiten können noch vor der eigentlichen Implementierung entdeckt und durch geeignete

Gegenmaßnahmen beseitigt werden. Eine detaillierte Beschreibung der Methode des IT-Roadmappings sowie verschiedene Beispiele ihrer Anwendung und der Ergebnisse für den Untersuchungsbereich der Integration der Fertigung in das *Smart Grid* mit Hilfe von *Future Internet* (FI) Technologien findet sich im frei über das Internet verfügbaren Ergebnisbericht des Forschungsprojekts FINESCE. (s. KRENKE U. ROSCHER 2013, S. 1–17) Abbildung 60 skizziert die bis hierhin beschriebenen Zusammenhänge im Rahmen des IT-Integrationsschrittes.

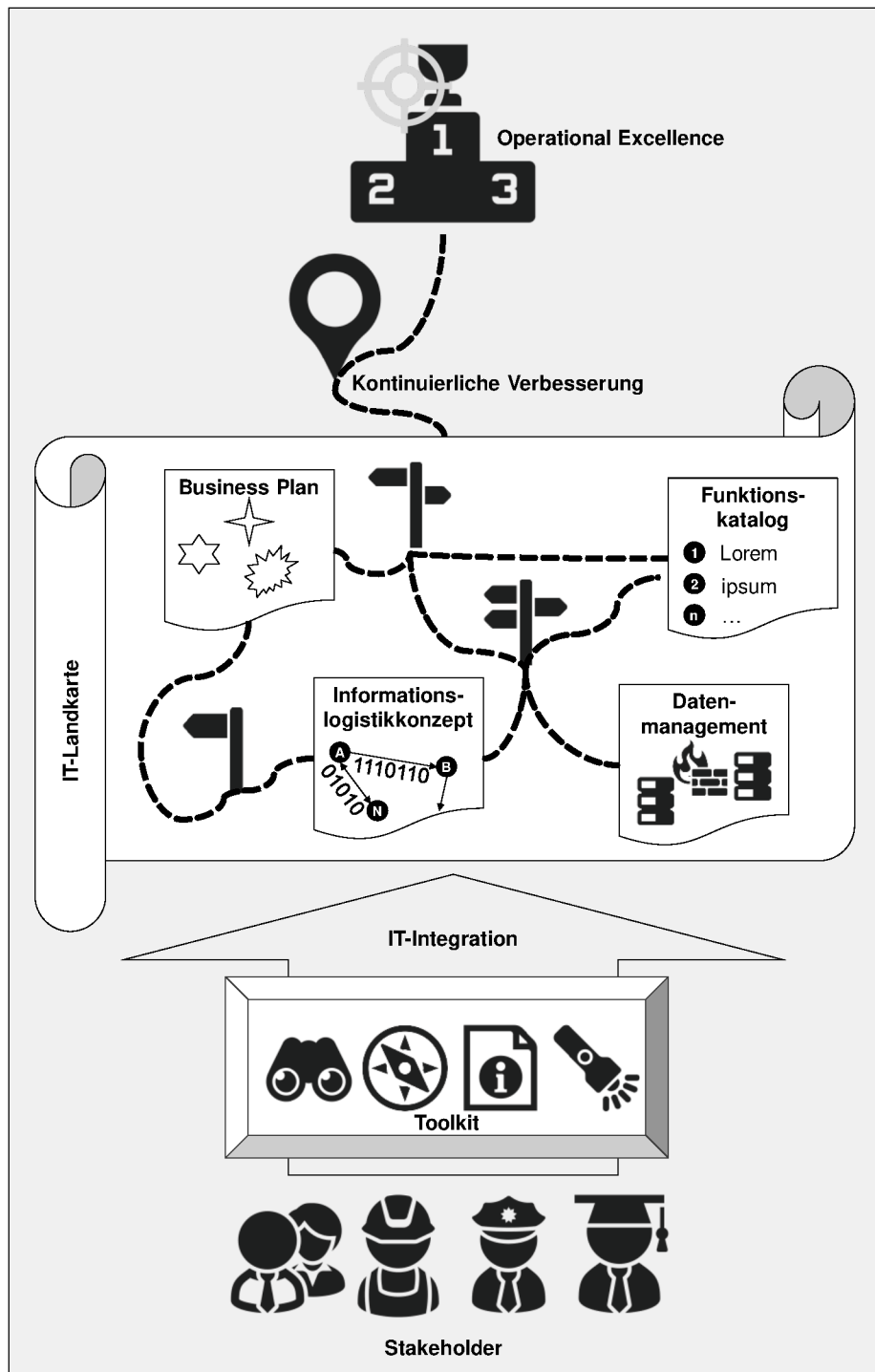


Abbildung 60: Vorgehensweise im Zuge der IT-Integration (eigene Darstellung)

Mit der zunehmenden Bedeutung automatisierter Unterstützung in immer komplexeren Entscheidungssituationen steigt auch der Bedarf der Einbettung der DA in die vorhandene Systemlandschaft. Eine direkte Integration der DA in bestehende PPS-Systeme ist dabei in der Regel gar nicht oder nur mit großem Aufwand möglich (s. GRAUS 2016, S. 46), da die Kernarchitekturen zumeist historisch gewachsen und ursprünglich für andere Anwendungen konzipiert wurden (s. Kapitel 7.3.3 OLAP und OLTP). Darüber hinaus liegen Energiedaten und weitere Sensordaten mitunter feingranular und zeitlich hochaufgelöst vor, sodass insbesondere die im Rahmen dieser Arbeit immer wieder genannten modernen Anwendungen des EM im Kontext des IoT eher zu einer Aufgabenstellung aus dem Bereich *Big Data* werden. (s. GRAUS 2016, S. 46) Gleichzeitig stellt auch im Gesamtkontext des Unternehmens betrachtet eine direkte Eingliederung der DA in ein EnIS eine unnötige Einschränkung dar, die vor allem vor dem Hintergrund des damit verbundenen notwendigen Technologieeinsatzes als wenig zielführend erscheint. (s. GRAUS 2016, S. 46) DA sollte daher vielmehr wie in Abbildung 61 dargestellt als zusätzliche Schicht bzw. Ebene einer IT-Infrastruktur angesehen werden (s. GRAUS 2016, S. 46) die durch die Integration in die Systemlandschaft quasi als Unterstützung der Unterstützung in Form der operationellen Systeme größere Flexibilität und zusätzliche Funktionalitäten bieten kann.

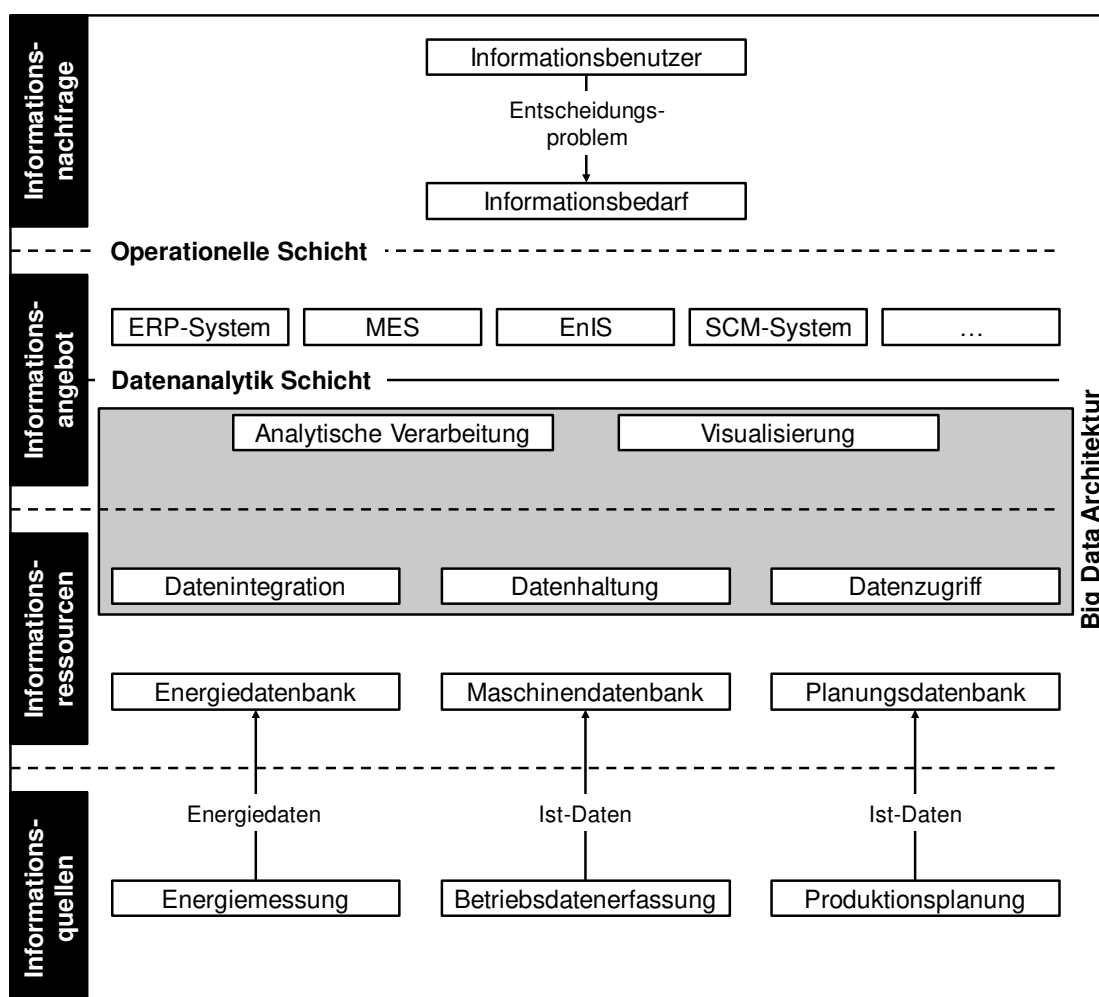


Abbildung 61: Einbettung der DA in die Systemlandschaft (s. GRAUS 2016, S. 47)

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Projektierung von industriellen Automatisierungnetzwerken zunächst einmal nicht mit typischen Büronetzwerken verglichen werden können, da diese grundsätzlich voneinander verschiedene Schwerpunkte, Dimensionierungsregeln und Anforderungen aufweisen (s. METTER U. BUCHER 2007, S. 191) Dabei schränkt vor allem die Anzahl der Endgeräte im Netzwerk, die Endgerätedichte bzw. die Verteilung der Endgeräte, die Ausdehnung zwischen den Endgeräten, die Anordnung der Endgeräte, die Anforderungen an die Verfügbarkeit sowie die Anforderungen an die Verlässlichkeit der Datenübertragung neben vielen weiteren Aspekten die möglichen Kommunikationstechnologien, Kommunikationsprotokolle und verwendbaren Datentypen bereits ein. Nichtsdestotrotz stellt die Festlegung für den ein oder anderen Ansatz immer ein nicht triviales Entscheidungsproblem dar, welches in enger Abstimmung mit der Unternehmens bzw. IT-Strategie erfolgen muss, da durch die Entscheidung für den einen oder anderen Ansatz bestimmte Sachverhalte langfristig manifestiert werden und nur noch mit hohem Aufwand rückgängig gemacht werden können. Aus diesem Grund müssen im Rahmen der Integration verschiedene Lösungen in der Regel miteinander verglichen und die jeweiligen Vor- und Nachteile idealweise quantifizierbar bewertet werden. Im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus existiert mit dem Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. (VDMA) IT-Nutzen*benchmark* ein *Tool*, welches die Erfassung von insgesamt 30 Kernaufgaben erlaubt, die als Basis für einen IT-Nutzen*benchmark* herangezogen werden können. (s. ROSCHER U. KRENKE 2012, S. 1–10) Ist die Auswahl und das Integrationskonzept schließlich erfolgt und bspw. durch Lastenhefte dokumentiert, kann im letzten Schritt die konkrete Implementierung erfolgen.

8.1.5 **Softwareentwicklung**

Der Mensch steht im Mittelpunkt von I4.0 und soll durch den Einsatz von IT mobil, personalisiert, situations- und kontextadaptiv Assistenz zur Erweiterung der Entscheidungs- und Beteiligungsräume widerfahren und gleichzeitig durch sie Möglichkeiten zur Belastungsreduktion im Arbeitsalltag bekommen. (s. SCHUH 2014, S. 6) Aber auch heute ist die Arbeitsrealität in der Produktion bereits durch multimodale Mensch-Maschine- und Mensch-Mensch-Interaktion geprägt. Die Komplexität der vorhandenen IT-Landschaft ist heute teilweise bereits so weit fortgeschritten, dass die Integration von Systemen von Systemen und die Systemoptimierung zukünftig immer häufiger nur noch durch einen multidisziplinären Ingenieurwissenschaftlichen Ansatz gemeistert werden kann. (s. CROWDER ET AL. 2016, S. 27) In diesem Umfeld kommen Ansätzen wie dem in Kapitel 4.2.1 beschriebenen C-SE, bei dem bei der *Softwareentwicklung* sowohl Anforderungen an die technischen Funktionen des Systems als auch menschliche kognitive Fähigkeiten explizit miteinbezogen werden immer größere Bedeutung zuteil. (s. CROWDER ET AL. 2016, S. 19) Abbildung 62 zeigt den Zusammenhang zwischen dem klassischen SE und dem C-SE-Prozess. Bezeichnenderweise geht aus dieser Darstellung bereits hervor, dass der Nutzer häufiger Weise erst ganz zum

Schluss in Berührung mit der bereits implementierten *Software* kommt obwohl die Ablehnung des Anwenders zumindest in dieser Darstellung die am weitestreichenden Konsequenzen hat (Zurück auf Los).

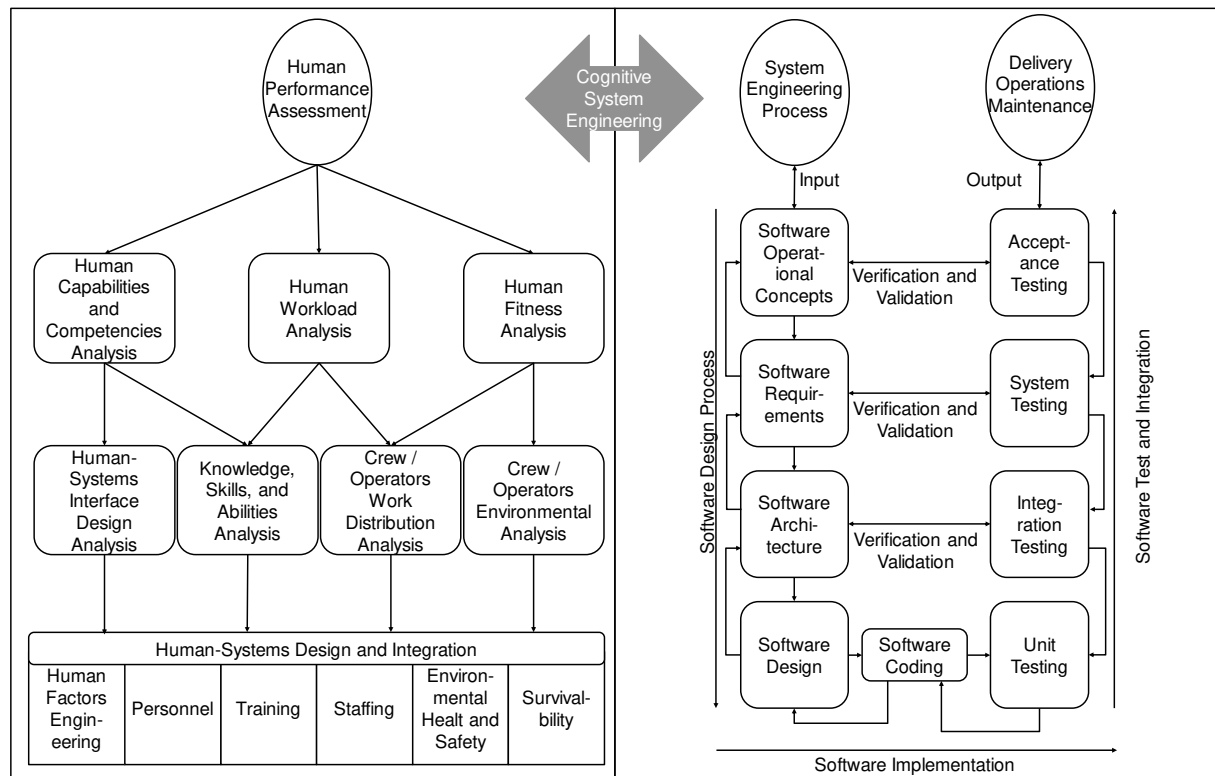


Abbildung 62: Zusammenhang zwischen klassischem SE und C-SE
(i. A. a. CROWDER ET AL. 2016, S.13, S.20)

Für Unternehmen stehen mit dem Kauf oder Mieten (SaaS) von Standardsoftware, der individuellen Fremd- oder Eigenentwicklung verschiedene Alternativen der Softwarebereitstellung zur Verfügung. (s. KRCMAR 2015b, S. 212) Dabei nimmt Standardsoftware mit ihrer unternehmensübergreifenden oder auch branchenübergreifenden Ausrichtung gegenüber individuell entwickelter Software gerade für die betriebswirtschaftlichen Kernfunktionen wie Finanzbuchhaltung, Auftragsbearbeitung und Produktionssteuerung einen immer höheren Stellenwert ein. (s. KRCMAR 2015b, S. 212) Der Auswahlprozess von Softwaresystemen ist dabei aufgrund ihrer organisatorischen Bedeutung fundamental für Unternehmen, da diese nach ihrer Einführung typischerweise für viele Jahre Bestand haben. Im deutschsprachigen Raum existieren auf dem Markt eine Vielzahl verschiedener Anbieter wie bspw. die Trovarit AG in Aachen, die auch über das Internet eine softwareunterstützte Vorauswahl für Standardsoftware unter Berücksichtigung der jeweiligen Anforderungen des Unternehmens anbieten. In Deutschland ist das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) für die Förderung von EnIS in der Industrie verantwortlich und veröffentlicht auf ihrer Webseite eine ständig aktualisierte Liste an förderungsfähigen EnIS. (s. BAFA 2017)

8.2 Zusammenfassung

Die Gestaltung einer unternehmensspezifischen EnISA kann durch Instanziierung der RAMEnIS 6.0 erfolgen. Dazu kann von Unternehmen die in diesem Kapitel entwickelte Vorgehensweise eingesetzt werden. Erst durch eine solche Methode werden die anderen Partialmodelle in Form des Beschreibungsmodells betriebliches EM produzierender Unternehmen und der generischen EnISA im Unternehmenskontext operationalisierbar. Durch diese erste Form der Operationalisierungsunterstützung wird aus allen Modellen ein Architekturrahmenwerk zur Gestaltung von EnIS produzierender Unternehmen (Abbildung 63).

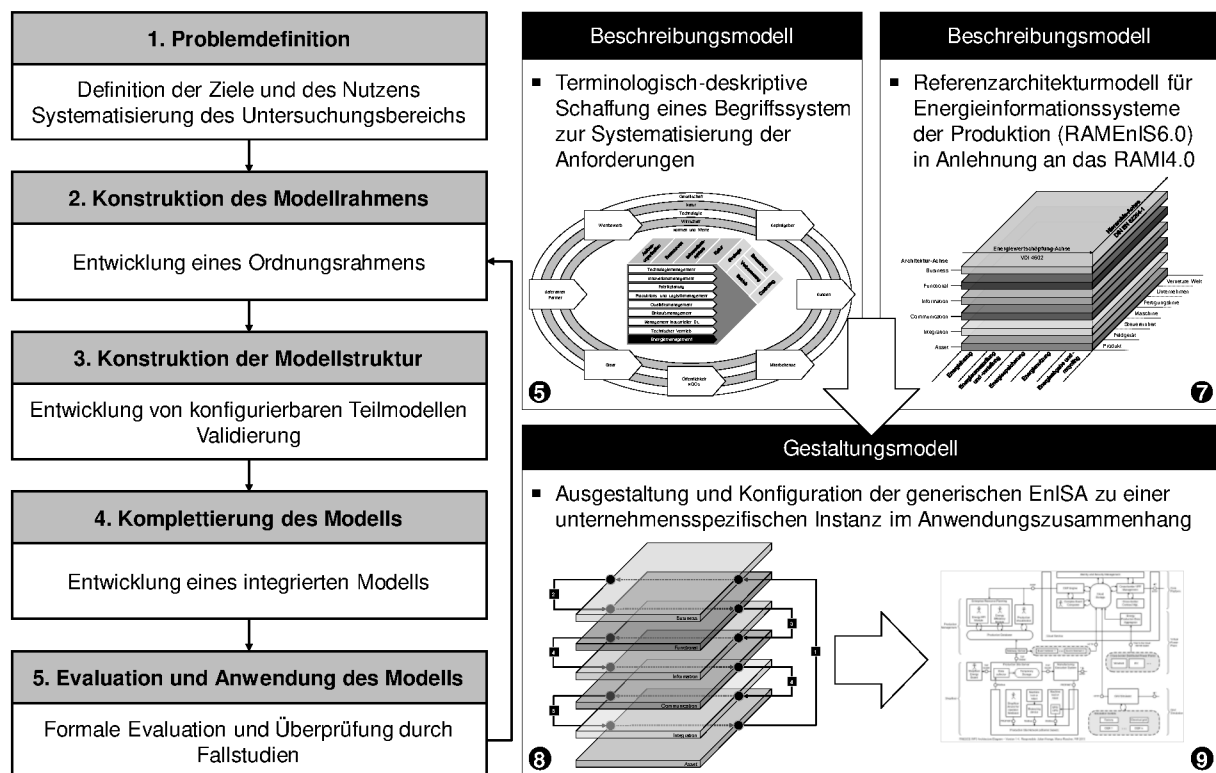


Abbildung 63: Übersicht der entwickelten Partialmodelle

Die Einteilung des Vorgehens in Schritte entspricht dem Phasengedanken der Systemtechnik. Der skizzierte, sequentielle Ablauf ist dabei als Orientierungshilfe gedacht und für den erfolgreichen Einsatz des Architekturrahmenwerks nicht konstitutiv. Einen größeren Stellenwert hingegen sollte der Iteration der Beschreibungen eingeräumt werden. Im folgenden Kapitel wird das Architekturrahmenwerk in Form von Fallstudien evaluiert, wobei die hier definierte Vorgehensweise die Struktur der Fallstudienbeschreibung vorgibt.

9 Anwendung und Validierung

Die Gestaltung von EnIS ist eine umfangreiche und komplizierte Aufgabe, zu deren effizienten Umsetzung es einer geeigneten Unterstützung z. B. in Form vorliegender-RAMEnIS bedarf. Nicht oft genug kann in diesem Zusammenhang betont werden, dass der Detaillierungsgrad eines rein konzeptionellen Konfigurationsergebnisses gut gewählt werden muss, um unnötigen Nacharbeiten vorzubeugen. Zudem muss zu Beginn der Konfiguration feststehen, wie die Ergebnisse während der Implementierung eingebunden und kontinuierlich angepasst werden, damit der Nutzen der Modellierung sich richtig entfalten kann. Moderne Modellierungssoftware kann hier wertvolle Unterstützung bieten.

Das in dieser Arbeit entwickelte Rahmenwerk und die ihm zugrunde liegenden Partialmodelle konnten in der Praxis im Rahmen der Forschungsprojekte POLAR (BMBF Förderkennzeichen 01LY1208B), FINESCE (EU Förderkennzeichen FI.ICT-2011.1.8), eco2production (BMW i AiF-Förderkennzeichen 93EN) und FIAixEnergy (BMW i Förderkennzeichen 0325819A) erarbeitet, validiert und in verschiedenen realen Produktionsumgebungen umgesetzt werden. Hierbei soll allerdings noch einmal in Erinnerung gerufen werden, dass RM im Allgemeinen selbst durch konkrete Anwendung in ihrer Gesamtheit nicht bewiesen werden können, sondern die reale Gültigkeit dadurch lediglich wahrscheinlicher wird. (s. SCHÜTTE 1998, S. 70) Daher können RM niemals eine Erkenntnis- oder Erklärungsaufgabe von Fakten besitzen, sondern dienen vielmehr als generelle Rezepte für bestimmte Klassen von Entscheidungsproblemen zur Bewältigung praktischer Problemstellungen. (s. SCHÜTTE 1998, S. 70)

Nachfolgend wird das Architekturrahmenwerk im Rahmen verschiedener Fallstudien angewendet und evaluiert. Das Ziel dieser fallstudienbasierten Evaluation ist die Plausibilisierung der Hypothese, dass mit den entwickelten Modellen die Gestaltung von EnIS produzierender Unternehmen adäquat unterstützt wird. Die Fallstudien legen die Plausibilität der Hypothese nahe, wenn sowohl die formalen als auch die inhaltlichen Anforderungen (s. Kapitel 4.1) erfüllt sind. Kernbestandteil der fallstudienbasierten Evaluation bildet verschiedene Experteninterviews sowohl während der Gestaltung selbst, als auch bereits im Vorfeld zu dieser im Rahmen der Partialmodellentwicklung. Auf diese Weise führte die Teilnahme an Fachkonferenzen, Fachveröffentlichungen, Mitarbeit in einschlägigen Arbeitskreisen und Gremien etc. (Anhang A1) zu einigen durch Experten angeregte Detailverbesserungen, die kontinuierlich miteinander harmonisiert wurden und in die Verfeinerung der Modelle eingeflossen sind.

Für vorliegende Arbeit wurden zwei zentrale Typen von Fallstudien ausgewählt:

- 1: Gestaltung lokaler EnIS
- 2: Gestaltung cloudtechnologiebasierter EnIS

Diese repräsentieren somit sowohl konventionelle Anwendungsfälle als auch die in Zukunft immer größere Verbreitung findenden Anwendungsfälle des IoT. Die Fallstudien wurden nicht rein sequentiell zur Modellentwicklung durchgeführt, sondern sind

im Sinne einer Aktions- bzw. Handlungsforschung (s. MAYRING 2002, 50ff) iterativ und parallel zur Modellentwicklung entstanden (s. Kapitel 1.4). Neben der Plausibilisierung der Hypothese der Modellvalidität kann damit für vier Fälle gezeigt werden, wie die in den Forschungsprojekten (s. Anhang A1) teils über Umwege gelösten Aufgaben mit Hilfe der Modelle zukünftig effizienter gelöst werden können. Über den Evaluierungsaspekt hinaus sollen die Fallstudien zudem anschaulich darstellen, wie die entwickelten Modelle von betroffenen Unternehmen in der Praxis eingesetzt werden können. Die Beschreibung der **Fallstudien** im Zuge der nächsten Kapitel folgt daher einer Art linear-analytischen Struktur (s. YIN 2003, 152f) die auf den fünf definierten Schritten der in Kapitel 8.1 beschriebenen Vorgehensweise zur Gestaltung spezifischer EnISA produzierender Unternehmen in der Praxis beruht.

9.1 Lokale Energieinformationssysteme

9.1.1 DFA Demonstrationsfabrik Aachen GmbH

Ausgangsbasis

Die Demonstrationsfabrik ist zentraler Bestandteil des *Clusters Smart Logistik* auf dem RWTH Aachen Campus. Ihr Ziel ist die enge Verzahnung von Praxis, Forschung und Weiterbildung. Das Angebot umfasst dabei zum einen die Produktion von Prototypen und Produkten in Vorserien, zum anderen bietet die Produktionsumgebung der Demonstrationsfabrik Partnern aus Industrie und Forschung die einzigartige Möglichkeit, gemeinsam Fragestellungen der I4.0 in einem realen Betrieb zu untersuchen. Das Produktionslayout bildete eine komplette Wertschöpfungskette einer Kleinserienproduktion von der Fertigung bis zur Montage ab. Die Ausstattung der DFA war im Zeitraum der Untersuchung, wie in Abbildung 64 in sechs Bereiche gegliedert: Prüfstände (Fügen II – *End-of-Line-Test*), Montage mit Hebebühnen und Punktschweißzangen (Fügen I), Hochlager mit Gabelstapler (Lager, Warenein- und -ausgang, Verpackung), Laserbearbeitungszentrum inklusive Schwenkkran, Kompressor, Kühlaggregat und Absauganlage (Blechbearbeitung I) mechanische Werkstatt mit Laserroboter sowie Handmontage, Kantbank und Bandsäge (Blechbearbeitung II), Ladestationen (Montage). Außerdem sind in der ca. 1600m² großen Halle an den beiden Stirnseiten jeweils ein elektrisches Tor sowie ein Schwerlasthallenkran vorhanden. In der DFA wurde zu Beginn dieser Arbeiten keine Form von EM betrieben.

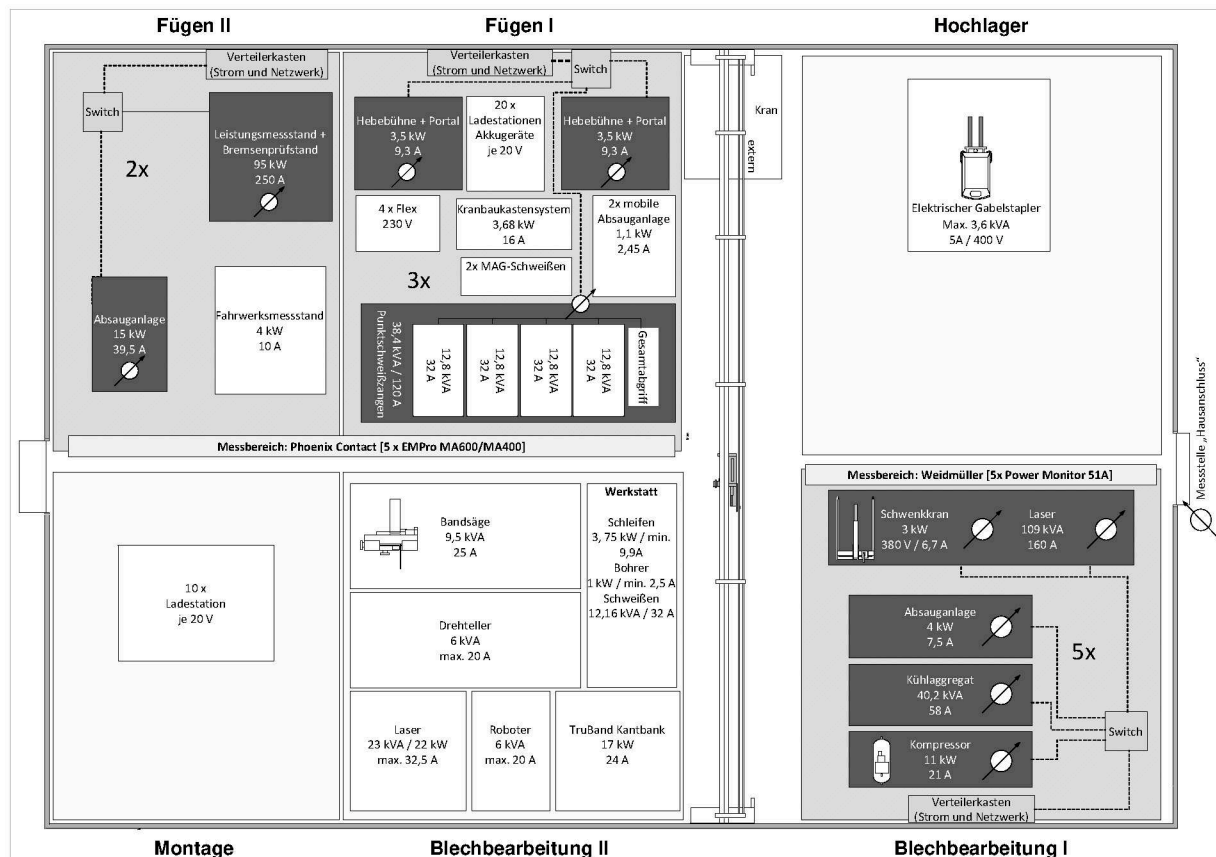


Abbildung 64: Fabriklayout und Messgeräteverteilung DFA (eigene Darstellung)

Für diese Arbeit konnte folglich auf der grünen Wiese geplant werden. Ziel war es eine universell und wirtschaftlich einsetzbares EnIS zu konzeptionieren und umzusetzen, das explizit in der Lage ist externe Preissignale aus dem Netz zu verarbeiten. Dies sollte durch eine möglichst offene IKT-Architektur realisiert werden und standardisierte Schnittstellen zwischen Produktionsanlagen verschiedener Hersteller auf Basis des EEBus zur Verfügung stellen. Auf diese Weise sollte die Grundvoraussetzung geschaffen werden, um Energiedaten mit anderen Produktionsdaten zu verdichten und daraus IT-gestützte Handlungsempfehlungen ableiten zu können. Eine weitere zentrale Anforderung an das zu entwickelnde System war, dass dieses auch problemlos an einem anderen Standort als Nachrüstlösung eingesetzt werden kann.

Funktionskatalog

Das in Abbildung 65 dargestellte Zielbild wurde zu Projektbeginn von allen *Stakeholdern* als grundlegende Applikationsarchitektur entwickelt. Der Kern des Systems umfasst die Abstraktionsschicht, die Netznutzungslogik, das Energiemonitorings, das Lastmanagement sowie den Leitstand / *Dashboard*.

