Daniela Hobscheidt

Lösungsmuster für die sozio-technische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand

Solution patterns for the socio-technical implementation of Industry 4.0 in medium sized companies

Geleitwort

Der Ansatz Advanced Systems Engineering zur erfolgreichen Planung, Entwicklung und dem Betrieb komplexer technischer Systeme von morgen, ist die verbindende Leitidee der gleichnamigen Fachgruppe am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn und dem damit verbundenen Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM. Unser generelles Ziel ist die Steigerung der Innovationskraft von Industrieunternehmen. Zentrale Schwerpunkte der Forschung an den beiden Instituten sind die Strategische Planung und das Systems Engineering.

Industrie 4.0 verändert nicht nur Technologien, sondern stellt Unternehmen gleichermaßen vor organisatorische und soziale Herausforderungen. In der betrieblichen Praxis zeigt sich jedoch, dass insbesondere der Mittelstand oft nicht über das nötige Wissen verfügt, um passende Lösungen für ihre soziotechnischen Problemstellungen zu identifizieren. Gerade angesichts der Vielfalt und Komplexität der Herausforderungen fehlt es an Orientierung, welche Lösungen in welchem Kontext wirksam sind. Um Industrie 4.0 systematisch zu gestalten, braucht es daher strukturierte Zugänge zu praxisbewährtem Lösungswissen, das konkrete Gestaltungsfragen entlang der Dimensionen Mensch, Technik und Organisation adressiert.

Vor diesem Hintergrund hat Frau Hobscheidt in ihrer Dissertation *„Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand“* einen praxisnahen Katalog von 31 Lösungsmustern entwickelt. Die Muster beruhen auf der Analyse von 87 realen Industrieprojekten und erfassen erprobtes Erfahrungswissen über konkrete Problem-Lösungs-Zusammenhänge in typischen Industrie 4.0-Kontexten. Dieses Wissen wird durch die systematische Aufbereitung in Form standardisierter Musterkarten explizit gemacht und so für Unternehmen direkt nutzbar. Verortet werden die Muster in einem eigens entwickelten Strukturierungsrahmen, der die Dimensionen Mensch, Technologien und Organisation in relevante Komponenten für Industrie 4.0 gliedert. Ergänzend werden sie acht soziotechnischen Problemklassen zugeordnet und zu konsistenten Bündeln kombiniert, um auch komplexe, mehrdimensionale Herausforderungen gezielt zu bewältigen. Ein begleitendes Vorgehensmodell unterstützt die strukturierte Anwendung im Unternehmenskontext. Es beschreibt die Schritte von der Problemanalyse über die Auswahl geeigneter Muster bis hin zur konkreten Umsetzungsplanung und leistet damit einen zentralen Beitrag zur systematischen Nutzung von Lösungswissen in Industrie 4.0-Projekten.

Mit ihrer Arbeit leistet Frau Hobscheidt einen bedeutsamen Beitrag zur Bewältigung soziotechnischer Herausforderungen im Kontext von Industrie 4.0. Sie stärkt die Fähigkeit von Unternehmen, Industrie 4.0 zielgerichtet zu gestalten – mit hohem wissenschaftlichem Anspruch und unmittelbarem Praxisnutzen. Die Arbeit fügt sich damit hervorragend in das Ziel des Heinz Nixdorf Instituts und des Fraunhofer IEMs ein, die digitale Handlungsfähigkeit industrieller Organisationen ganzheitlich zu fördern.

Paderborn, im Juni 2025 *Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu*

Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand

zur Erlangung des akademischen Grades eines

DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)

der Fakultät Maschinenbau

der Universität Paderborn

genehmigte

DISSERTATION

von

M. Sc. Daniela Hobscheidt

aus Paderborn

Tag des Kolloquiums:	27. Juni 2025
Referent:	Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier
Korreferent:	Prof. Dr. habil. Dr. h.c. Michael Henke

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM im Forschungsbereich Produktentstehung. Sie ist das Ergebnis meiner wissenschaftlichen Arbeit im Rahmen von Forschungs- und Industrieprojekten.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu für das mir entgegengebrachte Vertrauen und die wertvolle Begleitung meiner Promotion. Die Zusammenarbeit am Fraunhofer IEM ist bis heute geprägt von anspruchsvollen Projekten, inspirierenden Diskussionen und kontinuierlicher Weiterentwicklung. Die von ihm gelebte Arbeitsweise, geprägt durch Offenheit, Freiräume und strategischen Weitblick, hat meine fachliche und persönliche Entwicklung maßgeblich beeinflusst. Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier danke ich aufrichtig für seine langjährige Prägung meines akademischen Werdegangs – bereits während meines Studiums hat das von ihm aufgebaute wissenschaftliche Umfeld mein Denken und Arbeiten entscheidend inspiriert. Für die Übernahme des Korreferats danke ich herzlich Herrn Prof. Dr. habil. Dr. h.c. Michael Henke. Seine Perspektive auf Industrie 4.0 hat wertvolle Impulse für meine Arbeit gesetzt.

Ein besonderer Dank gilt meinen Kolleginnen und Kollegen am Fraunhofer IEM, insbesondere dem Eckbüro, für das vertrauensvolle Miteinander, den stetigen fachlichen Austausch und das außergewöhnlich freundschaftliche Arbeitsumfeld, das meine Zeit dort bis heute prägt. Für ihre Unterstützung, wertvolle Impulse und das offene Ohr – fachlich wie persönlich – möchte ich insbesondere Dr.-Ing. Arno Kühn, Dr.-Ing. Nadine Niewöhner, Magdalena Förster und dem gesamten (Ehemaligen-) Stammtisch danken, die mich über die gesamte Promotionszeit hinweg eng begleitet haben. Für viele anregende Diskussionen und hilfreiches Feedback im Kontext meiner Dissertation danke ich zudem herzlich Christian Kürpick und Stefan Gabriel. Den zahlreichen Studierenden, die mich im Rahmen ihrer studentischen Arbeiten oder als Hilfskräfte unterstützt haben, gilt mein aufrichtiger Dank – ihre Beiträge waren ein wertvoller Bestandteil dieses Weges. Zudem möchte ich Alexandra Dutschke für die stetige Unterstützung im gesamten Prozess danken.

Den größten Dank widme ich meiner Familie. Meinen Eltern Ernst und Valsamma sowie meiner Schwester Sabina und meinem Bruder Andreas für die bedingungslose Unterstützung und den Rückhalt in jeder Lebenslage. Und besonders meinem Partner Kevin. Du hast immer an mich geglaubt, alle Launen geduldig ausgehalten und mich trotzdem stets mit deinem Humor motiviert, die Promotion erfolgreich abzuschließen. Zusammen mit Nico bist Du das größte Glück meines Lebens und ihr zeigt mir täglich, was wirklich wichtig im Leben ist. Dafür bin ich so dankbar!

Paderborn, im Juni 2025 *Daniela Hobscheidt*

Zusammenfassung

Der Megatrend der Digitalen Transformation bietet enorme Potentiale zur Effizienzsteigerung in der Leistungserstellung produzierender Unternehmen, kurz Industrie 4.0. Die Gestaltung von Industrie 4.0 ist dabei als soziotechnische Aufgabe zu verstehen, die sich neben Technologien, ebenso auf den Menschen sowie ganze Organisationsstrukturen auswirkt. Vor diesem Hintergrund scheinen sich insbesondere mittelständisch geprägte Unternehmen bei der Gestaltung von Industrie 4.0 schwerzutun. Mangelndes Lösungswissen trägt dazu bei, dass die Identifikation der zu den Problemstellungen passenden Industrie 4.0 Lösungen aus der Vielzahl an Möglichkeiten zu einer der Kernherausforderungen wird. Die Wiederverwendung von Wissen mit Hilfe von Lösungsmustern ist ein Ansatz, dieser Kernherausforderung zu begegnen.

Ziel dieser Arbeit ist daher die Erstellung von Lösungsmustern für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand. Die Grundlage bildet ein Strukturierungsrahmen als Referenzwerk für die Dimensionen Mensch, Organisation und Technologien speziell für Industrie 4.0. Auf Basis dessen werden aus 87 erfolgreichen Industrie 4.0 Projekten Lösungsmuster abgeleitet, transparent dokumentiert und zu konsistenten Kombinationen für soziotechnische Problemklassen gebündelt. Die Anwendung wird unter Berücksichtigung eines Vorgehensmodells und Werkzeugen anhand eines KMU der Luft-, Klima- und Abgastechnik durchlaufen.

Summary

The megatrend of digital transformation offers enormous potential for increasing efficiency in the production and business processes of manufacturing companies, known as Industry 4.0. The design of Industry 4.0 is to be understood as a socio-technical task that affects not only technologies, but also humans and entire organizational structures. In this context, especially medium-sized enterprises seem to face challenges in implementing Industry 4.0. A lack of solution knowledge is one reason that identification of the appropriate Industry 4.0 solutions for the specific problems from the multitude of possibilities is a core challenge for them. The reuse of knowledge with the help of solution patterns is one approach to meet this core challenge.

The aim of this work is therefore to create solution patterns for the socio-technical design of Industry 4.0 in medium-sized enterprises. The fundament forms a structuring framework as a reference model for the dimensions of people, organization and technologies specifically for Industry 4.0. Based on this, solution patterns are derived from 87 successful Industry 4.0 projects, documented transparently and bundled into consistent combinations for socio-technical problem classes. The application is exemplarily demonstrated by an SME in the field of air conditioning and exhaust technology through using a process model and tools.

Liste der veröffentlichten Teilergebnisse

[KHP+22] KOLDEWEY, C.; HOBSCHEIDT, D.; PIERENKEMPER, C.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Increasing Firm Performance through Industry 4.0 – A Method to Define and Reach Meaningful Goals. Sci 2022, https://doi.org/10.3390/sci4040039

[HMG+22] HOBSCHEIDT, D.; MENZEFRICKE, S.; GABRIEL, S.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Soziotechnische Herausforderungen bei der Einführung von RPA managen. In FELDMANN, C. (HRSG.): Praxishandbuch Robotic Process Automation (RPA) – Von der Prozessanalyse bis zum Betrieb, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2022

[MGG+21] MENZEFRICKE, S.; GABRIEL, S.; GUNDLACH, T.; HOBSCHEIDT, D.; KÜRPICK, C.; SCHNASSE, F.; SCHOLTYSIK, M.; SEIF, H.; KOLDEWEY, C.; DUMITRESCU, R.: Soziotechnisches Risikomanagement als Erfolgsfaktor für die Digitale Transformation. In DIGITALISIERUNG: Strategie, Transformation und Implementierung – Fallstudien, Ansätze, Tools und Erkenntnisse für das digitale Zeitalter, Springer Fachmedien Wiesbaden, 2021

[HKD21] HOBSCHEIDT, D.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Derivation of socio-technical solution patterns for industry 4.0 problem classes, CIRP DESIGN Conference, 19.-21. Mai 2021, Niederlande, (auf Grund von COVID-19 virtuell)

[SGM+20] SCHNASSE, F.; GABRIEL, S.; MENZEFRICKE, S.; HOBSCHEIDT, D., KÜHN, A.; PARLINGS, M.; DUMITRESCU, R.: Identification of socio-technical changes during the implementation of Industry 4.0 solutions, Hamburg International Conference of Logistics (HICL) 2020, 23.-25. September 2020, Deutschland, Hamburg

[HKD20] HOBSCHEIDT, D.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Development of risk-optimized implementation paths for industry 4.0 based on soctiotechnical pattern, CIRP DESIGN Conference, 8.-11. Mai 2020, Südafrika (auf Grund von COVID-19 virtuell)

[HFK+19] HOBSCHEIDT, D.; FECHTELPETER, C.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Using existing industry 4.0 knowledge for the assessment of SME innovation-demands. ISPIM Innovation Conference 2019, 16.-19. Juni 2019, Florenz, Italien

[HJA+19] HOBSCHEIDT, D.; JÜRGENHAKE, C.; ANACKER, H.; DUMITRESCU, R.: Sociotechnical pattern for the development of smart products. CIRP DESIGN Conference, 7.-10. Mai 2019, Povoa de Varzim, Portugal

[HLD18] HOBSCHEIDT, D.; LIPSMEIER, A.; DUMITRESCU, R.: Demand-orientated and sociotechnical solution patterns for digital transformation in SMEs, ISPIM Conference – The Name of the Game, June 17-21, Stockholm, 2018

[KDM+18] KNOSPE, O.; DREWEL, M.; MITTAG,T.; PIERENKEMPER, C.; HOBSCHEIDT, D.: Leistungssteigerung durch Industrie 4.0 für kleine und mittlere Unternehmen. In: ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 113 (2018), Hanser Verlag, München, 2018

[HWD+17] HOBSCHEIDT, D.; WESTERMANN, T.; DUMITRESCU, R, DÜLME, C.; GAUSEMEIER, J.; HEPPNER, H.; MAIER, G.W.: Soziotechnische Leistungsbewertung von Unternehmen im Kontext Industrie 4.0. In: BODDEN, E.; DRESSLER, F.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.; MEYER AUF DER HEIDE, F.; SCHEYTT, C.; TRÄCHTLER, A. (HRSG.): Wissenschafts- und Industrieforum 2017 – Intelligente Technische Systeme. Verlagsschriftenreihe des Heinz Nixdorf Instituts, Band 369, Paderborn, 2017

Inhaltsverzeichnis

Seite

1 Einleitung 1
1.1 Problematik 1
1.2 Zielsetzung 3
1.3 Vorgehensweise 3

2 Forschungsdesign 7
2.1 Design-orientierte Forschung 7
2.1.1 Design Research im Überblick 7
2.1.2 Design Research Methodology 9
2.1.3 Nutzen und Limitationen der Design Research Methodology 11
2.2 Konsortialforschung als praxisnaher Ansatz ..... Design-orientierter Forschung 12
2.3 Einordnung und Vorgehen in der Arbeit 16

3 Problemanalyse 22
3.1 Begriffsdefinitionen und -abgrenzung 22
3.2 Die Digitale Transformation im industriellen Umfeld 24
3.2.1 Entwicklung und Handlungsfelder der Digitalen Transformation 24
3.2.2 Digitale Transformation der Leistungserstellung: Industrie 4.0 28
3.3 Industrie 4.0 als soziotechnische Aufgabe 30
3.3.1 Soziotechnische Systemtheorie 31
3.3.2 Soziotechnische Systemgestaltung 32
3.3.3 Soziotechnische Betrachtung von Industrie 4.0 35
3.4 Fehlendes Lösungswissen als Kernherausforderung im Mittelstand 37
3.5 Erfolgsfaktor: Wiederverwendung von Wissen 40
3.5.1 Einsatz von Wissen in der Industrie 41
3.5.2 Wissensarten 44
3.5.3 Das SECI-Modell – Formen der Wissensumwandlung 45
3.5.4 Zugriff auf wiederverwendbares Industrie 4.0 Lösungswissen 46
3.6 Wiederverwendung von Lösungswissen mit Lösungsmustern 47
3.6.1 Der Lösungsmusteransatz im Überblick 48
3.6.2 Der Nutzen von Lösungsmuster für die ..... soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 49
3.6.3 Prozess der Mustererstellung 51
3.6.3.1 Musteridentifikation 52

3.6.3.2 Musterdokumentation und -präsentation 53
3.6.3.3 Musteranwendung 54
3.6.3.4 Der Prozess zur Mustererstellung für die ..... soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 55
3.7 Problemabgrenzung 57
3.8 Anforderungen an die Lösungsmuster zur soziotechnischen ..... Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand 59
3.8.1 Anforderungen an die soziotechnische Betrachtung von ..... Industrie 4.0 59
3.8.2 Anforderungen an die Wiederverwendung und Aufbereitung ..... von externem Wissen für Industrie 4.0 59
3.8.3 Anforderungen an die Lösungsmuster-Erstellung 60
3.8.4 Übergeordnete Anforderungen 61