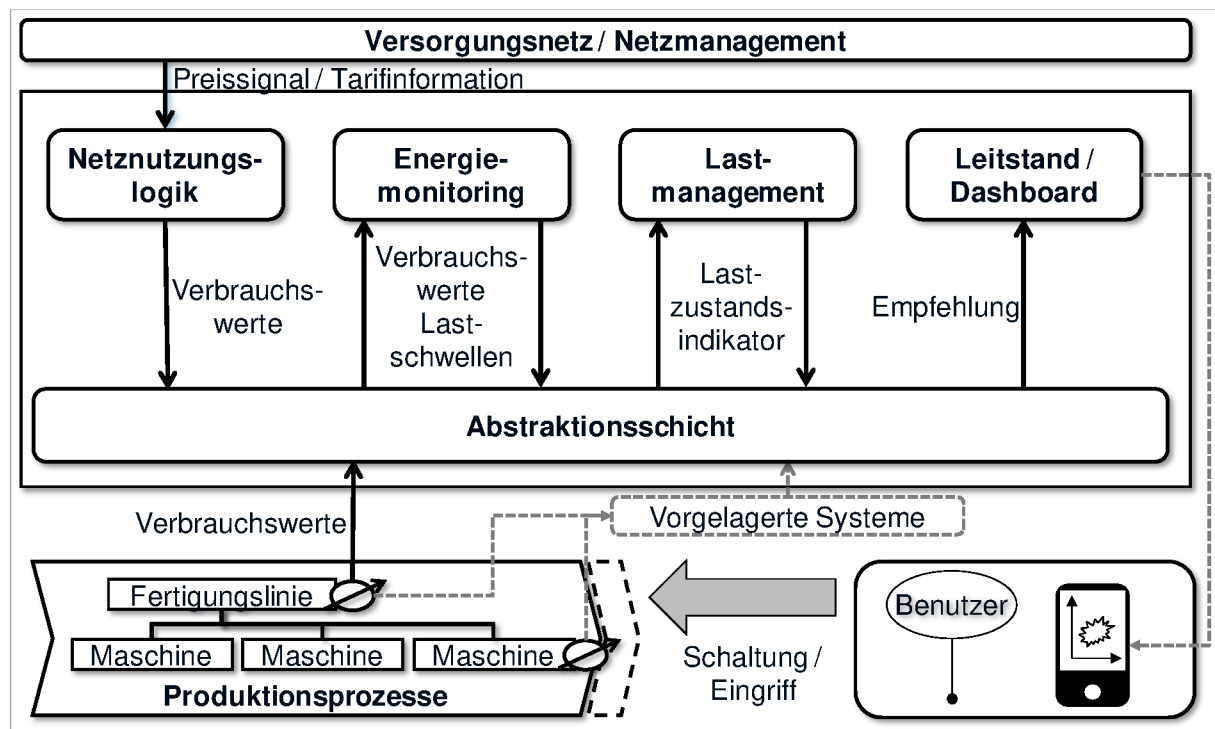


Abbildung 65: Funktionsübersicht Polar (eigene Darstellung)

Informationslogistik

Ziel des innerhalb des Projektverlaufs entwickelten Informationslogistikkonzepts ist eine allumfassende Darstellung sämtlicher Informationslogistikbausteine sowie aller Informationsflüsse. Ausgangspunkt hierfür ist das für das Projekt entwickelte Zielbild. Ausgehend von dem Zielbild wurden die einzelnen Funktionsbausteine zunächst als abstrakte *Blackboxen* aufgefasst und ihre geforderten Funktionalitäten beschrieben. Anschließend wurde der innere Aufbau der Funktionsbausteine Schritt für Schritt mit größerem Detailgrad ausgearbeitet. Dieses strukturierte Vorgehen stellt sicher, dass sämtliche Informationsströme und Systembausteine berücksichtigt werden. Des Weiteren werden so die hohen Qualitätsansprüche des erarbeiteten Informationslogistikkonzepts erreicht. Die endgültige Darstellung des Informationslogistikkonzepts erfolgte, mittels *Business- Process-Model and -Notation* (BPMN), unter Zuhilfenahme differenzierter Informations- und Logikebenen und findet sich im frei über das Internet erhältlichen Abschlussbericht.

IT-Integration

Zu Projektbeginn bot die DFA lediglich Informationen über den Gesamtstromverbrauch der Fabrik. Zur Erreichung der Zielstellung war allerdings ein weitaus detailliertes Bild der energetischen Ausgangsbasis notwendig, sodass wie in Abbildung 64 gezeigt weitere Energiemessgeräte von Phoenix Contact und Weidmüller in die Produktionsfläche eingebracht wurden. Insgesamt konnten auf diese Weise 10 Messstellen innerhalb der DFA eingerichtet werden. Hierzu wurde im Bereich *End-of-Line-Test* der Leistungsprüfstand und die Absauganlage, im Bereich Fügen II die Hebebühnen und Punktschweißzangen sowie im Bereich Blechbearbeitung I, das Laserbearbeitungszentrum,

das Kühlaggregat, sowie der Kompressor und die Absauganlage mit Energiemessger ten versehen. Jeder Messeinheit ist eine eindeutige IP-Adresse zugeordnet, über welche die einzelnen Maschinenmesswerte abgefragt werden können. Diese kommunizieren über Modbus TCP mit der Lastmanagement-*Software* auf dem EEBus-Gateway. Eine Applikation auf dem EEBus-Gateway liest die Messdaten von den Messstellen aus. Da die Messgeräte von Weidmüller über Modbus RTU kommunizieren, bedarf es an dieser Stelle noch einer Wandlung auf Modbus TCP. Klassische Stromzähler, die über den S0-Impuls Ausgang ausgelesen werden, sind ebenfalls über entsprechende Adapter angebunden. Die Kommunikation erfolgt hierbei kabellos mittels *Wireless MBus*. Im EEBus-Gateway laufen diese Daten zusammen und sind anschließend Eingangsgrößen für das Lastmanagement, das als *Software-Modul* auf dem EEBus-Gateway ausgeführt wird. Des Weiteren wird der Gesamtverbrauch der DFA mittels Impulsmessung am Gesamtstromz hler abgegriffen und mittels einer *Wireless-M-Bus*-Schnittstelle zum EEBus-Gateway übertragen. Abbildung 66 verdeutlicht die EnISA wie sie in der DFA realisiert wurde.

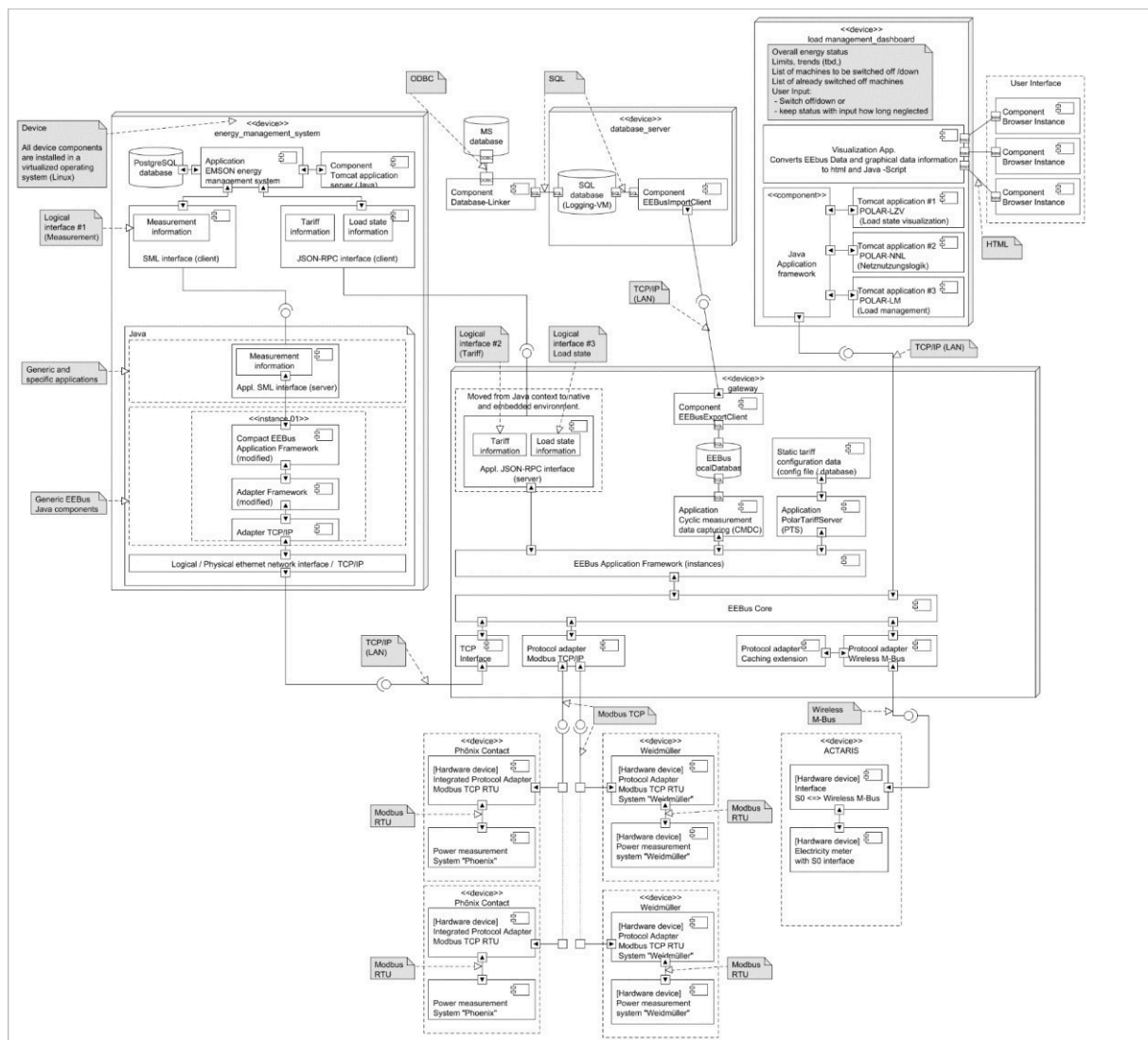


Abbildung 66: EnISA der DFA (eigene Darstellung)

Das *Energiemonitoring*-System von EMSON bezieht seine Daten vom EEBus und übernimmt die Visualisierung des Prozesses. Dabei werden die Leistungsdaten im SML-Format und die Tarif- und Lastmanagementdaten im EEBus-JSON-Format übertragen. Die Visualisierung der Lastzustände erfolgt mittels einer *Web-Server-Applikation* auf einem PC oder iPad. Dabei wird die Darstellung an die jeweiligen Endgeräte angepasst und entsprechend automatisch skaliert. Das Lastmanagement generiert aus aktuellen Preisprognosen und den Maschinenparametern zusammen mit dem aktuellen Leistungsverbrauch der Maschinen eine Handlungsempfehlung für den weiteren Betrieb. Der Produktionsleiter erhält vom Lastmanagement Schalteempfehlungen in Form einer priorisierten Liste, anhand derer er entscheidet, ob er:

- a. einer der Empfehlungen folgt,
- b. die Empfehlungen für eine einstellbare Zeit ausschlägt,
- c. die Empfehlungen ganz verwirft – um anderen Prioritäten gerecht zu werden, wie z. B. schnellstmöglicher Produktion ohne Rücksicht auf Kosten.

Zur Weiterverarbeitung und Archivierung werden die Messdaten zusätzlich über das LAN in eine Datenbank exportiert. Hierdurch können Live-Verbräuche und Kurven der im Lastmanagementsystem beteiligten Maschinen mit einer hohen zeitlichen Auflösung dargestellt werden und somit auch die aktuelle Produktionsauslastung direkt nachvollzogen werden. Neben dem *Live-Monitoring* werden die Daten mit einer geringeren zeitlichen Auflösung im *Energiemonitoring* gespeichert und sind somit über einen längeren Zeitraum einsehbar und auswertbar.

Softwareentwicklung

Zwischen dem 01.04.2013 und dem 30.06.2015 wurde das System im Rahmen verschiedener *Workshops* und Arbeitstreffen schließlich umgesetzt. Abbildung 67 liefert eine Übersicht über die wesentlichen *Stakeholder* und ihren jeweiligen Rollen während Anforderungserhebung und Umsetzung.

Name	Organisation	Rolle
Michael Haumann	DFA	GF / Produktion
Adam Malik	DFA	Produktion
Felix Basse	DFA	Produktion
Rico Gros	DFA	Produktion
Jan Rüsen	Kellendonk Elektronik GmbH	IT-Dienstleister
Patrick Hinzke	Kellendonk Elektronik GmbH	IT-Dienstleister
Wilfried Anthony	Adapton Energiesysteme AG	EM-Dienstleister
Markus Gilliam	Adapton Energiesysteme AG	EM-Dienstleister
Rolf Hess-Bateiger	Adapton Energiesysteme AG	EM-Dienstleister
Marco Roscher	FIR	IM-Dienstleister
Christian Maasem	FIR	IM-Dienstleister

Abbildung 67: Stakeholder bei der Gestaltung des EnIS-DFA

Ein Fokus in POLAR war bereits ab der Spezifikationsphase die Nachrüstbarkeit des Energie- und Lastmanagementsystems in Bestands- und Altanlagen. Obwohl die *Hardware*- und *Software*komponenten bei einer Nachrüstung jeweils an die individuelle Produktionslinie anzupassen sind, gibt es doch globale Anforderungen, die zu den folgenden technischen Lösungen führten:

1. Die zu installierenden Messgeräte wurden so entwickelt, dass ein Auslesen der Messwerte nach standardisierten Protokollen erfolgt, sodass eine Anbindung an ein bereits installiertes *Energiemonitoring*-System einfach möglich ist.
2. Das übergeordnete Lösungskonzept ist auf der Architektur-Ebene in die DIN SPEC. 91324 eingeflossen.
3. Der EEBus wurde als verteiltes System ausgelegt, was einen flexibleren Einsatz auf unterschiedlich performanten *Hardware*s ermöglicht.
4. Ein *Remote-Update* Mechanismus ermöglicht Fernwartung der *Software*komponenten wie auch deren Austausch.
5. Die Konzentration der Lösung auf standardisierte Schnittstellen und normierte Kommunikationsprotokolle.

Damit ist in der DFA ein nachrüstfähiges EnIS mit *Energiemonitoring* und Lastmanagement entwickelt und in realen Einsatz getestet worden. Das Paket beinhaltet alle dazu notwendigen Technologien: Messgeräte mit Anbindung an ein zentrales *Gateway*, Lastmanagement-Applikationen, Visualisierung und Datenbankanbindung. Die Realisierung mit standardisierten Schnittstellen und normierten Protokollen stellt dabei sicher, dass der individuelle Nachrüstaufwand bei Bestandsanlagen minimiert ist.

9.1.2 E.G.O

Ausgangssituation

E.G.O. ist ein internationales *Hightech*-Unternehmen und einer der weltweit führenden Hersteller von Technologien, Komponenten und Produkten für Hausgeräte. Das Unternehmen besitzt darüber hinaus Erfahrungen und Kompetenzen in weiteren Branchen von der Medizin- über die Gebäude- bis hin zur Automobiltechnik. Seit Gründung des Unternehmens durch Karl Fischer und seinem Partner Heinrich Blanc im Jahr 1931 erfindet das Unternehmen Technologien, die Menschen das tägliche Leben einfacher machen sollen. Mit Standorten in 18 Ländern der Erde und weltweit über 6000 Mitarbeitern ist E.G.O. bis heute noch vollständig in Familienbesitz. (s. E.G.O. GMBH 2012, S. 11–13)

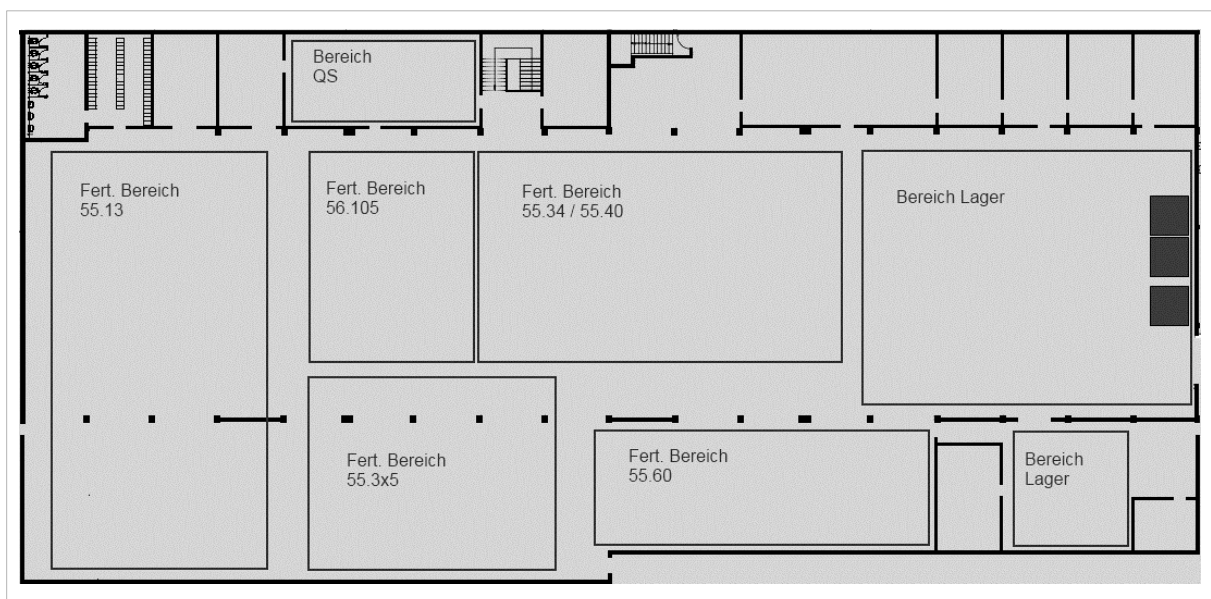


Abbildung 68 Fabriklayout E.G.O (eigene Darstellung)

Exemplarisch für die verschiedenen ähnlichen Produktionsabschnitte innerhalb der E.G.O. Standorte wurde eine Halle am Standort in Oberderdingen identifiziert, die als Schablone für den späteren *Roll-Out* an anderen Linien und Standorten repräsentativ erhalten soll. Dort werden ca. 2,6 Millionen Thermostate jährlich produziert. Das Produktionslayout stellt wie in Abbildung 68 gezeigt eine Halle auf dem E.G.O. Gelände dar, in der über drei elektrische Unterverteilungen in sechs Stromschienen fünf Fertigungsbereiche, zwei Lagerbereiche und ein Qualitätssicherungsbereich mit Strom versorgt werden. Automatische und manuelle Montageplätze, *Lean Lift* Systeme, Kühl- und Absauganlagen sowie verschiedene Ethanol-, Öl-, Salz-, Antifrogen- und Wasserbäder mit verschiedenen Temperaturen mit bis zu 500°C stellen dort die typischen Energieverbraucher dar. Die manuell geschalteten Lichtkreise sind nach Fertigungsbereichen gegliedert und einzelne Lampen ansteuerbar. Zu Beginn der Untersuchungen dieser Arbeit verfügte E.G.O. bereits über ein auf Tabellenkalkulationen basierendes EnIS. Die zentralen Anforderungen von E.G.O. beruhten daher darauf, die bisherigen Erkenntnisse auf Basis zusätzlich eingebrachter Energiemessgeräte zu erweitern.

und die energiebezogene Leistung des Unternehmens durch energiedatengetriebene Eingriffe in die Produktion weiter zu verbessern. Der Anwendungsfall bei E.G.O repräsentierte somit ein Beispiel für die Weiterentwicklung einer bereits existierenden Lösung (braune Wiese). Hierfür wurde mit E.G.O. ein passendes Unternehmen gefunden, das grundsätzlich bereits in der Lage war, die entsprechenden Verbrauchsmessungen durchzuführen, geeignete Anlagen für ein Lastmanagement zu identifizieren und eine prototypische Umsetzung an ausgewählter Stelle voranzutreiben, um schließlich das vorhandene eigene Verschiebepotenzial über Vergleichsmessungen zu ermitteln.

Funktionskatalog

Der anvisierte Zielzustand sollte ermöglichen Fertigungsaufträge so zu planen, dass der Energieverbrauch optimal insbesondere hinsichtlich der Temperaturanpassungen den verschiedenen Bädern im Produktionsprozess erfolgt. Die wesentlichen Anreize für die Managementebene stellt die Absenkung des Stromverbrauchs mit den Nebeneffekten des Lastkurvenausgleichs bzw. Spitzenlastausgleichs dar. Nach eigenen Aussagen war das gesamte übrige Energieeinsparpotenzial bereits durch einfaches *Energiemonitoring* vollständig gehoben worden.

Informationslogistik

Als internationaltätiges Unternehmen mit hohem Wettbewerbsdruck unterliegt die Beschreibung des Vorgehens bei der Erweiterung des eigens von E.G.O entwickelten EnIS in dieser Arbeit der Geheimhaltung und erfolgt weitgehend anonymisiert. Dies betrifft in erster Linie aber die detaillierten Beschreibungen der Produktionsprozesse insbesondere hinsichtlich konkreter Abläufe, Maschinenbelegungen und -auslastungen und explizit nicht die allgemeine EnISA beim Unternehmen.

IT-Integration

Bei E.G.O. war bei Projektstart bereits ein Messsystem, bestehend aus einem SPS-Industriecontroller im Hauptstromkreis der betreffenden Produktionslinie integriert. Die Zusammenführung der erfassten Energiedaten mit zugehörigen Fertigungszeiten erfolgte auf Basis nachträglicher manueller Eintragungen. Die Verbrauchsbewertung wurde dann durch einfache Mittelwertsberechnung durchgeführt und hatte aber keinen Einfluss auf konkrete Handlungsänderungen sondern diente lediglich der Dokumentation. Im Rahmen der Befähigung des Systems wurde für den Zugriff auf diese Messwerte das Messsystem mit einem Modbus-RTU-Einschub mit RS485-Schnittstelle erweitert. Damit agierte das Messsystem als Modbus-RTU *Slave* und ließ sich über den neu entwickelten Modbus-RTU-Adapter vom EEBus-Gateway auslesen. Über die Remote-Funktionalität des EEBus-Gateways konnten die Messdaten dann von autorisierten *Stakeholdern* abgerufen und gespeichert werden (s. Abbildung 69).

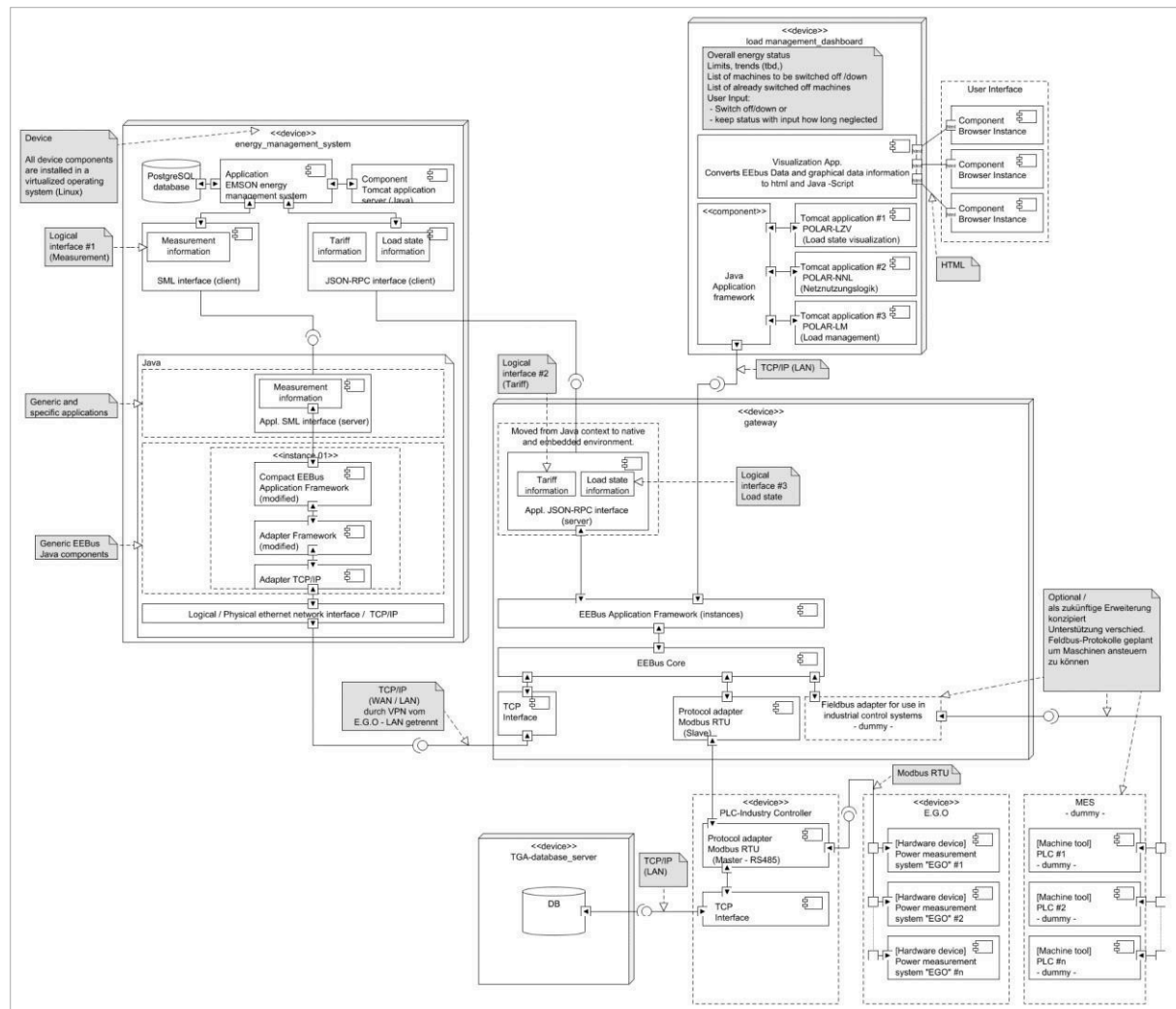


Abbildung 69: EnISA bei E.G.O am Standort Oberderdingen
(i. A. a. ZELLER, ROSCHER ET AL. 2016, S.95)

Softwareentwicklung

Zwischen dem 01.04.2013 und dem 30.06.2015 wurde das System im Rahmen verschiedener *Workshops* und Arbeitstreffen schließlich umgesetzt. Abbildung 70 liefert eine Übersicht über die wesentlichen *Stakeholder* und ihren jeweiligen Rollen während Anforderungserhebung und Umsetzung.

Name	Organisation	Rolle
Martin Wagner	E.G.O.	GF
Thomas Bayer	E.G.O.	IT / EM
Jörg Mühleisen	E.G.O.	Produktion
Rolf Himmel	E.G.O.	Produktion
Frank Fröhlich	E.G.O.	Produktion
Jan Rüsen	Kellendonk Elektronik GmbH	IT
Patrick Hinzke	Kellendonk Elektronik GmbH	IT
Wilfried Anthony	Adapton Energiesysteme AG	EM
Markus Gilliam	Adapton Energiesysteme AG	EM
Rolf Hess-Bateiger	Adapton Energiesysteme AG	EM
Marco Roscher	FIR	IT / EnIS
Christian Maasem	FIR	IT / EnIS

Abbildung 70: Stakeholder bei der Gestaltung des EnIS-E.G.O

Neben der Ausnutzung von dynamischen Preisen kann das so realisierte System auch dazu genutzt werden, extreme Lastspitzen zu vermeiden, welche einen höheren Leistungspreis nach sich ziehen. Durch ein visuelles Ampelsignal warnt das Energie- und Lastmanagementsystem schon vor dem Eintreten von momentanen Spitzenlasten und gibt Schaltempfehlungen, wie diese vermieden werden können. Auf diese Weise können auch ohne dynamische Preise Kosten durch das Vermeiden von Lastspitzen gespart werden, indem das Überschreiten von tariflich festgelegten Leistungsgrenzen vermieden wird.



Abbildung 71: Grafische Oberfläche in den drei Ampelzuständen grün, gelb und rot (eigene Darstellung)

9.2 Cloudtechnologiebasierte Energieinformationssysteme

9.2.1 DFA Demonstrationsfabrik Aachen GmbH

Ausgangssituation

Neben lokalen Lösungen bieten *Cloud*technologien insbesondere im Kontext von I4.0 und der Energiewende verschiedene Potenziale das EM im Unternehmen zu realisieren. Gleichzeitig ergeben sich daraus ebenso völlig neuartige Anforderungen an die Architektur solcher EnIS. Auf Basis des in der DFA bereits existierenden lokalen Systems, der bereits erhobenen und dokumentierten Anforderungen und insbesondere unter Rückgriff auf die bereits installierten Energiemessgeräte wurde unter Verwendung des in dieser Arbeit beschriebenen Vorgehens parallel ein zweites EnIS in der DFA konzipiert und realisiert. Eine zentrale Anforderung an das System war es unter weitestgehendem Zugriff auf *Cloud*technologien sämtliche erforderlichen Funktionen anzubieten um einen ländergrenzen übergreifende Abstimmung zwischen dem Angebot an EE und der Nachfrage der Produktion zu realisieren.

Funktionskatalog

Das Future Internet ist eine *Public Cloud*. Dies hat zwei wesentliche Vorteile: Da EM keine Kernkompetenz produzierender Unternehmen ist, lohnt sich für diese nicht, Kompetenz und Infrastruktur aufzubauen. Eine einfach zu installierende Lösung aus der *Cloud* ist deutlich anwenderfreundlicher. Zweitens erlaubt die offene Struktur der *Cloud*, Konfigurationen und Auswertungen zwischen Unternehmen auszutauschen, was allen Anwenderunternehmen hilft, die eigenen Energieverbräuche besser zu verstehen. (s. NIENKE U. KRENKE 2014, S. 1)

GE	GEi	Application	Deploy
<i>Gateway Data Handling</i>	<i>Esper4-FastData</i>	<i>Data gathering</i>	<i>Locally</i>
<i>Gateway Device Management</i>	<i>Gateway Device Management</i>	<i>Data gathering</i>	<i>Locally</i>
<i>Complex Event Processing</i>	<i>Proactive Technology Online</i>	<i>Data interpretation</i>	<i>Cloud</i>
<i>Publish/ Subscribe Broker</i>	<i>Orion Context Broker</i>	<i>Data interpretation</i>	<i>Cloud</i>
<i>Application Mashup</i>	<i>WireCloud</i>	<i>Data exploitation</i>	<i>Cloud</i>

Abbildung 72: Übersicht über die eingesetzten GEs

Informationslogistik

Sämtliche Informationen werden soweit möglich direkt aus den Steuerungen der Werkzeugmaschinen ausgelesen (s. Siemens SENTRON PAC3200) und durch Informationen der externen Energiemessgeräte ergänzt und über Ethernet in der lokalen Produktionsdatenbank gespeichert.

IT-Integration

Zur Erreichung der oben genannten Ziele wurde die in Abbildung 73 gezeigte *Cloud*technologiebasierte EnISA entwickelt.