4 Stand der Technik 63
4.1 Allgemeine Ansätze zur Gestaltung von Industrie 4.0 63
4.1.1 Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index 63
4.1.2 VDMA Leitfaden Industrie 4.0 65
4.1.3 Leitfaden zur erfolgreichen Implementierung von ..... Industrie 4.0 Lösungen nach SCHUH ET AL. 68
4.1.4 Systematik zur Reifegradmodell-basierten Planung von ..... CPS nach WESTERMANN 71
4.2 Ansätze zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 72
4.2.1 REFA Standard Industrie 4.0 73
4.2.2 Soziotechnische Gestaltungs- und Einführungssystematik ..... für Industrie 4.0 nach NÖHRING ET AL. 74
4.2.3 Digitale soziotechnische Systemgestaltung ..... nach WINBY und MOHRMAN 76
4.2.4 Heuristiken der soziotechnischen Systemgestaltung ..... nach HERRMANN und NIERHOFF 78
4.2.5 Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten ..... nach BANSMANN 79
4.2.6 Soziotechnische Gestaltungsoptionen digitaler Arbeit ..... nach HIRSCH-KREINSEN 82
4.3 Ansätze zur Wiederverwendung von Lösungswissen ..... von Industrie 4.0 83
4.3.1 CPPS-Lösungskatalog nach NÖHRING ET AL. 83
4.3.2 Mind-Map diskutierter Technologien und Konzepte ..... nach PFOHL ET AL. 85
4.3.3 Knowledge-Map für nachhaltige Produktion ..... nach PATALAS-MALISZEWSKA ET AL. 87
4.3.4 Landkarte der BMWi Plattform Industrie 4.0 88

4.3.5 PAC Innovation Register ... 90
4.3.6 Transferprojekte des Spitzenclusters it's OWL ... 92
4.4 Lösungsmuster für Industrie 4.0 ... 93
4.4.1 Geschäftsmodellmuster nach GASSMANN ET AL. ... 94
4.4.2 74 Geschäftsmodellmuster für Industrie 4.0 ... des GEMINI-Verbundprojekts ... 96
4.4.3 Katalog mit Innovationsprinzipien der Digitalisierung ... nach ECHTERFELD ... 98
4.4.4 Musterbasierte, interdisziplinäre Zusammenarbeit ... nach BORCHERS ... 99
4.5 Bewertung und Handlungsbedarf ... 101

5 Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von ... Industrie 4.0 im Mittelstand ... 105
5.1 Der Lösungsansatz im Überblick ... 105
5.2 Strukturierungsrahmen zur soziotechnischen Gestaltung ... von Industrie 4.0 ... 107
5.3 Lösungsmuster-Erstellung ... 113
5.3.1 Best Practices Analyse ... 115
5.3.1.1 Auswahl und Analyse der Industrie 4.0 Projekte ... 115
5.3.1.2 Abstraktion der Problemstellungen ... 119
5.3.1.3 Abstraktion der Lösungen ... 124
5.3.2 Lösungsmusteridentifikation ... 128
5.3.3 Lösungsmusterpräsentation ... 133
5.3.4 Lösungsmusterkombination ... 135

6 Anwendung und Bewertung ... 149
6.1 Vorgehensmodell und Werkzeuge der Musteranwendung für ... die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand ... 149
6.2 Anwendungsbeispiel: Mittelständischer Hersteller für die ... Luft-, Klima- und Abgastechnik ... 155
6.2.1 Phase 1: Identifikation relevanter Problemklassen ... 157
6.2.2 Phase 2: Bewertung der Kombinationen und Lösungsmuster ... 159
6.2.3 Phase 3: Plausibilitätsprüfung der Musterbeziehungen ... 161
6.2.4 Phase 4: Individuelle Spezifikation der Musterumsetzung ... 164
6.3 Bewertung der Arbeit anhand der Anforderungen ... 169

7 Zusammenfassung und weiterer Forschungsbedarf ... 173

Anhang

A1 Literaturanalyse zur Ableitung des Strukturierungsrahmens A-1
A1.1 Analyse der Dimension Technik A-1
A1.2 Analyse der Dimension Organisation A-4
A1.3 Analyse der Dimension Mensch A-8

A2 Beispielhafte Projektsteckbriefe und Merkmalsmorphologien A-13

A3 Soziotechnische Problemklassen A-19

A4 Lösungsmusterkarten A-21

A5 Lösungsmusterkombinationen je Problemklasse A-52
A5.1 Auflistung A-52
A5.2 Steckbriefe A-57

A6 Herleitung der Mustersysteme A-69

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen der anwendungsorientierten Forschung am FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ENTWURFSTECHNIK MECHATRONIK IEM in Paderborn. Das zu Grunde liegende Forschungsdesign stellt die Konsortialforschung dar, sodass die Ergebnisse der Arbeit aus verschiedenen Verbundprojekten resultieren. Einen wesentlichen Beitrag haben die durchgeführten Tätigkeiten in den vom EUROPÄISCHEN FONDS FÜR REGIONALE ENTWICKLUNG NRW geförderten Projekten „INLUMIA – Instrumentarium zur Leistungssteigerung von Unternehmen durch Industrie 4.0“ sowie „SORISMA – Soziotechnisches Risikomanagement bei der Einführung von Industrie 4.0“ geleistet. Ziel des Verbundprojektes INLUMIA war ein Instrumentarium, das Unternehmen bei der Bewertung, Zieldefinition bis hin zu der Umsetzung von Industrie 4.0 unter soziotechnischen Gesichtspunkten unterstützt. An die Resultate von INLUMIA knüpfte das Verbundprojekt SORISMA an. Unternehmen wurden dazu befähigt, soziotechnische Risiken bei der zukünftigen Einführung von Industrie 4.0 zu minimieren.

Kern der Arbeit ist die Erarbeitung von *Lösungsmustern für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand*. Die Validierung des musterbasierten Ansatzes erfolgte primär im Rahmen der im Verbundprojekt INLUMIA durchgeführten Pilotprojekte mit kleinen und mittleren Industrieunternehmen. Weiterhin diente der Strukturierungsrahmen der vorliegenden Arbeit als Grundlage aller Teilprojekte von SORISMA. Darauf aufbauend wurden die Lösungsmuster in der Phase der Anwendungsfalldefinition von SORISMA eingesetzt und fortführend angepasst.

1.1 Problematik

Die Digitale Transformation steht für eine umfassende Vernetzung aller Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft sowie die Fähigkeit, relevante Informationen zu sammeln, zu analysieren und in Handlungen umzusetzen [BMW15a]. Sie wird als ein Megatrend bezeichnet, dessen Entwicklungsverlauf alle Gesellschafts- und Lebensbereiche erfassen wird [Bot18, S. 25]. Im industriellen Umfeld sind diese Auswirkungen der Digitalen Transformation mit den Handlungsfeldern Organisation, Marktleistung, Leistungserstellung sowie Geschäftsmodelle verknüpft. Im Fokus der vorliegenden Arbeit steht das Handlungsfeld der Digitalen Transformation der Leistungserstellung**.** Darunter wird die Digitalisierung der Produktionsprozesse und -systeme sowie der angrenzenden Geschäftsprozesse verstanden [LKD+19, S. 5]. Die Digitale Transformation der Leistungserstellung kann dabei mit der vierten industriellen Revolution, kurz **Industrie 4.0,** gleichgesetzt werden [DSE16, S. 266].

Die Auswirkungen im Kontext von Industrie 4.0 beziehen sich dabei nicht rein auf Technologien. Die **Gestaltung von Industrie 4.0** ist vielmehr als **soziotechnische Aufgabe** zu verstehen. Die Veränderungen von Industrie 4.0 wirken sich, neben Technologien,

ebenso auf den Menschen sowie ganze Organisationsstrukturen aus. Bei der Unterstützung der Unternehmen sind demnach gemäß der soziotechnischen Systemtheorie Lösungen gefragt, die stets technologische, organisationsbezogene und menschliche Problemstellungen in einem angemessenen Verhältnis berücksichtigen [HW14, S. 11], [Ric63, S. 181ff.], [WH18, S. 181]. Dabei kann eine Industrie 4.0 Lösung von IT-Systemen über Möglichkeiten zur Prozessanpassung bis hin zu neuen Arbeitsmodellen reichen.

Um langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben, werden sich Unternehmen des produzierenden Gewerbes nicht vor der Industrie 4.0 verschließen können. Sie bietet enormes Potential zur Gestaltung effizienterer Prozesse und die Grundlage zur Reaktion auf die Schnelllebigkeit der Märkte. Zahlreiche Studien kommen zu dem Schluss, dass sich insbesondere **mittelständisch geprägte Unternehmen** mit der **Gestaltung von Industrie 4.0** schwertun. Mangelndes Wissen oder das Überangebot an Möglichkeiten tragen dazu bei, dass die **Identifikation der zu den Problemstellungen passenden Industrie 4.0 Lösungen** zu einer der Kernherausforderungen des Mittelstands wird [DER+16, S. 35-36], [Col17, S. 26]. Doch ausschließlich die richtige Auswahl der zum Problem passenden Lösung schafft im Unternehmen nachhaltige Wertschöpfung und Wirksamkeit [VS18, S. 2]. Es ist daher erstrebenswert, mittelständische Unternehmen bei dieser Lösungsfindung geeignet zu unterstützen.

Die Basis zur Ableitung von neuen Lösungen stellt in der industriellen Praxis seit je her die Generierung, Verteilung und Verwertung von **Wissen** dar [Rau13, S. 23], [Sch14, S. 19]. Im Zeitalter der Digitalen Transformation mit stetig wachsenden Anforderungen an die schnelle Reaktionsfähigkeit von Unternehmen, wird die optimale Nutzung der Ressource Wissen immer wichtiger [Dör16, S. 57], [PRR12, S. V-3]. Dabei ist es für den Mittelstand auf Grund ihrer, u.a. aus kapazitätsgründen resultierenden, Wissenslücken von enormer Bedeutung, **wiederverwendbares (externes) Wissen** aufzunehmen und zu bewerten [Rau13, S. 23]. Sie stehen dabei jedoch oftmals vor der Herausforderung, dass das existierende **Lösungswissen** nur schwer auf ihre speziellen Bedürfnisse transferierbar ist. Demnach ist eine Unterstützung mittels geeigneter methodischer Ansätze zum Umgang mit diesem Wissen notwendig.

Ein bereits etablierter Ansatz zur Wiederverwendung von Wissen stellen Lösungsmuster dar. Ein **Lösungsmuster** externalisiert relevantes Wissen und beschreibt ein Problem sowie den Kern der Lösung für dieses Problem [AIS+77, S. 10]. Die enthaltene Lösung kann sich dabei in Abhängigkeit der Bedürfnisse des Anwenders stets unterschiedlich ausprägen [Ana15, S. 34], [AIS+77, S. 10]. Lösungsmusteransätze existieren in nahezu allen Domänen der produzierenden Industrie. Primär werden sie im Bereich des Software Engineerings eingesetzt. Bekannte Ansätze sind bspw. GAMMA ET AL. oder BUSCHMANN ET AL [GHJ+94], [BMR+13]. Weiterhin werden Lösungsmuster im Bereich der Produkt- oder Geschäftsmodellentwicklung angewendet. Hier sind u.a. die umfangreichen 55 Geschäftsmodellmuster nach GASSMANN ET AL. ein bekanntes Anwendungsbeispiel [GFC17]. Die verschiedenen Lösungsmusteransätze bieten bereits eine gute Grundlage

zur Entwicklung von Lösungsmustern, verfolgen jedoch nicht den soziotechnischen Gedanken. Sie fokussieren meist lediglich eine der technologischen, menschlichen oder organisatorischen Dimensionen. So wird bspw. primär die Technik in der Produktentstehung oder die Organisation in der Geschäftsmodellentwicklung adressiert.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass eine erfolgreiche Gestaltung von Industrie 4.0 für den Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen unabdingbar ist. Dabei scheint die Identifikation von problemspezifischen Lösungen insb. für den Mittelstand eine wesentliche Herausforderung darzustellen. Es scheint an geeignetem Wissen zu fehlen. Die Wiederverwendung von existierendem Lösungswissen mittels Lösungsmustern ist ein Ansatz, um dieser Herausforderung entgegenzuwirken. Dabei ist es im Rahmen der Industrie 4.0 von großer Bedeutung, diese als soziotechnische Aufgabe zu begreifen. Es resultiert demnach **Handlungsbedarf für Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand.**

1.2 Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit sind *Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand*. Diese sollen es Industrieunternehmen ermöglichen, von bestehendem Lösungswissen digitaler Vorreiter zu profitieren. Mit der Nutzung von Lösungsmustern werden die Unternehmen unterstützt, systematisch die für ihre Problemstellungen geeigneten Lösungen unter angemessener Berücksichtigung technologischer, organisatorischer und menschlicher Auswirkungen zu identifizieren. Der vorliegende Lösungsansatz soll sich dazu aus zwei wesentlichen Bestandteilen zusammensetzen: dem Strukturierungsrahmen zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 sowie der Lösungsmuster-Erstellung. Den Bezugsrahmen für den gesamten Ansatz spannt der **Strukturierungsrahmen zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0** auf. Er gibt die zu berücksichtigen Bestandteile der drei klassischen soziotechnischen Dimensionen Mensch, Organisation und Technik speziell für Industrie 4.0 vor. Die **Lösungsmuster-Erstellung** beinhaltet die Erarbeitung konkreter Lösungsmuster entlang der Phasen Musteridentifikation, Musterdokumentation und Musterkombination. Hierbei werden die Lösungsmuster für soziotechnische Problemstellungen induktiv aus geeigneten Best Practice-Projekten identifiziert, transparent dokumentiert und zu konsistenten Kombinationen zusammengeführt. Aus der Lösungsmuster-Erstellung sollen verschiedene strukturierte Werkzeuge resultieren, die im Rahmen einer Musteranwendung unterstützen.

1.3 Vorgehensweise

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in sieben Kapitel. In **Kapitel 2** erfolgt die Einordnung der vorliegenden Arbeit in das Forschungsdesign. Hierfür wird zunächst in die Design-orientierte Forschung eingeführt. Zudem wird der in diesem Kontext etablierte Ansatz der Design Research Methodology vorgestellt und dessen Nutzen und Limitationen

werden diskutiert. Unter Berücksichtigung dieser Limitationen eignet sich für die vorliegende Arbeit der praxisnahe Ansatz der Konsortialforschung, welcher der Design-orientierten Forschung zugeordnet wird. Dieser wird hinsichtlich seines Vorgehens und möglicher Forschungstechniken beschrieben und anschließend auf die vorliegende Arbeit angewendet. In **Kapitel 3** folgt die Analyse der dieser Arbeit zu Grunde liegenden Problematik. Hierfür werden zunächst relevante Begrifflichkeiten definiert und voneinander abgegrenzt. Betrachtungsgegenstand der Arbeit ist die Industrie 4.0, welche ein Handlungsfeld der Digitalen Transformation darstellt. Infolgedessen wird die Entwicklung hin zu dem Zeitalter der Digitalen Transformation beschrieben. Zudem werden die damit verknüpften industriellen Handlungsfelder, insb. die Leistungserstellung (Industrie 4.0), näher beleuchtet. Die Gestaltung von Industrie 4.0 hat dabei nicht nur Auswirkungen auf die technologische Dimension. Menschliche und organisatorische Aspekte eines Unternehmens sind gleichermaßen betroffen, sodass Industrie 4.0 anschließend als soziotechnische Aufgabe diskutiert wird. Im Kontext der Gestaltung von Industrie 4.0 werden die Herausforderungen speziell für den Mittelstand untersucht. Dabei wird hergeleitet, dass insbesondere fehlendes Lösungswissen eine Kernherausforderung mittelständisch geprägter Unternehmen zu sein scheint. Auf Grundlage dessen folgt eine Analyse des Erfolgsfaktors der Wiederverwendung von (Lösungs-) Wissen. Lösungsmuster als gewählter Ansatz dieser Arbeit werden nachfolgend motiviert. Die Problemanalyse erlaubt abschließend die Ableitung von Handlungsfeldern sowie Anforderungen an die Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand.

Kapitel 4 analysiert den Stand der Technik. Es werden daher Ansätze vorgestellt, die sich zur Erfüllung der formulierten Anforderungen in Kapitel 3 grundsätzlich eignen. Zunächst erfolgt die Untersuchung von allgemeinen und soziotechnischen Ansätzen zur Gestaltung von Industrie 4.0. Anschließend werden Ansätze betrachtet, welche bereits den Erfolgsfaktor der Wiederverwendung von (Lösungs-) Wissen für Industrie 4.0 einsetzen. Vor dem Hintergrund der zu erarbeitenden Lösungsmuster werden anschließend Lösungsmusteransätze im Kontext der Digitalisierung bzw. Industrie 4.0 beleuchtet. Abschließend werden die analysierten Ansätze hinsichtlich der ermittelten Anforderungen aus Kapitel 3 bewertet. Daraus resultiert Handlungsbedarf für den angestrebten Lösungsmusteransatz zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand.