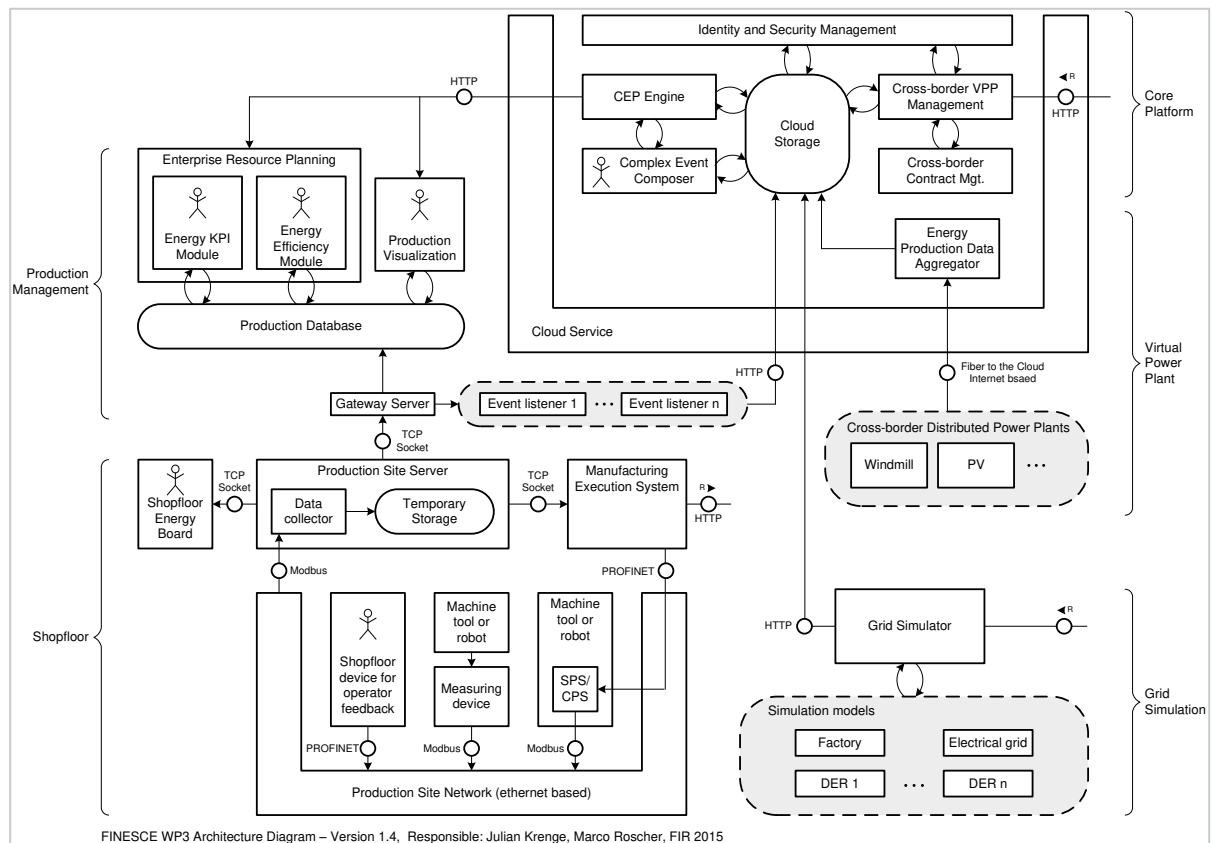


Abbildung 73: (Cloud)-EnISA der DFA (s. KRENKE, ROSCHER ET AL. 2014)

Dabei setzt sich die IKT-Infrastruktur der DFA im Wesentlichen aus drei Domänen zusammen. Auf dem *Shopfloor-Level* auf dem die Daten entstehen und erfasst werden findet die Anbindung der Betriebsmittel und der Energiemessgeräte an *server* der Produktionsstätte via LAN über Modbus bzw. PROFINET statt. Dort wurde mit jeweils lokale Instanzen des *GE Gateway Data Handling* und des *GE Gateway Device Management* eingesetzt und auf einem *Dell PowerEdge M620 blade server* betrieben. Die *Shopfloor*-Informationen werden über eine stehende TCP Socket Verbindung durch Anwendung des *MsgPack Frameworks* an den *Gateway Server* weitergeleitet, der die Rolle eines *Connectors* zwischen dem sicheren lokalen Netzwerk und dem Internet einnimmt. Der *Gateway Server* schiebt diese Informationen an den in der *Cloud* betriebenen *GE Complex Event Processing*. Dieser GE wurde in seiner Standardkonfiguration zusammen mit dem *GE Publish / Subscribe Broker* ebenfalls in der *Cloud* eingesetzt. Schließlich wurde der *GE Application Mashup* dazu eingesetzt aggregierte Ereignisse die aus dem *GE Complex Event Processing* stammen einzusammeln und dem lokalen ERP-System zur Verfügung zu stellen. (s. KRENKE, ROSCHER ET AL. 2014, S. 23–25) Die Anbindung der Produktion an die *Cloud* wurde über TCP / IP und http mit TLS / SSL basierend auf einer Standardtelekommunikationsinfrastruktur realisiert. Innerhalb der Fabrik werden die Daten der verschiedenen Maschinen aggregiert und via spezifischem *Interface* (MODBUS) der *Cloud* zur Speicherung zur Verfügung gestellt. Die Kommunikation wird durch die Fabrik angestoßen (*Trigger*). Für die Fabrik relevante Informationen wie Prognosen über die zeitliche Verfügbarkeit von Strom aus

Ein der *Cloud* können je nach Bedarf auf Anfrage oder auf Zuruf per HTTP bezogen werden. (s. KRENKE, ROSCHER ET AL. 2014, S. 27)

Softwareentwicklung

Zwischen dem 01.03.2013 und dem 30.09.2015 wurde das System im Rahmen verschiedener *Workshops* und Arbeitstreffen schließlich umgesetzt. Abbildung 74 liefert eine Übersicht über die wesentlichen *Stakeholder* und ihren jeweiligen Rollen während Anforderungserhebung und Umsetzung.

Name	Organisation	Rolle
Michael Haumann	DFA	GF / Produktion
Felix Basse	DFA	Produktion
Stephan C. Gsell	WZL RWTH Aachen	Produktion
Marija Stevic	EON Research Center RWTH Aachen	Energieversorger / Netzbetreiber
Ulrich Hacker	QSC AG	IT / EV
Mirja Steels	QSC AG	IT / EV
Adelheid Weinert	QSC AG	IT / EV
Matej Artač	XLAB	IT
Marko Kuder	XLAB	IT
Frank Fiedler	SOPTIM	IT / EM
Heiner Halbach	SOPTIM	IT / EM
Marco Roscher	FIR	IT / EnIS
Julian Krenge	FIR	IT / EnIS

Abbildung 74: *Stakeholder* bei der Gestaltung des *cloud*basierten EnIS-DFA

9.2.2 DHL / *Streetscooter* GmbH (FIAixEnergy-System)

Ausgangssituation

Die *Streetscooter* GmbH wurde im Jahr 2010 gegründet und war eine privatwirtschaftlich organisierte Forschungsinitiative, die sich zum Ziel gesetzt hat, ein kostengünstiges und nachhaltiges Elektroauto auf den Markt zu bringen, welches primär auf kurze Distanzen ausgelegt sein sollte. Nach erfolgreicher Zusammenarbeit hat die Deutsche Post DHL im Dezember 2014 die *Streetscooter* GmbH gekauft, mit dem Ziel schrittweise die eigene Elektrofahrzeugflotte zu erweitern. Im Rahmen des Forschungsprojekts FIAixEnergy erfolgte die experimentelle Entwicklung und prototypische Implementierung eines *cloud*technologiebasierten EnIS zur Realisierung ökonomischer und ökologischer Vorteile. Innerhalb der FIAixEnergy-Plattform sollen eine Vielzahl verschiedener Verbraucher integriert und zu sogenannten Flexibilitätsclustern aggregiert

werden (s. Abbildung 77). Kernelement der Plattform ist ein Mechanismus, der die Flexibilität der industriellen Verbraucher bewertet und ihnen damit eine Möglichkeit zur Partizipation am Energiemarkt (Regelenergiemarkt, Spotmarkt) ermöglicht. Dabei wird grundsätzlich ein Ausgleich auf lokaler Ebene (Verteilnetz) einem Ausgleich auf überregionaler Ebene (Übertragungsnetz) vorgezogen.

Zum Zeitpunkt der Validierung fanden in der ca. 3000 qm großen Werkshalle gleichzeitig die Vormontage, die Endmontage sowie die Endabnahme statt. Neben der Betrachtung des Montageablaufs war insbesondere der Ladeprozess bei *Streetscooter* der das gleichzeitige Laden von bis zu 32 Fahrzeugen für die Gestaltung des EnIS von besonderem Interesse.

Funktionskatalog

Ziel des Projekts FIAixEnergy ist die Umsetzung einer Plattform, die es ermöglicht, dass mehrere industrielle Verbraucher als Zusammenschluss in *Clustern* ihre bestehende Flexibilität in der Energienachfrage am Strommarkt vermarkten können. Kern des Projekts ist die Bewertung der Flexibilität der Energieverbraucher, denen als *Cluster* eine Teilnahme am Strommarkt 2.0 ermöglicht werden soll. Durch die Aggregation von Nachfrageflexibilität verschiedener Unternehmen können die Anforderungen an die einzelnen Teilnehmer eines *Clusters* deutlich reduziert werden.

Informationslogistik

Der Ausgleich der Erzeugung durch den Verbrauch soll mittels eines mehrstufigen Modells erfolgen. In erster Instanz soll der Energieverbrauch unter Einbezug von Speicherpotenzialen in Unternehmen, die gleichzeitig dezentraler Erzeuger und Verbraucher sind (Prosumer), genutzt werden. Auf der nächsten Stufe ist ein regionaler Ausgleich anvisiert, der über das Verteilnetz realisierbar ist. Erst auf der dritten Ebene wird der Energieverbraucher überregional über das Übertragungsnetz mit dem Erzeuger verbunden. Durch den Einsatz eines mobilen Messkoffers der als provisorische Messstelle fungierte wurden in einem ersten Schritt über einen Zeitraum von über einen Monat wichtige Energiedaten gesammelt die später für die Vorauswahl der möglichen dauerhaft Überwachten Stationen mittels fest installierten Energiemessgeräten in Frage kamen. Die Lösung von Phoenix Contact EMwise Mobile ist ein für den mobilen und temporären Einsatz entwickeltes Energiedatenerfassungssystem, dass die typischen Belange der energetischen Betrachtung bündeln. Das System lässt sich außerdem individuell auf die jeweilige Aufgabenstellung vom Anwender anpassen. Die realen Verbrauchswerte stehen sofort zur Visualisierung und zur weiteren Analyse, z. B. in der Korrelation von Betriebszuständen einer Anlage, am Messkoffer zur Verfügung. Das System verfügt über verschiedene Messeingänge, wie Strom, Spannung, S0 sowie M-Bus, mit denen die erforderlichen Daten eingelesen und verarbeitet werden. S0 und M-Bus sind Schnittstellen, mit denen die Verkabelung als Bus ausgeführt wird. Auf Basis der Ergebnisse wurde in Kooperation mit Phoenix Contact ein Messstellenkonzept entwickelt indem die fest im Produktionsprozess zu installierenden Messgeräte

identifiziert wurden. Auf diese Weise entsteht für die *Streetscooter* GmbH die Ausgangsbasis um durch verschiedene Maßnahmen, ihre Produktion unter Berücksichtigung der aktuellen energiebezogenen Leistung möglichst flexibel zu gestalten.

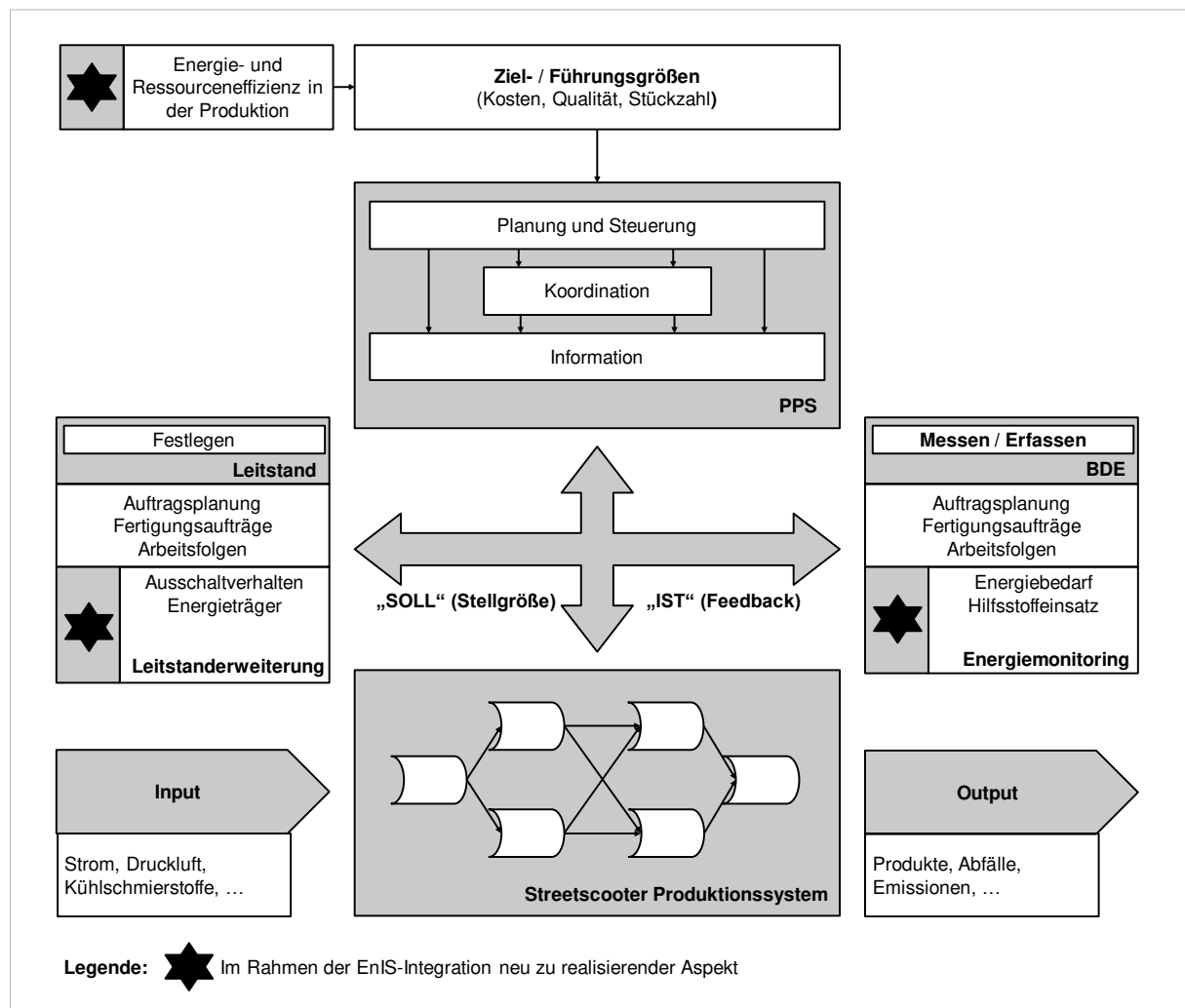


Abbildung 75: Beispielhafte Informationsflüsse in der Streetscooter Produktion
(i. A. a. VLACHOS 2016, S. 91)

Wie in Abbildung 76 sollte eine der Messungen an den Ladesäulen mittels des Energiemessgerätes EMpro EEM MA 250 erfolgen. Dieses ist zur Messung elektrischer Parameter in Niederspannungsanlagen bis 500 V geeignet. Außerdem werden jeweils für jede Phase ein 1A-Messumformer für die direkte Messwertverarbeitung und eine Rogowski Spule zur AC-Strommessung von Stromschienen und Starkstromleitungen benötigt. Die Messungen am Prüfstand, Ladepunkt Kleingeräte und Ladepunkt Gabelstapler soll mittels des Energiemessgerätes EMpro EEM-350-D-MCB erfolgen. Dieses ist ein Drei-Phasen-Energiemessgerät für Netze bis 460 V mit eingebauter Steuerhebel-Konfiguration und LCD-Anzeige. Es ermöglicht die Wirkleistungs- und Blindleistungsmessung sowie eine Direktmessung bis 65 A. Für die Messung der Druckluft ist ein sogenannter Druckluftzähler erforderlich.

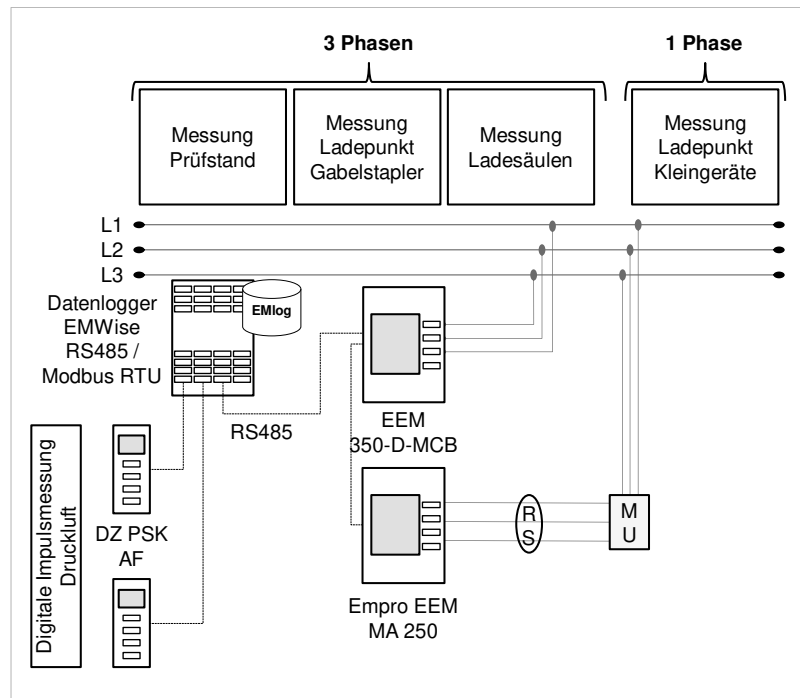


Abbildung 76: Erweitertes Messkonzept für die StreetScooter Produktion
(i. A. a.. VLACHOS 2016, S.84)

Der Druckluftzähler des Typs PSK AFS6000IOL erfasst Volumenströme in Übereinstimmung mit ISO 2533. Auf diese Weise entfallen Korrekturen bei Temperatur- oder Druckschwankungen. Die hohe Messdynamik des Systems ermöglicht die sichere Erfassung kleinster Luftmengen die bspw. für Leckagen typisch sind. Integriert in eine definierte Messstrecke, ist eine hohe Genauigkeit und Reproduzierbarkeit gewährleistet. Das hierbei zugrunde liegende Kommunikationssystem trägt den Namen *IO-Link*. Dieses dient dazu die Druckluftzähler an ein Automatisierungssystem anbinden zu können. Diese Kommunikationsart ist mit der Norm IEC 61131-9 unter der Bezeichnung *Single-Drop Digital Communication Interface for Small Sensors and Actuators* (SDCI) beschrieben. Für ein IO-Link System ist zusätzlich ein *IO-Link-Master* notwendig. Der *IO-Link-Master* stellt die Schnittstelle zur überlagerten Steuerung (SPS) zur Verfügung und steuert die Kommunikation mit den angeschlossenen *IO-Link*-Geräten. Für das hier ausgeführte Konzept wird als *IO-Link-Master* eine Inline-Funktionsklemme des Typs IB IL AI 2 / SF-PAC eingesetzt. Zur Verwaltung der gesammelten Daten ist ein Datenlogger notwendig. Ein Datenlogger ist eine prozessorgesteuerte Speichereinheit, welche Daten in einem bestimmten Rhythmus über eine Schnittstelle aufnimmt und auf einem Speichermedium ablegt. Für die Messung bei *Streetscooter* wurde die modulare Kleinststeuerung ILC 191 ME / AN ausgewählt. Diese nimmt sowohl die Messsignale des Druckluftzählers mit Hilfe der oben vorgestellten Inline-Funktionsklemme als auch die Messsignale der beiden Energiemessgeräte (s. EMpro EEM MA 250 und EMpro EEM-350-D-MCB) mit Hilfe von der RS-485 Schnittstelle auf.

IT-Integration

Im Rahmen des Forschungsprojekts FIAixEnergy beabsichtigt das Konsortium, einen Grundstein für ein *Smart Grid* zu legen, indem Verbraucher und Erzeuger im Kontext

der Energiewende über den Strommarkt interagieren. Grundlage für die unternehmensübergreifende Interaktion ist eine Kommunikationsinfrastruktur auf *Cloud*-Basis (s. Abbildung 77). Verfahren zur energieflexiblen Produktionsplanung und -steuerung sollen unternehmensintern über vorhandene ERP-System- / MES-Standardschnittstellen realisiert werden. Die so erfassten Daten sollen informationstechnisch in einem energetischen Fingerabdruck integriert werden, der als EnPI ein Maß für die Flexibilität der energiebezogenen Leistung eines Unternehmens liefern.

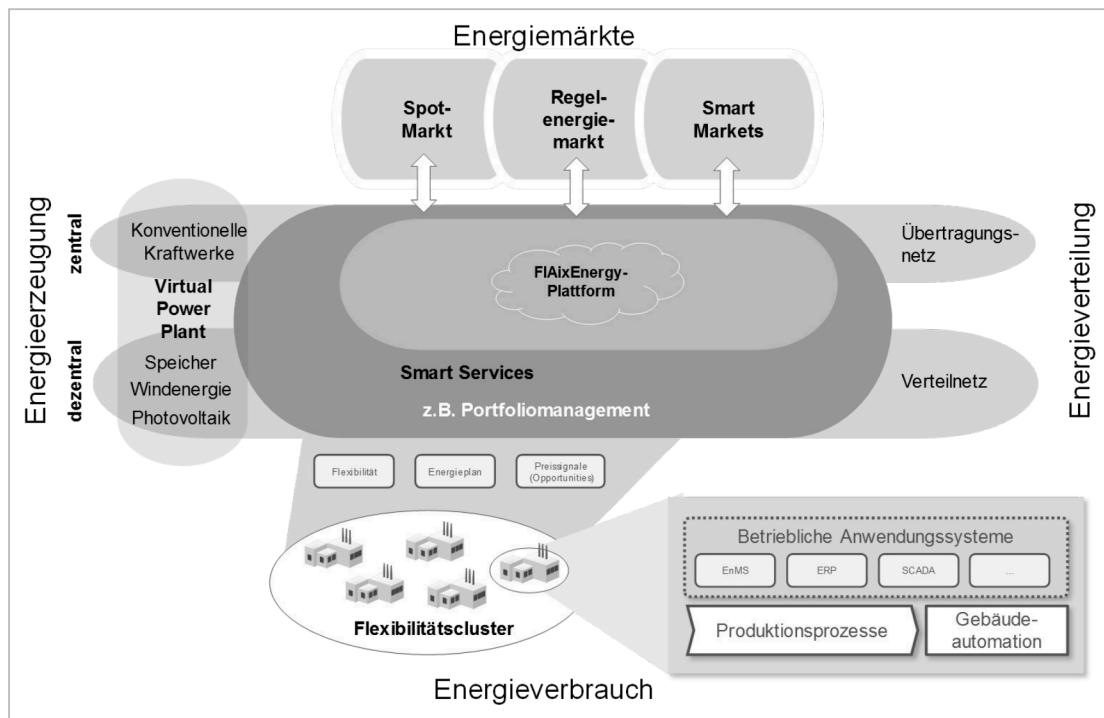


Abbildung 77: Schematische Integrationsarchitektur FIAixEnergy

Softwareentwicklung

Seit dem 01.08.2015 wird das System im Rahmen verschiedener *Workshops* und Arbeitstreffen konzipiert und weiterentwickelt. Abbildung 78 liefert eine Übersicht über die wesentlichen *Stakeholder* und ihren jeweiligen Rollen während Anforderungserhebung und grundlegenden Konzeption des EnIS.

Name	Organisation	Rolle
Tobias Reil	Streetscooter	GF / Produktion
Sascha Stehmann	Streetscooter	Produktion / IT
Giorgious Vlachos	Streetscooter	Produktion / EM
Ingolf Sieslack	Phönix Contact	IT / EM
Marco Roscher	FIR	IT / EnIS
Marcel Graus	FIR	IT / EnIS

Abbildung 78: Stakeholder bei der Gestaltung des *cloud*basierten EnIS-Streetscooter

Die Ergebnisse dieser Arbeit dienen im Rahmen des Projekts somit zur Gestaltung der unternehmensseitigen EnIS bei *Streetscooter*. Im Rahmen des Vorgehens wurde auf Basis der identifizierten Anforderungen die unternehmensseitigen Voraussetzungen zur Anbindung an die Plattform geschaffen. Die weitere Ausgestaltung hinsichtlich der konkreten IT-Integration und der konkreten *Hardwareentwicklung* sind Inhalt aktueller Aktivitäten und daher noch nicht abgeschlossen.

9.3 Zusammenfassung und Diskussion der Evaluation

In diesem Kapitel wurden zuerst die für die Evaluation geeigneten Fallstudien ausgewählt und in lokale bzw. *cloud*technologiebasierte Fallstudien untergliedert. Die weitere Strukturierung innerhalb der beiden Unterkapitel erfolgte dabei analog zur Vorgehensweise zur Gestaltung einer spezifischen EnSIA in der Praxis (Kapitel 8). Eine erfolgreiche Anwendung der Modelle im Rahmen der beschriebenen Fallstudien plausibilisiert die Hypothese, dass mit den entwickelten Modellen die Gestaltung der EnIS für produzierende Unternehmen gelingt. Die über einen iterativen Prozess erzielten Ergebnisse wurden so im Sinne einer Aktions- bzw. Handlungsforschung unmittelbar mit der Praxis im konkreten praktischen Anwendungsfall evaluiert. Diese Vorgehensweise untermauert ebenfalls die in Kapitel 4.3 beschriebene Notwendigkeit der formalen Evaluation und Anwendung der entwickelten Modelle. Folglich kann die in Kapitel 1.3 motivierten Ziele dieser Arbeit als erreicht angesehen werden, wenn schließlich auch die in Kapitel 4.1. identifizierten Anforderungen an die Partialmodelle für die durchgeführten Fallstudien erfüllt sind. Aus diesem Grund wird im Folgenden zuerst die Erfüllung der formalen und anschließend der inhaltlichen Anforderungen argumentativ begründet.

Die Integration des EM in den Ordnungsrahmen Produktion und Management (Kapitel 5), die systematische und iterative (Kapitel 6) Entwicklung eines RM (Kapitel 7), sowie die zugehörige Methode zur Gestaltung spezifischer EnIS belegen zweifelsohne die explizite Berücksichtigung des vorhandenen Wissensschatzes. Die Integration des betrieblichen EM führte in diesem Kontext zu neuartigen Ergebnissen, die zum einen zur Klärung bislang offener Fragestellungen beitragen konnten und zum anderen neue Fragestellungen aufwerfen und auf diese Weise zum allgemeinen wissenschaftlichen Fortschritt beitragen. Die Ergebnisse wurden aus einem transparenten Forschungsprozess (Kapitel 1.4, 1.5, 1.6 und 4.3) abgeleitet und erfüllen folglich ebenfalls die Anforderung der Nachvollziehbarkeit. Darüber hinaus kann den Ergebnissen auch eine gewisse wissenschaftliche Wirkung attestiert werden, die sich bspw. durch die Anzahl der öffentlichen geförderten Forschungsprojekte, Veröffentlichungen und Vorträgen (Anhang A1) belegen lässt, da diese implizit als Kennzahl für das Interesse der wissenschaftlichen Gemeinschaft am Forschungsthema herangezogen werden kann. Der durch diese Aktivitäten angestoßene interdisziplinäre wissenschaftliche Kommunikationsprozess stellte darüber hinaus die Erfüllung der Anforderungen an die Universalität, Originalität und Kreativität der Ergebnisse sicher. Die Bewertung der Aktualität des Forschungsgegenstands und der ethischen Haltung der Ergebnisse kann retrospektiv

insbesondere nach Durchführung der Fallstudien ebenfalls als erfüllt angesehen werden, da die Ergebnisse Unternehmen bei der Digitalisierung der Energiewende unterstützen und dies zwangsläufig in der Praxis zu mehr Nachhaltigkeit im Umgang mit der Ressource Energie führt. Zusammenfassend kann folglich berechtigtermaßen von der Erfüllung der formalen Anforderung der **wissenschaftlichen Relevanz** ausgegangen werden. Die **praktische Relevanz** der Arbeit kann explizit anhand der erfolgreichen Durchführung der Verbundprojekte und Fallstudien begründet werden. Die Partizipation sämtlicher *Stakeholder* der Praxis allein, lässt sich dabei als klarer Indikator für die Erfüllung der ausreichenden Behandlung und Lösung der Aufgabenstellung heranziehen, da diese im direkten Zusammenhang mit nicht unerheblichem finanziellem Aufwand steht. Der in diesem Kontext ebenfalls wichtige Grundsatz der **Effizienz** lässt sich schließlich auf das Verhältnis zwischen dem Aufwand und dem erwarteten Nutzen der erzielbaren Ergebnisse reduzieren. Die Vielzahl der bei der Entwicklung dieser Arbeit beteiligten Unternehmen (s. Anhang 1) wird nun als Beleg für die Erfüllung dieser Anforderung herangezogen. Die Erfüllung der formalen Anforderungen nach **Funktionalität** und **Praktikabilität** wurden im Rahmen der Projekt-, Gremien- und Öffentlichkeitsarbeit stetig verbessert und durch die Auszeichnung des DIN bestätigt (s. Anhang 2). Alles in allem kann somit auch die übergeordnete formale Anforderung der **Utilität** als erfüllt angesehen werden, sodass im nächsten Schritt die inhaltlichen Anforderungen diskutiert werden.

Bei den inhaltlichen, modellübergreifenden Anforderungen wurde durch die Fallstudien deutlich, dass der Untersuchungsbereich des betrieblichen EM sowohl des Ordnungsrahmens als auch der EnISA exakt abgedeckt wird (**Untersuchungsbereichsanpassung**). Auch die **Zielgruppenadäquatheit** konnte durch die Fallstudien untermauert werden, sodass die Modelle durch die verschiedensten Rollen der beteiligten Organisationstypen zur Unterstützung der EnIS Gestaltung herangezogen werden konnten. Innerhalb der gewählten Modelle wurden die Anforderungen an **Marktmodellflexibilität** und **Geschäftsmodellvielfalt** explizit erfüllt, sodass sämtliche Partialmodelle die vorherrschende rechtliche Situation ausreichend abdecken und durch die beschriebenen Fallstudien verschiedene neuartige Geschäftsmodelle plausibilisiert werden konnten. Die generische Gestaltung der Modelle ermöglicht darüber hinaus kontinuierliche Erweiterungen bzw. Spezifizierungen für besondere Anwendungen im Rahmen weiterer Forschungstätigkeiten. Die ausführlichen Beschreibungen aus verschiedenen Perspektiven und deren Zusammenhänge in den Modellen sowie die Referenz auf verschiedene Kommunikationsstandards offenbarten außerdem die Erfüllung der Anforderung der grundsätzlichen **Technikneutralität** der Modellierungsergebnisse und gleichzeitig auch die Erfüllung der Anforderung an die **Partialmodellharmonie**. Im Rahmen der Systemarchitekturgestaltung fanden auch die generellen Gestaltungsprinzipien Idealität, Unabhängigkeit, modularer Aufbau, *Piecemeal Engineering*, minimale Präjudizierung und offene Standards Berücksichtigung. Diese eher allgemein gültigen inhaltlichen Anforderungen liegen somit den nachfolgend beschriebenen spe-

zifischen inhaltlichen Anforderungen zugrunde und bedingen diese, sodass im Rahmen dieser Arbeit aus Effizienzgründen lediglich eine ausführlichere Diskussion der spezifischen inhaltlichen Anforderungen erfolgt, die so gleichzeitig für die Erfüllung der allgemeinen Anforderungen herangezogen werden kann. Bezogen auf inhaltliche Anforderungen die speziell an das RAMEnIS 6.0 zu stellen sind, ist die Anforderung der **Instanzierbarkeit** bereits durch die Modellierung spezifischer EnISA durch die Fallstudien plausibilisiert. Die **Architekturmodellkonformität** sowie die **Komponentenflexibilität** können hingegen vorläufig nicht bestätigt werden, da die ausgewählten Fallstudien nicht in Kombination mit vorhandenen Architekturmodellen zum Einsatz kamen und das vorgeschlagene Repertoire an Komponenten ausreichend war. Die Anforderungserfüllung der Architekturkonformität kann durch weitere, zukünftige Anwendung der Modelle mit vorhandenen Architekturen überprüft werden. Trotz der generischen Gestalt der entwickelten Partialmodelle, könnte die Komponentenflexibilität lediglich dann untermauert werden, wenn bei einem zukünftigen Einsatz des RAMEnIS 6.0 auf Komponenten zurückgegriffen werden müsste, die heute noch nicht bekannt sind bzw. zur Erfüllung der formalen Anforderung der ‚Relevanz‘ bisher nicht aufgenommen wurden. Die Erfüllung der Anforderung an die **Integrierbarkeit** und der sich aus der Zielstellung dieser Arbeit abgeleiteten besonderen Bedeutung des Bezugs zu Normen und Standards der RAMEnIS 6.0 ist bspw. durch die Adaption des RAMI 4.0, der Integration des Begriffsystems aus einschlägigen Normen sowie die Nennung und Erläuterung zentraler standardisierter Kommunikationsschnittstellen gegeben, die schließlich auch in den Fallstudien Anwendung fanden. Eine Detaillierung der Kommunikationsschnittstellen zusammen mit der Beschreibung der darüber ausgetauschten Datenobjekte ist die Basis durchgängiger Informationsflüsse. Das generische Fachkonzept Energieinformationsmanagement (FEnIM) stellt ein Beispiel für eine solche, Ebenen übergreifende Darstellung dar und gewährleistet die notwendige **Informationsflussorientierung** der RAMEnIS 6.0. Schließlich ist durch die explizite Berücksichtigung der kognitiven Fähigkeiten menschlicher Nutzer an verschiedensten Stellen der Partialmodelle auch die Anforderung an die **Nutzerfokussierung** erfüllt worden und konnte im Rahmen der Fallstudien bei der Gestaltung der Visualisierungslösungen auch bestätigt werden. Das generische RAMEnIS 6.0 beinhaltet insbesondere auch eine Applikationsarchitektur die per Definition auf größtmöglicher **Dezentralisierung** beruht und auf dem akzeptierten Wissen und Theorien der vorhandenen Zukunftserwartung (**Zukunftsansagen**) zum IoT aufbaut.