Den Kern der vorliegenden Arbeit bildet **Kapitel 5**. Hier werden die Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand erarbeitet. Initial wird in diesem Kapitel ein Überblick über den musterbasierten Lösungsansatz und seine Bestandteile gegeben. Anschließend werden die einzelnen Bestandteile im Detail erläutert. Zunächst erfolgt die Vorstellung des Bezugsrahmens für den gesamten Ansatz: der Strukturierungsrahmen zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0. Anschließend folgt die Erarbeitung der Lösungsmuster. Diese werden induktiv, d.h. auf Basis erfolgreicher Beispiele, identifiziert. Daher wird eine umfangreiche Best Practice Analyse durchgeführt. Die identifizierten Lösungsmuster werden mittels strukturierter Musterkarten do-

kumentiert und anschließend zu konsistenten Kombinationen für soziotechnische Problemklassen zusammengeführt. Aus Kapitel 4 resultieren Werkzeuge zur Anwendung der Lösungsmuster in der Industrie, welche in die Validierung integriert werden.

Gegenstand von **Kapitel 6** ist die Validierung des Lösungsmusteransatzes in der Praxis. Hierfür wird ein Vorgehensmodells zur Auswahl und Anwendung der Lösungsmuster sowie hilfreiche Werkzeuge vorgestellt. Anschließend wird die Anwendung, stellvertretend für die Validierung in allen Pilotunternehmen von INLUMIA sowie weiteren interessierten Unternehmen, in einem KMU beschrieben. Im Rahmen des Anwendungsbeispiels wird die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 in einem Unternehmen der Luft-, Klima- und Abgastechnik fokussiert. Durch die Resultate können die aufgestellten Anforderungen erfolgreich validiert und die Industrierelevanz herausgestellt werden.

In **Kapitel 7** werden die wesentlichen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zusammengefasst. Zudem werden zukünftige Forschungsfelder im Kontext von Lösungsmustern für die Digitale Transformation erörtert. Ergänzende Informationen zur Problemanalyse, zum Stand der Technik und zum musterbasierten Lösungsansatz sind im **Anhang** beigefügt.

2 Forschungsdesign

In dem folgenden Kapitel wird das der Arbeit zu Grunde liegende Forschungsdesign hergeleitet. Hierfür wird in *Abschnitt 2.1* zunächst die Design-orientierte Forschung, als Basis der vorliegenden Arbeit, im Allgemeinen vorgestellt und die Design Research Methodology dargestellt. Der Nutzen und die Herausforderungen werden abgeleitet. Da die Resultate der vorliegenden Arbeit im Zuge der Verbundprojekte INLUMIA sowie SORISMA (vgl. Kapitel 1) entstanden sind, ordnet sich diese in die Konsortialforschung ein. In *Abschnitt 2.2* folgt daher die Vorstellung der Konsortialforschung als praxisnahe Möglichkeit der Design-orientierten Forschung. Die darin enthaltene Forschungsmethode sowie zugeordnete Techniken werden erläutert. Die konkrete Anwendung der Konsortialforschung auf die vorliegende Arbeit wird in *Abschnitt 2.3* beschrieben. Am Konsortium beteiligte Rollen, verwendete Techniken und Daten werden dargestellt.

2.1 Design-orientierte Forschung

In *Abschnitt 2.1* wird auf die in den Ingenieurswissenschaften etablierte Forschungsdomäne des Design-orientierten Ansatzes eingegangen. Hierbei wird häufig die englische Bezeichnung „Design Research“ verwendet. In *Abschnitt 2.1.1* wird Design Research definiert. *Abschnitt 2.1.2* adressiert die im Design Research weit verbreitete Forschungsmethode „Design Research Methodology“. Der Vorteil sowie Limitationen der Design Research Methodology werden in *Abschnitt 2.1.3* diskutiert.

2.1.1 Design Research im Überblick

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Lösung spezifischer Problemstellung in Form von Forschungsfragen bzgl. der soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0. Die Problemlösung mit der Erstellung von zweckmäßigen Artefakten wird in diesem Kontext als Design verstanden. **Design** kann demnach als die iterative Umwandlung eines unerwünschten Problemzustands (Problemraum) in einen gewünschten Lösungszustand (Lösungsraum) durch den Einsatz von Artefakten definiert werden [MGO20, S. 208]. Ein Artefakt kann dabei, vor dem Hintergrund der Arbeit, bspw. ein Produkt, eine Produktidee, eine Technologie bis hin zu dessen Realisierungsmethode entlang des gesamten Lebenszyklus sein [BC09, S. 1ff.]. Der Auslöser eines Design-Prozesses kann über verschiedene Kanäle erfolgen. Beispiele sind marktseitige Impulse wie Kundenbedürfnisse oder der Wettbewerb sowie interne Bedürfnisse wie Kostenreduzierungen oder Forschungsergebnisse [BC09, S. 1]. Innerhalb des Design-Prozesses generiert der Designer Designwissen über die Entwicklung und Beschaffenheit der Artefakte, welches vollumfänglich dokumentiert wird und eine Wissensbasis darstellen soll [MGO20, S. 208].

Wesentliches Ziel von **Design Research** ist es, Designwissen zu akkumulieren und verfügbar zu machen. Hierdurch soll das Wissen verallgemeinert und in mehreren Fällen

wiederverwendet werden können [MGO20, S. 208]. Es existiert keine einheitliche Definition von Design Research – über die erfahrungsbasierte, intellektuelle sowie experimentelle Entstehungs-Phase haben sich je nach Perspektive unterschiedliche Interpretationen von Design Research herauskristallisiert [BC09, S. 3ff.]. Nachfolgend wird der Definition nach BLESSING UND CHAKRABARTI gefolgt, welche Design Research als die Entwicklung von Verständnis und Unterstützung verstehen, um Design effektiver und effizienter zu gestalten. Darauf basierend hat Design Research zwei Ziele [BC09, S. 5]:

1) Die Formulierung und Validierung von Modellen und Theorien über Design mit all seinen Facetten (Menschen, Produkt, Wissen/Methoden/Werkzeuge, Organisation, Mikroökonomie und Makroökonomie).

2) Die Entwicklung und Validierung von Unterstützungsmaßnahmen auf der Grundlage dieser Modelle und Theorien, um Design im Sinne des Ergebnisses und des Prozesses zu verbessern.

Im Kontext der Arbeit kann das Design demnach als die Lösung offener Handlungsfelder im Kontext der soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 durch die Entwicklung von Lösungsmustern verstanden werden. Mit Design Research wird ein Verständnis über die die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand, die Wiederverwendung von Wissen bis hin zu dem Einsatz von Lösungsmustern antizipiert. Weiterhin ist die effiziente und effektive Entwicklung der Lösungsmuster sowie ihre Validierung in der Praxis mittels geeigneter Werkzeuge Ziel der Arbeit.

Die Durchführung von Design Research Projekten orientiert sich nach HEVNER an einem 3-Zyklen-Modell [Hev07, S. 88] (vgl. Bild 2.1).

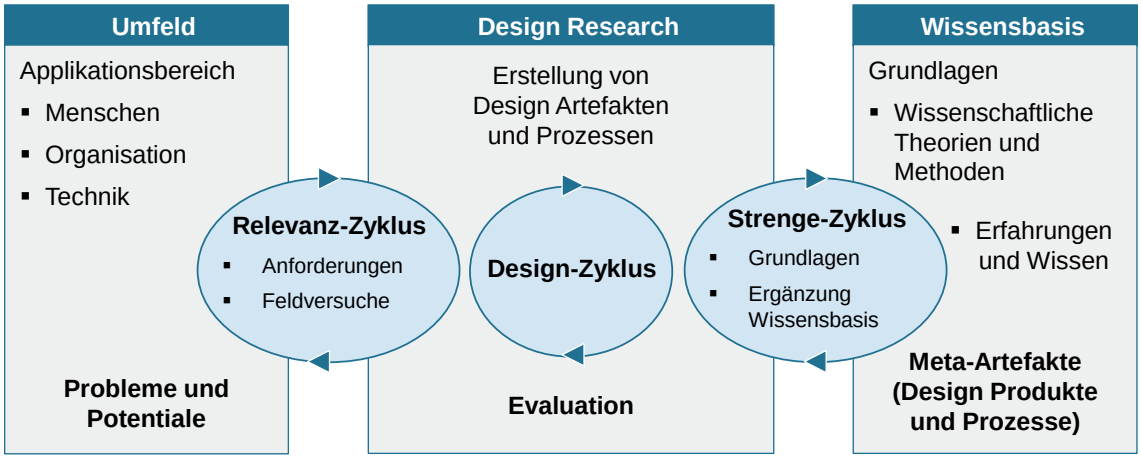


Bild 2.1: Das 3-Zyklen-Modell von Design Research Projekten nach HEVNER

Bei den Zyklen handelt es sich um den Relevanz-, Design- sowie Strenge-Zyklus, welche eng miteinander verzahnt sind. Der **Relevanz-Zyklus** bringt Anforderungen aus dem kontextuellen Umfeld in die Forschung ein und definiert Akzeptanzkriterien zur Evaluation der Forschungsergebnisse. Das Umfeld bezieht sich dabei auf den Anwenderkontext und kann bspw. den Menschen, die Organisation oder die Technik adressieren. Weiterhin

werden die Forschungsartefakte durch bspw. Feldversuche in das Umfeld zurückgeführt. Die Ergebnisse der Feldversuche zeigen, inwieweit Iterationen des Relevanz-Zyklus im Design Research Projekt erforderlich sind [Hev07, S. 88f.].
Der **Design Zyklus** ist der Kern eines Design Research Projekts. Hierbei erfolgen Iterationen zwischen der Erstellung des Artefakts, dessen Evaluation und dem kontinuierlichen Feedback zur Verbesserung des Designprozesses. Die Anforderungen, mit denen das Design stetig abgeglichen wird, entstammen dabei aus dem Relevanz-Zyklus [Hev07, S. 90f.].
Die Methoden und Theorien zur Evaluation und dem Design im Rahmen des Design-Zyklus werden in dem **Strenge-Zyklus** hergeleitet. Er stellt die Wissensbasis mit verschiedenen Arten von Wissen dar: dem Erfahrungs- und Expertenwissen, welche den Status Quo der Anwendungsdomäne repräsentieren sowie Wissen über existierende Artefakte und Prozesse der Anwendungsdomäne. Durch die Analyse der bestehenden Wissensbasis wird der Innovationscharakter des Forschungsprojekts sichergestellt. Gleichzeitig wird in dem Zyklus die Fähigkeit des Designers gefördert, geeignete Theorien und Methoden einzubringen [Hev07, S. 89f.].

Zusammenfassend ist es die Synergie zwischen Relevanz und Strenge sowie dem entsprechenden Input aus dem Relevanz- und Strenge-Zyklus, die ein gutes Design Research Projekt ausmachen [Hev07, S. 91]. Um diese Synergien sicherzustellen, ist jedoch ein methodisches Vorgehen erforderlich. Laut BLESSING UND CHAKRABARTI ist es die Methode, die die Wissenschaftlichkeit in den Forschungsbeiträgen sicherstellt [BC09, S. 9]. Aus diesem Bedarf ist die sog. „Design Research Methodology“ entstanden, welche im Folgenden näher vorgestellt wird.

2.1.2 Design Research Methodology

Gegenwärtig bildet die Design Research Methodology einen der umfassendsten Standards für Design-orientierte Forschung in Ingenieursdisziplinen [ÖO10, S. 274]. Sie ist speziell auf Design Research und dessen Eigenschaften ausgerichtet, was eine Lücke anderer Forschungsmethoden schließen soll [BC09, S. 12]. Alternativen stellen bspw. das Forschungsrahmenwerk und die Methode nach DUFFY ET AL. sowie die Soft Systems Methodology nach CHECKLAND dar [DO98], [CS99]. Die von BLESSING ET AL. entwickelte Methodik wird als ein Rahmenwerk definiert, welches in der Durchführung von Design Research eine Reihe von unterstützenden Methoden und Richtlinien liefert. Hierdurch soll auf die Ziele von Design Research (Formulierung und Validierung von Modellen und Theorien über Design; Entwicklung und Validierung von Unterstützungsmaßnahmen zur Prozessverbesserung) eingezahlt werden [BC09, S. 9].

Die Design Research Methodology gliedert sich in vier Phasen: Klärung der Forschungsfrage, deskriptive Studie 1, präskriptive Studie sowie deskriptive Studie 2 [BC09, S. 15] (vgl. Bild 2.2). Diese werden im Folgenden kurz beschrieben.

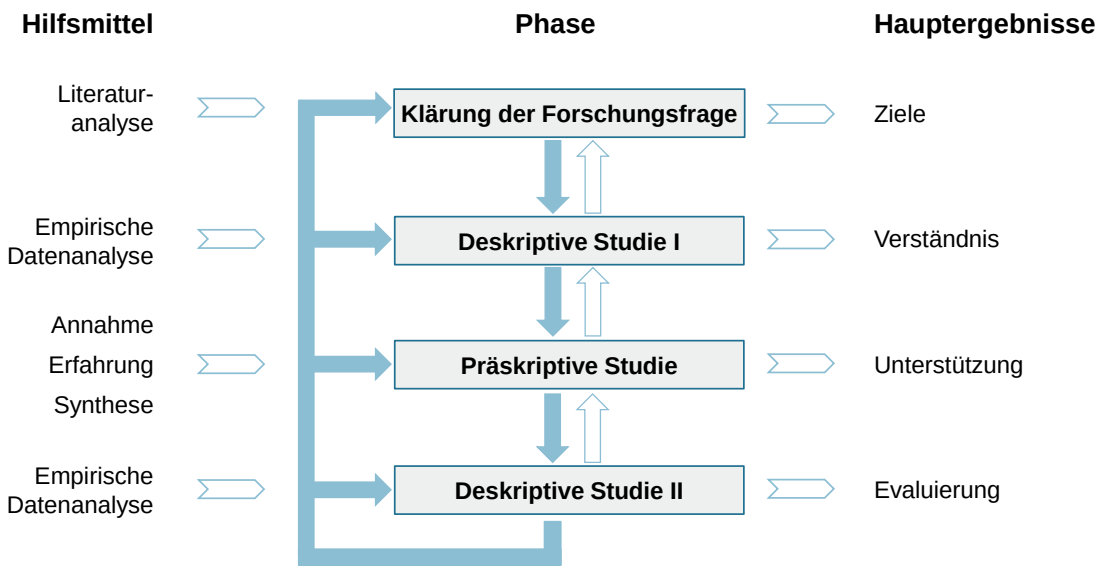


Bild 2.2: Rahmenwerk der Design Research Methodology nach BLESSING ET AL.

Phase 1: Klärung der Forschungsfrage

In Phase 1 der Design Research Methodology wird versucht, Beweise oder Hinweise für ein realistisches und lohnendes Forschungsziel zu ermitteln. Hilfreich sind hierbei Literaturrecherchen. Darauf aufbauend wird die derzeitige Situation sowie die gewünschte Situation hinsichtlich der Forschungsfrage abgeleitet. Anschließend werden Anforderungen definiert, welche den Erfolg der Forschung messbar machen [BC09, S. 15].

Phase 2: Deskriptive Studie 1

In der zweiten Phase soll das Verständnis bzgl. der derzeitigen Situation gestärkt werden, sodass ein Problemfokus gesetzt werden kann. Hierdurch wird ermöglicht, dass die weitere Forschungsarbeit so effizient und effektiv wie möglich gestaltet wird. Eine empirische Studie kann die zweite Phase unterstützen, bspw. in Form einer Befragung anderer wissenschaftlicher Personen in dem Themenfeld, Beobachtungen oder Dokumentensichtungen [BC09, S. 15f., S.75ff.].

Phase 3: Präskriptive Studie

Auf Basis des gestärkten Verständnisses aus Phase 2 wird in der präskriptiven Studie die gewünschte Situation erneut analysiert. Es resultiert eine klare Vision über die Zielsituation. Es wird anschließend ein Lösungsansatz abgeleitet, der den Weg von der Problemstellung hin zu der gewünschten Situation unterstützt. Dies wird durch gesammelte Erfahrungen aus den vorherigen Phasen ermöglicht [BC09, S. 16].

Phase 4: Deskriptive Studie 2

In der vierten Phase der Design Research Methodology wird erneut eine deskriptive Studie angesetzt. Ziel ist es, den Beitrag des Lösungsansatzes zu der zuvor definierten gewünschten Situation zu untersuchen. Hierfür werden zwei empirische Studien empfohlen. Die erste Studie zur Bewertung der Anwendbarkeit der Lösung. Die zweite Studie zur

Bewertung des Nutzens der Lösung auf Basis der in Phase 1 abgeleiteten Anforderungen. Zur Durchführung der Studien wird dabei erneut auf empirische Daten zurückgegriffen [BC09, S. 16f.].

Die vier Phasen der Design Research Methodology sind nicht zwingend alle bzw. nicht gleich detailliert zu durchlaufen. Dies ist abhängig von dem verfügbaren Forschungsmaterial je Phase oder von Zeitrestriktionen des Projekts. Hierdurch lassen sich sieben unterschiedliche Typen zur Bearbeitung der Methodik unterscheiden (vgl. Bild 2.3).

Klärung der Forschungsfrage	Deskriptive Studie 1	Präskriptive Studie	Deskriptive Studie 2
1. Literaturbasiert →	Umfassend	-	-
2. Literaturbasiert →	Umfassend →	Initial	-
3. Literaturbasiert →	Literaturbasiert →	Umfassend →	Initial
4. Literaturbasiert →	Literaturbasiert →	Literaturbas./ Initial/ Umfassend →	Umfassend
5. Literaturbasiert →	Umfassend →	Umfassend →	Initial
6. Literaturbasiert →	Literaturbasiert →	Umfassend →	Umfassend
7. Literaturbasiert →	Umfassend →	Umfassend →	Umfassend

Bild 2.3: Typen der Bearbeitung der Design Research Methodology

Allen Typen gemein ist die Klärung der Forschungsfrage mit Hilfe einer Literaturanalyse. Die weiteren Phasen der Design Research Methodology können ebenfalls literaturbasiert, umfassend oder initial bearbeitet werden [BC09, S. 18]. Umfassend steht hierbei neben der Untersuchung der Literatur für die eigenständige Produktion von Ergebnissen (z.B. empirische Studien oder Hilfsmittel) durch den Designer. Eine initiale Bearbeitung liegt vor, wenn eine Studie lediglich zum Aufzeigen relevanter Konsequenzen führt. Für die Bearbeitung von Promotionsvorhaben werden die Typen 1-4 empfohlen [BC09, S. 18f.].

2.1.3 Nutzen und Limitationen der Design Research Methodology

Die Design Research Methodology hat sich insb. in den Wirtschaftswissenschaften als Forschungsmethode etabliert. Insgesamt bietet die Methode verschiedene Vorteile. Als Rahmenwerk erlaubt und unterstützt die Design Research Methodology bspw. die Anwendung von disziplinspezifischen Methoden [BC09, S. 9]. Weiterhin wird die Ausgestaltung der einzelnen Phasen und Tätigkeiten wie die Erzeugung und die Auswertung des Artefakts, der Einsatz von Ressourcen und die Einspeisung in das Umfeld und in die Wissensbasis weitestgehend offengehalten. Hierdurch wird eine Flexibilität der Methode

gewährleistet [Fra17, S. 111]. Gleichzeitig wird die Planung des Design Research Projekts mit den festgelegten Phasen vereinfacht und das Potential für valide und wertvolle Forschungsergebnisse wird gesteigert [BC09, S. 11]. Wissenschaftliche Voraussetzungen wie Strenge und Relevanz werden stets in die Design Research Methodology integriert.

Insgesamt liegt eine Stärke von Design Research bereits in der Praxisnähe, indem über wissenschaftliche Beiträge Problemstellungen in der Praxis untersucht werden [BKS20, S. 5]. Um zum einen Probleme aus der Praxis zu identifizieren und zu beschreiben, ist der Zugang zum Wissen in der Praxis unabdingbar. Die Design Research Methodology liefert jedoch kaum Leitlinien, wie dieser Zugang ermöglicht und gewährleistet werden kann [ÖO10, S. 273]. Zum anderen handelt es sich bei Themenfeldern wie Industrie 4.0 bzw. den Domänen der Ingenieurs- oder Wirtschaftsinformatik um Untersuchungsgegenstände, die selten rein formal beweisbar sind. Vielmehr findet Forschung und Innovation in der Praxis statt und basiert auf Expertenwissen von bspw. Anwenderunternehmen. Diese kennen den Stand der Wissenschaft und Praxis und können Annahmen auch auf Basis von Implementierungsfaktoren wie dem Markterfolg belegen [ÖBF+10, S. 6], [ÖO10, S. 273]. Ziel von Forschungsbeiträgen im Kontext Industrie 4.0 sollte es daher sein, auf das umfangreiche Wissen in der Praxis zuzugreifen und dieses in der Forschung zu berücksichtigen.

Die Kooperation zwischen Hochschulen und der Industrie gilt es resultierend zu intensivieren. Die Design Research Methodology als Forschungsmethode liefert keine explizite Unterstützung des Wissenstransfers zwischen Forschung und Praxis, wodurch die Gestaltung von Artefakten erschwert wird. Aus diesem Grund haben ÖSTERLE ET AL. den Ansatz des Design Research hinsichtlich der Konsortialforschung erweitert. Mit der Forschungsmethode der Konsortialforschung soll die Lücke der Design Research Methodology bzgl. des Praxiszugangs geschlossen werden [ÖO10, S. 274]. Der vielversprechende Ansatz wird im Folgenden erläutert.

2.2 Konsortialforschung als praxisnaher Ansatz Design-orientierter Forschung

Mit der Konsortialforschung wird das Ziel verfolgt, praxisrelevante Forschung durch die Beteiligung der Industrie in einem Design Research Projekt zu ermöglichen. Konsortialforschung wird seit über zwanzig Jahren, bspw. an der Universität St. Gallen im Rahmen des Forschungsprogramms Business Engineering, erforscht und modifiziert. Hieraus hat sich die Forschungsmethode der Konsortialforschung nach ÖSTERLE ET AL. entwickelt. Mit dieser wird versucht, den Wissensstand sowohl aus der Wissenschaft als auch der Praxis in die Design-orientierte Forschung zu integrieren. Es werden folgende Teilziele definiert [ÖO10, S. 276]:

- **Beteiligung der Praxis** in das Forschungsvorhaben, insb. bei der Definition der Forschungsziele und der Evaluation der Ergebnisse, sodass **praxisrelevante Forschung** betrieben wird.

- Teilnehmende Partnerunternehmen sollen in Form von Zeit und Budget **eine Ressourcenverfügbarkeit** zur Durchführung der Forschungsaktivitäten sicherstellen. Hierfür ist eine Zeitspanne von mindestens zwei Jahren festzulegen.
- **Berücksichtigung der Anforderungen wissenschaftlicher Strenge**, z.B. indem Iterationen von Forschungsaktivitäten durchgeführt werden und mit mehreren Partnerunternehmen gleichzeitig zusammengearbeitet wird.
- Integration eines **Breitentransfers** der Forschungsergebnisse sowohl in der Wissenschaft als auch in der Praxis.

Um den Wissenstransfer zwischen Wissenschaft und Praxis in einem Themenfeld von gemeinsamem Interesse zu intensivieren, schlägt die Methode zur Konsortialforschung Leitlinien für die Zusammenarbeit von Forschung und Praxis bei der Gestaltung von Artefakten vor [ÖO10, S. 274]. Sie folgt den Prinzipien des sog. „Method Engineering“, sodass sie die Bestandteile Domäne, Metamodell, Ergebnisse, Phasen und Aktivitäten, Techniken sowie Rollen enthält [ÖO10, S. 276]. Die **Domäne** beschreibt das Forschungsthema bzw. den Gegenstand der Forschung. Das **Metamodell** ist das konzeptionelle Modell der Methodenergebnisse und spezifiziert die Gestaltungsobjekte, bspw. in Form eines Datenmodells. Hinsichtlich der **Ergebnisse** können zwei Arten unterschieden werden – Artefakte wie Konstrukte oder Methoden sowie Formalergebnisse wie Forschungspläne. Die **Phasen und Aktivitäten** der Forschungsmethode Konsortialforschung gliedern sich in Analyse, Gestaltung, Evaluation und Diffusion (s.u.). Um diese Phasen zu erfüllen, werden verschiedene deskriptive **Forschungstechniken** vorgeschlagen. Die Forschungstechniken orientieren sich dabei an dem SECI-Modell der Wissensumwandlung (vgl. Abschnitt 3.5.3). Bild 2.4 zeigt einen Ausschnitt der möglichen Techniken.

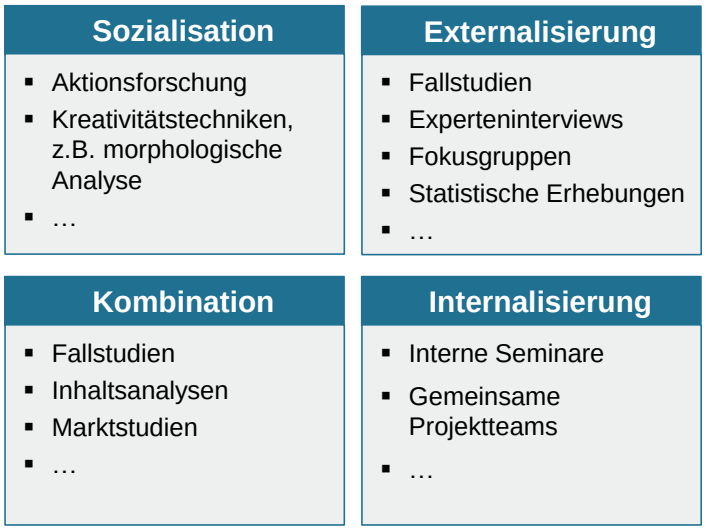


Bild 2.4: Forschungstechniken der Konsortialforschung (Ausschnitt)

In der Konsortialforschung werden weiterhin **Rollen** für die Forschungs- und Praxispartner definiert. Beispielhafte Rollen auf Seiten der Partnerunternehmen sind Fachex-

perte oder Mitglied des Steuerungskreises. Rollen der Forschungspartner können Projektmanager oder wissenschaftliche/r Assistent/in sein. Ein Konsortialforschungsprojekt besteht aus mindestens drei Partnerunternehmen mit jeweils zwei Vertretern [ÖO10, S. 276ff.]. Das Gesamtkonzept der Forschungsmethode Konsortialforschung zeigt Bild 2.5. Die einzelnen Phasen werden nachfolgend erläutert.

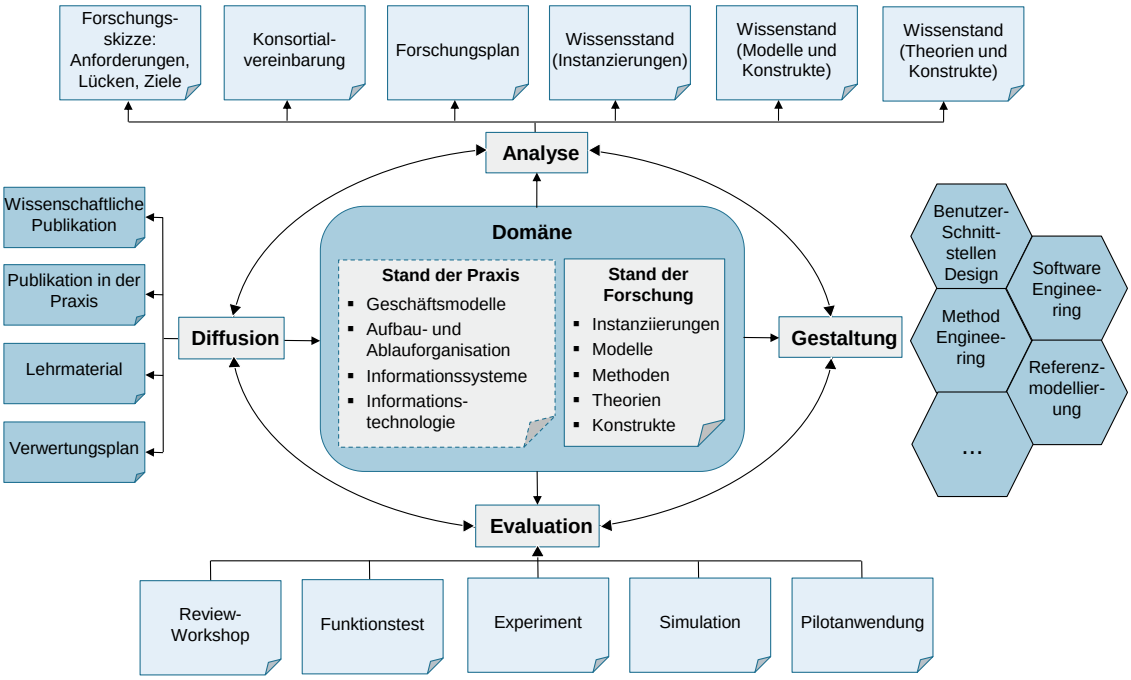


Bild 2.5: Gesamtkonzept der Forschungsmethode Konsortialforschung

Die Phasen der Konsortial-Forschungsmethode orientieren sich im Wesentlichen an der Design Research Methodology (DRM). Vereinzelte Aktivitäten werden jedoch zusammengefasst.

Phase 1: Analyse

Die Analysephase fusioniert die Aktivitäten „Problemidentifikation und Motivation“ sowie „Zieldefinition der Lösung“ der DRM. Sie stellt einen heuristischen Prozess für die Auswahl eines Forschungsthemas dar. Ergebnis dieser Phase ist ein Forschungsplan, welcher von allen Konsortialpartnern getragen und iterativ diskutiert wird. Der Forschungsplan fasst die Bedürfnisse der Partner, die Ziele sowie Konditionen des Projekts zusammen. Zudem werden in der Analysephase die zu Grunde liegende Problemstellung und der Stand der Forschung sowie der Stand der Praxis (über Instanziierungen, Modelle, Methoden, Theorien und Konstrukte) analysiert. Daraus werden Forschungsziele und Evaluationskriterien abgeleitet, geeignete Partner identifiziert sowie Forschungslücken ermittelt [ÖO10, S. 279].

Phase 2: Gestaltung

Wie in der DRM, adressiert die zweite Phase die Gestaltung und Entwicklung von Artefakten. Hierbei wird in der Konsortialforschung intensiv mit Praxispartnern zusammengearbeitet. Über einen iterativen Prozess werden die Artefakte gemeinsam unter Berücksichtigung bestehender Ansätze gestaltet und evaluiert. Bei Bedarf erfolgt eine Anpassung der Artefakte. Zudem werden die Artefakte im Konsortium auf Relevanz geprüft und der Lösungsraum ggf. reduziert [ÖO10, S. 279].

Phase 3: Evaluation

Die Evaluationsphase ist erneut eine Zusammenfassung zweier Aktivitäten der DRM. Die „Demonstration“ sowie „Evaluation“ werden hierbei gebündelt. Die in der Gestaltungsphase entwickelten Artefakte werden im Rahmen der Phase 3 bewertet. Hierfür werden die Forschungsziele genutzt. Üblicherweise erfolgt die Evaluation der Artefakte im Rahmen der Konsortialforschung über Expertenbefragungen in Fokusgruppen-Workshops oder Pilotanwendungen von mindestens einem Partnerunternehmen [ÖO10, S. 279].

Phase 4: Diffusion

Die Kommunikation der verallgemeinerten Forschungsergebnisse in die Breite wird in der vierten Phase der Konsortialforschung fokussiert. Auf Seiten der Forschungspartner können bspw. Vorlesungen an Hochschulen, Publikationen in Büchern oder Fachartikel erstellt werden. In der Praxis adressiert die vierte Phase u.a. die Diffusion der Forschungsergebnisse innerhalb der einzelnen Partnerunternehmen auf Basis eines Verwertungsplans. Zudem erfolgt die Veröffentlichung der Ergebnisse über Praxis- und Transfermedien [ÖO10, S. 279f.].