Folglich kann das Ziel der Arbeit nun als erreicht angesehen werden, da produzierende Unternehmen bei der Gestaltung von EnIS zur besseren Organisation des betrieblichen EM durch die vorliegenden Ergebnisse unterstützt werden. Die quasi normungsfähige Reife des RAMEnIS 6.0 ist durch die Erfüllung der Anforderungen ebenfalls gegeben, sodass das Modell nun grundsätzlich in ein entsprechendes Gremium des DIN, der in Deutschland zuständigen Normungsorganisation, eingebracht werden und so der voll konsensbasierten Normung und dem damit verbundenen Prozess zugeführt werden könnte.

10 Zusammenfassung und Ausblick

10.1 Zusammenfassung

In modernen hoch entwickelten Volkswirtschaften wächst die Bedeutung des Dienstleistungssektors (tertiärer Sektor) gegenüber dem produzierenden Gewerbe (sekundärer Sektor) und den Bereichen Land- und Forstwirtschaft (primärer Sektor) zwar ständig weiter, nichtsdestotrotz bildet die Produktion weiterhin das internationale Aushängeschild für den Standort Deutschland. Rückgrat der deutschen Produktion sind dabei die zahlreichen mittelständischen Unternehmen die in vielen Branchen führende Stellungen auf dem Weltmarkt einnehmen. So liefert die Produktion bspw. in der Kraftfahrzeugindustrie, Metall verarbeitende Industrie, Maschinenbau etc. tausende Arbeitsplätze und leistet einen wesentlichen Beitrag zur gesamten Wertschöpfung des Landes. Der Endenergieverbrauch ist im industriellen Sektor in den letzten Jahren zwar leicht rückläufig, in Sachen Stromeinsatz belegt die Industrie allerdings weiterhin den Spitzenplatz aller Sektoren. Folglich resultiert die wesentliche **Problemstellung** aus der Notwendigkeit die Energieeffizienz sowie die Energieflexibilität innerhalb der Produktion zu erhöhen. Diese Erhöhungen gehen theoretisch mit großen Potenzialen einher, die grundsätzlich durch Informationstransparenz über Energie- und Ressourceneinsatz, mit Hilfe heutiger Mess- (*Smart Metering*) und Automatisierungstechnik (*Machine-to-Machine*), den technischen Möglichkeiten der schnellen Bereitstellung (Breitbandtechnologien), sowie der Fähigkeit zur dezentralen und zentralen Datenverarbeitung in Echtzeit (eingebettete Systeme und *Big Data*) bereits heute mit kalkulierbarem finanziellen Aufwand gehoben werden könnten. Die Tatsache, dass dies in der Praxis heute nicht geschieht ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass Energiedaten in den Unterstützungssystemen der Produktion heute selten bzw. keine Berücksichtigung finden. Ein Ausschöpfen des vollen Potenzials kann im industriellen EM allerdings nur auf Basis von Daten und Menschen, deren Fähigkeiten optimal in die digitalisierte Arbeitswelt integriert wurden, umgesetzt werden. Somit rücken IS und DA zwangsläufig auch in den Fokus des betrieblichen EM, da diese stets im Kontext der übergeordneten sektorweiten Entwicklungen zu I4.0 zu betrachten sind. Innerhalb der vielen verschiedenen Anwendungen der mit I4.0 verbundenen Konzepte könnte das betriebliche EM aber aufgrund der in Deutschland vorliegenden Rahmenbedingungen, die wichtige Rolle eines Katalysators einnehmen. Bedingt durch die Gesetze zur Umsetzung der Energiewende beschäftigen sich heute mehr und mehr Unternehmen mit EM und den damit verbundenen Investitionen. Dennoch sind entsprechende Systeme insbesondere in mittelständischen Unternehmen noch eher die Ausnahme, sodass dort die Planung in der Regel quasi buchstäblich auf der grünen Wiese erfolgen kann. Gleichzeitig bietet das EM unterschiedliche Entwicklungsstufen an deren Anfang grundsätzlich zunächst keine riskanten Eingriffe in die laufende Produktion notwendig sind und diese dennoch nach deren Umsetzung eine Dichte an Informationen liefern,

deren Umfang bereits den Einsatz von *Cloud*- und anderen I4.0 – Technologien rechtfertigen. Das betriebliche EM kann somit auch als eine Art Testumgebung angesehen werden um die vierte Industrielle (R)evolution zu meistern.

Zielsetzung dieser Arbeit war es deshalb die notwendigen wissenschaftlichen und methodischen Rahmenbedingungen zu erarbeiten, die zum einen zur Erweiterung des aktuellen wissenschaftlichen Diskussionsstands beitragen sollen und zum anderen der Praxis explizit zur systematischen Gestaltung von EnIS für ganzheitliches betriebliches EM an der Schnittstelle von I4.0 und Energiewende (Strommarkt 2.0) dienen sollen. Dem **Lösungsweg** zur Erreichung der Zielsetzung lag vorliegender Arbeit ein iterativer, operationsanalytischer Forschungsprozess mit expliziter Beteiligung verschiedenster Experten aus Wissenschaft und Praxis zugrunde der schließlich in drei aufeinander aufbauende Partialmodelle mündet:

- **Ordnungsrahmen betriebliches EM** zur Schaffung eines einheitlichen Begriffs – und Bezugssystems zur Systematisierung generischer Anforderungen an EnISA produzierender Unternehmen
- **RAMEnIS 6.0 als quasi normungsfähiges RM einer EnISA für produzierende Unternehmen**
- **Vorgehensweise** zur Gestaltung einer spezifischen EnISA in der Praxis

Auf diese Weise wurde durch diese konstruktionsorientierte Arbeit eine unternehmensübergreifende generisches EnISA-Rahmenwerk für produzierende Unternehmen beschrieben. Die darin enthaltene EnISA besitzt Referenzcharakter und kann unter Zuhilfenahme der Dokumentation zu einer spezifischen Energieinformationsarchitekturbeschreibung – d.h. anwendungstyp-, unternehmen- und geschäftsmodellbezogen konkretisiert werden. Die Ergebnisse vorliegender Arbeit wurden in Form von **Fallstudien und Experteninterviews** auf ihre Anforderungserfüllung hin überprüft. Im Sinne des gewählten Forschungsdesigns konnten die dadurch gewonnen Erkenntnisse unmittelbar in den Modellen berücksichtigt werden. Analog konnte eine **Verbreitung der Ergebnisse** im Sinne der Aktionsforschung zusätzlich zu ihrer Veröffentlichung direkt über die Mitarbeit des Autors in entsprechenden (Standardisierungs-) Gremien und Projekten erfolgen (s. Anhang A1). Die durch diese Gremien und Projekte erarbeiteten Ergebnisse sind daher für zahlreiche Unternehmen der Produktion bereits heute eine Orientierung bei der Gestaltung von EnIS.

Der größte **praktische Nutzen** stellt sich bei gesamtheitlichem Einsatz der Partialmodelle ein. Ordnungsrahmen, RAM und zugehöriges Vorgehensmodell sollen Unternehmen in der Praxis dabei unterstützen schon heute ihre EnIS hinsichtlich der geforderten IKT-Strukturen so auszulegen, dass diese den zukünftigen Anforderungen der Energiewende gerecht werden, aber auch hinsichtlich der sich bietenden Möglichkeiten zukünftiger I4.0-Anwendung optimal gestaltet sind. Dies sichert Investitionen in solche Systeme auch für die Zukunft ab, erhöht so die Akzeptanz der Praxis in erheblichem Maße und stellt somit den zentralen praktischen Nutzen dieser Arbeit dar. Ähn-

liches gilt für die Standardisierung solcher Lösungen, da hierdurch teure und zeitaufwendige Parallelentwicklungen vermieden werden können. Auf diese Weise kann eine schnellere Durchdringung erzielt werden, von der letztendlich vor allem KMU ohne oder nur mit geringem eigenem Entwicklungsbudget profitieren können. Das in dieser Arbeit erzielte Gesamtergebnis stellt damit ein Architekturrahmenwerk für Praxisanwender und somit eine erhebliche Erleichterung aufgrund der Komplexitätsreduktion dar, da die beschriebene Referenzarchitektur bereits durch verschiedene Experten validiert wurde und somit ein Großteil der Vorbereitungsarbeit im eigenen Unternehmen entfallen kann.

Der **wissenschaftliche Beitrag** umfasst im Wesentlichen die terminologisch-deskriptive Schaffung eines Begriffssystems durch die Integration des betrieblichen EM in den Ordnungsrahmen Produktion und Management, sowie dessen Anwendung für die Identifikation und systematische Beschreibung der Anforderungen an die Forschungsobjekte. Das so geschaffene Begriffssystem zusammen mit dem beschriebenen generischen Fachkonzept Energieinformationsmanagement (FEnIM) kann Ausgangspunkt für eine tiefergehende wissenschaftliche Auseinandersetzung mit speziellen Aspekten der Energieinformationssystemgestaltung für produzierende Unternehmen sein. Darüber hinaus besteht der wissenschaftliche Beitrag in der Entwicklung einer generischen EnISA, die sowohl mit domänenspezifischen Arbeiten wie dem RAMI 4.0 als auch mit domänenunabhängigen Rahmenwerken wie dem TOGAF und ARIS kompatibel ist. Sämtliche Ergebnisse der Arbeit wurden durch erfolgreiche Veröffentlichungen der wissenschaftlichen Gemeinschaft zur Verfügung gestellt. Auf diese Weise führten die Ergebnisse im direkten Forschungsumfeld des Autors nachweislich bereits zu weiteren Dissertationsvorhaben im Bereich des betrieblichen EnIM. Außerdem bildeten sie die Ausgangsbasis für die neu gestaltete Vorlesungseinheit 11 – Energie- und Ressourcenmanagement der Lehrveranstaltung Produktionsmanagement II an der RWTH Aachen und fließen so auch in die akademische Lehre mit ein. Die **wissenschaftliche Wirkung** der Ergebnisse lässt sich schließlich auch anhand der Vielzahl der weiteren bereits akquirierten Energie Forschungsprojekte dem FIR belegen, die mit einem erheblichem finanziellen *Commitment* aus öffentlichen und privatwirtschaftlichen Mitteln verbunden sind.

Durch Beantwortung der dieser Arbeit zugrunde liegenden Forschungsfrage konnte somit durch die Erarbeitung einer unternehmensübergreifenden generischen Referenzarchitektur für EnIS der Produktion samt den zugehörigen Partialmodellen der Grundstein gelegt werden, den Aufbau erforderlicher agiler IKT-Strukturen zur Berücksichtigung von Energiedaten in der Produktionsplanung, optimal zu begleiten und den Zugang dieser Technologie für I4.0-Anwendungen zu ermöglichen.

10.2 Ausblick

Mit der Steigerung der Energieeffizienz, der Reduktion der Treibhausgasemissionen sowie dem Ausbau der EE wird die Transformation des heutigen Energiesystems zu einer nachhaltigen und dennoch wettbewerbsfähigen Energieversorgung zunehmend Realität. Dabei hängt der Erfolg der Energiewende stark vom Gelingen der Kopplung der Sektoren Strom, Wärme und Verkehr ab und geht mit einer massiven Erhöhung der Systemkomplexität einher, welche im Wesentlichen auf die steigende Anzahl von Akteuren und dem Informationsaustausch dieser untereinander zurückzuführen ist. (s. ROSCHER 2016a) Um die Kopplung der Sektoren besser zu unterstützen könnten die in vorliegender Arbeit entwickelten Modelle um weitere Energieträger und Prozesse erweitert werden.

Dabei besitzen stromgeführte EnIS aber bereits ein sehr hohes Innovationspotenzial, da sie im Gegensatz zu anderen etablierten betrieblichen Anwendungssystemen in der Regel nicht über Jahre gewachsen sind und somit auf der grünen Wiese geplant werden können. Die Notwendigkeit der Umsetzung solcher Systeme wurde in den vergangenen Jahren durch die Gesetzgebung eingeleitet und dadurch Anreize geschaffen Investitionen in solche Systeme vorzunehmen. Auf diese Weise haben bereits jetzt 30 % der Unternehmen EnMS umgesetzt und sind dadurch, im Vergleich zu Unternehmen ohne vergleichbare Systeme, erfolgreicher hinsichtlich der Energiekosteneffizienz. (s. ZUBERER 2015, S. 1) Insgesamt konnten bereits in mehr als jedem dritten Unternehmen die Energiekosten durch Investitionen in die Energieeffizienzmaßnahmen um mehr als 20 % reduziert werden, was eine Senkung der Gesamtkosten um 3,6 % bewirkte. (s. ZUBERER 2015, S. 1) Das in dieser Arbeit entwickelte Rahmenwerk unterstützt die weitere Durchdringung der Produktion mit EnIS. Wie in anderen Rahmenwerken auch, könnte durch weitere Forschungsarbeit die Bereitstellung weitergehender Hilfestellungen in Form von konkreten Vorlagen und Werkzeugen zum Einsatz der Modelle weiter verbessert werden und so die Anwendung in der Praxis durch Unterstützung der einzelnen Arbeitsschritte weiter vereinfacht werden. Dies gilt insbesondere für die Unterstützung konsistenter strategischer Entscheidungen im Einklang mit der Unternehmensstrategie für die Teilsstrategien IT und Energiepolitik in Zeiten weitestgehender Veränderungen getrieben durch Digitalisierung und Energiewende. So stellt bspw. die Erforschung eines theoriebasierten und dennoch praktisch anwendbaren **Gestaltungsmodells zur strategischen Planung der Integration von EnIS in vorhandene IT-Landschaften der Produktion** ein weiteres Forschungsfeld dar.

Als Ressource hat Energie dabei keinen unmittelbaren Einfluss auf die wirkungsbestimmenden Elemente der Produktionssteuerung Termintreue und Durchlaufzeit (s. GIERTH 2009) Die Modellierung der informationstechnischen Zusammenhänge in der Produktion aus energetischen Gesichtspunkten ist daher im Vergleich zu anderen Sachverhalten der klassischen produktionslogistischen Zielgrößen nicht weit fortgeschritten. Aus diesem Grund können Energiedaten zunächst als zusätzliche Bewe-

gungsdaten aus der Produktion verstanden werden, deren Potenzial für nutzenstiftende Analysen und Simulationen aufgrund ihres derzeitigen Schattendaseins noch nicht ausgenutzt wird. Dieser Umstand impliziert die Notwendigkeit einer weitergehenden datentechnischen Modellierung der energiewirtschaftlichen Realität der Produktion. In diesem Zusammenhang stellt bspw. die systematische Erweiterung des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten generischen Fachkonzept Energieinformationsmanagament (FEnIM) zu einem vollständigen **Informationslogistikmodell des betrieblichen Energiemanagements produzierender Unternehmen** eine zentrale Herausforderung für die weitere Forschung dar. Das so zu erstellende Energieinformationslogistikmodell (EnILM) sollte sämtliche Informationsbedarfe aller Anspruchsgruppen beschreiben, strukturieren aber vor allem auch weiterführende Aussagen hinsichtlich der Wechselbeziehungen der Elemente erlauben, um so die Ausgangsbasis für die maschineninterpretierbare Datenmodellierung der Zusammenhänge zu schaffen, die letztlich die zwingende Voraussetzung für die zunehmende Automatisierung des Entscheidens darstellt. Ein vollständig dokumentiertes und validiertes EnILM erhöht die Verlässlichkeit der auf dieser Basis entwickelten EnIS durch verbesserte Möglichkeit der Simulation. Dies birgt eine gewaltige Chance für diese Systeme, da auf diese Weise negative Einflüsse auf die eigentlichen Kernprozesse der Produktionsplanungssysteme zum einen vermieden werden und zum anderen modernste Technologien Anwendung finden können. Dies kann als Wegbereiter für erste *User Cases* sowie als *Proof of Concept* für innovative datengetriebene Ansätze betrachtet werden und kann auf dieser Basis folglich ohne die Beeinträchtigung sensibler Bereiche der Fertigung einhergehen.

In diesem Zusammenhang stellt die **DA für EnIS produzierender Unternehmen** ein weiteres zentrales Forschungsfeld dar. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um die konkrete Entwicklung eines Vorgehens zur systematischen Anwendung mathematischer Methoden mit denen Daten zu Informationen transformiert werden können, die schließlich zur Entscheidungsunterstützung notwendig sind. Alles in allem bietet die Domäne des betrieblichen EM produzierender Unternehmen somit auch für viele weitere Forschungsdomänen Themen zur weiteren Bearbeitung und so sollen die Ergebnisse dieser Arbeit als Referenz für zukünftige Aktivitäten im Kontext EM, herangezogen werden.

Literaturverzeichnis

- ADOLPHS, P. ET AL.: [Statusreport] Fortentwicklung des Referenzmodells für die Industrie 4.0 – Komponente. Struktur der Verwaltungsschale. Hrsg.: Verein Deutscher Ingenieure e.V. (VDI); Zentralverband Elektrotechnik und Elektronikindustrie e.V. (ZVEI) April 2016. https://www.vdi.de/fileadmin/vdi_de/redakteur_dateien/gma_dateien/6146_PUB_GMA_ZVEI_Statusreport_-_RAMI_4-0_Struktur_der_Verwaltungsschale_Internet.pdf (letzter Zugriff: 16.07.2017).
- AIER, S. ET AL.: Unternehmensarchitektur – Literaturüberblick und Stand der Praxis. In: WIRTSCHAFTSINFORMATIK 50 (2008) 4, S. 292 – 304.
- ANDERSON, N. ET AL.: The practitioner-researcher divide in Industrial, Work and Organizational (IWO) psychology. Where are we now, and where do we go from here? In: Journal of Occupational and Organizational Psychology 74 (2001) 4, S. 391 – 411.
- ASCHENDORF, B.: Energiemanagement durch Gebäudeautomation. Grundlagen - Technologien - Anwendungen. Imprint: Springer Vieweg, Wiesbaden 2014.
- BAFA 2017: Energiemanagementsysteme. Förderfähige Energiemanagementsoftware. Hrsg.: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). http://www.bafa.de/DE/Energie/Energieeffizienz/Energiemanagementsysteme/energiemanagementsysteme_node.html (letzter Zugriff: 17.07.2017).
- BAFA 2016: [Merkblatt] Mindestanforderungen. Energiemanagementsysteme – Mindestanforderung an die Software. Hrsg.: Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA)Referat 526, Eschborn 20.12.2016. http://www.bafa.de/Shared-Docs/Downloads/DE/Energie/ems_merkblatt_mindestanforderungen_software.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (letzter Zugriff: 29.06.2017).
- BARSCHE, C.: Die Bedeutung der Kultur bei der Energiewende am Beispiel des Welterbes Oberharzzer Wasserwirtschaft“. Gestaltungsoptionen im gesellschaftlichen Transformationsprozess der Energiewende. Erlebnisführungen Harz, Goslar 09.10.2014. 41 Folien.
- BARTEL, J. ET AL.: [Leitfaden] Big Data im Praxiseinsatz – Szenarien, Beispiele, Effekte. Hrsg.: bitkom, Berlin 2012. <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2012/Leitfaden/Leitfaden-Big-Data-im-Praxiseinsatz-Szenarien-Beispiele-Effekte/BITKOM-LF-big-data-2012-online1.pdf> (letzter Zugriff: 14.07.2017).
- BAUER, M. ET AL.: [Whitepaper] Introduction to the Architectural Reference Model for the Internet of Things. Hrsg.: Project IoT-A 2013. <http://iotforum.org/wp-content/uploads/2014/09/120613-IoT-A-ARM-Book-Introduction-v7.pdf> (letzter Zugriff: 17.06.2017).[=2013a]
- BAUER, M. ET AL.: IoT Reference Model. In: Enabling things to talk. Designing IoT solutions with the IoT architectural reference model. Hrsg.: A. Bassi; M. Bauer; M. Fiedler; T. Kramp; R. van Kranenburg; S. Lange; S. Meissner. Springer, Berlin [u.a.] 2013, S. 113 – 162. [=2013b]
- BAUERNHANS, T.: Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma. In: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Hrsg.: T. Bauernhansl. Springer Vieweg, Wiesbaden 2014, S. 5 – 35.

- BAUERNHANS, T. ET AL.: Energieeffizienz in Deutschland - eine Metastudie. Analyse und Empfehlungen. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg 2014.
- BAUMÖL, U.: Aufgaben des Informationsmanagement. Hrsg.: N. Gronau; J. Becker; E. Sinz; L. Suhl; Leismeister Mario. <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/daten-wissen/Informationsmanagement/Informationsmanagement--Aufgaben-des/index.html> (letzter Zugriff: 18.07.2017).
- BECHTLE AG: Wissen, wo's langgeht – Mit der Bechtle IT-Landkarte. Hrsg.: Bechtle AG. <https://www.bechtle-update.com/itarchitektur/wissen-wo-s-langgeht-mit-der-bechtle-it-landkarte> (letzter Zugriff: 17.07.2017).
- BECKER, J.; KAHN, D.: Der Prozess im Fokus. In: Prozessmanagement. Ein Leitfaden zur prozessorientierten Organisationsgestaltung. Hrsg.: J. Becker; M. Kugeler; M. Rosemann. Vierte, korrigierte und erweiterte Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 2003, S. 3 – 16.
- BECKER, J. ET AL.: Forschungsmethodik einer Integrationsdisziplin. Eine Fortführung und Ergänzung zu Lutz Heinrichs "Beitrag zur Geschichte Wirtschaftsinformatik" aus gestaltungsorientierter Perspektive. In: Wissenschaftstheorie und gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik. Hrsg.: J. Becker; H. Krcmar; B. Niehaves. Physica-Verlag, Heidelberg 2009, S. 1 – 22.
- BENZ, T. ET AL.: [Studie] Der zelluläre Ansatz. Grundlage einer erfolgreichen, regionenübergreifenden Energiewende. Hrsg.: VDE-Energietechnische Gesellschaft (ETG), Frankfurt am Main 2015.
- BERNHARD, R.: Einheitlicher Zugriff auf Automatisierungsdaten. In: openautomation - Das Fachmagazin für das Management 13 (2011) 1-2, S. 2 – 6.
- BESSAI, B.: Eine Analyse des Begriffs Management in der deutschsprachigen betriebswirtschaftlichen Literatur. In: Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung (1974) 26, S. 353 – 362.
- BETGE, D.: Koordination in advanced planning and scheduling -systemen. Deutscher Universitäts-Verlag / GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden 2006.
- BLECH, U.: Die Entwicklung einer Energiestrategie im gesellschaftsrechtlichen Kontext. In: Industrielle Energiestrategie. Praxishandbuch für Entscheider des produzierenden Gewerbes. Hrsg.: F. J. Matzen; R. Tesch. Springer Fachmedien, Wiesbaden 2017, S. 177 – 188.
- BLEICHER, K.: Das Konzept Integriertes Management. 7. Aufl. Campus Verlag, Frankfurt am Main [u.a.] 2004.
- BLOOM, B.; ENGELHART, M.; FURST, E.; HILL, W.; KRATHWOHL, D.: Taxonomy of Educational Objectives. Handbook 1 Cognitive Domain. Longmans, Green and Co Ltd 1956.
- BMBF: Die neue Hightech-Strategie Innovationen für Deutschland. Hrsg.: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) Referat Grundsatzfragen der Innovationspolitik, Berlin 2014. https://www.bmbf.de/pub_hts/HTS_Broschure_Web.pdf (letzter Zugriff: 12.12.2015).
- BMW AG: Nachhaltigkeit ist die Antwort, die alles in Frage stellt. Der BMW i3 – Nachhaltigkeit komplett durchdacht. Hrsg.: BMW AG. <http://www.bmw.de/de/neufahrzeuge/bmw-i/i3/2015/nachhaltigkeit.html> (letzter Zugriff: 13.07.2017).

- BMWi: Zentrale Vorhaben Energiewende für die 18. Legislaturperiode. 10-Punkte-Energie-Agenda des BMWi. Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin 2014. <http://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/0-9/10-punkte-energie-agenda,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (letzter Zugriff: 12.12.2015).
- BMWi 2015a: Entwurf eines Gesetzes zur Digitalisierung der Energiewende. Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin 2015. <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/entwurf-eines-gesetzes-zur-digitalisierung-der-energiewende,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (letzter Zugriff: 22.10.2017).
- BMWi 2015b: Entwurf eines Gesetzes zur Weiterentwicklung des Strommarktes (Strommarktgesetz). Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin 2015. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Downloads/E/entwurf-eines-gesetzes-zur-weiterentwicklung-des-strommarktes.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (letzter Zugriff: 22.10.2017).
- BMWi 2015c: Versorgungssicherheit. Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Strommarkt-der-Zukunft/versorgungssicherheit.html> (letzter Zugriff: 12.12.2015).
- BMWi: Gesetzeskarte für das Energieversorgungssystem. Karte zentraler Strategien, Gesetze und Verordnungen. Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2017. https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/gesetzeskarte.pdf?__blob=publicationFile&v=33 (letzter Zugriff: 13.07.2017).
- BMWi; BMU: Energiewende auf gutem Weg. Ein Jahr nach den Energiewendeentschlüssen vom 6. Juni 2011. Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi); Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin 2012. <https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/E/energiewende-auf-gutem-weg-ein-jahr,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf> (letzter Zugriff: 30.11.2015).
- BNETZA 2017a: [Konzept] Das Marktstammdatenregister. – Gesamtkonzept –. Hrsg.: Bundesnetzagentur 2017. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/DatenaustauschUndMonitoring/MaStR/MaStR%20-%20Gesamtkonzept_170301.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (letzter Zugriff: 14.07.2017). [=BNETZA 2017a]
- BNETZA 2017b: [Konzept] Struktur der Daten zu Marktteuren und Anlagen im Marktstammdatenregister. Bundesnetzagentur 2017. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Energie/Unternehmen_Institutionen/DatenaustauschUndMonitoring/MaStR/MaStR%20-%20Struktur%20der%20Marktakteurs_%20Anlagedaten_170301.pdf?__blob=publicationFile&v=2 (letzter Zugriff: 14.07.2017). [=BNETZA 2017b]
- BNETZA 2017c: Moderne Messeinrichtungen und intelligente Messsysteme. https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Verbraucher/NetzanschlussUndMessung/SmartMetering/SmartMeter_node.html. (letzter Zugriff: 14.07.2017). [=BNETZA 2017c]

- BOLAY, S. ET AL.: [Whitepaper] Faktenpapier Energiespeicher. Rechtsrahmen - Geschäftsmodelle - Forderungen. Hrsg.: Bundesverband Energiespeicher e.V. Berlin (BVES) und Deutscher Industrie- und Handelskammertag Berlin (DIHK), Berlin [u.a.] 2016. http://www.dihk.de/ressourcen/downloads/faktenpapier-energiespeicher.pdf/at_download/file?mdate=1461761991530 (letzter Zugriff: 20.05.2016).
- BOLAY, S.; MEYER, M.: [Whitepaper] Faktenpapier Eigenerzeugung und Stromdirektlieferung. Chancen, Risiken, Rechtsrahmen. Hrsg.: DIHK - Deutscher Industrie- und Handelskammertag und BSW Solar - Bundesverband Solarwirtschaft, Berlin [u.a.] 2015. https://www.rostock.ihk24.de/blob/hroiHK24/innovation_und_umwelt/downloads/2724866/685fa0bb268f4e2cf776852fe8873ec6/Eigenerzeugung-und-Stromdirektlieferung-data.pdf (letzter Zugriff: 23.08.2016).
- BOOS, W.; VÖLKER, M.; SCHUH, G.: Grundlagen des Managements produzierender Unternehmen. In: Strategie und Management produzierender Unternehmen. Handbuch Produktion und Management 1. Hrsg.: G. Schuh; A. Kampker. 2., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2011, S. 1 – 62.
- BOSCH REXROTH AG: Intelligenter Systembaukasten für die Blechumformung. Hrsg.: LECTURA GmbH. <https://press.lectura.de/de/article/intelligenter-systembaukasten-fuer-die-blechumformung/32233> (letzter Zugriff: 14.07.2017).
- BRANDENBURG, U.: Quantifizierbare Wirkungen von Energieeffizienz auf die Produktionslogistik. Determination of interdependencies between energy efficiency and production logistics. 1. Auflage. Schriftenreihe Rationalisierung Bd 144. Hrsg.: G. Schuh. Apprimus Verlag, Aachen 2016. – Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2016.
- BRÖHL, C. ET AL.: [Whitepaper] uSelect DMS. Optimierung des Auswahlprozesses von Dokumentenmanagementsystemen in KMU durch die Entwicklung und Integration von Usability-Kriterien. TIB - Technische Informationsbibliothek Universitätsbibliothek Hannover, Aachen 2015. https://www.tib.eu/de/suchen/download/?tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A869442481&tx_tibsearch_search%5Bsearchspace%5D=tn&cHash=c80ac54d4ce2b60d6ea0f3f862cfa12d#download-mark (letzter Zugriff: 22.10.2017).
- BRUHNKE, A.; ROSCHER, M.: Energie-Wissensmanagement in der flexiblen Fabrik. Langfristiger Mehrwert an der Schnittstelle zwischen Industrie 4.0 und Strommarkt 2.0. In: Smart & Social - Wissensaktivierung im digitalen Zeitalter. Hrsg.: M. Bentele; J. Niemeier; P. Schütt; M. Weber. 1. GITO mbH Verlag, Berlin 2015, S. 261 – 268.
- BSI: IT-Grundschutz. M 5.121 Sichere Kommunikation von unterwegs. Hrsg.: Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI). https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/ITGrundschutz/ITGrundschutzKataloge/Inhalt/_content/m/m05/m05121.html (letzter Zugriff: 22.10.2017).
- BUTZ, A.; KRÜGER, A.: Mensch-Maschine-Interaktion. Kapitel 1 – Grundmodell menschlicher Informationsverarbeitung. Ludwig-Maximilians-Universität München, München 2015. 11 Folien.
- BÜCHEL, M.; VOGELER, M.: Weißbuch - Gebäudeautomation. Handlungsempfehlungen zur Steigerung der Energieeffizienz durch Gebäudeautomation - auch unter

- Verwendung drahtloser Komponenten - im Neubau und Gebäudebestand in Schulen, kommunalen Verwaltungsgebäuden, privaten Bürogebäuden und Hotels. Hrsg.: wir4 – Wirtschaftsförderung für Moers, Kamp-Lintfort, Neukirchen-Vluyn und Rheinberg, Moers 2008. http://www.mc-cluster.de/fileadmin/files/weissbuch_final.pdf (letzter Zugriff: 14.07.2017).
- CHRIST, J. P.: Intelligentes Prozessmanagement. Marktanteile ausbauen, Qualität steigern, Kosten reduzieren. Springer Gabler, Wiesbaden 2015.
- COSGROVE, J. ET AL.: Development of a Holistic Method to Analyse the Consumption of Energy and Technical Services in Manufacturing Facilities. In: Smart Energy Control Systems for Sustainable Buildings. Hrsg.: J. Littlewood; C. Spataru; R. J. Howlett; L. C. Jain; Volume 67. Springer International Publishing, Cham 2017, 199-224.
- CROWDER, J. A. ET AL.: Multidisciplinary systems engineering. Architecting the design process. Springer, Cham [u.a.] 2016.
- DANGEL, U. ET AL.: MidAut: Middleware für verteilte Systeme. Keywords: Middleware, Automatisierung, Netzwerk. In: AALE 2010 - Tagungsband. 7. Fachkolloquium für Angewandte Automatisierungstechnik in Lehre und Entwicklung an Fachhochschulen. Hrsg.: V. Malisa. Online-Ausgabe. F-AR Verein zur Förderung der Automation und Robotik, Wien 2010, S. 43 – 50.
- DEINDL, M.: Gestaltung des Einsatzes von intelligenten Objekten in Produktion und Logistik. 1. Aufl. Schriftenreihe Rationalisierung 118. Hrsg.: G. Schuh. Apprimus Verlag, Aachen 2013. – Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2013.
- DEINDL, M.; ROSCHER, M. ET AL.: An Architecture Vision for an Open Service Cloud for the Smart Car. In: E-Mobility in Europe. Trends and Good Practice. Hrsg.: R. Kotter; W. Leal. Green Energy and Technology. Springer International Publishing, Cham [u.a.] 2015, S. 281 – 296.
- DES GMBH: Automobil-Zulieferer bereitet sich auf ISO 50001 vor. Fallstudien und Referenzen der Digital Energy Solutions. Hrsg.: Digital Energy Solutions GmbH & Co. KG. <https://www.digital-energysolutions.de/de/content/automobil-zulieferer-bereitet-sich-auf-iso-50001-vor> (letzter Zugriff: 13.07.2017).
- DESTATIS 2015a: Daten zur Energiepreisentwicklung. Lange Reihen von Januar 2000 bis August 2015. Hrsg.: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2015. https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/Preise/Energiepreise/EnergiepreisentwicklungPDF_5619001.pdf?__blob=publicationFile (letzter Zugriff: 18.10.2015).[=2015a]
- DESTATIS 2015b: Unternehmen und Arbeitsstätten. Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien in Unternehmen. Hrsg.: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2015. https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/UnternehmenHandwerk/Unternehmen/InformationstechnologieUnternehmen5529102157004.pdf?__blob=publicationFile (letzter Zugriff: 22.10.2017).[=2015b]
- DIECKHÖNER, C.: Energiekostentreiber: Es geht nicht nur um Strom! Fokus Volkswirtschaft. Hrsg.: KfW Research 2015. <https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Fokus-Volkswirtschaft/Fokus-Nr.-97-Juli-2015-Energiekosten.pdf>.

- DIEKMANN, B.; ROSENTHAL, E.: Energie. Physikalische Grundlagen ihrer Erzeugung, Umwandlung und Nutzung. 3., vollst. überarb. und erw. Auflage. Springer Spektrum, Wiesbaden 2014.
- DIETRICH, A. J.: Informationssysteme für Mass Customization. Institutionenökonomische Analyse und Architekturentwicklung. 1. Aufl. Gabler Edition Wissenschaft D 100. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden 2007. – Zugl.: Dissertation Universität Hohenheim, Stuttgart, 2007.
- DILGER, A.: [Diskussionspapier] Rigor, wissenschaftliche und praktische Relevanz. Hrsg.: Westfälische Wilhelms-Universität Münster, Institut für Organisationsökonomik, Münster 2012. https://www.wiwi.uni-muenster.de/io/sites/io/files/forschen/downloads/dp-io_03_2012.pdf (letzter Zugriff: 22.05.2016).
- DIN 32736: Gebäudemanagement - Begriffe und Leistungen. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; Beiblatt 1 zu DIN 32736 ICS 01.040.03; 01.040.91; 03.080.99; 91.040.01. Beuth, Berlin, August 2000.
- DIN 276: Kosten im Bauwesen. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; Entwurf Deutsche Norm DIN 276 ICS 91.010.20. Beuth, Berlin, Juli 2017.
- DIN EN 62264-1: Integration von Unternehmensführungs- und Leitsystemen – Teil 1: Modelle und Terminologie (IEC 62264-1:2013). DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; Deutsche Norm; DIN EN 62264-1 ICS 01.040.35; 35.240.50. Beuth, Berlin, Juli 2014.
- DIN EN ISO 16484-3: Systeme der Gebäudeautomation (GA) – Teil 3: Funktionen (ISO 16484-3:2005);. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; Deutsche Norm DIN EN ISO 16484-3 ICS 35.240.99; 97.120. Beuth, Berlin, Dezember 2005.
- DIN EN ISO 50001: Energiemanagementsysteme-Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 50001:2011). DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; Deutsche Norm DIN EN ISO 50001 ICS 27.010. Beuth, Berlin, Dezember 2011.
- DIN EN ISO 9241-11: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 11: Gebrauchstauglichkeit: Begriffe und Konzepte. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; Entwurf Deutsche Norm DIN EN ISO 9241-11 ICS 13.180; 35.080; 35.180. Beuth, Berlin, Januar 2017.
- DIN ISO 50006: Energiemanagementsysteme – Messung der energiebezogenen Leistung unter Nutzung von energetischen Ausgangsbasen (EnB) und Energieleistungskennzahlen (EnPI) – Allgemeine Grundsätze und Leitlinien (ISO 50006:2014). DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; Deutsche Norm DIN ISO 50006 ICS 03.100.70; 27.015. Beuth, Berlin, April 2017.
- DIN SPEC 91327: Referenzarchitektur eines empfehlungsbasierten Lastmanagementsystems für die Industrie. DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN SPEC nach dem PAS-Verfahren DIN SPEC 91327 ICS 29.240.99; 35.240.99. Beuth, Berlin, April 2015.
- DIN SPEC 91345: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0). DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN SPEC nach dem PAS-Verfahren DIN SPEC 91345 ICS 03.100.01; 25.040.01; 35.240.50. Beuth, Berlin, April 2016.

- DIRLENBACH, H.: Erfolgreiches Management von After-sales-Service-Innovationen in der Automobilindustrie. Eine Mixed-Methods-Analyse. Schriftenreihe Rationalisierung und Humanisierung Bd. 94. Hrsg.: G. Schuh. Shaker, Aachen 2009. – Zugl.: D 82 {Diss. RWTH Aachen University, 2009}.
- DÖLLE, M.: Neuer Raspberry Pi für Appliances und Industrie. Hrsg.: Heise Medien GmbH & Co. KG. <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Neuer-Raspberry-Pi-fuer-Appliances-und-Industrie-3597427.html> (letzter Zugriff: 14.07.2017).
- DÖRNER, R. ET AL.: Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Grundlagen und Methoden der Virtuellen und Augmentierten Realität. Springer-Verlag, Heidelberg 2013.
- DRUNK, G.; FEINÄUGLE, A.: IO-Link – die USB-Schnittstelle für die Sensor-Aktor-Ebene. Der neue Installations-Standard für die Maschinenebene im praktischen Einsatz. Hrsg.: xpertgate GmbH, Mannheim o.J. <http://www.xpertgate.de/magazin/report/Branchenreport-IO-Link.pdf> (letzter Zugriff: 09.07.2017).
- E.G.O GMBH: [Unternehmensporträt] Hightech seit 1931. Eine Reise durch die Welt von E.G.O. Hrsg.: E.G.O. Blanc und Fischer & Co. GmbH, Oberderdingen 2012. <http://www.egoproducts.com/de/unternehmen/> (letzter Zugriff: 23.05.2017).
- ELSNER, P. ET AL. (Hrsg.): Flexibilitätskonzepte für die Stromversorgung 2050. Technologien - Szenarien - Systemzusammenhänge. Analyse aus der Schriftenreihe Energiesysteme der Zukunft. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, München 2015.
- ENGELHARD, J.: Stichwort: Branche. In: Gabler Wirtschaftslexikon. Hrsg.: Springer Gabler Verlag. Springer Gabler Verlag, Berlin [u.a.] 2017, <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/branche.html>. (letzter Zugriff: 12.12.2017)
- ENGELS, J.: Geschichte und Heimat. Der Widerstand gegen das Kernkraftwerk Wyhl. In: Wahrnehmung, Bewusstsein, Identifikation. Umweltprobleme und Umweltschutz als Triebfedern regionaler Entwicklung. Hrsg.: K. Kretschmer; N. Fuchsloch. 1. Aufl. Freiburger Forschungshefte: Geschichte; Bd. 211. Technische Universität Bergakademie Freiberg, Freiberg 2003. <https://www.freidok.uni-freiburg.de/dnb/download/4826>, S. 103 – 130.
- ERLACH, K.; WESTKÄMPER, E. (Hrsg.): Energiewertstrom. Der Weg zur energieeffizienten Fabrik. Fraunhofer-Verlag, Stuttgart 2009.
- ERNST&YOUNG GMBH: [Whitepaper] Neuer Schwung. Standort Deutschland 2015. Hrsg.: Ernst & Young GmbH, Essen 2015. [http://www.ey.com/Publication/vwLUAssetsPI/EY_Studie_Standort_Deutschland_2015/\\$FILE/EY-Standort-Deutschland-2015.pdf](http://www.ey.com/Publication/vwLUAssetsPI/EY_Studie_Standort_Deutschland_2015/$FILE/EY-Standort-Deutschland-2015.pdf) (letzter Zugriff: 22.10.2017).
- FALLENBECK, N.; ECKERT, C.: IT-Sicherheit und Cloud Computing. In: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Hrsg.: T. Bauernhansl. Springer Vieweg, Wiesbaden 2014, S. 397 – 431.
- FASTERMANN, P.: 3D-Druck: eine nachhaltige und Energieeffizienz fördernde Technologie. In: Industrielle Energiestrategie. Praxishandbuch für Entscheider des produzierenden Gewerbes. Hrsg.: F. J. Matzen; R. Tesch. Springer Fachmedien, Wiesbaden 2017, S. 301 – 316.

- FETTKE, P.; LOOS, P.: Classification of reference models. A methodology and its application. In: Information Systems and e-Business Management 1 (2003) 1, S. 35 – 53.
- FINK, A.; SCHNEIDERREIT, G.; VOß, S.: Grundlagen der Wirtschaftsinformatik. Mit 62 Abbildungen und 16 Tabellen. Springer-Verlag, Berlin 2001.
- FLAUGER, J.: Energiewende in Deutschland. Die doppelte Kernspaltung. Hrsg.: Handelsblatt. <http://www.handelsblatt.com/technik/energie-umwelt/kampf-gegen-den-klimawandel/energiewende-in-deutschland-die-doppelte-kernspaltung/14793468-all.html> (letzter Zugriff: 16.05.2017).
- FLEISCH, E. ET AL.: Die betriebswirtschaftliche Vision des Internets der Dinge. In: Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen. Hrsg.: E. Fleisch; F. Mattern. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2005, S. 3 – 38.
- FLEISCH, E.; MATTERN, F. (Hrsg.): Internet der Dinge. Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2005.
- FLUHR, J.: Beschreibung und Gestaltung eines Informationssystems zur Integration von Elektrofahrzeugen in das Stromversorgungssystem. 1. Aufl. Schriftenreihe Rationalisierung Bd. 131. Apprimus Verlag, Aachen 2014. – Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2014.
- FREISINGER, E.: Unternehmen setzen auf Smart Products. Hrsg.: Haufe-Lexware GmbH & Co. KG. https://www.haufe.de/controllers/controllerpraxis/industrie-40-unternehmen-setzen-auf-smart-products_112_410674.html (letzter Zugriff: 14.07.2017).
- GERHOLD, L. ET AL. (Hrsg.): Standards und Gütekriterien der Zukunftsforschung. Ein Handbuch für Wissenschaft und Praxis. Zukunft und Forschung Bd. 4. Springer VS, Wiesbaden 2015.
- GERICKE, A.; WINTER, R.: Entwicklung eines Bezugsrahmens für Konstruktionsforschung und Artefaktkonstruktion in der gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik. In: Wissenschaftstheorie und gestaltungsorientierte Wirtschaftsinformatik. Hrsg.: J. Becker; H. Krcmar; B. Niehaves. Physica-Verlag, Heidelberg 2009, S. 195 – 210.
- GIERTH, A.: Beurteilung der Selbststeuerung logistischer Prozesse in der Werkstattfertigung. Schriftenreihe Rationalisierung und Humanisierung Bd. 95. Hrsg.: G. Schuh. Shaker, Aachen 2009. – Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2009).
- GILLENKIRCH, R.: Stichwort: Strategie. In: Gabler Wirtschaftslexikon. Hrsg.: Springer Gabler Verlag. Springer Gabler Verlag, Berlin [u.a.] 2017. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/strategie.html>, o.S. (letzter Zugriff: 12.12.2017)
- GLUCHOWSKI, P. ET AL.: Management Support Systeme und Business Intelligence. Computergestützte Informationssysteme für Fach- und Führungskräfte. Zweite, vollständig überarbeitete Auflage. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2008.
- GONSCHORREK, U.; HOFFMEISTER, W. (Hrsg.): Ganzheitliches Management. ein Lernbausteinsystem zum Selbststudium. Planungs- und Entscheidungsprozesse 7. Berliner Wissenschafts-Verlag, Berlin 2007.

- GRABL, M. A.: Bewertung der Energieflexibilität in der Produktion. Forschungsberichte IWB Bd. 300. Hrsg.: G. Reinhart; M. Zäh. Herbert Utz Verlag, München 2015. – Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2015.
- GRAUS, M.: Integration einer Datenanalytik in Energieinformationssysteme produzierender Unternehmen. In: Smart Energy 2016. Digitalisierung der Energieversorgung - Treiber und Getriebene. Hrsg.: U. Großmann; I. Kunold; C. Engels. 1. Auflage. E-Business. Verlag Werner Hülsbusch, Glückstadt 2016, S. 44 – 55.
- GRONAU, N.; FOHRHOLZ, C.: Mobiles Business mit ERP. In: Mobile Computing. Grundlagen - Prozesse und Plattformen - Branchen und Anwendungsszenarien. Hrsg.: M. Knoll; S. Meinhardt. Edition HMD. Springer Fachmedien, Wiesbaden 2016, S. 53 – 64.
- GRÖSSER, S.: Stichwort: Geschäftsmodell. In: Gabler Wirtschaftslexikon. Hrsg.: Springer Gabler Verlag. Springer Gabler Verlag, Berlin [u.a.] 2017. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/geschaeftsmodell.html>, o.S. (letzter Zugriff: 12.12.2017)
- GUSKE, C.: [Pressemitteilung] Europas Energiewende auf gutem Weg. Hrsg.: Europäische Kommission - Vertretung Deutschland 16.05.2017. https://ec.europa.eu/germany/news/europas-energiewende-auf-gutem-weg_de (letzter Zugriff: 22.10.2017).
- GUTENBERG, E.: Die Produktion. Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. 23., unveränd. Aufl. Springer, Berlin [u.a.] 1979.
- GWAC: GridWise Interoperability Context-Setting Framework (v1.1). Hrsg.: GridWise Architecture Council (GWAC) 2008. http://www.gridwiseac.org/pdfs/interop-framework_v1_1.pdf (letzter Zugriff: 18.06.2017).
- HAAREN, C. v.; ALBERT, C. (Hrsg.): Ökosystemleistungen in ländlichen Räumen. Grundlage für menschliches Wohlergehen und nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung. Naturkapital Deutschland - TEEB DE, Hannover [u.a.] 2016.
- HABERFELLNER, R. ET AL.: Systems Engineering. Grundlagen und Anwendung. 13., aktualisierte Auflage. Orell Füssli Verlag, Zürich 2015.
- HAFEN, T.: So soll der Großrechner überflüssig werden. Software-defined Mainframe im Container. Hrsg.: Neue Mediengesellschaft Ulm mbH. <http://www.com-magazin.de/praxis/business-it/so-grossrechner-ueberfluessig-1189979.html> (letzter Zugriff: 14.07.2017).
- HEILMANN, H.: Integration: Ein zentraler Begriff der Wirtschaftsinformatik im Wandel der Zeit. In: Handbuch der modernen Datenverarbeitung (HMD) 150/1989 (1989) 26, S. 46 – 58.
- HEINEN, E.: Die Zielfunktion der Unternehmung. In: Zur Theorie der Unternehmung. Festschrift zum 65. Geburtstag von Erich Gutenberg. Hrsg.: H. Koch. Gabler, Wiesbaden 1962, S.9ff.
- HEINRICH, B. ET AL.: Grundlagen Automatisierung. Sensorik, Regelung, Steuerung. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Springer Fachmedien, Wiesbaden 2017.
- HEINRICH, L.; STELZER, D.: Informationsmanagement. Grundlagen, Aufgaben, Methoden. 10. Auflage. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München 2011.
- HEINRICH, L. ET AL.: Informationsmanagement. Grundlagen, Aufgaben, Methoden. 11., vollst. überarb. Auflage. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München 2014.

- HERWIG, H.: Energie. Richtig bewerten und sinnvoll nutzen. 1. Auflage. Springer Fachmedien, Wiesbaden 2016.
- HEVNER, A. R. ET AL.: Design Science Information Systems Research. In: MIS Quarterly (2004) Volume 28 Issue 1, S. 75 – 105.
- HEYMANN, E.: Hohe Energiepreise in Deutschland führen zu Carbon Leakage. Zukunftsfragen. In: ENERGIEWIRTSCHAFTLICHE TAGESFRAGEN 64 (2014) 4, S. 45 – 48.
- HEYWOOD, P.: Was Unternehmen jetzt über IPv6 wissen sollten. Internet Protocol Version 6 & „Happy Eyeballs“. Hrsg.: Vogel IT-Medien GmbH. <http://www.ip-insider.de/was-unternehmen-jetzt-ueber-ipv6-wissen-sollten-a-519365/> (letzter Zugriff: 22.10.2017).
- HILL, W.; ULRICH, P.: Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre. Teil I und II. In: Wirtschaftswissenschaftliches Studium (WiSt) 5 (1976) 7 und 8, 304–309 und 343–350.
- HILLIARD, R. ET AL.: Systems and software engineering — Architecture description Systems and software engineering — Architecture description ISO/IEC/IEEE 42010. Frequently Asked Questions: ISO/IEC/IEEE 42010. <http://www.iso-architecture.org/ieee-1471/faq.html#whrvps> (letzter Zugriff: 23.10.2017).
- HOFFMANN, H.: Nai Hämmer Gsait: Ein Wyhl - Plakat macht (Regional) Geschichte. <http://www.bund-rvso.de/nai-haemmer-gsait.html> (letzter Zugriff: 14.01.2018).
- HOTTEL, S. ET AL.: [Leitfaden] Künstliche Intelligenz verstehen als Automation des Entscheidens. Hrsg.: bitkom 2017. <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2017/Leitfaden/Bitkom-Leitfaden-KI-verstehen-als-Automation-des-Entscheidens-2-Mai-2017.pdf> (letzter Zugriff: 26.07.2017).
- HOPPE, S.: Standardisierte horizontale und vertikale Kommunikation: Status und Ausblick. In: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Hrsg.: T. Bauernhansl. Springer Vieweg, Wiesbaden 2014, S. 325 – 341.
- HOPPE, S.: OPC Unified Architecture as a Standard Integration Platform for the (Real-Time) Enterprise. IoT City Tour. o.O. 10.09.2015. 68 Folien
- IBC: MDM (Master Data Management). <http://www.informationbuilders.co.uk/mdm-master-data-management>. Hrsg.: Information Builders Corporation (letzter Zugriff: 11.01.2018)
- IEC 62357-1: Power systems management and associated information exchange - Part 1: Reference architecture. IEC International Electrotechnical Commission; Technical Report IEC 62357-1 ICS 33.200. VDE VERLAG, Berlin [u.a], November 2016a.
- IEC 62832-1: Industrial-process measurement, control and automation - Digital factory framework - Part 1: General principles. IEC International Electrotechnical Commission; Technical Specification IEC 62832-1 ICS 25.040.40. VDE VERLAG, Berlin [u.a.], Dezember 2016b.
- IEEE 2030-2011: IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), End-Use Applications, and Loads. IEEE Institute of Electrical and Electronics

- Engineers; IEEE Standard IEEE-2030-2011 o.N. IEEE, New York, Oktober 2011.
- IHK BERLIN: Entlastungsmöglichkeiten bei Stromabgaben und -umlagen, Stromsteuer und Netzentgelten. Dok-Nr. 2769742. Hrsg.: Industrie- und Handelskammer zu Berlin 07.11.2016. https://www.ihk-berlin.de/blob/bihk24/politische-positionen-und-statistiken_channel/innovation/energie/Down-load/2769742/fa6fabe1aeb5acc8fb433a49bb35e03c/IHK-Merkblatt-Entlastungsmoeglichkeiten-bei-Stromabgaben---umlagen--Stromsteuer-und-Netzentgelten-data.pdf (letzter Zugriff: 13.07.2017).
- ISO / IEC / IEEE 42010: Systems and software engineering - Architecture description. ISO International Organization for Standardization; International Standard; ISO / IEC / IEEE 42010. 60. Auflage ICS 35.080. Beuth, Berlin, Dezember 2011.
- ISO IEC 2382: Information technology — Vocabulary. ISO International Organization for Standardization; International Standard; ISO IEC 2382 ICS 01.040.35, 35.020. Beuth, Berlin, Mai 2015.
- ISO / IEC 30141: Information technology – Internet of Things Reference Architecture (IoT RA). ISO International Organization for Standardization; Committee Draft (CD); ISO / IEC 30141 ICS 35.020, September 2016. https://www.w3.org/WoT/IG/wiki/images/9/9a/10N0536_CD_text_of_ISO_IEC_30141.pdf.
- JACOBFEUERBORN, B.: Das ist 5G. Hrsg.: Deutsche Telekom AG. <https://www.telekom.com/de/konzern/5g-haus/5g-haus/das-ist-5g-350940> (letzter Zugriff: 31.07.2017).
- JAKOVLJEVIC, Z. ET AL.: Cyber-Physical Manufacturing Systems (CPMS). In: Proceedings of 5th International Conference on Advanced Manufacturing Engineering and Technologies. NEWTECH 2017. Hrsg.: V. Majstorovic; Z. Jakovljevic. Springer International Publishing, Cham 2017, S. 199 – 214.
- JAROSCH, H.: Grundkurs Datenbankentwurf. Eine beispielorientierte Einführung für Studierende und Praktiker. 4., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Springer Vieweg, Wiesbaden 2016.
- JASPERNEITE, J. ET AL.: Vergleich zwischen OPC UA und MTConnect. Kommunikation / Schnittstellen. Hrsg.: WEKA FACHMEDIEN GmbH. <http://www.computer-automation.de/steuerungsebene/steuern-regeln/artikel/119808/>.
- JOCHER, M. ET AL.: [Leitfaden] Security in RAMI 4.0. Leitfaden. Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) 2016. https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/security-rami40.pdf?__blob=publicationFile&v=7 (letzter Zugriff: 16.06.2017).
- JOSEY, A.: [Whitepaper] TOGAF® Version 9.1 Enterprise Edition. An Introduction. Hrsg.: The Open Group, San Francisco 2011. <https://publications.open-group.org/w118> (letzter Zugriff: 23.10.2017).
- JOSEY, A. ET AL.: An Introduction to the ArchiMate® 3.0 Specification. Hrsg.: The Open Group, San Francisco June 2016.
- JUNG, H.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre. 12. Auflage. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München 2010.

- KAHLEN, C.: Energiewende kommt voran. Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiewende/gesamtstrategie.html> (letzter Zugriff: 12.12.2015).
- KAHLEN, C.; SASCH, C.: Ein neues Kapitel der Energiewende. Drei große Schritte weiter: Bundestag und Bundesrat haben das EEG 2017, das Strommarktgesetz und die Digitalisierung der Energiewende beschlossen. Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). <http://www.bmwi-energie-wende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2016/14/Video/topthema.html> (letzter Zugriff: 13.07.2016).
- KAHLENBORN, W. ET AL.: [Whitepaper] Energiemanagementsysteme in der Praxis. ISO 50001: Leitfaden für Unternehmen und Organisationen. 1. Auflage. Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin 2012. <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/publikation/long/3959.pdf> (letzter Zugriff: 17.12.2015).
- KAMPKER, A. ET AL.: Unternehmensstruktur. In: Strategie und Management produzierender Unternehmen. Handbuch Produktion und Management 1. Hrsg.: G. Schuh; A. Kampker. 2., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2011, S. 133 – 230.
- KEMPER, A.; EICKLER, A.: Datenbanksysteme. Eine Einführung. 7., aktualisierte und erweiterte Auflage. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München 2009.
- KIEF, H. B. ET AL.: CNC-Handbuch. CNC, DNC, CAD, CAM, FFS, SPS, RPD, LAN, CNC-Maschinen, CNC-Roboter, Antriebe, Energieeffizienz, Werkzeuge, Industrie 4.0, Fertigungstechnik, Richtlinien, Normen, Simulation, Fachwortverzeichnis. 30., überarbeitete Auflage. Hanser Verlag, München 2017.
- KISTNER, K.-P.; STEVEN, M.: Produktionsplanung. 3., vollständig überarbeitete Auflage. Physica-Verlag, Heidelberg 2001.
- KLASEN, F. ET AL.: Industrielle Kommunikation mit Feldbus und Ethernet. VDE VERLAG, Berlin [u.a.] 2010.
- KLEIN, B.: Umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte (EVPG, EnVKG). Hrsg.: Gewerbeaufsicht des Landes Bremen. <http://www.gewerbeaufsicht.bremen.de/sixcms/detail.php?gsid=bremen156.c.2320.de> (letzter Zugriff: 13.07.2017).
- KLOSE, K.: Service-orientierte Architekturen in der industriellen Auftragsabwicklung. Identifikation und Spezifikation von Services für ERP-/PPS-Systeme von Kleinserien- und Auftragsfertignern. Logos-Verlag, Berlin 2007.
- KNOLL, A.: Nächste Stufe des »Open Core Engineering. Bosch Rexroth. Hrsg.: WEKA FACHMEDIEN GmbH. <http://www.elektroniknet.de/markt-technik/automation/naechste-stufe-des-open-core-engineering-115559.html> (letzter Zugriff: 14.07.2017).
- KOCH, V. ET AL.: [Whitepaper] Industrie 4.0. Chancen und Herausforderungen der vierten industriellen Revolution. Hrsg.: PricewaterhouseCoopers Aktiengesellschaft (pwc) Wirtschaftsprüfungsgesellschaft Oktober 2014. <http://www.strategyand.pwc.com/media/file/Industrie-4-0.pdf> (letzter Zugriff: 12.12.2015).
- KOPP, K.: RAMI und IIRA verschmelzen jetzt zum ‚Welt-Modell 4.0‘. Industrie 4.0. Hrsg.: Produktion Technik und Wirtschaft für die deutsche Industrie.

- <https://www.produktion.de/iot-by-sap/iot-by-sap/rami-und-iira-verschmelzen-jetzt-zum-welt-modell-4-0-318.html> (letzter Zugriff: 21.06.2017).
- KORNMEIER, M.: Wissenschaftstheorie und wissenschaftliches Arbeiten. Eine Einführung für Wirtschaftswissenschaftler. Physica-Verlag, Heidelberg 2007.
- KRCMAR, H.: Einführung in das Informationsmanagement. 2., überarbeitete Auflage. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2015. [=2015a]
- KRCMAR, H.: Informationsmanagement. 6., überarbeitete Auflage. Gabler, Berlin [u.a.] 2015. [=2015b]
- KRENGE, J.; ROSCHER, M.: [Deliverable] FINESCE Roadmap. FI.ICT-2011.1.8 FINESCE - D6.4 Ver 1.0, Aachen 2013. http://www.finesce.eu/global/images/cms/Results/D6.4_FINESCE_Roadmap.pdf (letzter Zugriff: 17.07.2017).
- KRENGE, J.; ROSCHER, M. ET AL.: [Deliverable] Testbed Description WP3. In: Consolidated Trial Description. FI.ICT-2011.1.8 FINESCE - D7.2 Version 1.0. Hrsg.: RWTH Aachen. RWTH Aachen, Aachen 2014. http://finesce.eu/global/images/cms/Results/D7.2_FINESCE_Consolidated_Trial_Description.pdf, S. 23 – 27.
- KRIST, M.: Internationalization and Firm Performance. The Role of Intangible Resources. Gabler Edition Wissenschaft. Gabler, Wiesbaden 2009. – Zugl.: Dissertation Jacobs University Bremen, 2008.
- KROPP, S.: Beschreibung der Unternehmens-IT produzierender Unternehmen zur Umsetzung von Industrie 4.0. FIR e.V. an der RWTH Aachen, Aachen 13.11.2015. 34 Folien – Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss.-Votr., 2015.
- KRÖSCHEL, I.: Architekturbasiertes IT-Alignment. Bezugsrahmen und Framework zur mehrdimensionalen und kontinuierlichen Ausrichtung von Geschäft und IT. Entwicklung und Management von Informationssystemen und intelligenter Datenauswertung. Hrsg.: P. Alpar; U. Hasenkamp. Springer Fachmedien, Wiesbaden 2016. – Zugl.: Dissertation Philipps-Universität Marburg, 2015.
- KRUMME, J.-H.: Stichwort: Gewerbe. In: Gabler Wirtschaftslexikon. Hrsg.: Springer Gabler Verlag. Springer Gabler Verlag, Berlin [u.a.] 2017. <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/gewerbe.html>, o.S. (letzter Zugriff: 12.12.2017)
- LEMKE, C.; BRENNER, W.: Einführung in die Wirtschaftsinformatik. Band 1: Verstehen des digitalen Zeitalters. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2015.
- LIN, S.-W. ET AL.: [Whitepaper] The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture. IIC:PUB:G1:V1.80:20170131. Hrsg.: industrial internet consortium, Needham 2017. http://www.iiconsortium.org/IIC_PUB_G1_V1.80_2017-01-31.pdf (letzter Zugriff: 16.06.2017).
- LIN, Z. ET AL.: Den Durchblick bei industriellen Ethernet-Protokollen behalten. Industrial Ethernet. Hrsg.: Vogel Business Media GmbH & Co.KG. <http://www.elektrotechnik.vogel.de/den-durchblick-bei-industriellen-ethernet-protokollen-behalten-a-463971/index3.html> (letzter Zugriff: 23.10.2017).
- LORENZ, M. ET AL.: [Whitepaper] Man and Machine in Industry 4.0. Man and Machine in Industry 4.0. Hrsg.: Boston Consulting Group (BCG), München [u.a.] 2015.

- http://englishbulletin.adapt.it/wp-content/uploads/2015/10/BCG_Man_and_Machine_in_Industry_4_0_Sep_2015_tcm80-197250.pdf (letzter Zugriff: 25.07.2017).
- LOSSACK, R.-S.: Wissenschaftstheoretische Grundlagen für die rechnerunterstützte Konstruktion. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin [u.a.] 2006.
- LUCAS, K.: Thermodynamik. Die Grundgesetze der Energie- und Stoffumwandlungen. 7. korrigierte Auflage. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2007.
- LÜERS, S. ET AL.: Kostensituation der Windenergie an Land in Deutschland. Update. Hrsg.: Bundesverband WindEnergie e.V.; VDMA Power Systems, Deutsche Windguard, Varel 2015. http://www.windguard.de/_Resources/Persistent/c3c9b25ceed35e172f7e706ae752fc8f8ee73113/Kostensituation-der-Windenergie-an-Land-in-Deutschland-UPDATE-20151214.pdf (letzter Zugriff: 25.07.2017).
- LUND, A.: Von Urheberin: Anne Lund; Rechteinhaber: OOA Fonden, registered EU Community Trademark No. 004193091 & No. 009935289, siehe oami.europa.eu: CTM-ONLINE - Detailed trade mark information - SmilingSun-Shop, Logo, <https://de.wikipedia.org/w/index.php?curid=4083116> (letzter Zugriff: 14.01.2018).
- MAASEM, C.; ROSCHER ET AL.: Aufbau eines dedizierten Lastmanagementfunktionsbausteins für modulare Energiemanagementlösungen in produzierenden Unternehmen. In: Logistische Modellierung. 2. Wissenschaftlicher Industrielogistik-Dialog in Leoben (WILD). Hrsg.: H. E. Zsifkovits; S. Altendorfer-Kaiser. Rainer Hampp Verlag, Mering 2014, S. 73 – 88. [=2014a]
- MAASEM, C.; ROSCHER, M. ET AL.: Intelligentes Energiemanagement in der Produktion. In: UdZ - Unternehmen der Zukunft 15 (2014) 2, S. 20 – 22. [=2014b]
- MALONE, T.; CROWSTON, K.: The Interdisciplinary Study of Coordination. In: ACM Computing Surveys 26 (1994) 1, S. 87 – 119.
- MARCH, S. T.; SMITH, G. F.: Design and natural science research on information technology. In: Decision Support Systems 15 (1995) 4, S. 251 – 266.
- MARKUS, M. L.: Technochange management. Using IT to drive organizational change. In: Journal of Information Technology 19 (2004) 1, S. 4 – 20.
- MATTERN, F.: Die technische Basis für das Internet der Dinge. In: Internet der Dinge. Ubiquitous computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen. Hrsg.: E. Fleisch; F. Mattern. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2005, S. 39 – 66.
- MATTHES, D.: Enterprise Architecture Frameworks Kompendium. Über 50 Rahmenwerke für das IT-Management. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2011.
- MATZEN, F. J.; TESCH, R.: Vorwort. In: Industrielle Energiestrategie. Praxishandbuch für Entscheider des produzierenden Gewerbes. Hrsg.: F. J. Matzen; R. Tesch. Springer Fachmedien, Wiesbaden 2017, S. IX – XI.
- MAYER, J.; BURGER, B.: Kurzstudie zur historischen Entwicklung der EEG-Umlage. Hrsg.: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg 2014. <https://www.ise.fraunhofer.de/de/downloads/pdf-files/data-nivc-/kurzstudie-zur-historischen-entwicklung-der-eeg-umlage.pdf> (letzter Zugriff: 19.10.2015).