Diskussion

Mit dem Durchlauf der vier Phasen der Konsortialforschung sowie der Berücksichtigung des dahinterliegenden Gesamtkonzepts, ist eine praxisnahe Erweiterung des Design Research Ansatzes möglich. Dabei ist die Möglichkeit der Aggregation und Kombination des Wissens vieler Partner ein entscheidender Vorteil. Die Konsortialforschung ist dabei nicht als Universalansatz für jegliche Forschungsfelder zu verstehen. Doch insbesondere die Forschung in Themenfeldern wie Industrie 4.0, welche in produzierenden Unternehmen Anwendung findet, profitiert von der Integration von Praxispartnern. So kann zum einen gewährleistet werden, dass der Zugriff auf das relevante Expertenwissen der Unternehmen erfolgt. Zum anderen, dass die Forschungsergebnisse praxistauglich und anwendbar sind. Grenzen der Konsortialforschung sind erreicht, wenn ein hoher Grad an branchen- oder unternehmensspezifischem Wissen erforderlich ist oder wenn Forschungsthemen für die Praxis als hoch wettbewerbsrelevant eingestuft werden. Zudem sind in der Planung des Konsortiums frühzeitig möglichen Herausforderungen wie unterschiedliche Erwartungshaltungen oder fehlende Bereitschaft zur Offenlegung der Ergebnisse zu begegnen [ÖO10, S. 281f.].

2.3 Einordnung und Vorgehen in der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist im Wesentlichen im Rahmen des geförderten Forschungs-Verbundprojekts „Instrumentarium zur Leistungssteigerung von Unternehmen durch Industrie 4.0“ (INLUMIA)[1] entstanden. Über eine Laufzeit von drei Jahren (07/2016 – 07/2019) wurde gemeinsam mit vier Pilotanwendern, zwei Befähigerunternehmen sowie drei Forschungseinrichtungen das Ziel eines Instrumentariums verfolgt, mit dem der Mittelstand die Potentiale von Industrie 4.0 individuell einschätzen, geeignete Lösungen identifizieren und die für sie relevanten Maßnahmen ableiten kann. Dabei wurde Industrie 4.0 stets als soziotechnische Aufgabe betrachtet (vgl. Abschnitt 3.3). Das Arbeitsprogramm des Konsortialprojekts zeigt Bild 2.6.

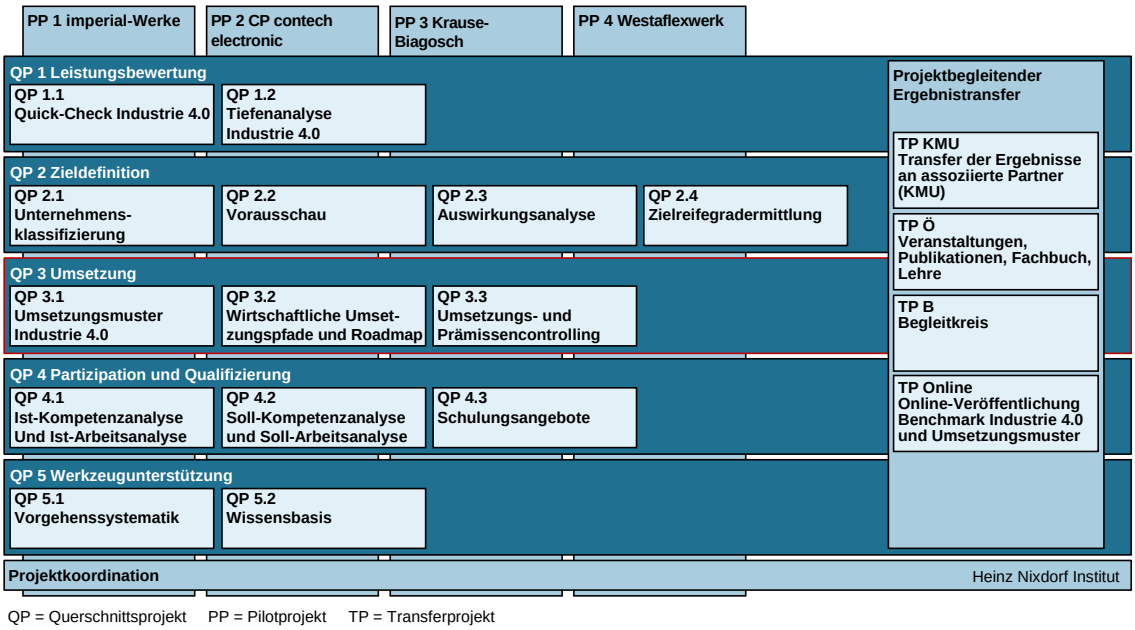


Bild 2.6: Arbeitsprogramm und Ziele von INLUMIA

Ein zu entwickelndes Artefakt im Verlauf des Verbundprojekts waren Lösungsmuster für Industrie 4.0 (Querschnittsprojekt 3). Diese Teilaufgabe bildet eine relevante Grundlage zur Erarbeitung der Forschungsergebnisse der vorliegenden Arbeit. Daher ist das Promotionsvorhaben in die Forschungsmethode Konsortialforschung einzuordnen. Die einzelnen Bestandteile des Gesamtkonzepts werden im Folgenden hinsichtlich der vorliegenden Arbeit erläutert.

Domäne

Die Kerndomäne der Forschungsarbeit bildet das Paradigma Industrie 4.0 (vgl. Abschnitt 3.2.2). Konkret wird die *soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0* (vgl. Abschnitt 3.3) unter der Nutzung wiederverwendbaren Wissens (vgl. Abschnitt 3.5) adressiert. Das zu

[1] Das Projekt wurde unter anderem aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung NRW (EFRE.NRW) gefördert.

untersuchende Umfeld bilden mittelständisch geprägte Unternehmen der produzierenden Industrie in Deutschland. In diesem ist der Stand der Forschung sowie der Stand der Praxis zu analysieren.

Metamodell

Das Metamodell spezifiziert die Gestaltungsobjekte der Forschungsarbeit. Als Gestaltungsobjekte können Artefakte, ihre wichtigsten Beziehungen oder Evaluationsergebnisse definiert werden [ÖO10, S. 278]. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit bildet das Konzept zur Erstellung von *Lösungsmustern für die soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand* das Metamodell der Forschungsarbeit. Einzelne Gestaltungsobjekte sind ein Strukturierungsrahmen bzgl. der soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0, der Erstellungsprozess von Lösungsmustern und die Lösungsmuster selbst sowie unterstützende Werkzeuge (vgl. Abschnitt 5.1).

Ergebnisse

Kernergebnis der vorliegenden Arbeit sind die Artefakte. D.h. die *Lösungsmuster* zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand (vgl. Kapitel 5). Hierfür werden *Teilergebnisse* wie das *Referenzmodell zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0, abstrahierte Best Practices, ein Präsentationsschema der Muster sowie Werkzeuge* zur nutzenstiftenden Anwendung der Muster erzeugt. Auf Seiten der Formalergebnisse wurde zu Beginn der Konsortialforschung eine im Verbund abgestimmte Projektskizze, u.a. mit Meilensteinen und Abbruchkriterien, definiert.

Rollen

Im Rahmen von INLUMIA wurden verschiedene Rollen definiert. Die Partner werden in Forschungs-, Befähigungs-, Pilot- sowie assoziierte Partner unterschieden (vgl. Bild 2.7).

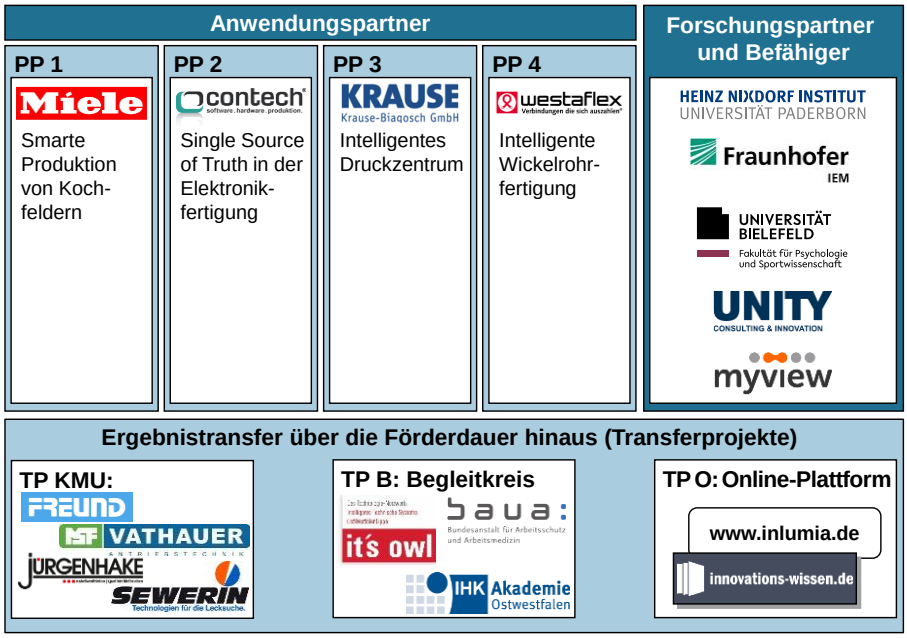


Bild 2.7: Übersicht des Konsortiums von INLUMIA

Die Forschungs- und Befähigungspartner waren gemeinsam verantwortlich für die Erarbeitung der Forschungsergebnisse innerhalb der Querschnittsprojekte. Die **UNITY AG** als Befähigerunternehmen übernahm die Hauptverantwortung des Querschnittsprojekts (QP) 1, der Leistungsbewertung. Die Zieldefinition (QP2) wurde maßgeblich von dem **Heinz Nixdorf Institut** geleitet. Das QP3 Umsetzung wurde hauptverantwortlich von dem **Fraunhofer IEM** getrieben. Die Federführung des Querschnittprojekts 4, Partizipation und Qualifizierung, hat die **Universität Bielefeld** übernommen. Der Aufbau der Werkzeugunterstützung (QP5) lag im Wesentlichen bei der **myview**. Die mittelständisch geprägten Pilotpartner verschiedener Branchen und Größen (**CP contech, imperial/Miele, Krause Biagosch sowie westaflex**) waren als Anwenderunternehmen in dem Verbundprojekt aktiv. Sie haben zum einen die inhaltliche Erarbeitung der Querschnittsprojekte mit ihrem Praxiswissen ergänzt und die Forschungsergebnisse in verschiedenen Workshops und Regelterminen gesichtet und geprüft. Hierdurch sind Iterationsschleifen hinsichtlich der Ergebnisse entstanden. Zudem hat jeder Pilotpartner gemeinsam mit dem Forschungsteam einen individuellen Use Case bearbeitet, in dem die Ergebnisse auf die Praxistauglichkeit sowie einen nutzenstiftenden Beitrag untersucht wurden. Je Pilotpartner wurden mindestens zwei Projektmitarbeitende definiert. Dabei sind je nach Use Case verschiedene Hierarchiestufen (von dem Maschinenführer bis zur Geschäftsführung) in das Projekt integriert worden. Ziel war u.a. die Evaluation (Phase 3) der entstandenen Artefakte in den einzelnen Querschnittsprojekten. Tabelle 2.1 zeigt eine Übersicht der integrierten Pilotpartner und Projektmitarbeitenden.

Tabelle 2.1: Übersicht der Pilotpartner

Pilotpartner	Branche	Größe[2]	Rollen der Experten
Imperial-Werke oHG (100%ige Tochter der Miele & Cie. KG)	Weiße Ware (Dampfgarer, Kochfelder, Wärmeschubladen)	800	Strategische Planung, Projektmanagement, Produktionsingenieure
CP Contech electronic GmbH	Elektronikindustrie (Leiterplatten)	36	Geschäftsführung und Assistenz
Krause-Biagosch GmbH	Grafische Industrie (Druckmaschinen)	56	Technische Leitung, Entwicklungsingenieure
Westaflexwerk GmbH	Klima- und Abgastechnologie (Wickelrohre)	130	Leitung und Team Forschung & Entwicklung

Zur Evaluation der Ergebnisse wurden zudem assoziierte, d.h. nicht geförderte, Unternehmenspartner in das Verbundprojekt integriert. Dabei handelte es sich um **Freund Maschinenfabrik, MSF Vathauer, Jürgenhake sowie Sewerin**, welche mit einer Absichtserklärung ihre Bereitschaft zur Durchführung gemeinsamer Workshops an geeigneten

[2] Die Unternehmensgröße bezieht sich auf den Durchführungszeitraum von INLUMA (2016 – 2019)

Stellen erklärt haben. Zur Diffusion der Ergebnisse wurden weiterhin verschiedene Netzwerke als assoziierte Partner gewonnen. So wurden gemeinsam mit dem **Spitzencluster it's OWL, der IHK Akademie Ostwestfalen sowie der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin** Veranstaltungen zum Breitentransfer der Forschungsergebnisse initiiert.

Neben den inhaltlich orientierten Rollen wurden für das Verbundprojekt organisatorisch-orientierte Rollen definiert. Die **Koordination des Gesamtprojekts** obliegte Herrn Prof. Gausemeier, Heinz Nixdorf Institut. Als **Konsortialsprecher** wurde Herr Dr.-Ing. Christian Hensen, Geschäftsführer CP contech, benannt. Die Projektkoordination überwachte den Arbeitsfortschritt und repräsentierte das Gesamtprojekt nach außen. Die Koordination zwischen den Querschnitts-, Pilot- und Transferprojekten erfolgte ebenfalls durch den Projektkoordinator. Die inhaltliche Abstimmung der Teilprojekte erfolgte auf vierteljährlich organisierten Treffen, bei denen sich die Mitarbeitenden über den Projektfortschritt austauschten. Ferner wurde ein **Lenkungskreis** gebildet. Er kam halbjährlich zusammen. Ihm gehörten Entscheider bzw. Entscheiderinnen der Projektpartner an (Vorsitz: Dr.-Ing. Hensen, CP contech).

Die Zusammenarbeit in dem Verbundprojekt wurde formal in einem Kooperationsvertrag geregelt und durch Absichtserklärungen der einzelnen Partner bestätigt. Zudem wurden die Rollen, inhaltlichen Ziele, der Budget- und Zeitplan, die zu erwartende Verwertung der Ergebnisse, etc. mittels einer Projektskizze verschriftlicht.

Phasen, Aktivitäten und Forschungstechniken

Die Forschungsarbeit der vorliegenden Arbeit wurde entlang der vier Phasen der Konsortialforschung durchgeführt. Die Phasen wurden dabei für jedes Querschnittsprojekt des Verbundprojekts INLUMIA iterativ durchlaufen. Die Vorstellung der Aktivitäten und Forschungstechniken beziehen sich im Folgenden auf das Querschnittsprojekt 3 – Umsetzung, in welches die Erarbeitung der *Lösungsmuster für die soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand* einzuordnen ist. Für die vorliegende Arbeit wurden einzelne Aktivitäten außerhalb des Verbundprojekts intensiviert und ergänzt. Die vier Phasen mit den durchgeführten Forschungstechniken und Ergebnissen zeigt Bild 2.8.