- MAYRING, P.: Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zu qualitativem Denken. 5., überarbeitete und neu ausgestattete Auflage. Beltz Verlag, Weinheim [u.a.] 2002.
- MCCARTHY, J. ET AL.: A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project On Artificial Intelligence 1955. <http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html> (letzter Zugriff: 26.07.2017).
- MERTENS, P.: Integrierte Informationsverarbeitung 1. 18., überarbeitete und aktualisierte Auflage. Springer Fachmedien, Wiesbaden 2013.
- METTER, M.; BUCHER, R.: Industrial Ethernet in der Automatisierungstechnik. Planung und Einsatz von Ethernet-LAN-Techniken im Umfeld von SIMATIC-Produkten. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Publicis, Erlangen 2007.
- MIDDENDORF, C.; KRAUTER, S.: Regelleistung und Lastmanagement als neue Geschäftsmodelle für Industrieunternehmen. In: Schwerpunkt Industrielle Flexibilität. Weitere Themen VIK-Stromnetzentgeltvergleich 2014, OLG: Keine Aufhebung der Poolingfestlegung, Überschüsse auf den Regelenenergieumlagekonten, EU-Energie- und Klimapaket bis 2030, EU-Beihilferecht. Hrsg.: Verband der Industriellen Energie- und Kraftwirtschaft e.V. (VIK). VIK Mitteilungen; 2 / 14. Energieberatung GmbH, Essen 01.04.2014. http://www.advisoryhouse.com/UserData/Publication_1398961887.pdf, S. 22 – 25.
- MÖLLER, A.; NIESE, M.: Energieintensive Industrien zwischen Gesellschaft und globalen Märkten. In: Industrielle Energiestrategie. Praxishandbuch für Entscheider des produzierenden Gewerbes. Hrsg.: F. J. Matzen; R. Tesch. Springer Fachmedien, Wiesbaden 2017, S. 35 – 52.
- MORGAN, G.: Images of organization. 2nd edition. Sage Publications, Thousand Oaks 1997.
- MSBG - MESSSTELLENBETRIEBSGESETZ: Gesetz über den Messstellenbetrieb und die Datenkommunikation in intelligenten Energienetzen (MsbG), Ausfertigungsdatum: 29.08.2016. <https://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/messbg/gesamt.pdf> (letzter Zugriff: 30.06.2017).
- MÜLLER, G.: Lexikon Technologie. Metallverarbeitende Industrie. 2. Auflage. Europa-Lehrmittel, Haan-Gruiten 1992.
- NEUHAUS, C.; STEINMÜLLER, K.: 1 Grundlagen der Standards Gruppe 1. In: Standards und Gütekriterien der Zukunftsforschung. Ein Handbuch für Wissenschaft und Praxis. Hrsg.: L. Gerhold; D. Holtmannspötter; C. Neuhaus; E. Schüll; B. Schulz-Montag; K. Steinmüller; A. Zweck. Zukunft und Forschung; Bd. 4. Springer VS, Wiesbaden 2015, S. 17 – 20.
- NIENKE, S.; KRENGE, J.: Industrie 4.0 trifft Cloud Computing. Cloud-Technologien in der Produktion. Hrsg.: it-director - Medienhaus Verlag. <https://www.it-zoom.de/it-director/e/industrie-40-trifft-cloud-computing-9960/> (letzter Zugriff: 23.10.2017).
- NIST: [Whitepaper] Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards (Release 2.0). NIST Special Publication 1108R2. Hrsg.: National Institute of Standards and Technology (NIST) 2012. http://www.nist.gov/smartgrid/upload/NIST_Framework_Release_2-0_corr.pdf (letzter Zugriff: 18.06.2017).
- O'GRADY, S.: The RedMonk Programming Language Rankings: January 2016. TECOSYSTEMS. Hrsg.: RedMonk.

- <http://redmonk.com/sograzy/2016/02/19/language-rankings-1-16/> (letzter Zugriff: 14.07.2017).
- OPCF: [Whitepaper] OPC Unified Architecture. Wegbereiter der 4. industriellen (R)Evolution. Hrsg.: OPC Foundation Europe (OPCF), Verl 2014.
<http://www.opcfoundation-events.com/uploads/media/OPC-UA-Wegbereiter-der-IE40-DE-v2.pdf> (letzter Zugriff: 14.07.2017).
- PAC: [Whitepaper] IT Innovation Readiness Index 2015. FIT - IT Solutions. Simplified. Hrsg.: Pierre Audoin Consultants (PAC) GmbH; Freudenberg IT GmbH, München [u.a.] 2016. https://www.freudenberg-it.com/wp-content/uploads/2016/09/FIT_IT-Innovation-Readiness-Index-2015.pdf (letzter Zugriff: 16.07.2017).
- PANTFÖRDER, D. ET AL.: Agentenbasierte dynamische Rekonfiguration von vernetzten intelligenten Produktionsanlagen – Evolution statt Revolution. In: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Hrsg.: T. Bauernhansl. Springer Vieweg, Wiesbaden 2014, S. 145 – 158.
- PERO, M. ET AL.: Integration - eine Dienstleistung mit Zukunft. In: Enterprise-Integration. Auf dem Weg zum kollaborativen Unternehmen. Hrsg.: G. Schuh; V. Stich. VDI. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2014, S. 125 – 138.
- PETER, H.; MÜLLER, J.: Optimaler Gebäudebetrieb mittels modellbasierter prädiktiver Regelung. In: AALE 2010 - Tagungsband. 7. Fachkolloquium für Angewandte Automatisierungstechnik in Lehre und Entwicklung an Fachhochschulen. Hrsg.: V. Malisa. Online-Ausgabe. F-AR Verein zur Förderung der Automation und Robotik, Wien 2010, S. 159 – 164.
- PFEIFROTH, P.: Funktionale Stromspeicher. Definition des Begriffs und Unterscheidung verschiedener Speichertypen. Hrsg.: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. <https://www.ffe.de/publikationen/veroeffentlichungen/417-funktionale-stromspeicher> (letzter Zugriff: 14.07.2017).
- PISCHON, A.; LIESEGANG, D. G.: Integrierte Managementsysteme für Qualität, Umweltschutz und Arbeitssicherheit. Mit 77 Abbildungen und 10 Tabelle. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 1999.
- PLATTFORM INDUSTRIE 4.0: [Whitepaper] Memorandum der Plattform Industrie 4.0. Hrsg.: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) Öffentlichkeitsarbeit, Berlin 2015. http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/memorandum%20der%20plattform%20industrie%204.0.pdf?__blob=publicationFile&v=1 (letzter Zugriff: 12.12.2015).
- PLATTFORM INDUSTRIE 4.0: Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (RAMI 4.0). Eine Einführung. Hrsg.: Plattform Industrie 4.0. https://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/rami40-eine-einfuehrung.pdf?__blob=publicationFile&v=7 (letzter Zugriff: 23.10.2017).
- POLLERT, A. ET AL.: Duden, Wirtschaft von A bis Z. Grundlagenwissen für Schule und Studium, Beruf und Alltag. 4. Auflage. Dudenverlag, Mannheim [u.a.] 2010,.
- PORTER, M. E.: Competitive advantage. Creating and sustaining superior performance. Free Press; Collier Macmillan, New York [u.a.] 1985.

- POSCH, W.: Ganzheitliches Energiemanagement für Industriebetriebe. Gabler Research. Techno-ökonomische Forschung und Praxis. Hrsg.: U. Bauer; H. Biedermann; J. W. Wohinz. Springer Fachmedien, Wiesbaden 2011. – Zugl.: Habilitationsschrift Montanuniversität Leoben, 2010.
- POSSELT, G.: Towards Energy Transparent Factories. Springer International Publishing, Cham [u.a.] 2016.
- PÖTTER, T. ET AL.: Enabling Industrie 4.0 – Chancen und Nutzen für die Prozessindustrie. In: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Hrsg.: T. Bauernhansl. Springer Vieweg, Wiesbaden 2014, S. 159 – 171.
- RAHM, E. ET AL.: Verteiltes und Paralleles Datenmanagement. Von verteilten Datenbanken zu Big Data und Cloud. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2015.
- RAUTENSTRAUCH, C.: Betriebliche Umweltinformationssysteme. Grundlagen, Konzepte und Systeme. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 1999.
- RAVEL: Organisation und Energiemanagement. Rationelle Verwendung von Elektrizität. Hrsg.: Bundesamt für KonkunkturfragenImpulsprogramm rationale Verwendung von Elektrizität (RAVEL), o.O. 1994. <https://www.energie.ch/bfk/ravel/374D.pdf> (letzter Zugriff: 23.10.2017).
- ROESGEN, R.: Analyse der Nutzenpotenziale von Supply-chain-Management-Systemen. Schriftenreihe Rationalisierung und Humanisierung Bd. 83. Shaker, Aachen 2007. – Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2007.
- ROIDER, H.: Netzentgelt-Rabatte für Industrie klettern auf über eine Milliarde. Hrsg.: Energie & Management GmbH. <https://www.energie-und-management.de/nachrichten/detail/netzentgelt-rabatte-fuer-industrie-klettern-auf-ueber-eine-milliarde-116591> (letzter Zugriff: 13.07.2017).
- ROON, S.; GOBMAIER, T.: Demand Response. Hrsg.: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V. <https://www.ffe.de/publikationen/fachartikel/344-demand-response> (letzter Zugriff: 24.07.2017).
- ROPOHL, G.: Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik. 3., überarbeitete Auflage. Universitätsverlage Karlsruhe, Karlsruhe 2009.
- ROSCHER, M.: Energiewende meets Silicon Valley. Ein Besuch des „Integrated Energy Plaza“ auf der Hannover Messe 2016. Hrsg.: Industrie Anzeiger - Konradin-Verlag Robert Kohlhammer GmbH. <http://industrieanzeiger.industrie.de/allgemein/energiewende-meetssilicon-valley/> (letzter Zugriff: 23.10.2017). [=2016a]
- ROSCHER, M.: Referenzmodell einer Energieinformationssystemarchitektur (EnISA) für produzierende Unternehmen. In: Smart Energy 2016. Digitalisierung der Energieversorgung -Treiber und Getriebene. Hrsg.: U. Großmann; I. Kunold; C. Engels. 1. Auflage. E-Business. Verlag Werner Hülsbusch, Glückstadt 2016, S. 63 – 75. [=2016b]
- ROSCHER, M.: Energieinformationssysteme an der Schnittstelle zwischen Industrie 4.0 und Strommarkt 2.0. DIN-Innovationspreisverleihung im Rahmen der HMI 2016. FIR e.V. an der RWTH Aachen, Hannover 26.04.2016. 10 Folien. [=2016c]

- ROSCHER ET AL.: eco2production. Economical and Ecological Production. In: UdZ - Unternehmen der Zukunft 16 (2015) 2, S. 41 – 42. [=2015a]
- ROSCHER ET AL.: Energy Event Modell. In: Economical & Ecological Production - eco2production. Final Report - Cornet AIF93E - BKL: 85.35 Fertigung / 43.50 Umweltbelastungen. Hrsg.: H. Bleier. Vienna University of Technology, Wien [u.a.] 2013, S. 144 – 160.
- ROSCHER ET AL.: Energieinformationssysteme und Smart Data für produzierende Unternehmen an der Schnittstelle von Industrie 4.0 und Energiesystem. In: Smart Energy 2015. Energiewende regional - Trends, Treiber, Allianzen. Hrsg.: U. Großmann; I. Kunold; C. Engels. E-Business. Verlag Werner Hülsbusch, Glückstadt 2015, S. 20 – 23. [=2015b]
- ROSCHER, M.; GRAUS, M.: Energiewende in der Industrie. In: VDE-Kongress 2016 - Internet der Dinge. Technologien, Anwendungen, Perspektiven 7.-8. November 2016 Congress Center Mannheim. Hrsg.: Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. (VDE). VDE VERLAG, Berlin [u.a.] 2016. <https://www.vde-verlag.de/proceedings-de/454308095.html>, S. 1 – 6.
- ROSCHER, M. ET AL.: FlaixEnergy: Innovative Einbindung von industrielle Stromnachfrageflexibilität in den Strommarkt 2.0. Plattform zur Synchronisation regionalen Stromverbrauchs industrieller Anwender und zentraler Energieerzeuger in der Modellregion Aachen. In: UdZ - Unternehmen der Zukunft 16 (2015) 2, S. 45 – 47. [=2015c]
- ROSCHER, M.; KRENKE, J.: Der Wertbeitrag der IT mit dem IT-NutzenBenchmark. VDMA-IT-Leiter-Treff. FIR e.V. an der RWTH Aachen, Stuttgart 23.10.2012. 10 Folien.
- ROSCHER, M. ET AL.: Erforschung der Grundlagen für Batterienmanagementalgorithmen für LiFePO₄-Batterien in Elektrofahrzeugen unter Berücksichtigung der Alterung. Li-Mobility ; Teilvorhaben des FIR - Teilprojekt 3 ; Schlussbericht. Hrsg.: FIR e.V. an der RWTH Aachen, Aachen 2014. https://www.tib.eu/de/suchen/download/?tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A826658210&tx_tibsearch_search%5Bsearchspace%5D=tn&cHash=965a3ec66a111db059bbea2672d7010a#download-mark (letzter Zugriff: 23.10.2017). [=2014a]
- ROSCHER, M. ET AL.: Energiemanager - Polar. Spielanleitung. Hrsg.: FIR e.V. an der RWTH Aachen. http://www.fir.rwth-aachen.de/sites/default/files/polar_planspielanleitung_20150413.pdf (letzter Zugriff: 21.05.2017). [=2015d]
- ROSCHER, M. ET AL.: Marktorientierte Potentialanalyse für produzierende Unternehmen mit niedrigem bis mittlerem Stromverbrauch. In: Smart Energy 2014. Energiewende quer gedacht. Hrsg.: U. Großmann; I. Kunold; C. Engels. E-Business. Verlag Werner Hülsbusch, Glückstadt 2014, S. 46 – 54. [=2014b]
- ROSCHER, M.; SCHMITZ, S.: In fünf Schritten zum BPM-Tool. Einführung eines Business-Process-Management-Systems. Hrsg.: it-director - Medienhaus Verlag. <http://www.it-zoom.de/it-director/e/in-fuenf-schritten-zum-bpm-tool-6741/> (letzter Zugriff: 23.10.2017).
- RÜEGG-STÜRM, J.: Das neue St. Galler Management-Modell. Grundkategorien einer integrierten Managementlehre - Der HSG-Ansatz. 2., durchgesehene Auflage. Haupt Verlag, Bern [u.a.] 2003.

- RUPP, C.: Requirements-Engineering und -Management. Professionelle, iterative Anforderungsanalyse für die Praxis. 5., aktualisierte und erweiterte Auflage. Hanser, München [u.a.] 2009.
- RUPPEL, A.: Serviceorientierte Architekturen (SOA) und Cloud Computing. Cloud Security Teil 3: SOA und Cloud-Computing-Systeme. Hrsg.: Security Insider - Vogel IT-Medien GmbH. <http://www.security-insider.de/serviceorientierte-architekturen-soa-und-cloud-computing-a-257175/index2.html> (letzter Zugriff: 23.10.2017).
- SCHAEFER, A.: MeteoViva. Große Auszeichnung, noch größere Ziele. Hrsg.: Aachener Zeitung - Aachener Verlagsgesellschaft mbH. <http://www.aachener-zeitung.de/news/wirtschaft/meteoviva-grosse-auszeichnung-noch-groessere-ziele-1.1373778> (letzter Zugriff: 23.10.2017).
- SCHEER, A.-W.: ARIS - Vom Geschäftsprozess zum Anwendungssystem. Mit 94 Abbildungen. Vierte, durchgesehene Auflage. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2002.
- SCHEER, A.-W.: Informationsmanagement im Betrieb. In: Produktion und Management. Hrsg.: W. Eversheim; G. Schuh. 7., völlig neu bearbeitete Auflage. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2014, 17-1 - 17-76.
- SCHEMM, J. ET AL.: [Whitepaper] Serviceorientierte Architekturen: Einordnung im Business Engineering. BE HSG / CC BN3 / 1. Hrsg.: Universität St. Gallen - Hochschule für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften (HSG) Institut für Wirtschaftsinformatik, St. Gallen 2006. <https://www.alexandria.unisg.ch/196812/1/Service%2520Framework%252036%2520kwe.pdf> (letzter Zugriff: 11.07.2017).
- SCHENK, M. ET AL.: Fabrikplanung und Fabrikbetrieb. Methoden für die wandlungsfähige, vernetzte und ressourceneffiziente Fabrik. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2014.
- SCHERFF, B. ET AL.: Feldbussysteme in der Praxis. Ein Leitfaden für den Anwender. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 1999.
- SCHILLER, K.: Smart Home mit Raspberry Pi - Was ist möglich? Das Multitalent. Hrsg.: homeandsmart GmbH. <https://www.homeandsmart.de/smart-home-mit-raspberry-pi-was-ist-moeglich> (letzter Zugriff: 14.07.2017).
- SCHLICK, J. ET AL.: Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung. In: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Hrsg.: T. Bauernhansl. Springer Vieweg, Wiesbaden 2014, S. 57 – 84.
- SCHLOMANN, B. ET AL.: [Pilotstudie] Erstellung von Anwendungsbilanzen für das Verarbeitende Gewerbe. Pilotstudie für die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB) - Entwurf. Hrsg.: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung, Karlsruhe 2010. http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=isi_einzelbericht_anwendungsbilanz_industrie.pdf (letzter Zugriff: 20.06.2017).
- SCHMID, C.: Energieeffizienz in Unternehmen. Eine wissensbasierte Analyse von Einflussfaktoren und Instrumenten. Wirtschaft, Energie, Umwelt. Hrsg.: T. Dyllick; M. Filippini; D. Spreng. Vdf Hochschulverlag an der ETH Zürich, Zürich 2004. – Zugl.: Zürich, Techn. Hochsch., Diss., 2004.
- SCHMIDT, C. ET AL.: Informationssysteme für das Produktionsmanagement. In: Produktionsmanagement. Handbuch Produktion und Management 5. Hrsg.: G.

- Schuh; C. Schmidt. 2., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Handbuch Produktion und Management; Bd. 5. Springer Vieweg, Berlin 2014, S. 281 – 378.
- SCHMIDT, L.: Integration von MES- und ERP-Systemen. Bedeutung, Nutzen, Anforderungen und Realisierung: Integriertes Fertigungsmanagement mit manufacturing execution systems (MES). Mehrwert oder nur ein neues Schlagwort? Tagung Leonberg, 29. und 30. Juni 2004, Düsseldorf 2004.
- SCHNEIDER, S.: Zwei Standards, ein Ziel. Hrsg.: TeDo Verlag GmbH. <http://www.embedded-design.net/allgemein/zwei-standards-ein-ziel/> (letzter Zugriff: 23.10.2017).
- SCHÖNHERR, M.: Enterprise Architecture Frameworks. In: Enterprise application integration. Flexibilisierung komplexer Unternehmensarchitekturen (Enterprise Architecture). Hrsg.: S. Aier; M. Schönherr. 2., durchgesehene Auflage. Reihe Enterprise architecture; Bd. 2. GITO Verlag, Berlin 2007, S. 3 – 48.
- SCHRAMMEL, P.: Systemarchitektur. In: Prozesse optimieren mit RFID und Auto-ID. Grundlagen, Problemlösungen und Anwendungsbeispiele. Hrsg.: N. Bartneck; V. Klaas; H. Schönherr. Siemens. Publicis Corporate Publishing, Erlangen 2008, S. 64 – 82.
- SCHREIBER, J.-R.: Orientierung im Nebel des Wandels. Der KMK-Orientierungsrahmen zum Lernbereich „Globale Entwicklung“. In: Jahrbuch Globales Lernen 2007/2008. Standortbestimmung - Praxisbeispiele - Perspektiven. Hrsg.: Verband Entwicklungspolitik deutscher Nichtregierungsorganisationen (VENRO). Welthaus Bielefeld e.V, Bielefeld 2008, S. 34 – 45.
- SCHUH, G.: Der Ordnungsrahmen Produktion und Management. In: Technologiemanagement. Handbuch Produktion und Management 2. Hrsg.: G. Schuh; S. KlapPERT. 2., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2011, S. 1 – 4.
- SCHUH, G.: Industrie 4.0 – Zukunft der Industriearbeit. Workshopreihe - Zukunft der Industriearbeit. RWTH Aachen, Berlin 12.12.2014. 11 Folien. [=2014a]
- SCHUH, G. ET AL.: Strategie. In: Strategie und Management produzierender Unternehmen. Handbuch Produktion und Management 1. Hrsg.: G. Schuh; A. Kampker. 2., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2011, S. 63 – 132.
- SCHUH, G. ET AL.: Information system architecture for the interaction of electric vehicles with the power grid. In: 2013 10th IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC). Hrsg.: IEEE. IEEE, Evry 2013, S. 821 – 825. [=2013a]
- SCHUH, G. ET AL.: Chefsache Komplexität. Navigation für Führungskräfte. Springer Gabler, Wiesbaden 2013. [=2013b]
- SCHUH, G. ET AL.: Energy-Management 4.0. In: Proceedings of the 6th International Conference on Informatics, Environment, Energy and Applications - IEAA '17. Hrsg.: ICPS. ACM Press, New York 2017. <http://delivery.acm.org/10.1145/3080000/3070621/p6-Nienke.pdf?ip=137.226.150.29&id=3070621&acc=ACTIVE%20SERVICE&key=575DA4752A380C0F%2E4D4702B0C3E38B35%2E4D4702B0C3E38B35%2E>

- 4D4702B0C3E38B35&CFID=790054593&CFTOKEN=50706809&__acm__=1501058661_129ccfc2e1c4fb16fd5af8e0202e8277, S. 6 – 10.
- SCHUH, G. ET AL.: Steigerung der Kollaborationsproduktivität durch cyber-physische Systeme. In: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Hrsg.: T. Bauernhansl. Springer Vieweg, Wiesbaden 2014, S. 277 – 295.
- SCHUH, G.; SCHMIDT, C.: Grundlagen des Produktionsmanagements. In: Produktionsmanagement. Handbuch Produktion und Management 5. Hrsg.: G. Schuh; C. Schmidt. 2., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. Handbuch Produktion und Management; Bd. 5. Springer Vieweg, Berlin 2014, S. 1 – 62.
- SCHUMANN, A.; LIECKE, M.: [Umfrage] Industriestandort Deutschland: Risse im Fundament. DIHK-Umfrage im Netzwerk Industrie 2014. Hrsg.: Deutscher Industrie- und Handelskammertag e. V, Berlin 2014. <https://www.muenchen.ihk.de/de/innovation/Anhaenge/studie-zum-industriestandort-deutschland-2014.pdf> (letzter Zugriff: 18.10.2015).
- SCHÜTTE, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung. Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle. Neue betriebswirtschaftliche Forschung Bd. 233. Gabler, Wiesbaden 1998. – Zugl.: Münster, Univ, Diss, 1997.
- SEIDENBERG, U.: [Whitepaper] Ist Information als eigenständiger Produktionsfaktor aufzufassen? DBW-Depot 99-4-1. GH Siegen, Fachbereich Wirtschaftswissenschaften, Siegen 1998. <https://www.wiwi.uni-siegen.de/wiwi/prod/downloads/pfaktinf.pdf> (letzter Zugriff: 29.06.2017).
- SGCG: CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group (SGCG) Smart Grid Reference Architecture. Hrsg.: CEN-CENELEC-ETSI November 2012. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/xpert_group1_reference_architecture.pdf (letzter Zugriff: 18.06.2017).
- SGRA: Smart Grid Reference Architecture. Volume 1 - Using Information and Communication Services to Support a Smarter Grid. Hrsg.: Cisco Systems Inc; International Business Machines Corporation (IBM); Southern California Edison (SCE), o.O. 2011. <http://www.pointview.com/data/files/1/636/2181.pdf> (letzter Zugriff: 19.07.2017).
- SIEMENS AG: [Whitepaper] IEC 61850 ... richtig betrachtet. Hrsg.: Siemens AG, o.O. 2012. https://www.energy.siemens.com/hq/pool/hq/energy-topics/standards/iec-61850/IEC61850_d.pdf (letzter Zugriff: 31.07.2017).
- SIMON, H.: A Behavioral Model of Rational Choice. In: The Quarterly Journal of Economics (1955) Vol. 69 No. 1, S. 99 – 118.
- SIX, B.: Energiemanagement ist der erste Baustein für Industrie 4.0. Interview mit Dr. Björn Six, Leiter der Business Unit Protection & Monitoring bei Weidmüller Interface GmbH & Co. KG. Hrsg.: Press Medien GmbH. <http://www.wirtschaft-regional.net/energiemanagement-ist-der-erste-baustein-fuer-industrie-4-0/> (letzter Zugriff: 19.07.2017).
- STEPHAN, K.; MAYINGER, F.: Thermodynamik. Grundlagen und technische Anwendungen. 19., ergänzte Auflage. Springer, Berlin [u.a.] 2013.

- STEPHAN, B.: Die Evolution der IT-Architekturen. Integrationsarchitekturen. Hrsg.: Computerwoche - IDG Business Media GmbH. <https://www.computerwoche.de/a/die-evolution-der-it-architekturen,3071002> (letzter Zugriff: 14.07.2017).
- STERNER, M.; STADLER, I.: Energiespeicher - Bedarf, Technologien, Integration. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2014.
- STEVEN, M.: Handbuch Produktion. Theorie - Management - Logistik - Controlling. Kohlhammer Verlag, Stuttgart 2007.
- STICH, V. ET AL.: Die besten Strategietools in der Praxis. Welche Werkzeuge brauche ich wann? Wie wende ich sie an? Wo liegen die Grenzen? 4., erweiterte Auflage. Hanser, München 2009.
- TEIPEL, R.: Keine fixe Idee: Das Auto aus dem Drucker. Hrsg.: Aachener Zeitung - Aachener Verlagsgesellschaft mbH. <http://www.aachener-zeitung.de/lokales/region/keine-fixe-idee-das-auto-aus-dem-drucker-1.981549> (letzter Zugriff: 15.07.2017).
- THE OPEN GROUP: Reference Architectures and Open Group Standards for the Internet of Things. Hrsg.: The Open Group. <http://www.opengroup.org/iot/wp-refarchs/p3.htm> (letzter Zugriff: 25.07.2017).
- ULRICH, H.: Die Unternehmung als produktives soziales System. Paul Haupt Verlag, Berlin [u.a.] 1968.
- ULRICH, H.: Die Betriebswirtschaftslehre als anwendungsorientierte Sozialwissenschaft. In: Die Führung des Betriebes. Herrn Prof. Dr. Dr. hc. Curt Sandig zu seinem 80. Geburtstag gewidmet. Hrsg.: M. N. Geist; R. Köhler. C.E. Poeschel Verlag, Stuttgart 1981, S. 1 – 25.
- UMWELTBUNDESAMT: Was ist ein „Smart-Grid“? Hrsg.: Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/was-ist-ein-smart-grid> (letzter Zugriff: 24.07.2017).
- UMWELTBUNDESAMT: Ökodesign-Richtlinie. Hrsg.: Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/oekodesign/oekodesign-richtlinie#textpart-1> (letzter Zugriff: 13.07.2017).
- UMWELTBUNDESAMT 2017a: Energieverbrauch nach Energieträgern, Sektoren und Anwendungen. Allgemeine Entwicklung und Einflussfaktoren. Hrsg.: Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energiebereitstellung-verbrauch/energieverbrauch-nach-energetraegern-sektoren> (letzter Zugriff: 18.07.2017). [=2017a]
- UMWELTBUNDESAMT 2017b: Stromverbrauch. Entwicklung und Maßnahmen. Hrsg.: Umweltbundesamt. <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energiebereitstellung-verbrauch/stromverbrauch> (letzter Zugriff: 18.07.2017). [=2017b]
- USLAR, M.: Das Common Information Model (CIM). Fachkonferenz Betriebsführung und Instandhaltung regenerativer Energieanlagen – BIREA 2012. OFFIS-Institut für Informatik, Leipzig 18.10.2012. 20 Folien.
- VARDANIAN, M.: KNX ist das führende Kommunikationsprotokoll im europäischen und chinesischen Markt für Smart Homes / gewerblichen Zweckbau. Hrsg.: BSRIA Limited. file:///C:/Users/ros/sciebo/Literatur_Dissertation_Roscher/BSRIA-Press-Release_de.pdf (letzter Zugriff: 14.07.2017).

- VDI 4602: Energiemanagement - Begriffe. VDI Verein Deutscher Ingenieure; VDI-Richtlinie; VDI 4602 Blatt 1 ICS 01.040.27, 27.010. Beuth, Berlin, Oktober 2007.
- VDI 4661: Energiekenngrößen - Grundlagen – Methodik. VDI Verein Deutscher Ingenieure; VDI-Richtlinie; VDI 4661 ICS 01.040.27, 27.010. Beuth, Berlin, August 2014a.
- VDI 4075: Produktionsintegrierter Umweltschutz (PIUS)-Grundlagen und Anwendungsbereich. VDI Verein Deutscher Ingenieure; VDI-Richtlinie VDI 4075 - Blatt 1 ICS 13.020.01. Beuth, Berlin, Oktober 2014b.
- VDI 4602-E: Energiemanagement - Grundlagen. VDI Verein Deutscher Ingenieure; VDI-Richtlinie VDI 4602 Blatt 1 - Entwurf ICS 01.040.27, 01.040.91, 27.010, 91.140.99. Beuth, Berlin, Januar 2016.
- VLACHOS, G.: [Masterarbeit] Entwicklung einer Vorgehensweise zur Ableitung von Flexibilitätäten zur Verbesserung der Produktionsplanung hinsichtlich des Energieeinsatzes am Beispiel einer Elektrofahrzeugfertigung. FIR e.V. an der RWTH Aachen, Aachen 28.07.2016
- VOGEL, O. ET AL.: Software-Architektur. Grundlagen - Konzepte - Praxis. 2. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg 2009.
- VOGEL-HEUSER, B.: Herausforderungen und Anforderungen aus Sicht der IT und der Automatisierungstechnik. In: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Hrsg.: T. Bauernhansl. Springer Vieweg, Wiesbaden 2014, S. 37 – 48.
- VOIGT, K.-I.: Stichwort: Betriebsleitung. In: Gabler Wirtschaftslexikon. Hrsg.: Springer Gabler Verlag. Springer Gabler Verlag, Berlin [u.a.] 2017, <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/betriebsleitung.html>, o.S. (letzter Zugriff: 12.12.2017)
- VSE: Nachfrageflexibilisierung: Steuerung des Stromverbrauchs. Hrsg.: Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen (VSE), Aarau 2016. https://www.strom.ch/fileadmin/user_upload/Dokumente_Bilder_neu/010_Downloads/Basiswissen-Dokumente/04_Nachfrageflexibilisierung.pdf (letzter Zugriff: 24.07.2017).
- WEDEPOHL, D.: Preise für Solarstromspeicher halbiert. Pressemitteilung des BSW Solar vom 29.05.2017. Hrsg.: Bundesverband Solarwirtschaft (BSW Solar). https://www.solarwirtschaft.de/fileadmin/user_upload/170529_Entwicklung_Speicherpreise.pdf (letzter Zugriff: 25.07.2017).
- WEIMERT, B.; ZWECK, A.: 2.6 Wissenschaftliche Relevanz. In: Standards und Gütekriterien der Zukunftsforschung. Ein Handbuch für Wissenschaft und Praxis. Hrsg.: L. Gerhold; D. Holtmannspötter; C. Neuhaus; E. Schüll; B. Schulz-Montag; K. Steinmüller; A. Zweck. Zukunft und Forschung; Bd. 4. Springer VS, Wiesbaden 2015, S. 132 – 141.
- WEINLÄNDER, M.: Kommunikation auf Basis von OPC UA. Auto-Ident-Systeme. Hrsg.: computer-automation - WEKA FACHMEDIEN GmbH. <http://www.computer-automation.de/feldebene/sensoren/artikel/123982/1/> (letzter Zugriff: 31.07.2017).
- WEISS, H.: Industrie 4.0. Ein deutscher Begriff. Hrsg.: VDI Nachrichten - Technik & Gesellschaft. <http://www.vdi-nachrichten.com/Technik-Gesellschaft/Industrie-40-deutscher-Begriff> (letzter Zugriff: 12.12.2015).

- WESTKÄMPER, E.: Einführung in die Organisation der Produktion. Springer-Verlag, Berlin [u.a.] 2006.
- WIENDAHL, H.-P.; REICHARDT, J.; NYHUIS, P.: Handbuch Fabrikplanung. Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. Hanser Verlag, München 2009.
- WIENER, N.: Kybernetik. Regelung und Nachrichtenübertragung in Lebewesen und Maschine. 2. Auflage. Rowohlt, Berlin [u.a.] 1968.
- WILDNER, J.: Grüne Produkte sind gefragt. Hrsg.: iwd - Institut der deutschen Wirtschaft Köln e.V. <https://www.iwd.de/artikel/gruene-produkte-sind-gefragt-120512/> (letzter Zugriff: 13.07.2017).
- WILKENS, A.: Elektroautos: Post baut zweites Werk für Streetscooter, Verkauf an Dritte beginnt. Hrsg.: heise online - Heise Medien GmbH & Co. KG. <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Elektroautos-Post-baut-zweites-Werk-fuer-Streetscooter-Verkauf-an-Dritte-beginnt-3681296.html> (letzter Zugriff: 15.07.2017).
- WINJE, D.; WITT, D.: Energiewirtschaft. Band II der Handbuchreihe Energieberatung/Energiemanagement, Springer-Verlag Berlin [u.a.] 1991
- WIRTH, H.: [Whitepaper] Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland. Aktuelle Fassung abrufbar unter www.pv-fakten.de. Hrsg.: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Freiburg 2017. <https://www.ise.fraunhofer.de/content/dam/ise/de/documents/publications/studies/aktuelle-fakten-zur-photovoltaik-in-deutschland.pdf> (letzter Zugriff: 25.07.2017).
- WITT, J.: HEA bringt Klarheit in den Label-Dschungel – Erweitertes Update Januar 2017. 1/2017. Hrsg.: HEA – Fachgemeinschaft für effiziente Energieanwendung e.V. <https://www.hea.de/resources/pdf/presse/hea-13-02-2017.pdf> (letzter Zugriff: 13.07.2017).
- WOHINZ, J. W.; MOOR, M.: Betriebliches Energiemanagement. Springer-Verlag, Vienna 1989.
- YANEER, B.: The Characteristics and Emerging Behaviors of System-of-Systems. In: NECSI: Complex Physical, Biological and Social Systems Project. <http://necsi.edu/education/oneweek/winter05/NECSISoS.pdf>, 07.01.2004 (letzter Zugriff: 20.01.2018)
- YIN, R. K.: Case study research. Design and methods. 3rd edition. Sage Publications, Thousand Oaks 2003.
- ZACHMAN, J. A.: A framework for information systems architecture. In: IBM Systems Journal 1987 (3) 26, S. 276 – 292.
- ZACHMAN, J. A.: The Concise Definition of The Zachman Framework by: John A. Zachman. Hrsg.: Zachman International Inc. <https://www.zachman.com/about-the-zachman-framework> (letzter Zugriff: 19.06.2017).
- ZACHMAN, J. P.: The Zachman Framework Evolution. Hrsg.: Zachman International Inc. https://www.zachman.com/index.php?option=com_content&view=article&id=54:the-zachman-framework-evolution (letzter Zugriff: 19.06.2017).
- ZAGLOV, I.: IPv6: Warum der neue Standard mehr bietet als 340 Sextillionen IP-Adressen. Hrsg.: yeebase media GmbH. <http://t3n.de/news/ipv6-mehr-ale-neue-adressen-541547/> (letzter Zugriff: 14.07.2017).