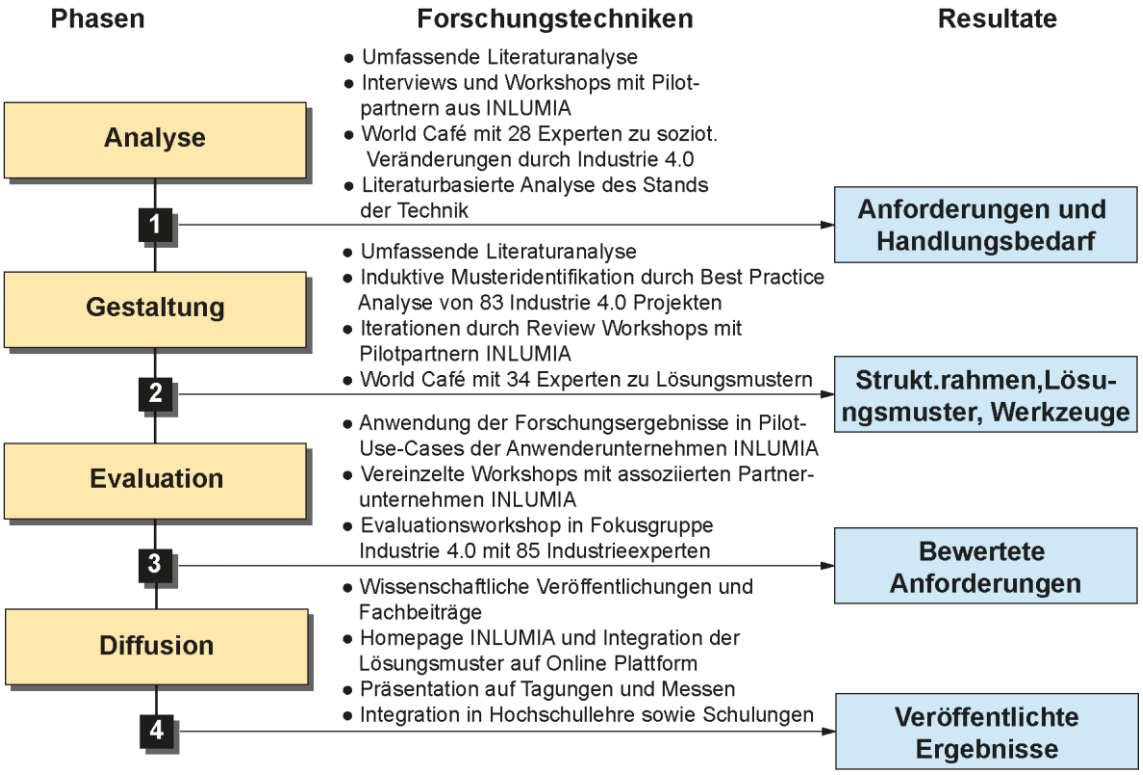


Bild 2.8: Phasen, Techniken und Resultate der Forschungsmethode für die vorliegende Arbeit

Die vier Phasen der Konsortialforschung werden im Folgenden kurz erläutert und mit der Kapitelstruktur der vorliegenden Arbeit verknüpft. Forschungsziel der Arbeit sind *Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand*. Gemäß der Konsortialforschung wird eine wissenschaftliche Relevanz und Strenge bei gleichzeitiger intensiver Einbindung von Praxiswissen angestrebt.

In der **ersten Phase (Analyse)** wird in *Kapitel 3 eine Problemanalyse* zur Motivation des Forschungsthemas, Ableitung des Forschungsbedarfs sowie Überführung des Forschungsziels in konkrete Anforderungen durchgeführt. Dazu werden diverse aktuelle Studien, einschlägige Fachliteratur sowie wissenschaftliche Beiträge herangezogen. Zudem wurden Interviews und Workshops zur Ausgangssituation hinsichtlich Industrie 4.0, der Nutzung von Wissen und der soziotechnischen Perspektive bei den Pilotpartnern von INLUMIA durchgeführt. Ein unterstützendes Begleitkreistreffen zur soziotechnischen Betrachtung von Industrie 4.0 konnte den Forschungsbedarf unterstreichen. Resultierend können aus der Problemanalyse neun Anforderungen in drei Handlungsfeldern für die Gestaltungsphase definiert werden. In *Kapitel 4* wird die Analysephase durch die *Untersuchung des relevanten Stands der Technik* adressiert. Die Analyse des Stands der Technik erfolgt weitestgehend literaturbasiert. Da keiner der untersuchten Ansätze und auch keine triviale Kombination der Ansätze alle Anforderungen in vollem Umfang erfüllt, wird der Handlungsbedarf für Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand verstärkt.

Die **Gestaltungsphase** bildet mit *Kapitel 5* den Kern der vorliegenden Arbeit. In dieser

werden die Artefakte der Forschungsarbeit entwickelt. Durch eine Analyse einschlägiger Literatur zur soziotechnischen Systemgestaltung und Industrie 4.0 wird zunächst ein Strukturierungsrahmen zur soziotechnischen Gestaltung aufgestellt. Die induktive Musteridentifikation bildet die Technik zur Ableitung der Lösungsmuster. Hierfür werden 87 Industrie 4.0 Projekte untersucht. Durch die Nutzung von bestehenden Methoden wie der Clusteranalyse oder Algorithmen werden bspw. soziotechnische Problemstellungen abstrahiert und Lösungsmusterkombinationen gebildet. Verschiedene Iterationsschleifen mit den Pilotpartnern aus INLUMIA in Form von Workshops sowie ein World Café mit 34 Industrieexperten ermöglichen den Zugang zu Praxiswissen.

Die **Phase der Evaluation** erfolgt im Wesentlichen in den Use Cases der Pilotpartner von INLUMIA. In allen vier Pilotunternehmen werden die entwickelten Lösungsmuster sowie die damit verknüpften Werkzeuge angewendet und hinsichtlich ihrer Praxistauglichkeit sowie einem nutzenstiftenden Beitrag im Unternehmen bewertet. Die Evaluation wird in der vorliegenden Arbeit im Rahmen von *Kapitel 6* beispielhaft für ein Partnerunternehmen aus INLUMIA beschrieben. Evaluationskriterien bilden die in Kapitel 3 abgeleiteten Anforderungen an die Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand. Um die Evaluation weiter zu stützen, wurde zudem ein Workshop im Rahmen einer Fokusgruppe Industrie 4.0 mit 85 Teilnehmenden durchgeführt und Feedback eingeholt. Weiterhin sind der Strukturierungsrahmen sowie die Lösungsmuster in das Anschlussprojekt „Soziotechnisches Risikomanagement bei der Einführung von Industrie 4.0 (SORISMA)“[3] eingeflossen. Hierbei wurden die Forschungsergebnisse insb. aus wissenschaftlicher Sicht kritisch hinterfragt und evaluiert. Vereinzelt wurden die assoziierten Unternehmenspartner für Workshops herangezogen.

Eine **Diffusion** der Forschungsergebnisse in die Breite erfolgte kontinuierlich durch wissenschaftliche Veröffentlichungen (siehe Liste der veröffentlichten Teilergebnisse), Fachbeiträge oder Präsentationen auf Kongressen und Messen. Zudem wurden einzelne Lösungsmuster auf der im Rahmen von INLUMIA aufgesetzten Online-Plattform veröffentlicht. Die Pilotpartner haben einen Verwertungsplan in Form eines Masterplan of Actions zur Einführung der Lösungsmuster aufgestellt.

[3] Das Projekt wurde unter anderem aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung NRW (EFRE.NRW) mit einer Laufzeit von drei Jahren (2019-2022) gefördert.

3 Problemanalyse[4]

Ziel der Problemanalyse sind Anforderungen an *Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand*. Zur Gewährleistung eines einheitlichen Verständnisses werden in *Abschnitt 3.1* zunächst wesentliche Begriffe definiert. Anschließend werden in *Abschnitt 3.2* die Entstehung, Bedeutung sowie die Handlungsfelder des Zeitalters der Digitalen Transformation erläutert. Hierbei wird das Handlungsfeld der Leistungserstellung, welches für die Industrie 4.0 steht, fokussiert. Die Gestaltung von Industrie 4.0 sollte dabei stets als soziotechnische Aufgabe verstanden werden. Dies wird in *Abschnitt 3.3* mit der Beschreibung der soziotechnischen Systemtheorie und -gestaltung im Allgemeinen sowie der Betrachtung dieser im Kontext Industrie 4.0 unterstrichen. Auf Basis dessen wird in *Abschnitt 3.4* die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 als Kernherausforderung für den Mittelstand diskutiert. Damit einhergehende Forschungsfragen werden abgeleitet. Anschließend wird in *Abschnitt 3.5* mit der Wiederverwendung von Wissen ein wichtiger Ansatz zum Umgang mit dieser Kernherausforderung motiviert. Zur Wiederverwendung von Wissen eignen sich Lösungsmuster. Die Erarbeitung von Lösungsmustern stellt den Kern der vorliegenden Arbeit dar. Daher werden der Vorteil von Lösungsmustern im Kontext der soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 sowie die zur Erarbeitung notwendigen Schritte in *Abschnitt 3.6* erläutert. In *Abschnitt 3.7* erfolgt die Problemabgrenzung für die vorliegende Arbeit. Das Resultat der Problemanalyse sind die in *Abschnitt 3.8* beschriebenen Anforderungen an Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand.

3.1 Begriffsdefinitionen und -abgrenzung

Zur Erzeugung eines einheitlichen Verständnisses, werden im Folgenden, die für die vorliegende Arbeit relevanten, Begrifflichkeiten definiert sowie voneinander abgegrenzt:

Digital, Digitalisierung und Digitale Transformation

Aus technologischer Sicht werden unter dem Begriff „**digital**“ diskrete Werte, wie die binäre oder dezimale Darstellung von Messgrößen oder Signalen, verstanden. Im Gegensatz dazu werden stetige Werte als analoge Größen bezeichnet [Bro20a-ol]. Die Begriffsabwandlung „**Digitalisierung**“ steht demnach aus technischer Sicht für die Umwandlung eines analogen Signals in ein digitales Signal, welches von einem Computer weiterverarbeitet werden kann [Bro20b-ol]. Um Ton-, Bild, oder Textinformationen digital bearbeiten, speichern oder übertragen zu können, werden diese in Zahlenwerte umgewandelt [BRV+16, S. 5]. Das Augenmerk der Digitalisierung liegt dabei nicht allein auf der Überführung analoger in digitale Daten, sondern auch auf dem Wandel der gesamten physischen zu einer digitalen Welt, eingeschlossen der Lebens- und Arbeitswelten [KHV+13,

[4] Teile des Inhaltes dieses Kapitels sind aus den Arbeiten von UNGEWISS [UHB18] und LÜKEN [LMH16] entnommen worden.

S. 5]. Aus Unternehmenssicht geht mit der Digitalisierung daher ein Prozess des Übergangs von einem analogen zu einem digitalen Geschäft einher, bei welchem das Geschäftsmodell geändert und neue Umsatz- und Wertsteigerungsmöglichkeiten herbeigeführt werden [Gar20-ol].

Der Prozess des Übergangs kann als Transformation bezeichnet werden. Der Begriff „**Transformation**“ (lat. transformare) bedeutet Umformung, Umgestaltung, Umwandlung [Bro20c-ol]. Der Ausdruck „**Digitale Transformation[5]“** setzt sich entsprechend aus den Begriffen „digital“ und „Transformation“ zusammen. Im Kontext der Arbeit steht die Digitale Transformation demnach für eine umfassende Vernetzung aller Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft und die Anpassung der Akteure an die neuen digitalen Gegebenheiten. Sie wird durch die Fähigkeit gekennzeichnet, relevante Informationen zu sammeln, auszutauschen, zu analysieren und Handlungen zu initiieren bzw. Konsequenzen einzuleiten [BMW15, S. 3].

Mittelstand

Deutschland stellt eine vom Mittelstand geprägte Nation dar. Mehr als 99 Prozent der Unternehmen in Deutschland zählen zum Mittelstand [BMW19, S. 3]. Anders als bei kleinen und mittleren Unternehmen, wird der Mittelstand nicht zwingend über die Mitarbeiterzahl oder den Umsatz eingegrenzt (Eine Anzahl von 500 Mitarbeitenden wird jedoch selten überschritten). Er zeichnet sich vielmehr durch Eigenschaften wie eine hohe Standorttreue oder Beständigkeit aus. Oftmals handelt es sich um familiengeführte und traditionsreiche Unternehmen, welche eine hohe und langfristige Mitarbeiterbindung fokussieren [BMW19, S. 3]. Diese besonderen Eigenschaften stellen den Mittelstand hinsichtlich der dynamisch auftretenden Veränderungen der Wirtschaft durch die Digitalisierung vor besondere Herausforderungen [BMW19, S. 3].

Soziotechnische Systeme

Soziotechnische Systeme werden nach ULICH als offene und dynamische Systeme beschrieben. Sie erhalten von ihrer Umwelt einen gewissen Input und geben an diese wiederum einen Output ab [Uli13, S. 4]. Im Kontext dieser Arbeit gliedert sich ein soziotechnisches System in eigenständige, aber interdependente technologische, organisatorische und personelle Teilsysteme. Das technologische Teilsystem begrenzt dabei oftmals die Gestaltungsmöglichkeiten der anderen Teilsysteme. Jedes Teilsystem für sich weist jedoch autarke Eigenschaften auf, die sich auf die anderen Teilsysteme auswirken können. Somit steht das Gesamtsystem stets in enger Wechselwirkung zueinander sowie mit seinen Umweltbedingungen [HW14, S. 11], [Ric63, S. 181ff.].

[5] Es existieren unterschiedliche Schreibweisen für die „Digitale Transformation“. In der vorliegenden Arbeit wird durchgehend die „Digitale Transformation“ als Name für ein gesamtes Zeitalter in der großgeschriebenen Variante verwendet.

Wissen und Lösungswissen

Für den Begriff „**Wissen**“ existieren je nach Anwendungsgebiet unzählige Definitionen. Im Kontext dieser Arbeit wird Wissen als Kenntnisse und Fähigkeiten beschrieben, die Individuen zur Lösung von Problemen einsetzen [PRR12, S. 23]. Das Wissen schließt theoretische Erkenntnisse, praktische Alltagsregeln und Handlungsanweisungen ein und richtet sich nach der Erfahrung von Individuen. Es ist demnach personengebunden [PRR12, S. 23]. Auf Unternehmensebene zählt bspw. die Kenntnis über individuelle Prozesse oder Fähigkeiten, ein reichhaltiger Erfahrungshintergrund oder die Kenntnis der Namen von Experten als Wissen [WW08, S. 32]. Das für eine Lösung einzubringende Wissen ist für Lösungsmuster von besonderer Relevanz und wird letztlich als **“Lösungswissen”** definiert. Lösungswissen kann im industriellen Kontext als eine Kombination aus Fach- und Kundenwissen beschrieben werden und entsteht hauptsächlich durch die Anwendung von Fachwissen zur Lösung von Kundenproblemen [Spe15, S. 19]. Es befähigt Akteure, komplexe Aufgabenstellungen individuell zu lösen [GTS14, S. 54].

3.2 Die Digitale Transformation im industriellen Umfeld

Die Digitale Transformation ist ein Megatrend, welcher Auswirkungen auf alle Geschäftsbereiche produzierender Unternehmen hat. Sie steht im Fokus der vorliegenden Arbeit. Daher werden in *Abschnitt 3.2.1* zunächst die Entwicklung sowie die relevanten Handlungsfelder der Digitalen Transformation vorgestellt. Dabei wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit das Handlungsfeld der Leistungserstellung (Industrie 4.0) forciert. Dieses wird in *Abschnitt 3.2.2* detailliert erläutert.

3.2.1 Entwicklung und Handlungsfelder der Digitalen Transformation

Der Einsatz neuer Technologien hat schon jeher zu Veränderungen in der Erzeugung von industriellen Leistungen sowie den Leistungen selbst geführt und wird eng mit dem Begriff der Digitalisierung verknüpft. Sie findet bereits seit den 1950er Jahren, überwiegend in der Halbleiterindustrie, statt [ZL16, S. 60]. Seit den 1990er Jahren wird die Digitalisierung in weiteren Unternehmensbranchen vorangetrieben. Im Kontext der Digitalisierung greift heutzutage das Zeitalter der sog. Digitalen Transformation. Ein Megatrend, welcher sich über verschiedene industrielle Evolutionsstufen der Digitalisierung entwickelt hat. In Bild 3.1 sind diese Entwicklungen über die Zeit aufgetragen.