- ZELEWSKI, S.: Grundlagen. In: Betriebswirtschaftslehre. Hrsg.: H. Corsten. 4., vollständig überarbeitete und wesentlich erweiterte Auflage. Lehr- und Handbücher der Betriebswirtschaftslehre; Bd. 1. Oldenbourg Verlag, München [u.a.] 2008, S. 3 – 94.
- ZELEWSKI, S.: Wissenschaftstheorie. Enzyklopädie der Wirtschaftsinformatik - Online-Lexikon. Hrsg.: N. Gronau; J. Becker; K. Kurbel; E. Sinz; L. Suhl. <http://www.enzyklopaedie-der-wirtschaftsinformatik.de/lexikon/uebergreifendes/Forschung-in-WI/Wissenschaftstheorie> (letzter Zugriff: 21.05.2016).
- ZELLER, V.; ROSCHER, M. ET. AL.: OSCAR. Open Service Cloud for the Smart Car : Abschlussbericht : Teilvorhaben des FIR - Teilprojekt 1 und 6. Hrsg.: FIR e.V. an der RWTH Aachen, Aachen 2015. https://www.tib.eu/de/suchen/download/?tx_tibsearch_search%5Bdocid%5D=TIBKAT%3A868722189&tx_tibsearch_search%5Bsearchspace%5D=tn&cHash=2546e2ba0c3eb6683c9ea188f9b5709a#download-mark (letzter Zugriff: 24.10.2017).
- ZELLER, V.; ROSCHER, M. ET AL.: POLAR. Produktionsanlagen mit intelligentem Last- und Energiemanagement : Abschlussbericht. Hrsg.: FIR e.V. an der RWTH Aachen, Aachen 2016. https://www.tib.eu/en/search/id/TIBKAT%3A873053907/POLAR-Produktionsanlagen-mit-intelligentem-Last/?tx_tibsearch_search%5Bsearchspace%5D=tn (letzter Zugriff: 24.10.2017).
- ZUBERER, S.: Mittelständler profitieren von Investitionen in Energieeffizienz. PwC-Studie „Energiewende Mittelstand“. Hrsg.: PricewaterhouseCoopers (pwc) Aktiengesellschaft Wirtschaftsprüfungsgesellschaft. <http://www.pwc.de/de/pressemitteilungen/2015/mittelstaendler-profitieren-von-investitionen-in-energieeffizienz.html> (letzter Zugriff: 20.12.2015).

Anhang

A1: Offenlegung des Vorverständnisses des Autors

Das Vorverständnis des Autors wurde über verschiedene Aktivitäten im Rahmen seiner Funktion als wissenschaftlicher Mitarbeiter am FIR e.V. an der RWTH Aachen im Bereich EnIM in der Produktion, u.a. über die Leitung und Mitarbeit in Forschungsprojekten, einschlägigen Gremien, durch Fachveröffentlichungen und durch die Konzeption und Durchführung akademischer Lehrveranstaltungen für Ingenieure an der RWTH Aachen, über Jahre hinweg entwickelt und stetig vertieft. Sämtliche in dieser Arbeit beschriebenen Partialmodelle sind folglich durch Anwendung der in Kapitel 1.5. beschriebenen Forschungskonzeption im Rahmen der eigenverantwortlichen Bearbeitung unterschiedlicher Arbeitspakete der unten aufgeführten öffentlich geförderten Forschungsprojekte entstanden. Im Hinblick auf die Zielerreichung dieser Arbeit wurden diskutierbare Ergebnisse im Rahmen der für sämtliche Projekte regelmäßig stattfindenden Arbeits- und Projekttreffen durch verschiedenste Fachexperten zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Laufe der teils mehrjährigen Projektlaufzeiten evaluiert.



- Laufzeit: 01.04.2013 - 30.06.2015
- BMBF-Projekt: Förderkennzeichen 01LY1208B
- Projektvolumen (gesamt): ca. 1,1 Millionen Euro
- Beteiligte Unternehmen: 6
- Internet: www.polar-project.net
- Eigene Rolle im Projekt: Teilprojektleiter

Das Forschungsvorhaben POLAR verfolgte das Ziel, Industrieunternehmen eine universell und wirtschaftlich einsetzbare Lastmanagement- und Energie-Monitoring-Lösung zur Verfügung stellen zu können, die auf der Verwendung von Preissignalen beruht.



- Laufzeit: 01.05.2013 - 31.07.2015
- BMWi-Projekt: AiF-Förderkennzeichen 93EN
- Projektvolumen (gesamt): 0,9 Millionen Euro
- Beteiligte Unternehmen: 4
- Internet: www.eco2production.com

eco2production verfolgte als Nachfolgeprojekt von eco2-cut (Cornet-Projekt, Förderkennzeichen 38 EBG) das Ziel, Unternehmen bei der ganzheitlichen Optimierung ihres Energieverbrauchs zu unterstützen. Hierbei wurden folgende vier Ziele verfolgt: Entwicklung und Implementierung eines Energiemonitoringkonzepts, Maschinen- und Prozessdurchführung von Benchmarkings als Grundlage der energetischen Optimierung der Wertschöpfungskette, Erarbeitung von Modulen eines Energiemanagementsystems sowie Entwicklung einer energieeffizienten Produktionsplanung.

 FINESCE partners and trial sites	• Laufzeit: 01.03.2013 - 30.09.2015 • EU-Projekt: Förderkennzeichen FI.ICT-2011.1.8 • Projektvolumen (gesamt): 19,1 Millionen Euro • Beteiligte Unternehmen: 30 • Internet: www.finesce.eu • Eigene Rolle im Projekt: Projektleiter
FINESCE war ein Projekt im Rahmen des Future-Internet-PPP der EU und nutzte die IKT-Infrastruktur des Future-Internet für intelligente Anwendungen im Bereich der Smart Energy. Ziel war die informationstechnische Anbindung von Geräten und Systemen im industriellen (Fabriken, Kraftwerke) und privaten (Elektrofahrzeuge, Haushalte) Bereich. Für diese stellte FINESCE eine offene Schnittstelle in Form einer API bereit, die als Innovationsenabler für europäische KMU dient.	
	• Laufzeit: 01.08.2015 - 31.07.2018 • BMWi-Projekt: Förderkennzeichen 0325819A • Projektvolumen (gesamt): 5,9 Millionen Euro • Beteiligte Unternehmen: 15 • Internet: www.flaixenergy.de
Forschungsziel ist die Konzeption, Entwicklung und prototypische Implementierung einer Plattform zur Integration industrieller Verbraucher als Flexibilitätscluster und dezentrale Erzeuger von regenerativer Energie, welche in sogenannten virtuellen Kraftwerken zusammengefasst werden.	
	• Laufzeit: Start geplant Q2/2016 • BMBF-Projekt: In Planung • Projektvolumen (gesamt): in Planung • Beteiligte Unternehmen: 8 (geplant)
Forschungsziel ist die Entwicklung einer Cloud-Lösung für produzierende KMU, die durch standardisierte Schnittstellen, Datenformate und bedarfsgerecht abrufbare <i>Software-as-a-Service</i>-Module eine einfache computergestützte Implementierung von der Erst-Evaluation über Betrieb und kontinuierlichen Verbesserung des betrieblichen Energiemanagements ermöglicht.	

Abbildung 79: Bearbeitete Forschungsprojekte im Kontext Energiemanagement

Organisation / Rahmen	Funktion
DIN e.V.	Workshopleiter und Verfasser DIN SPEC 91324:2015-4 – Datensatz E-Mobilität für eine offene Service Cloud für OEM- und Drittanbieter-Services
DIN e.V.	Workshopleiter und Verfasser DIN SPEC 91327 – Referenzarchitektur eines empfehlungsbasierten Lastmanagementsystems für die Industrie
DIN e.V.	Verfasser: DIN SPEC 91329 – Erweiterung des EPCIS-Ereignismodells um aggregierte Produktionsereignisse zur Verwendung in betrieblichen Informationssystemen
DKE / GAK	Mitarbeiter DKE/GAK 111.0.5 Begriffe zum intelligenten Energiesystem
Forschungsnetzwerk Energie	Mitarbeiter AG 3 – Energiemonitoring und Diagnoseverfahren
VDI	Mitarbeiter / Referent Expertenforum „Energieeffizienz“
EnergieAgentur.NRW	Mitarbeiter / Referent Fachpanel „Energieeffizienz“
Begleitforschung IKT EM II	Mitarbeiter Fachgruppe Standardisierung
RWTH Aachen	Referent / Übungsleiter Konzeption und Durchführung des Vorlesungsmoduls 11 – Energiemanagement der Vorlesung Produktionsmanagement II
TU Wien	Mitarbeiter User Group eco2production

Abbildung 80: Mitarbeit in Gremien, AK und Einsatz in Ausbildung und Lehre

Art	Beschreibung
Buchbeitrag	VDE-Kongress 2016- Internet der Dinge - Energiewende in der Industrie (ROSCHER U. GRAUS 2016) -- ISBN 978-3-8007-4308-7 – Berlin 2016 – Seitenzahl: 1-6
Buchbeitrag	Digitalisierung der Energieversorgung - Referenzmodell einer Energieinformationssystemarchitektur (EnISA) für produzierende Unternehmen (Roscher 2016) - ISBN 978-3-86488-112-1 – Seitenzahl: 63-75
Zeitschriftenartikel	Industrie Anzeiger - Energiewende meets Silicon Valley - Ein Besuch des „Integrated Energy Plaza“ auf der Hannover Messe 2016 – Online: http://industrieanzeiger.industrie.de/allgemein/energiewende-meetssilicon-valley/ (Stand: 23.10.2017)
Buchbeitrag	Energiewende regional – Energieinformationssysteme und Smart Data für produzierende Unternehmen an der Schnittstelle von Industrie 4.0 und Energiesystem – (Roscher et al. 2015) – ISBN 9783864880933 – Seitenzahl: 20-23
Buchbeitrag	bitkom – Wissensaktivierung im digitalen Zeitalter – Energie-Wissensmanagement in der flexiblen Fabrik – Langfristiger Mehrwert an der Schnittstelle zwischen Industrie 4.0 und Strommarkt 2.0 (Bruhnke und Roscher 2015) – ISBN 978-3-95545-131-8 – Seitenzahl 261-268
Buchbeitrag	Energiewende quer gedacht - Marktorientierte Potenzialanalyse für produzierende Unternehmen mit niedrigem bis mittlerem Stromverbrauch (Roscher et al. 2014) – ISBN: 978-3-86488-073-5 – Seitenzahl: 46-54
Vortrag	Energieinformationssysteme an der Schnittstelle zwischen Industrie 4.0 und Strommarkt 2.0 (Roscher, 26.04.2016) - DIN-Innovationspreisverleihung – HMI - Hannover
Vortrag	Die flexible Fabrik - Industrial Users Forum - Themenbereich Energy (Roscher, 19.03.2015)– CeBIT – Hannover
Vortrag	Referenzarchitektur eines empfehlungsbasierten Lastmanagementsystems für die Industrie (Roscher, 25.03.2015) – VDI- und KIT-Expertenforum Energieeffizienz - Karlsruhe
Planspiel	Energiemanager Polar – Planspiel (Roscher et al.,13.04.2015) Computer-Simulation –VL11 - Energiemanagement an der RWTH Aachen

Vortrag	Die flexible Fabrik - Wettbewerbsfaktor Energieinformationsmanagement an der Schnittstelle von Industrie 4.0 und Energiesystem (Röscher, 28.05.2015) – 1. Energieeffizienz-Seminar - Wien

Abbildung 81: Relevante Veröffentlichungen und Vorträge (Auszug)

A2: DIN Innovationspreis 2016



A3: Normen- und Spezifikationenrecherche

Dokumenten-Nr.	Kurztitel	Ausgabedatum
DIN V 18599-7	Energetische Bewertung von Gebäuden - Teil 7: Endenergiebedarf von Raumluftechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau;	2011-12
DIN V 18599-11	Energetische Bewertung von Gebäuden - Teil 11: Gebäudeautomation	2011-12
DIN 32736	Gebäudemanagement - Begriffe und Leistungen	2000-08
DIN EN 12255-12	Kläranlagen - Teil 12: Steuerung und Automatisierung;	2003-12
DIN EN 12405-2	Gaszähler - Umwerter - Teil 2: Energieumwertung;	2012-10
DIN EN 13321-1	Offene Datenkommunikation für die Gebäudeautomation und Gebäudemanagement - Teil 1: Produkt- und Systemanforderungen;	2012-12
DIN EN 13321-2	Offene Datenkommunikation für die Gebäudeautomation und Gebäudemanagement - Teil 2: KNXnet/IP-Kommunikation;	2013-03
DIN EN 13757-1	Kommunikationssysteme für Zähler und deren Fernablesung - Teil 1: Datenaustausch;	2003-03
DIN EN 13757-3	Kommunikationssysteme für Zähler und deren Fernablesung - Teil 3: Spezielle Anwendungsschicht;	2013-08
DIN EN 13757-5	Kommunikationssysteme für Zähler und deren Fernablesung - Teil 5: Weitervermittlung;	2014-01

DIN EN 14154-4	Wasserzähler - Teil 4: Zusätzliche Funktionalitäten;	2013-03
DIN EN 14597	Temperaturregeleinrichtungen und Temperaturbegrenzer für wärmeerzeugende Anlagen;	2012-09
DIN EN 14908-2	Firmenneutrale Datenkommunikation für die Gebäudeautomation und Gebäudemanagement - Gebäudedatennetzprotokoll - Teil 2: Kommunikation über paarig verdrehte Leitungen;	2006-01
DIN EN 14908-3	Firmenneutrale Datenkommunikation für die Gebäudeautomation und Gebäudemanagement - Gebäude Netzwerk Protokoll - Teil 3: Kommunikation über die Stromversorgungsleitungen;	2007-02
DIN EN 14908-4	Firmenneutrale Datenkommunikation für die Gebäudeautomation und Gebäudemanagement - Gebäude Netzwerk Protokoll - Teil 4: Kommunikation mittels Internet Protokoll (IP);	2007-02
DIN EN 14908-5	Firmenneutrale Datenkommunikation für die Gebäudeautomation und Gebäudemanagement - Gebäude Netzwerk Protokoll - Teil 5: Implementierung;	2009-12
DIN EN 14908-6	Firmenneutrale Datenkommunikation für die Gebäudeautomation und Gebäudemanagement - Gebäude Netzwerk Protokoll - Teil 6: Anwendungselemente;	2011-01
DIN EN 15221-7	Facility Management - Teil 7: Leitlinien für das Leistungs-Benchmarking;	2013-01
DIN EN 15232	Energieeffizienz von Gebäuden - Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement;	2012-09
DIN EN 15714-2	Industriearmaturen - Antriebe - Teil 2: Elektrische Antriebe für Industriearmaturen - Grundanforderungen;	2010-02
DIN EN 16212	Energieeffizienz- und -einsparberechnung - Top-Down- und Bottom-Up-Methoden;	2012-11

DIN EN 16314	Gaszähler - Zusatzfunktionen;	2013-09
DIN EN 45510-8-1	Leitfaden für die Beschaffung von Ausrüstungen für Kraftwerke - Teil 8-1: Leittechnik;	1998-09
DIN EN 50090-4-3	Elektrische Systemtechnik für Heim und Gebäude (ESHG) - Teil 4-3: Medienunabhängige Schicht - Kommunikation über IP (EN 13321-2:2006);	2008-08
DIN EN 50173-3	Informationstechnik - Anwendungsneutrale Kommunikationskabelanlagen - Teil 3: Industriell genutzte Standorte;	2011-09
DIN EN 50325-1	Industrielles Kommunikationssystem basierend auf ISO 11898 (CAN) - Teil 1: Allgemeine Anforderungen;	2003-07
DIN EN 50325-3	Industrielles Kommunikationssystem, basierend auf ISO 11898 (CAN) - Teil 3: Smart Distributed System (SDS);	2001-10
DIN EN 50325-4	Industrielles Kommunikationssystem basierend auf ISO 11898 (CAN) - Teil 4: CANopen;	2003-07
DIN EN 60654-2	Einsatzbedingungen für Meß-, Steuer- und Regeleinrichtungen in der industriellen Prozeßtechnik - Teil 2: Energieversorgung	1998-08
DIN EN 60654-4	Einsatzbedingungen für Meß-, Steuer- und Regeleinrichtungen in der industriellen Prozeßtechnik - Teil 4: Korrosive und erosive Einflüsse	1998-08
DIN EN 61000-6-2 * VDE 0839-6-2	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 6-2: Fachgrundnormen - Störfestigkeit für Industriebereiche	2006-03
DIN EN 61000-6-2 Berichtigung 1 * VDE 0839-6-2 Berichtigung 1	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) - Teil 6-2: Fachgrundnormen - Störfestigkeit für Industriebereiche	2011-06

DIN EN 61131-1	Speicherprogrammierbare Steuerungen - Teil 1: Allgemeine Informationen	2004-03
DIN EN 61131-2 * VDE 0411-500	Speicherprogrammierbare Steuerungen - Teil 2: Betriebsmittelanforderungen und Prüfungen	2008-04
DIN EN 61131-9	Speicherprogrammierbare Steuerungen - Teil 9: Schnittstelle für die Kommunikation mit kleinen Sensoren und Aktoren über eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung	2013-05
DIN EN 61158-2	Industrielle Kommunikationsnetze - Feldbusse - Teil 2: Spezifikation und Dienstfestlegungen des Physical Layer (Bitübertragungsschicht)	2011-09
DIN EN 61158-3-1 (alle Teile)	Industrielle Kommunikationsnetze - Feldbusse - Teil 3-1: Dienstfestlegungen des Data Link Layer (Sicherheitsschicht) - Typ 1-Elemente (IEC 61158-3-1:2007);	2008-09
DIN EN 61334-4-1	Verteilungsautomatisierung mit Hilfe von Trägersystemen auf Verteilungsleitungen - Teil 4: Datenkommunikationsprotokolle; Hauptabschnitt 1: Referenzmodell für ein Kommunikationssystem	1998-01
DIN EN 61514-2	Systeme der industriellen Prozessleittechnik - Teil 2: Verfahren zur Bewertung des Betriebsverhaltens von intelligenten Ventilstellungenreglern mit pneumatischem Ausgang	2004-11
DIN EN 61784-1 (alle Teile)	Industrielle Kommunikationsnetze - Profile - Teil 1: Feldbusprofile (IEC 61784-1:2010);	2011-04
DIN EN 61804-3	Funktionsbausteine für die Prozessautomation - Teil 3: Elektronische Gerätebeschreibungssprache (EDDL)	2011-09
DIN EN 61850-5	Kommunikationsnetze und -systeme in Stationen - Teil 5: Kommunikationsanforderungen für Funktionen und Gerätemodelle	2005-12
DIN EN 61968-1	Integration von Anwendungen in Anlagen der Elektrizitätsversorgung - Systemschnittstellen für Netzführung - Teil 1: Schnittstellenarchitektur und allgemeine Anforderungen	2014-02

DIN EN 61968-9	Integration von Anwendungen in Anlagen der Elektrizitätsversorgung - Systemschnittstellen für Netzführung - Teil 9: Zählerfernauslesung und -steuerung	2010-04
DIN EN 61970-1	Schnittstelle der Anwendungsprotokolle von Energieverwaltungssystemen (EMS-API) - Teil 1: Leitfaden und allgemeine Anforderungen	2006-12
DIN EN 61970-402	Schnittstelle für Anwendungsprogramme für Netzführungssysteme (EMS-API) - Teil 402: Allgemeine Dienste	2009-01
DIN EN 61970-403	Schnittstelle für Anwendungsprogramme für Netzführungssysteme (EMS-API) - Teil 403: Allgemeiner Datenzugriff	2009-01
DIN EN 61970-404	Schnittstelle für Anwendungsprogramme für Energiemanagementsysteme (EMS-API) - Teil 404: Hochgeschwindigkeitsdatenzugang (HSDA)	2008-02
DIN EN 61970-405	Schnittstelle für Anwendungsprogramme für Energiemanagementsysteme (EMS-API) - Teil 405: Übermitteln von Ereignismeldungen (GES)	2008-02
DIN EN 61970-407	Schnittstelle für Anwendungsprogramme für Energiemanagementsysteme (EMS-API) - Teil 407: Zugriff auf Daten, die auf Zeitfolgen beruhen (TSDA)	2008-02
DIN EN 61987-1	Industrielle Leittechnik - Datenstrukturen und -elemente in Katalogen der Prozessleittechnik - Teil 1: Messeinrichtungen mit analogen und digitalen Ausgängen	2007-10
DIN EN 62056-1-0 * VDE 0418-6-1-0	Datenkommunikation der elektrischen Energiemessung - DLMS/COSEM - Teil 1-0: Normungsrahmen für die intelligente Messung	2014-01
DIN EN 62056-6-1	Datenkommunikation der elektrischen Energiemessung - DLMS/COSEM - Teil 6-1: COSEM Objekt Identification System (OBIS)	2011-10
DIN EN 62056-6-2	Datenkommunikation der elektrischen Energiemessung - DLMS/COSEM - Teil 6-2: COSEM Interface classes	2011-10

DIN EN 62056-8-3	Datenkommunikation der elektrischen Energiemessung - DLMS/COSEM - Teil 8-3: PLC S-FSK Spezifikation für Areal-Netze	2011-10
DIN EN 62056-42	Messung der elektrischen Energie - Zählerstandsübertragung, Tarif- und Laststeuerung - Teil 42: Bitübertragungsschichtdienste und Verfahren für verbindungsorientierten asynchronen Datenaustausch	2003-01
DIN EN 62056-53	Messung der elektrischen Energie - Zählerstandsübertragung, Tarif- und Laststeuerung - Teil 53: COSEM-Anwendungsschicht	2007-08
DIN EN 62056-61	Messung der elektrischen Energie - Zählerstandsübertragung, Tarif- und Laststeuerung - Teil 61: Object Identification System (OBIS)	2007-08
DIN EN 62453-1	Field Device Tool (FDT)-Schnittstellenspezifikation - Teil 1: Überblick und Leitfaden	2010-02
DIN EN 62453-315	Field Device Tool (FDT)-Schnittstellenspezifikation - Teil 315: Integration von Kommunikationsprofilen - Kommunikationsprofilfamilie (CPF)	2010-02
DIN EN 62559-2 * VDE 0175-102	Anwendungsfallmethodik - Teil 2: Definition der Anwendungsfallvorlage, Akteurliste und Anforderungsliste	2013-10
DIN EN 62657-2	Industrielle Kommunikationsnetze - Funkgestützte Kommunikationsnetze - Teil 2: KoexistenzVDMA	2012-10
DIN EN 62769-1	Feldgeräteintegration (FDI) - Teil 1: Überblick	2013-01
DIN EN 81346-2	Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen und Industrieprodukte - Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung - Teil 2: Klassifizierung von Objekten und Kennbuchstaben von Klassen	2010-05
DIN EN 301070-1	ISDN - Zeichengabesystem Nr. 7; Wechselwirkungen zwischen dem ISDN-Anwenderteil (ISUP) Version 3 und dem Anwendungsprotokoll für Intelligente Netze (INAP) - Teil 1: Protokollspezifikation	2000-12

DIN EN 301464	ISDN - Zeichengabesystem Nr. 7; Wechselwirkungen zwischen dem ISDN-Anwenderteil (ISUP) Version 4 und dem Anwendungsprotokoll für Intelligente Netze (INAP) - Teil 1: Protokollspezifikation	2001-09
DIN EN 301931-1 (alle Teile)	Intelligente Netze (IN) - Leistungsmerkmal Gruppe 3 (CS3) für Intelligente Netze; Anwendungsprotokoll für Intelligente Netze (INAP); Protokollspezifikation - Teil 1: Gemeinsame Aspekte	2002-11
DIN EN ISO 14414	Energetische Bewertung von Pumpensystemen	2013-06
DIN EN ISO 16484-2	Systeme der Gebäudeautomation (GA) - Teil 2: Hardware	2004-10
DIN EN ISO 16484-3	Systeme der Gebäudeautomation (GA) - Teil 3: Funktionen	2005-12
DIN EN ISO 50001	Energiemanagementsysteme - Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung	2011-12
DIN ETS 300348	Intelligente Netze (IN) - Physikalische Ebene für den Leistungsfähigkeitssatz 1 (CS1) intelligenter Netze	1995-04
DIN ETS 300374-2	Intelligente Netze (IN) - Leistungsfähigkeit Intelligenter Netze, Satz 1 (CS1), Zentrales Anwendungsprotokoll für Intelligente Netze (INAP) - Teil 2: Formular für die Erklärung zur Konformität der Protokollimplementierung (PICS) für Dienstvermittlungsfunktion (SSF), Sonderbetriebsfunktion (SRF) und Dienststeuerungsfunktion (SCF);	1996-10

DIN ETS 300374-3	Intelligente Netze (IN) - Leistungsfähigkeit Intelligenter Netze, Satz 1 (CS1), Zentrales Anwendungsprotokoll für Intelligente Netze (INAP) - Teil 3: Prüfreiheitenstruktur und Prüfzweck (TSS&TP) für Dienstvermittlungsfunktion (SSF) und Sonderbetriebsfunktion (SRF);	1998-12
DIN ETS 300374-4	Intelligente Netze (IN) - Leistungsfähigkeit intelligenter Netze, Satz 1 (CS1); Zentrales Anwendungsprotokoll für Intelligente Netze (INAP) - Teil 4: Abstrakte Prüfanweisung (ATS) und zu vervollständigendes Formular für Zusatzinformationen zur Prüfung der Protokollimplementierung (PIXIT) für Dienstvermittlungsfunktion (SSF) und Sonderbetriebsfunktion (SRF);	1998-08
DIN ETS 300374-5	Intelligente Netze (IN) - Leistungsfähigkeit intelligenter Netze, Satz 1 (CS1) - Zentrales Anwendungsprotokoll für Intelligente Netze (INAP) - Teil 5: Protokollspezifikation für die Schnittstelle Dienststeuerungsfunktion (SCF), Dienstdatenfunktion (SDF);	1997-11
DIN ETS 300374-6	Intelligente Netze (IN) - Leistungsmerkmal Gruppe 1 (CS1) für Intelligente Netze; Zentrales Anwendungsprotokoll für Intelligente Netze (INAP) - Teil 6: Formular für die Erklärung zur Konformität der Protokollimplementierung (PICS) für die Schnittstelle Service Control Function (SCF); Service Data Function (SDF)	2001-09
DIN ETS 300374-9	Intelligente Netze (IN) - Leistungsfähigkeit intelligenter Netze, Satz 1 (CS1); Zentrales Anwendungsprotokoll für Intelligente Netze (INAP) - Teil 9: Prüfreiheitenstruktur und Prüfzweck (TSS&TP) für die Schnittstellen-Dienststeuerungsfunktion (SCF) zu Dienstvermittlungsfunktion (SSF) und SCF zu Sonderbetriebsfunktion (SRF)	1999-09
DIN IEC 60381-1 * DIN IEC 381-1	Analoge Signale für Regel- und Steueranlagen; Analoge Gleichstromsignale; Identisch mit IEC 60381-1, Ausgabe 1982	1985-11
DIN IEC 62361-101	Management von Systemen der Energietechnik und zugehöriger Datenaustausch - Langfristige Interoperabilität - Teil 101: Profile des allgemeinen Informationsmodells (CIM)	2014-02

DIN IEC 62603-1	Industrielle Prozessleitsysteme - Leitfaden für die Beurteilung der Leistungen von Prozessleitsystemen - Teil 1: Festlegungen	2010-06
DIN ISO 10782-1	Definitionen und Übermittlungstechnische Merkmale von Datenelementen für die Überwachung und Steuerung textiler Prozesse - Teil 1: Spinnerei, Spinnereivorbereitung und zugeordnete Prozesse	1999-11
DIN ISO 17359	Zustandsüberwachung und -diagnostik von Maschinen - Allgemeine Anleitungen	2011-09
DIN ISO 29262	Fertigungsmittel für Mikrosysteme - Schnittstelle zwischen Endeffektor und Handhabungsgerät	2013-03
DIN SPEC 27009	Leitfaden für das Informationssicherheitsmanagement von Steuerungssystemen der Energieversorgung auf Grundlage der ISO/IEC 27002	2012-04
DIN SPEC 91214	Identifikationsschema und Namensdienst im Internet der Energie (Energy Name Service)	2011-03
DIN SPEC 91297	Attribuierung eines Zertifikats basierend auf einem spezifischen Rollenmodell für das Internet der Energie (Energy Security Service)	2013-12
DIN CEN/TR 16061 * DIN CEN/TR 16061 * DIN SPEC 91193 * DIN-Fachbericht CEN/TR 16061	Gaszähler - Intelligente Gaszähler (Smart Gas Meters); Deutsche Fassung CEN/TR 16061:2010	2011-01
AGFW FW 440 Teil 1	Hydraulische Berechnung von Heizwasser-Fernwärmenetzen - Strategische Hinweise, vom Grundmodell zu komplexen Erweiterungsstufen	2012-12
AGFW FW 440 Teil 2	Hydraulische Berechnung von Heizwasser-Fernwärmenetzen - Grundlagen zur stationären Berechnung, Kennwerte und Berechnungsgrößen	2012-12
AGFW FW 440 Teil 3	Hydraulische Berechnung von Heizwasser-Fernwärmenetzen - Erstellung und Abgleich von Rechenetzmodellen für stationäre Berechnungen	2012-12

AGFW FW 440 Teil 4	Hydraulische Berechnung von Heizwasser-Fernwärmenetzen - Gesichtspunkte bei der Erstellung von Pflichtenheften zur Auswahl von Netzberechnungsprogrammen	2012-12
AGFW FW 440 Teil 5	Hydraulische Berechnung von Heizwasser-Fernwärmenetzen - Gesichtspunkte zur Vergabe von Netzberechnungen an Dienstleister	2012-12
BASI/TR 03109 (alle Teile)	Technische Richtlinie BSI TR-03109 - Smart Metering/Smart Energy; Version 1.0	2013-03
DIN-Fachbericht IEC/TR 62390	Leitfaden für Geräteprofile in der Automatisierungstechnik	2006-08
NAMUR NE 48	Elektrische Hilfsenergieversorgung	2003-07
NAMUR NA 54	Beispiele für erfolgreiche Anwendungen von gehobenen Prozessführungsstrategien	2006-03
NAMUR NE 136	Anforderungen und Spezifikationen an die Energieversorgung basierend auf Batterien und Energy Harvesting	2011-10
NAMUR NA 140	Vorgehensweise zur Steigerung der Energieeffizienz in chemischen Anlagen - Beitrag der Automatisierungstechnik	2012-06
FNN Lastenheft BZ-Fkt * FNN- Lastenheft BZ-Fkt	Messsystem 2020 - Lastenheft Basiszähler - Funktionale Merkmale; Version 1.0	2013-07
FNN Lastenheft BZ-SMGw- Konstruktion	Messsystem 2020 - Lastenheft Konstruktion - Basiszähler und Smart-Meter-Gateway; Version 1.0	2013-07
FNN Leitfaden Systeme, Prozesse	Messsystem 2020 - Leitfaden Systeme und Prozesse; Version 1.0	2013-08
2012/148/EUEmpf * 12/148/EUEmpf	Empfehlung der Kommission vom 9. März 2012 zu Vorbereitungen für die Einführung intelligenter Messsysteme	2012-03

A4: Anforderungserfassung

Als kontinuierlich weiterentwickeltes Arbeitsdokument diene eine Tabelle, die der in Abbildung 22 dargestellten Syntax-Schablone folgte. Den Anforderungen wurden dabei fortlaufende Nummern (ID) vergeben, die eine eindeutige Zuordnung von Referenzen ermöglicht und den Weiterentwicklungsprozess durch den Zusatz einer Versionsnummer (V) darstellen, falls dies nötig wird.