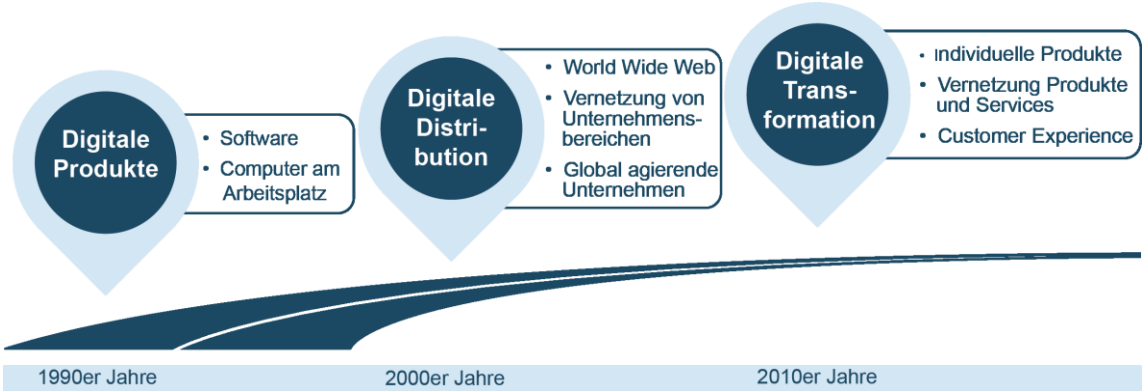


Bild 3.1: Entwicklung der Digitalen Transformation in Anlehnung an [Bot18, S.1]

Im Rahmen der Stufe der **Digitalen Produkte** standen zunächst Produkte wie Software und Medienprodukte sowie die Entwicklung einer digitalen Infrastruktur, bspw. die Einführung von Computern am Arbeitsplatz, im Fokus der Unternehmen [Bot18, S. 1,35]. In den 2000er Jahren eröffnete u.a. das World Wide Web die Stufe der **Digitalen Distribution** und schaffte damit neue Möglichkeiten der Interaktionen für viele Unternehmen. Beispielhaft für die Zeitepoche der Digitalisierung ist die Vernetzung von Unternehmensbereichen, insb. mit Hilfe von betrieblichen Softwaresystemen, wie ERP-, MES-, oder PLM-Systemen [Son17, S. 5]. Diese Veränderungen resultierten in mehr und mehr global agierende Unternehmen, immer dynamischeren Absatzmärkten sowie kürzeren Produktzyklen [BMW17, S. 4]. Der Wandel durch die Digitale Distribution bereitete den Weg für die seit 2010 nun deutlich spürbare **Digitale Transformation**, die durch Treiber wie z.B. innovative Technologien und neue Kundenansprüche hervorgerufen wird. Sie stellt die logische Konsequenz aus der Digitalisierung dar und erfordert Anpassungen gesamter Wertschöpfungsketten [GH18, S. VIII]. Die Digitale Transformation steht für eine umfassende Vernetzung aller Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft. Digital transformiert zu sein zeichnet sich dabei durch die Fähigkeit aus, relevante Informationen zu sammeln, zu analysieren und in Handlungen umzusetzen [BMW15b, S. 3]. Die Digitale Transformation wird als ein Megatrend bezeichnet, dessen Entwicklungsverlauf alle Gesellschafts- und Lebensbereiche erfassen wird [Bot18, S. 25]. Der Eintrittstermin und Einfluss dieser auf die einzelnen Geschäftsbereiche ist heute allerdings noch nicht absehbar [ZL16, S. 60], [Acc16, S. 4]. Basis für diese Veränderungen bilden Daten, die durch Technologien nutzbar gemacht werden [GH18, S.V]. Datenlieferanten können dabei nicht nur Nutzer von Systemen sowie technische Systeme selbst sein, sondern auch Maschinen- und Anlagenhersteller, Personengruppen wie Patienten oder ganze Städte [aca17, S. 6].

Bezogen auf die produzierende Industrie, betreffen die Auswirkungen der Digitalen Transformation nach LIPSMEIER vier Handlungsfelder eines Unternehmens (Bild 3.2) [LKD+19].

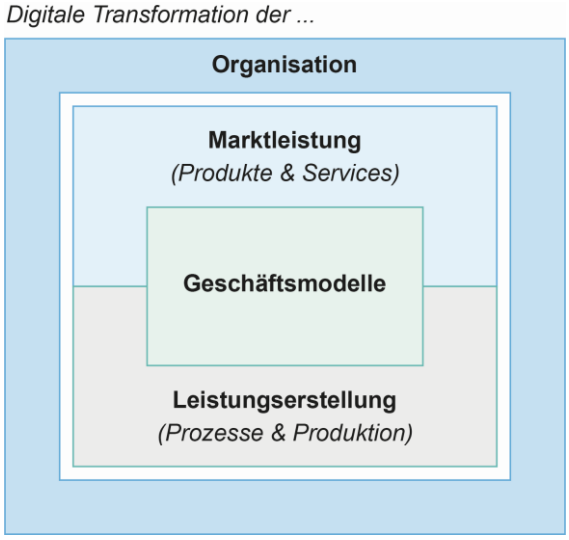


Bild 3.2: Die vier Handlungsfelder der Digitalen Transformation nach LIPSMEIER

Die vorliegende Arbeit ordnet sich in das Handlungsfeld der Digitalen Transformation der **Leistungserstellung** ein. Dieses bezieht sich auf die Veränderung der Produktionsprozesse und -systeme sowie der damit verknüpften Geschäftsprozesse [LKD+19, S. 5]. Die Digitale Transformation der Leistungserstellung wird im nachfolgenden Abschnitt gesondert betrachtet und detailliert erläutert.

Die **Marktleistung** produzierender Unternehmen setzt sich klassischerweise aus einem Kernprodukt (z.B. Verkauf von Maschinen) und ergänzenden Dienstleistungen (z.B. Wartungsverträgen) zusammen [EBD+15, S. 22]. Die mit der Digitalen Transformation einhergehenden Veränderungspotentiale werden durch Unternehmen wie Apple, Google oder Amazon verdeutlicht. Sie lösen sich von den traditionellen Kerngeschäften und entwickeln ihre angebotenen Leistungen rasend schnell weiter, wodurch sie ganze Branchen wie die Musikindustrie, die Werbebranche oder den Bücherhandel revolutionieren [EBD+15, S. 13]. Die Digitale Transformation bietet somit weitreichende Möglichkeiten für eine Marktleistungserweiterung um zusätzliche gewinnbringende Dienstleistungskonzepte, sog. Smart Services. Diese ergänzen ein physisches Produkt und zeichnen sich durch die Sammlung, Auswertung und Interpretation von generierten Daten aus, bspw. der Nutzungsdauer, um u.a. eine Bezahlung der Leistung in Abhängigkeit dessen anzubieten [aca17, S. 4]. Wesentliche technische Grundlage zum Aufbau solcher zusätzlichen Smart Services ist der Wandel der Produkte hin zu Cyber-Physischen Systemen (CPS). Bei diesen handelt es sich um vernetzte eingebettete Systeme, die Daten der physischen Welt mithilfe von Sensoren erfassen und sie für netzbasierte Dienste verfügbar machen. Durch Aktuatoren wirken sie unmittelbar auf Prozesse der physischen Welt ein [aca17, S. 17]. Dieser Produktwandel sowie die damit einhergehende Verschmelzung von Produkt und Service wird als Digitalisierung der Marktleistung bezeichnet [LKD+19, S. 4].

Durch den Einsatz neuer Technologien und der damit ermöglichten Analyse und Nutzung von Daten ist weiterhin eine Transformation von **Geschäftsmodellen** hin zu einer digita-

len Geschäftslogik denkbar [LKD+19, S. 5], [Sch16b, S. 7]. Sie basiert auf der Transformation der Marktleistung sowie der Leistungserstellung gleichermaßen [LKD+19, S. 5]. Hieraus entstehen neue Potentiale zur Erlös- bzw. Gewinngenerierung über den gesamten Produktlebenszyklus hinweg [aca18, S. 14]. Dabei bestehen die Optionen, das bestehende Geschäftsmodell partiell oder in seiner Gesamtheit zu digitalisieren oder das bestehende Geschäftsmodell um ein oder mehrere digitale Geschäftsmodelle zu erweitern [Bot18, S. 2]. Ein Beispiel für ein neues Geschäftsmodell stellt das Pay-Per-Use-Modell dar. Anstelle dem Verkauf des Kernprodukts (z.B. einer Maschine) wird dem Kunden die Produktnutzung auf Basis von Leistungsparametern (bspw. Betriebszeit) in Rechnung gestellt [KNP17, S. 123]. Weiterhin gewinnt der Trend zur Generierung von digitalen Geschäftsmodellen auf Basis von Plattformkonzepten (z.B. AirBnB) mehr und mehr an Bedeutung [KNP17, S. 2].

Resultierend aus den o.g. Handlungsfeldern entsteht die Notwendigkeit der ganzheitlichen Digitalen Transformation auf Organisationsebene. Das **Handlungsfeld Organisation** stellt die Grundlage für den Erfolg dieser dar. Diesem werden Aspekte wie die Veränderung der Aufbau- und Ablauforganisation, der Unternehmenskultur sowie der Arbeitswelt zugeordnet [LKD+19, S. 5]. Das Handlungsfeld ist demnach eng mit dem Paradigma Arbeit 4.0[6] verknüpft. Durch den Einsatz neuer Technologien werden bspw. zeitlich und räumlich flexible Arbeitsweisen ermöglicht [Mik17, S. 82]. Insbesondere agile[7] Organisationsstrukturen gewinnen dabei immer mehr an Relevanz, verändern jedoch gleichzeitig die Anforderungen an die Gestaltung der Aufbauorganisation [Mik17, S. 84]. So werden neue Organisationseinheiten wie „Digital Transformation Offices“ gegründet.

Fazit:

Das produzierende Gewerbe wird sich den weitreichenden Veränderungen der Digitalen Transformation auf Dauer nicht entziehen können. Die Auswirkungen brechen oft sehr schnell über die Unternehmen herein [KS16a, S. 68]. Gleichzeitig eröffnet die konsequente Nutzung von digitalen Lösungen neue, ungeahnte Möglichkeiten, die noch vor wenigen Jahren unvorstellbar gewesen wären. Diese lassen sich in die Handlungsfelder Organisation, Marktleistung, Leistungserstellung sowie Geschäftsmodelle einordnen. Insbesondere im Handlungsfeld Geschäftsmodelle spezialisieren sich meist Start-Up Unternehmen auf diese Potentiale. Sie schaffen neue digitale Geschäftsmodelle, die für traditionelle Unternehmen und ihr Kerngeschäft in kürzester Zeit zur Bedrohung werden können [BFW15, S. 1]. Für die Erhaltung ihrer Wettbewerbsfähigkeit ist es für die Unternehmen somit essentiell, an den Möglichkeiten der Digitalen Transformation schnell

---

[6] Arbeit 4.0 steht für Veränderungen in der Arbeitswelt im Kontext von Industrie 4.0, z.B. Veränderung der Flexibilität, Komplexität, Interaktion und Kompetenzanforderungen. Diese Veränderungen wirken sich auf verschiedene Dimensionen im Unternehmen aus, wie bspw. der Führung, Qualifikation und Organisation [DIS+19, S.6].

[7] Der Begriff „agil“ steht für „beweglich“ und „flink“. Im Kontext des Geschäftslebens wird in der Regel unter diesem Begriff eine schnelle Reaktionsfähigkeit verstanden [Kus18, S. 311].

und rationell zu partizipieren [Web17, S. 8]. Fokus der vorliegenden Arbeit ist die Digitale Transformation der Leistungserstellung – kurz Industrie 4.0. Daher wird diese im Folgenden detailliert erläutert.

3.2.2 Digitale Transformation der Leistungserstellung: Industrie 4.0

Der Wandel der **Leistungserstellung** wird oftmals mit dem entstandenen Paradigmenwechsel von **Industrie 4.0** verknüpft [aca16, S. 5]. Industrie 4.0 bildet mit der Vernetzung von Maschinen und Anlagen untereinander sowie mit anderen Kommunikationssystemen einen Teil der Digitalen Transformation, die sich im Kontext dieser Arbeit rein auf die Produktion und ihre angrenzenden Bereiche bezieht [DSE16, S. 266]. Der Begriff Industrie 4.0 steht für die vierte industrielle Revolution. Sie wird durch den Einzug von CPS und des Internets der Dinge und Dienste[8] in die Fabriken eingeläutet.

Die erste industrielle Revolution wird auf Ende des 18. Jahrhunderts datiert und mit der Entwicklung der Dampfmaschine verbunden. Mit ihr konnten erstmals Arbeits- und Kraftmaschinen angetrieben werden, die die Industrialisierung der Textil-, Eisen- und Stahlindustrie ermöglichte. Im Jahr 1870 wurde die zweite industrielle Revolution durch die arbeitsteilige Massenproduktion vollzogen. Diese ist durch die Nutzung von Fließ- und Förderbändern sowie durch die Zuhilfenahme von elektrischer Energie charakterisiert. Die dritte industrielle Revolution wird durch den Einsatz von Elektronik und Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) zur Automatisierung der Produktion gekennzeichnet [BHV14, S. 5ff.].

Die Integration und Verbreitung von Industrie 4.0 wirkt sich auf sämtliche Stufen der Leistungserstellung des industriellen Sektors aus, d.h. von der Entwicklung, der Logistik, über die Produktion bis hin zu Geschäfts- und Arbeitsprozessen [RB15, S. 6]. In Bezug auf die Integration und Umsetzung von Industrie 4.0 in Unternehmen können dabei drei Konzepte unterschieden werden (vgl. Bild 3.3) [DGK+15, S. 13ff.], [BUB17, S. 10]:

- Horizontale Integration in die Geschäftsprozesse und globalen Firmennetzwerke,
- Vertikale Integration in verschiedene Hierarchieebenen,
- Integration durchgängiger Engineeringprozesse; Systems Engineering.

[8] Das Internet der Dinge und Dienste „[…] beschreibt die Verknüpfung eindeutig identifizierbarer physischer Geräte auf Basis von Internettechnologien. Dies ermöglicht die direkte Kommunikation zwischen vernetzten Dingen“ [KSS+17]. Auf diese Weise werden Dienste ermöglicht, wie bspw. die Bereitstellung von Informationen als auch die Durchführung von bestimmten Funktionen.

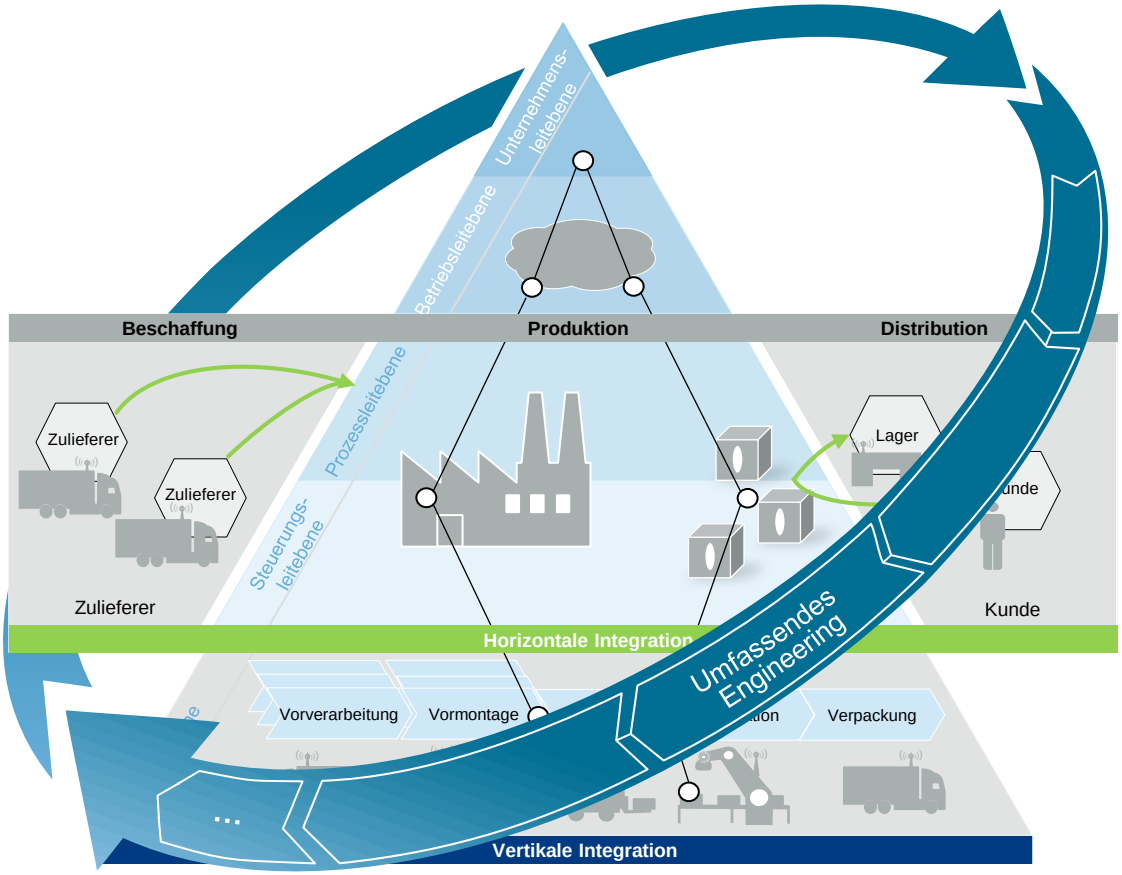


Bild 3.3: Referenzarchitektur von Industrie 4.0 nach [DGK+15, S.14]

Die **horizontale Integration** wird als die Vernetzung zwischen den am Prozess beteiligten unterschiedlichen IT-Systemen und Ressourcen verstanden. Sie werden unternehmensübergreifend entlang der Wertschöpfungskette zu einem durchgängigen System integriert [DGK+15, S. 13f.], [KWH12, S. 12ff.]. Bedingt durch diese Vernetzung entsteht ein Wandel der bisher sequentiellen Geschäftsprozesse in dynamische Wertschöpfungsketten bzw. -netze [RB15, S. 17],[BFG+17, S. 9],[TPS+16, S. 6]. Hierdurch sind Veränderungen in unterschiedlichen Dimensionen zu erwarten. Durch die Digitalisierung werden radikal hoch dynamische, ad-hoc vernetze und echtzeitfähige Formen der Kollaboration innerhalb von und zwischen Unternehmen ermöglicht [GK16, S. 43].