ID	Stakeholder-sicht	System	Verbindlichkeit	Einschränkung	Bedingung	Objekt	Prozesswort
A02		Netznutzungslogik	MUSS	fähig sein	vom Kopplungspunkt Versorgungsnetz / Netzmanagement	Tarif- und Vertragsinformationen zu	empfangen
A03	Produktion, GF	Netznutzungslogik	SOLL	fähig sein	mit Versorger getroffene	Vereinbarungen zu	verarbeiten
A07		Netznutzungslogik	MUSS	fähig sein	anhand empfangener Preissignale	Lastgrenzen und -profile zu	erstellen
A09	QM	Energie-Monitoring	MUSS	fähig sein	in einer Datenbank	historische Verbrauchsdaten zu	verwalten
A12	QM	Energie-Monitoring	MUSS	fähig sein		Vorgaben aus relevanten Standards und Normen zu	erfüllen
A13.1	IT	Energie-Monitoring	MUSS	fähig sein	anhand von der Netznutzungslogik empfangener Tarifinformationen	Lastzustandsinformationen	auszugeben
A14.2	IT	Lastmanagement	MUSS	fähig sein		Lastzustandsinformationen zu	empfangen
A15.2	IT	Lastmanagement	MUSS	fähig sein	anhand Trendaussagen, Lastzustandsinformationen, einer quantitativen Zielgröße und statischer und dynamischer Lasteigenschaften	Prioritätenliste zu	verwalten
A16	IT	Energie-Monitoring	MUSS	fähig sein		eine große Menge an Zählern und Messdaten zu	verwalten
A18	Produktion	Lastmanagement	MUSS	fähig sein	jederzeit aus Trendaussagen, Lastzustandsinformationen, einer quantitativen Zielgröße und statischer und dynamischer Lasteigenschaften	Lastmanagement-Potenzial zu	erfassen
A19	Produktion	Lastmanagement	MUSS	fähig sein	jederzeit aus Trendaussagen, Lastzustandsinformationen, einer quantitativen Zielgröße und statischer und dynamischer Lasteigenschaften	Lastmanagement-Potenzial zu	kommunizieren

ID	Stakeholder-sicht	System	Verbind-lichkeit	Einschrän-kung	Bedingung	Objekt	Prozess- wort
A20	IT	Lastma- nagement	MUSS	fähig sein	anhand einer Pri- oritätenliste	Schaltungsemp- fehlungen zu	kommuni- zieren
A21	IT	Lastma- nagement	MUSS	Leitstand die Möglichkeit bie- ten	zur Visualisierung von Schaltungs- empfehlungen	auf eine Schnitt- stelle zur Daten- übertragung	zurückzu- greifen
A23	IT, Prod	Lastma- nagement	SOLL	fähig sein		vom Energiemo- nitoring nicht di- rekt erfasste Ma- schinenzustände zu	ermitteln
A24	GF	Gesamt- system	MUSS	fähig sein	(im Sinne der Be- rücksichtigung al- ler Kosten)	Gesamtkosteneff- izient zu	arbeiten
A26	Versorger	Lastma- nagement	SOLL		der Netznut- zungslogik	Daten zu quanti- tativen Lastma- nagement-Poten- zialen	zur Verfü- gung stellen
A28	Netzbetrei- ber	Lastma- nagement	MUSS	Netzbetrei- ber die Mög- lichkeit bie- ten	zwecks Progno- seerstellung bzgl. Netzlast und -An- gebot	verfügbares Last- management-Po- tenzial zu	erfassen
A30.1	Ener- giema- nagement	Lastma- nagement	SOLL	Energiema- nagement die Mög- lichkeit bieten		Maßnahmen, Empfehlungen, Prognosen bzw. Abweichungen in den zugrunde lie- genden PDCA Zyklus	einzubinden
A31.1	GF	Lastma- nagement	MUSS	fähig sein		Lastspitzen zu	verschieben
A32		Leitstand / Dashboard	MUSS	fähig sein		vom Energiemo- nitoring erfasste Daten zu	visualisieren
A33		Leitstand / Dashboard	MUSS	fähig sein		vom Lastmanage- ment verfasste Empfehlungen und Warnungen zu	visualisieren
A34		Leitstand / Dashboard	MUSS			vom Lastmanage- ment ausgeführte Entscheidungen	visualisieren
A36.1	Netzbetrei- ber	Gesamt- system	SOLL		einen Beitrag dazu leisten	den Netzausbau- bedarf zu	reduzieren
A37	Produktion	Leitstand / Dashboard	MUSS	Mitarbeiter die Mög- lichkeit bieten	innerhalb eines definierten Zeit- fensters	automatisch ge- troffenen Ent- scheidungen zu	widerspre- chen
A38	Staat	Eine regu- lierende In- stitution	SOLL		dem Energiever- sorger	Anreize zur Ein- führung von Last- management- kompatiblen Tari- fen	bieten
A40	GF	Eine regu- lierende In- stitution	SOLL	Unterneh- men die Mög- lichkeit bie- ten	durch die Reduk- tion von Teilnah- mebeschränkun- gen	am Regelenegie- markt	teilzuneh- men
A41	GF, QM	Eine regu- lierende In- stitution	SOLL	fähig sein	durch Ausarbei- tung geeigneter Normen / Stan- dards	Lastmanage- ment-Systeme eine Zertifizierung zu	ermöglichen

ID	Stakeholdersicht	System	Verbindlichkeit	Einschränkung	Bedingung	Objekt	Prozesswort
A43	GF	Eine regulierende Institution	SOLL	fähig sein	z.B. durch Subventionen maximal mittelfristig	Anreize neben der Einsparung zu	ermöglichen
A45.1	GF	Lastmanagement	SOLL	fähig sein		eigene Erzeugungskapazitäten in Lastmanagement-Maßnahmen zu	berücksichtigen
A46	GF	Versorger	SOLL	Unternehmen die Möglichkeit bieten	durch Zusammenschluss zu virtuellen Kraftwerken	am Regelenenergiemarkt	teilzunehmen
A48	GF	Versorger	MUSS	fähig sein	(möglichst flexible)	last- und zeitvariable Tarife	anzubieten
A49	Versorger, Netzbetreiber	Versorger	MUSS	fähig sein	in Prognosen die	Einspeisung dezentraler erneuerbarer Energien zu	berücksichtigen
A50	Versorger, Netzbetreiber	Gesamtsystem	MUSS			mit wechselnden Markt- und Unternehmensentwicklungen	skalieren
A51	GF	Messhardware	SOLL	fähig sein	möglichst kostengünstig	in Massenfertigung	hergestellt zu werden
A54	IT	Eine regulierende Institution	MUSS	Gesamtsystem die Möglichkeit bieten		auf übergreifende Standards und Normen	zurückzugreifen / zu erfüllen
A55.1	IT, Produktion	IKT	SOLL	fähig sein	bis hin zur Plug&Play Funktionalität	sich automatisch selbst neu	zu organisieren
A56	Versorger, Netzbetreiber	Eine regulierende Institution	MUSS		netzseitige	Verantwortlichkeiten bezüglich Kosten für Infrastruktur und Betrieb	festlegen
A57	Versorger	Versorger	MUSS	fähig sein		durch Einführung variabler Tarife erlittene Umsatzeinbußen mindestens	auszugleichen
A58	Versorger, Netzbetreiber	Eine regulierende Institution	MUSS	dereguliertem Elektrizitätsmarkt die Möglichkeit bieten		von der Einführung von DSM-Programmen monetär zu	profitieren
A59	Produktion	Mitarbeiter	MUSS	fähig sein	durch Schulung / Information / Leitstand	Funktionalität und Wirkungsweise des Lastmanagement zu	verstehen
A60	Produktion	Gesamtsystem	MUSS	Produktion die Möglichkeit bieten		möglichst ohne Einschränkungen und "Komfortverlust" weiter zu	produzieren
A61	Energiemanagement	Produktion	MUSS	fähig sein		variable Last	zur Verfügung zu stellen
A62	GF	Leitstand / Dashboard	SOLL	fähig sein		sog. "Response-Fatigue"	zu vermeiden

ID	Stakeholder-sicht	System	Verbind-lichkeit	Einschrän-kung	Bedingung	Objekt	Prozess- wort
A63	IT	IKT	SOLL			auftretende Fehler in Netz und internen Systemen automatisch und selbstständig	diagnostizieren
A64	IT	Messhard-ware	MUSS	IKT die Möglichkeit bieten	(z.B. durch Nutzung von DNS)	alle überwachten Geräte und Verbräuche eindeutig zu	identifizieren
A65	IT	IKT	MUSS	fähig sein	(durch effektive Nutzung von Bandbreite und Rechenleistung)	alle benötigten Daten rechtzeitig / zeitnah zu	übermitteln
A66	IT, Energiemanagement	Lastmanagement	MUSS	fähig sein		zwischen unterschiedliche Leistungszuständen (Schalten, Regeln, Stufen) zu	unterscheiden
A67	IT, Energiemanagement	Lastmanagement	MUSS	fähig sein		Randbedingungen bzgl. Zeiträumen (Abschalt- / Leerlaufzeit)	zu beachten
A68	IT, Energiemanagement	Lastmanagement	MUSS	fähig sein		Besonderheiten im Verbraucherverhalten (wie Einschaltleistung / -dauer)	zu beachten
A70	IT	Gesamt-system	MUSS			auf eine übergreifende Vorzeichenkonvention	zurückgreifen
A71	Produktion, GF	Gesamt-system	MUSS			mit möglichst geringem Zusatzaufwand (Manpower, Investition, Energie)	lauffähig sein
A72	IT	IKT	MUSS			unterschiedliche Übertragungshäufigkeiten einzelner Bestandteile	unterstützen
A73	IT	IKT	MUSS			eine weite Bandbreite an Nachrichtengrößen	unterstützen
A74	Produktion, GF	Messhard-ware	MUSS		z.B. durch Retrofitting	Bestandssysteme in das Lastmanagement	einbinden
A75	GF	Gesamt-system	SOLL	fähig sein		weitere Medien wie Gas, Wasser, Wärme	einzubinden
A76	IT, Energiemanagement	IKT	MUSS	fähig sein		komplexe Zusammenhänge	umzusetzen
A77	IT	Leitstand / Dashboard	MUSS			Zugriff auf das System und Daten auf autorisierte Benutzer	einschränken
A78	Produktion, IT	Leitstand / Dashboard	MUSS	Mitarbeiter die Möglichkeit bieten		auf benötigte Daten ohne Einschränkungen	zuzugreifen
A79	IT	IKT	SOLL			alle Datenübertragungen nachweisbar	machen

ID	Stakeholdersicht	System	Verbindlichkeit	Einschränkung	Bedingung	Objekt	Prozesswort
A80	IT, Energiemanagement	IKT	MUSS	fähig sein		Information über Fähigkeiten, Verhalten und Charakteristika einzelner Bestandteile zu	übermitteln
A81	IT	IKT	SOLL			Redundant auf Systemfehler	reagieren
A82	IT	Gesamt-system	MUSS	fähig sein		interne und externe Daten	zusammenzufassen
A83	IT	IKT	SOLL	fähig sein		einzelne Systemkomponenten zu	klassifizieren
A84	IT	IKT	MUSS	fähig sein		sowohl statische als auch dynamische Daten zu	verarbeiten
A85	IT	IKT	SOLL	fähig sein		alle übertragenen Daten zu	verfolgen
A86	IT	IKT	SOLL	fähig sein		alle übertragenen Daten zu	prüfen
A87	GF, Produktion	Gesamt-system	MUSS	fähig sein		ausfallsicher zu	funktionieren
A88	IT	IKT	SOLL	Teilsystemen die Möglichkeit bieten		Selbsttests	durchzuführen
A89	IT	IKT	MUSS	fähig sein		bidirektional zu	kommunizieren
A90.1	IT	IKT	SOLL	fähig sein		auftretende Fehler automatisch zu	beheben
A91	Produktion, IT	IKT	SOLL	fähig sein		Produktionssteuerung / ERP Systeme	einzubeziehen
A92	IT	IKT	MUSS	fähig sein		Middleware als zentrale Datendrehscheibe zwischen Produktion und Lastmanagement	einzusetzen
A93	IT	IKT	SOLL			auftretende Flaschenhälse in der Datenverarbeitung Redundant	auslegen
A95.1	IT, Produktion, GF	Gesamt-system	MUSS			bei Verbindungsabbruch	weiterfunktionsieren
A96	IT, Energiemanagement	Messhardware	MUSS	fähig sein		eine bestimmte Messgenauigkeit und Auflösung zu	gewährleisten
A98	IT, GF	IKT	MUSS	fähig sein		das Abhören von Signalen zu	verhindern
A99	IT, GF	IKT	MUSS	fähig sein		das Einspielen von Fremdsignalen zu	verhindern
A100		Netznutzungslogik	MUSS	fähig sein	vom Kopplungspunkt Versorgungsnetz / Netzmanagement	empfangene Tarifinformationen zu	verarbeiten
A101		Netznutzungslogik	MUSS	fähig sein	an Lastmanagement	Tarifinformationen plus Typ	weiterzuleiten

ID	Stakeholder-sicht	System	Verbindlichkeit	Einschränkung	Bedingung	Objekt	Prozesswort
A102	IT	Netznutzungslogik	MUSS	fähig sein	mit netzseitigem Austauschpartner	eine Datenverbindung	aufzubauen
A103	IT	Netznutzungslogik	MUSS	fähig sein	mit bekanntem, netzseitigen Austauschpartner	eine Datenverbindung zu	reinitialisieren
A106	IT	Energie-Monitoring	MUSS	fähig sein		mit einer Vielzahl unterschiedlicher Messsysteme zu	kommunizieren
A107		Energie-Monitoring	MUSS		erfasste Messdaten	einer Vielzahl weiterer Systeme	zugänglich machen
A108		Netznutzungslogik	MUSS	fähig sein	vom Lastmanagement empfangene Daten zu quantitativen Lastmanagementpotenzialen	gesichert an Versorger / Netzbetreiber	weiterzuleiten
A109		Versorger	MUSS	fähig sein	durch monetäre und zeitliche Anpassungen an Tarif- bzw. Preisstrukturen	den Netzbetrieb zu	regeln
A110		Versorger	MUSS	fähig sein	durch Gestaltung und Steuerung von Tarif- oder Preisstrukturen	die Netzstabilität zu	gewährleisten
A112	Staat	Eine regulierende Institution	SOLL		den Energieversorger	zur Einführung von Lastmanagement-kompatiblen Tarifen	verpflichten
A113		Versorger	SOLL	fähig sein		MicroGrids unterschiedlicher Größe individuell zu	steuern
A114		Versorger	SOLL	fähig sein	je nach Anforderung, Netzsituation, Rahmenbedingungen	individuell MicroGrids (neu) zu	organisieren
A115		Versorger	SOLL			Micro-Grid-Daten für individuelle Prognosen	nutzen
A116.1		Versorger	SOLL	Unternehmen die Möglichkeit bieten	durch geeignete Vergütungen	eigene Erzeugungskapazitäten in Lastmanagement-Maßnahmen	einzubinden
A117	GF	Versorger	SOLL	Unternehmen die Möglichkeit bieten	durch Zusammenschluss zu virtuellen Verbrauchern	am Regellenergemarkt	teilzunehmen
A118	IT	IKT	MUSS	fähig sein		über standardisierte Kanäle zu	kommunizieren
A119	Produktion, GF	Gesamtsystem	MUSS		durch intuitive Bedienbarkeit	minimalen Schulungsaufwand für Mitarbeiter/Nutzer	gewährleisten
A121	Produktion, GF	Leitstand / Dashboard	MUSS		Empfehlungen und Warnungen	transparent und nachvollziehbar	visualisieren
A122	Prod, IT	Energie-Monitoring	SOLL		aus Tarifinformationen und Energiemessdaten	eine nachvollziehbare Trendaus-sage für das Lastmanagement	generieren

ID	Stakeholder-sicht	System	Verbindlichkeit	Einschränkung	Bedingung	Objekt	Prozesswort
A123	Prod, NB	Energie-Monitoring	MUSS			eine quantitative Zielgröße welche Aussage über den Abstand zu Lastgrenzen gibt für das LM	generieren
A124	IT	Lastmanagement	MUSS		in einer internen DB	dynamische und statische Lasteingenschaften	speichern
A125	QM	Energie-Monitoring	MUSS	fähig sein	den gesamten sowie Fertigungs-linien-	Verbrauch zu	erfassen
A126	QM	Energie-Monitoring	SOLL	fähig sein	den Einzelma-schinen-	Verbrauch zu	erfassen
A127	GF	Lastmanagement	SOLL	fähig sein		Lastspitzen auto-matisch zu	verschieben

Abbildung 82: Anforderungen an ein Energieinformationssystem

A5: Planspiel - Energiemanager

Das Planspiel Energiemanager Polar wurde im Rahmen des Forschungsprojekts Polar am FIR an der RWTH entwickelt. (s. ROSCHER ET AL. 2015d, S. 1–4) Das Spiel fällt unter die Kategorie *serious games* und hat somit neben dem Unterhaltungszweck auch das Ziel komplizierte Inhalte spielerisch zu vermitteln. Das Planspiel ist Bestandteil der Lehrveranstaltung der RWTH Aachen Produktionsmanagement II Vorlesung 11 Energie- und Ressourcenmanagement und wird außerdem in der Ausstellungsfläche des FIR auf dem RWTH Aachen Campus Melaten (Themenpark) sowie auf Messen eingesetzt.

Das Planspiel ermöglicht dem Spieler, einen Einblick in das Last- und Energiemanagement eines produzierenden Unternehmens zu gewinnen, welches die Herausforderungen der Energiewende meistern muss. Das Forschungsprojekt POLAR verfolgt das Ziel, Industrieunternehmen eine universelle und wirtschaftlich einsetzbare Lastenmanagement- und Energie-Monitoring-Lösung zur Verfügung zu stellen. Im Planspiel Energiemanager Polar schlüpft der Spieler in die Rolle eines Produktionsleiters, der eine Produktionsschicht (acht Stunden) leitet. In dieser Schicht hat der Spieler das Ziel, drei MAXeKarts, eine Art pedalbetriebene Kettcars mit Elektroantrieb, zu produzieren. Um dieses Ziel zu erreichen, muss der Spieler entscheiden, welche Maschinen er zu welcher Zeit an- bzw. abschaltet. Das Spiel ist rundenbasiert und überspannt acht Runden/Stunden. Für jede Stunde kann der Spieler entscheiden, welche Maschinen er in Betrieb nimmt oder lieber ausgeschaltet lässt. Als Entscheidungsgrundlage dient ein Preissignal, das sich im Laufe der Produktionsschicht ändert. Das Produktionsziel ist erreicht, wenn der Spieler es schafft, innerhalb der acht Stunden alle benötigten Maschinen für die vorgesehene Zeit laufen zu lassen. Das Gesamtziel des Spiels ist es, die Produktion der drei MAXeKarts so kostengünstig wie möglich zu gestalten.

Das Planspiel läuft in der offenen *Softwareumgebung* Scilab, welche unter der *Open-Source-CeCILL-Lizenz* läuft. Scilab kann für alle gängigen Betriebssysteme (Windows, Mac OS und Linux) kostenlos auf der Seite <http://www.scilab.org/> heruntergeladen werden. Zum Abspielen des Planspiels sollte das Planspielpaket (Planspiel. zip) von der *Webseite* energiemanager-polar.fir.de heruntergeladen und entpackt werden. In dem entpackten Ordner befindet sich die Datei Planspiel.sce. Diese Datei ist ein Scilab-Script, welches durch Doppelklick in Scilab geöffnet und ausgeführt werden kann (durch Klicken auf das *Play*- Symbol).

Der Spieler beginnt die Produktionsschicht in der ersten Stunde. Für diese und für jede weitere der acht Schichtstunden sollte der Spieler die oben abgebildeten Schritte 1 bis 5 abarbeiten. Als Entscheidungsgrundlage für das An- und Abschalten sollte der Spieler den aktuellen Arbeitspreis, die Preisprognose für die nächsten drei Stunden, die aktuelle Gesamtleistung und die noch abzuarbeitende Restlaufzeit der Maschinen berücksichtigen und um so kostengünstig wie möglich das Produktionsziel zu erreichen. Der Spieler sollte dabei beachten, dass die Maschinen unterschiedliche Flexibilität in

der Produktion aufweisen. Die Maschinen der ersten Zeile (Stapler, Kompressor, Kühlung) sind voll flexibel und können jederzeit an- bzw. abgeschaltet werden.

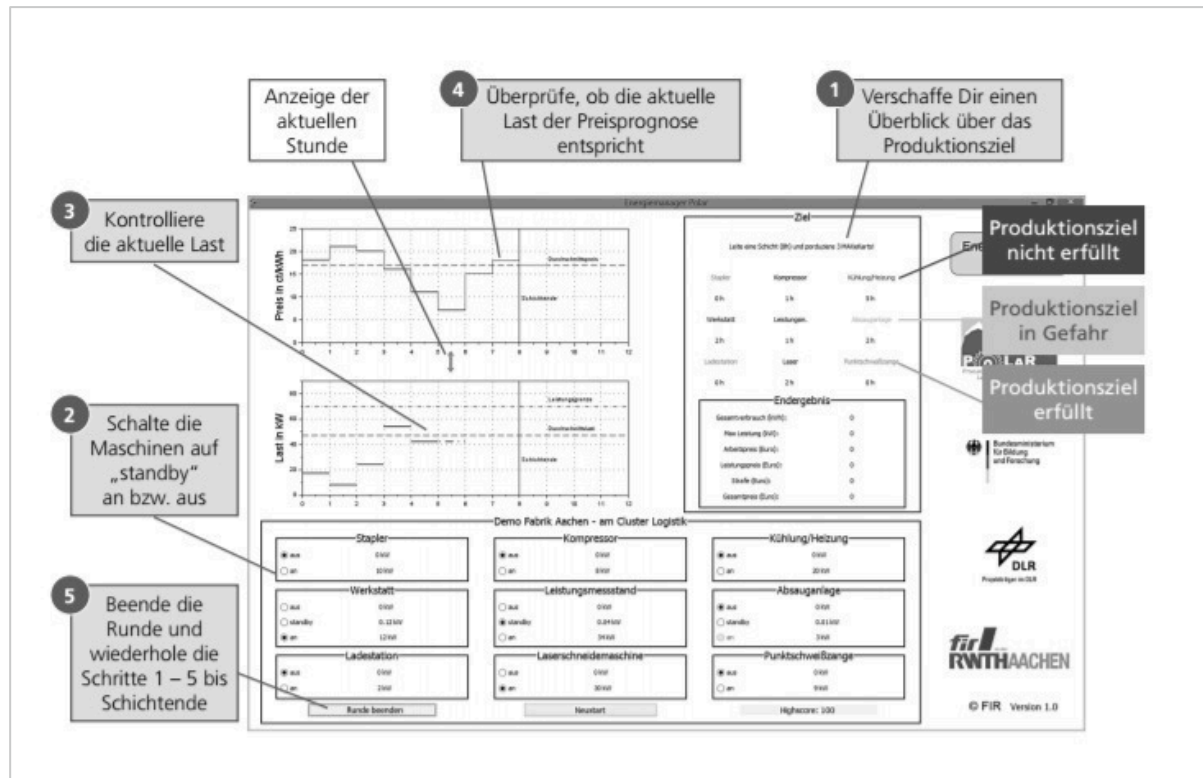


Abbildung 83: Planspiel Startbildschirm

Die Maschinen der zweiten Zeile (Werkstatt, Leistungsmessstand und Absauganlage) benötigen eine Vorlaufzeit und müssen deshalb zunächst für mindestens eine Stunde auf *standby* geschaltet werden, bevor sie in Betrieb genommen werden können. Maschinen aus der dritten Zeile (Ladestation, Laserschneidemaschine und Punktschweißzange) sind voll flexibel, sollten aber ohne Unterbrechung laufen, da es durch An- und Abschalten zu Wartungskosten kommt. Es gibt drei Arten von Spielstrafen, die der Spieler berücksichtigen sollte. Die erste ist eine Vertragsstrafe wegen Lieferverzug, die der Spieler erhält, falls er das Produktionsziel nicht erreicht (100 Euro). Die zweite Strafe kommt durch ein Überschreiten der Leistungsgrenze zustande. Bei der Berechnung des Leistungspreises wird die maximale abgerufene momentane Leistung für das gesamte Jahr berücksichtigt. Aus diesem Grund sollte man in der Produktion versuchen, momentane Leistungsspitzen zu vermeiden. Indem Planspiel wird die Überschreitung einer Leistungsgrenze deshalb mit einer Strafzahlung geahndet (10 – 20 Euro). Zuletzt wird das zwischenzeitliche Ab- und Anschalten von Maschinen mit Wartungskosten (Ladestation, Laserschneidemaschine und Punktschweißzange) mit einer Kostenstrafe berücksichtigt (3 Euro). Ziel ist, die Strafen so weit wie möglich zu vermeiden. (ROSCHER ET AL. 2015d, S. 1–4)

A6: Geschäftsmodell Vehicle-to-Grid

Das Geschäftsmodell, welches zur Weiterentwicklung in Sinne von *Li-Mobility* (BMBF-Projekt: Förderkennzeichen 03X4614B) näher betrachtet wurde, war das des Aggregators von Elektrofahrzeugen zur Optimierung des Stromnetzbetriebs, welches auf Vorarbeiten im Rahmen des vom BMWi geförderten Projekts *Smart Wheels* (Förderkennzeichen 01ME09020) aufbaute. Abbildung 84 gibt einen Überblick über die Konkretisierung des Modells im Projekt *Li-Mobility*.

Es handelte sich hierbei um ein informationszentriertes Modell, bei dem der Fokus in erster Linie auf der Bereitstellung der richtigen Informationen über verfügbare Elektrofahrzeuge liegt. Die Ertragsstruktur bzw. Kostenstruktur dieses Geschäftsmodells setzte sich aus Arbitragegewinnen zusammen, die durch die Nutzung der Batterie zur Pufferspeicherung von Strom erzielt werden könnten bzw. den Kosten, die durch zusätzliche Alterung entstünden, wenn Batteriekapazitäten für die Erbringung von positiver bzw. negativer Regelleistung angeboten wurden. Hierbei spielte die Kapazität der Fahrzeugbatterie eine entscheidende Rolle und stellt somit die Schlüsselressource des Geschäftsmodells dar.

Schlüssel-partner -Privatpersonen Organisationen -Betreiber öffentlicher/privater Ladeinfrastruktur	Schlüssel-aktivitäten -Puffer-speicherung für EE	Nutzen-versprechen -Arbitrage-gewinne durch variierende Marktpreise	Kunden-beziehungen -Nutzungs-verträge	Kunden-segmente -Privatpersonen -Organisationen -Betreiber öffentlicher / privater Ladeinfrastruktur
	Schlüssel-ressourcen -Fahrzeug-batterie		Kunden-kanäle -direkte Ansprache	
Kostenstruktur -IKT Systeme -Batterieverschleiß			Ertragsstruktur (Umsatzströme) -Anteile an Arbitragegewinnen -Nutzungsgebühren	

Abbildung 84: Business Model Canvas Vehicle-to-Grid

Bei der Lebensdauer von Lithium-Ionen-Batterien unterscheidet man grundsätzlich zwischen der kalendarischen und der zyklischen Lebensdauer. Während bei der zyklischen Lebensdauer alle Mechanismen eingreifen, welche die Zelle aufgrund der Beanspruchung im Betrieb altern lassen, beschreibt die kalendarische Lebensdauer die natürliche Alterung der Batterie, welche auch ohne die Benutzung entsteht. Das Geschäftsmodell trägt dazu bei, die Verwendung der Fahrzeugbatterien dahingehend zu optimieren, dass die zyklische Alterung und nicht die kalendarische Alterung maßgeblich die Lebensdauer der Batterie determiniert und so sämtliche Nutzenpotenziale erschlossen werden können.

Geschäftsmodell

Im Projekt *Li-Mobility* wurde ein Fuhrpark von Elektrofahrzeugen unterstellt, der durch eine zentrale Instanz, dem sogenannten Aggregator, verwaltet wird. Dieser Aggregator führt zentral das komplette Flottenmanagement für seine fahrzeugseitigen Kunden (Privatpersonen, Organisationen) durch und verantwortet sämtliche Entscheidungen bezüglich der Nutzung der Fahrzeuge für Netzregeldienstleistungen in Richtung der netzseitigen Kunden (Netzbetreiber, Betreiber öffentlicher/privater Infrastruktur). In den IKT-Systemen des Aggregators laufen sämtliche Informationen über den aktuellen Verfügbarkeitsstatus der Fahrzeuge, über die batteriebezogenen Einflussgrößen sowie über die erzielbaren Einkommensströme zusammen. Auf diesen Systemen wird letztendlich unter Anwendung eines Optimierungsmodells entschieden, ob und, wenn ja, welche Fahrzeuge im Sinne des Geschäftsmodells eingesetzt werden.

Auf Grundlage der Marktparameter (bspw. Preis, zu erbringende Gesamtleistung) sowie der Informationen über die Fahrzeuge (bspw. zeitliche Verfügbarkeit, aktuelle Batteriekapazität) werden Ladeprofile erstellt, die die Gesamtleistung in geeignete Teilleistungen zerlegen. Auf diese Weise werden die Kosten für die Durchführung der Leistungserbringung prognostizierbar und ermöglichen die kostenminimale Auswahl der Fahrzeuge zur Erbringung der Netzregeldienstleistungen.

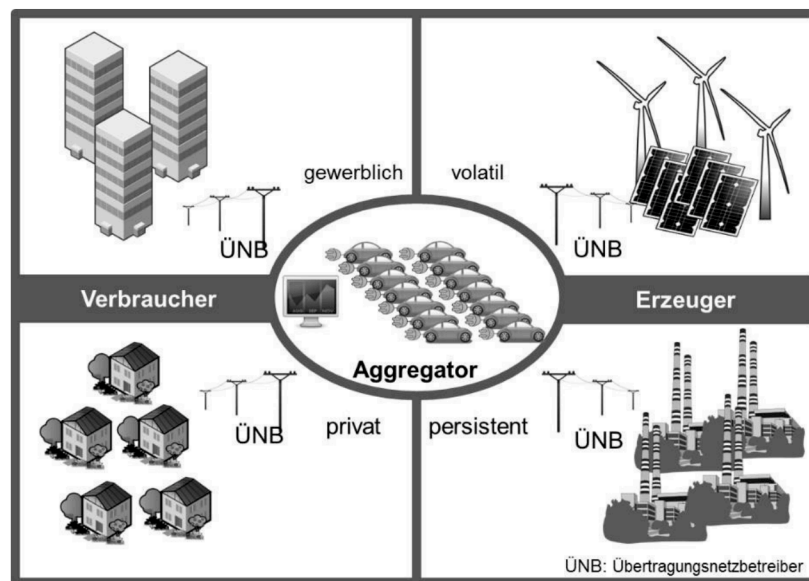


Abbildung 85: Aggregator

Auf diese Weise stehen dem Aggregator für jedes Fahrzeug mindestens eine und maximal drei verschiedene Teilleistungen mitsamt einer monetären Bewertung dieser zur Verfügung. Der Aggregator entscheidet dann auf Grundlage der Anzahl der ihm zur Verfügung stehenden Fahrzeuge und der Kosten der verschiedenen Profile, ob und in welcher Reihenfolge einzelne Fahrzeuge eingesetzt werden. Dazu werden Teilleistungen einzelner Fahrzeuge der Reihe nach kostenminimal aggregiert und zwar so lange, bis die erforderliche Gesamtleistung erreicht ist. Dabei ist aufgrund der Marktgegeben-

heit eine Erbringung von Regelleistungen durch Elektrofahrzeuge aufgrund der notwendigen Präqualifikation technisch nur möglich, wenn diese ihre Leistung aggregiert zur Verfügung stellen (*pooling*).

Deshalb bildet der Aggregator den Ausgangspunkt bei der Spezifikation des Geschäftsmodells im Sinne von *Li-Mobility*. Abbildung 86 zeigt den idealtypischen Prozess zur Auswahl geeigneter Elektrofahrzeuge zur Befriedigung der nachgefragten Netzdienstleistung.

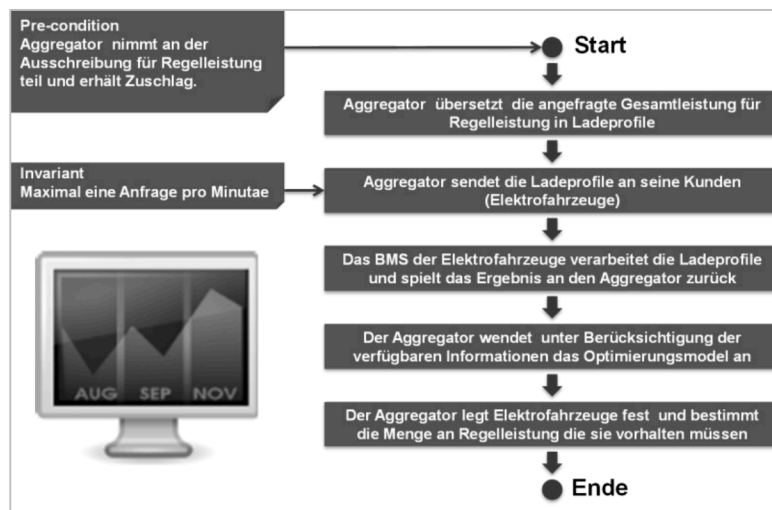


Abbildung 86: Ausgangsprozess des Aggregators