Unter der **vertikalen Integration** wird eine Verknüpfung von IT-Systemen der verschiedenen Hierarchieebenen eines Unternehmens zu einer durchgängigen Lösung verstanden. D.h. sie werden von der Feldebene über die Steuerungs- und Prozessebene bis hin zur Betriebs- und Unternehmensleitebene ganzheitlich integriert [KWH12, S. 13f.]. Hierdurch sowie durch den Einsatz von CPS wird zum einen eine sich dezentral koordinierende und bei Bedarf flexibel und autonom konfigurierende Produktion ermöglicht. Zum anderen lassen die Verschmelzung von digitaler und physischer Welt neue Formen der Zusammenarbeit zwischen Menschen, zwischen Maschinen und zwischen Menschen und Maschinen zu, die die Arbeitsprozesse prägen werden [GK16, S. 43].

Die Erfüllung individueller Kundenwünsche bzgl. der Produktkonfiguration oder Bestellung sowie kurzfristige Änderungswünsche werden u.a. durch neue Technologien und **ganzheitlich interdisziplinäre Formen des Engineerings** realisiert [DGK+15, S. 14]. Systems Engineering (SE) ist ein Beispiel einer interdisziplinären Entwicklungsform. Es stellt ein Systemmodell[9] in den Mittelpunkt und steht für einen durchgängig domänenübergreifenden Ansatz zur Entwicklung multidisziplinärer technischer Systeme. Es umfasst demnach die Gesamtheit aller Entwicklungsaktivitäten [DGK+15, S. 14]. Im Kontext der zunehmenden Anforderungen hin zu einer Individualisierung, werden die damit einhergehenden Entwicklungen von unzähligen Varianten komplexer. Daher wird es immer wichtiger, den gesamten Wertschöpfungsvorgang – von der Forschung und Entwicklung, über das Supply Chain bis hin zu den Fertigungsprozessen – mittels solcher durchgängigen Ansätze zu unterstützen [Har17, S. 8].

Fazit:

Die Digitale Transformation der Leistungserstellung ist im Kontext der vorliegenden Arbeit mit dem Paradigma Industrie 4.0 gleichzusetzen. Sie bezieht sich auf den Wandel der Produktionssysteme sowie verknüpfter Geschäftsprozesse. Dabei werden die drei Bereiche der horizontalen Integration, vertikalen Integration sowie des durchgängigen Engineerings zu Grunde gelegt. Industrie 4.0 bietet dabei in allen drei Bereichen unzählige Chancen zur Leistungssteigerung für Unternehmen. So werden durch die Vernetzung der physischen und virtuellen Welt bspw. neue echtzeitfähige Kollaborationsformen und Wertschöpfungsnetze entstehen. Zum Erhalt ihrer Wettbewerbsfähigkeit sollten Unternehmen anstreben, diese Potentiale für sich zu erkennen und die Prozesse effizienter zu gestalten. Die Gestaltung dessen sollte dabei als soziotechnische Aufgabe verstanden werden. Dies wird im Folgenden motiviert.

3.3 Industrie 4.0 als soziotechnische Aufgabe

Industrie 4.0 hat nicht nur Auswirkungen auf Systeme bzw. Technologien, sondern auf verschiedene Bereiche der Wirtschaft und Gesellschaft. Sie stellt eine sog. soziotechnisches Herausforderung dar. In der Gestaltung von Industrie 4.0 wird es daher für die Unternehmen notwendig, verschiedene Dimensionen gleichermaßen einzubeziehen. In *Abschnitt 3.3.1* wird zunächst die Entwicklung und Bedeutung der soziotechnischen Systemtheorie im Allgemeinen vorgestellt. Anschließend wird in *Abschnitt 3.3.2* mit dem Mensch-Technik-Organisation Konzept auf einen Ansatz der soziotechnischen Systemgestaltung eingegangen. In *Abschnitt 3.3.3* wird die soziotechnische Systemgestaltung mit den drei Dimensionen Mensch, Organisation und Technik mit Industrie 4.0 verknüpft.

[9] Ein Systemmodell stellt die Anforderungen auf der Systemebene und die Auswirkungen auf weitere in Wechselwirkung stehende Subsysteme dar. Ein Systemmodell wird durch eine Kombination aus Modellierungssprache, Methode und Software Tool beschrieben [BG13, S. 223].

Es wird die Notwendigkeit erläutert, Tätigkeiten im Zuge von Industrie 4.0 stets unter der soziotechnischen Perspektive zu betrachten.

3.3.1 Soziotechnische Systemtheorie

Die soziotechnische Systemtheorie im industriellen Umfeld geht ursprünglich auf zwei im Jahr 1949 durchgeführte Forschungsprojekte des Tavistock-Instituts zu der Mechanisierung im Steinkohlebergbau zurück. TRIST und BAMFORTH interpretierten auf Basis dieser Projekte im Jahre 1951, dass eine fortgeschrittene Mechanisierung im Steinkohlebergbau nicht gleichzeitig zu Produktivitätssteigerungen und besserer Wirtschaftlichkeit führen [BHH15, S. 11]. Entgegen den Erwartungen gaben sogar einige der Minenarbeiter ihre Berufe auf, um sich in nahegelegenen Fabriken neuen Tätigkeiten zu widmen. Nach TRIST wurde mit diesen Projekten erstmals deutlich, dass in einer Organisation ein soziales und ein technisches System gleichermaßen berücksichtigt sowie ihre Beziehungen zueinander untersucht werden sollten [Tri81, S. 7]. Das Konzept des soziotechnischen Systems stellt somit technologische, organisatorische und personelle Elemente in einen übergeordneten Zusammenhang. HIRSCH-KREINSEN und WEYER beschreiben ein soziotechnisches System in Anlehnung an die Definition nach RICE wie folgt:

> *„Ein soziotechnisches System kann als eine Produktionseinheit verstanden werden, die aus interdependenten technologischen, organisatorischen und personellen Teilsystemen besteht. Zwar begrenzt das technologische Teilsystem die Gestaltungsmöglichkeiten der beiden anderen Teilsysteme, jedoch weisen diese eigenständige soziale und arbeitspsychologische Eigenschaften auf, die wiederum auf die Funktionsweise des technologischen Teilsystems zurückwirken. Zudem steht das Gesamtsystem stets in enger Wechselwirkung mit seinen Umweltbedingungen [HW14, S. 11], [Ric63, S. 181ff.].“*

Soziotechnische Systeme werden als offene und dynamische Systeme beschrieben, die von ihrer Umwelt einen gewissen Input erhalten und an diese wiederum einen Output abgeben [Uli13, S. 4]. Ein soziotechnisches System kann dabei nach TRIST in drei miteinander verbundene Ebenen unterteilt werden: die Mikroebene, die Organisationsebene sowie die Makroebene.

Auf der **ersten Ebene**, der **Mikroebene**, beschreibt das soziotechnische System ein primäres Arbeitssystem, dass ein identifizierbares und begrenztes Teilsystem einer Organisation darstellt, z.B. einer Serviceeinheit. Das Arbeitssystem besteht aus einer oder mehreren Personengruppen verschiedener Hierarchiestufen sowie relevanten Arbeitsmitteln und weiterer Ressourcen [Tri81, S. 11].

Darüber hinaus wird das **gesamte Organisationssystem als eine Ebene** betrachtet. Diese Ebene erfasst die vorhandenen Maschinen und Anlagen sowie gleichwertige Arbeitsplätze bis hin zu ganzen Unternehmen oder öffentlichen Einrichtungen. Diese halten dabei einen stabilen Zustand zu ihrer Umwelt aufrecht [Tri81, S. 11].

Die **dritte Ebene** bilden **Makrosoziale Systeme**, worunter Gesamtsysteme in Organisationen, in der Industrie sowie in Institutionen verstanden werden, welche auf gesamtgesellschaftlicher Ebene agieren. Sie werden als Domänen bezeichnet. Die Integration eines technischen Systems hat dabei stets Auswirkung auf die Anwender oder die Umwelt [Tri81, S. 11].

Im Rahmen der Gestaltung soziotechnischer Systeme steht oftmals die erste Ebene, das primäre Arbeitssystem bis hin zu der primären Arbeitsaufgabe, im Fokus. Um eine Determinierung von Sekundäraufgaben zu verhindern geht die soziotechnische Systemgestaltung von der Notwendigkeit aus, den Technologieeinsatz und die Organisation gemeinsam zu optimieren [Uli13, S. 5].

Fazit:

Die soziotechnische Systemtheorie gibt eine Betrachtung von Systemen unter technologischen, organisatorischen und personellen Gesichtspunkten vor. Im Kontext der vorliegenden Arbeit wird somit der Definition eines soziotechnischen Systems nach HIRSCH-KREINSEN und WEYER in Anlehnung an RICE gefolgt. Die soziotechnische Systemtheorie wird in der vorliegenden Arbeit vorranging auf der Mikroebene angewendet. Somit stehen primäre Arbeitssysteme und -aufgaben, dazugehörige Arbeitnehmer und Arbeitnehmerinnen sowie technische Arbeitsmittel im Kontext der Gestaltung von Industrie 4.0 im Fokus der Betrachtung.

3.3.2 Soziotechnische Systemgestaltung

Wird die Gestaltung von soziotechnischen Systemen betrachtet, hat sich ein Konzept mit drei zu berücksichtigenden Dimensionen durchgesetzt – das Mensch-Technik-Organisation Konzept, kurz MTO-Konzept. Der Ursprung dieses Konzepts geht auf ULICH zurück. Ausgangspunkt stellt dabei eine Aufgabe dar, meist eine Arbeitsaufgabe, welche das soziale mit dem technischen Teilsystem und den Menschen mit den organisationalen Strukturen im Unternehmen verknüpft [Uli13, S. 5]. Eine Aufgabe charakterisiert sich nach ULICH durch die Anforderungsvielfalt, die wahrgenommene Autonomie während der Erfüllung der Aufgabe und die Art der Rückmeldung nach Beendigung der Aufgabe. Ebenso sollte die Aufgabe eine ganzheitliche Struktur sowie eine Bedeutsamkeit aufweisen. Der beschriebene systemtheoretische Zusammenhang wird in Bild 3.4 dargestellt.

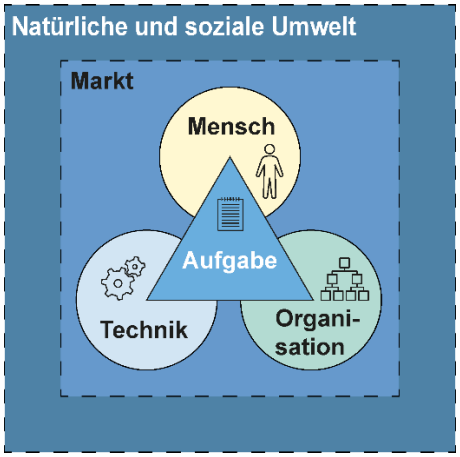


Bild 3.4: Systemtheoretischer Zusammenhang in Anlehnung an ULICH [Uli13, S.6]

Die soziotechnische Systemtheorie unter Berücksichtigung des MTO-Konzepts beabsichtigt eine gemeinsame Optimierung von Mitarbeitern/Mitarbeiterinnen (Dimension Mensch), dem Technikeinsatz (Dimension Technik) und der Organisationsgestaltung (Dimension Organisation) im Einklang mit der Umwelt. Die einzelnen Dimensionen werden im Folgenden näher erläutert.

Dimension Mensch

Die Dimension Mensch erfasst das soziale System und dessen Fähigkeiten, die es dem soziotechnischen System zur Verfügung stellt. Bei der soziotechnischen Systemgestaltung sind zum einen die Eigenschaften und Fähigkeiten des sozialen Gefüges wie auch die Bedürfnisse des einzelnen Individuums zu berücksichtigen. Charakteristika der Dimension Mensch zur Systemgestaltung stellen bspw. nach HIRSCH-KREINSEN ET AL. die Aufgabenstruktur, Qualifikation und die Handlungsspielräume der Mitarbeiter/innen einer Organisation dar [HW14, S. 12], [HHI+15, S. 7]. Nach ULICH werden der Dimension Mensch dagegen Aspekte wie die persönliche Entfaltung, Aufgabenmerkmale und die Arbeitszufriedenheit während der Erbringung von Tätigkeiten zugeordnet. Die Arbeitszufriedenheit wird dabei vom ausführenden Individuum durch die erlebte Bedeutsamkeit, die wahrgenommene Verantwortung und die Qualität der eigenen Arbeit beeinflusst [Uli11, S. 111]. Innerhalb einer von ACATECH initiierten Kompetenzentwicklungsstudie aus dem Jahr 2016 werden vor allem die Technologienutzung, die Führungskompetenzen und die Kompetenzen zur Zusammenarbeit als wesentliche Merkmale der Dimension Mensch beschrieben [aca16, S. 9f.]. Dies lässt sich wiederum mit der Systembetrachtung nach MAUCHER ET AL. verknüpfen, der die Entscheidung und die Kommunikation als Kern sozialer Systeme beschreibt [MPR02, S. 130].
Im Kontext der Arbeit wird die Dimension Mensch als soziales System definiert, welches den Mitarbeiter/die Mitarbeiterin einer Organisation in den Fokus rückt. Hierbei ist insb. die Gestaltung seiner Arbeit zur erfolgreichen Abwicklung der Leistungserstellungsprozesse von Relevanz.

Dimension Technik

Die Dimension Technik umfasst mit technischen Systemen die Betriebsmittel sowie die übrigen technischen und räumlichen Arbeitsbedingungen einer Organisation [Uli13, S. 4]. Beispiele für technische Systeme stellen Produktions- oder Transportsysteme in der Fertigung dar. Technische Systeme zeichnen sich nach HIRSCH-KREINSEN ET AL. zum einen durch ihre Vernetzungsfähigkeit aus. Der Vernetzungsgrad von technischen Systemen birgt dabei ein hohes Potential für die Ausgestaltung von soziotechnischen Systemen. Sie ermöglichen die Kommunikation von Systemen untereinander sowie den Austausch zwischen Maschinen und Menschen [HW14, S. 17]. Zum anderen werden technischen Systemen Eigenschaften wie die Nutzung von Daten zur Echtzeitinformationsverarbeitung zugesprochen [HHI+15, S. 7]. Laut eines Berichts des BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE zeichnet die Dimension Technik die Art der Informationsbereitstellung, der Automatisierungsgrad technischer Systeme und die Komplexität in der Produktion aus [BMW14, S. 34].
Im Kontext der vorliegenden Arbeit bezieht sich die Dimension Technik demnach auf technische Systeme innerhalb der Leistungserstellung, bspw. Maschinen- und Anlagen sowie Softwaresysteme, und in welcher Form sie eingesetzt werden.

Dimension Organisation

Die Dimension Organisation bildet mit dem Unternehmen und ihren Bereichen oder Abteilungen den Rahmen, in dem sich soziale und technische Systeme verknüpfen [Uli13, S. 4]. Die Organisation kann dabei auf unterschiedlichen Ebenen betrachtet werden: das gesamte Unternehmen, eine Organisationseinheit, eine Gruppe und ein Individuum. Die Ebene des **Unternehmens** betrachtet dieses von der Geschichte des Betriebs bis hin zu Produkten und Produktionsbedingungen ganzheitlich und stellt einen Bezugsrahmen für weitere Analysen dar. Auf Ebene der **Organisationseinheiten** werden Formen der Arbeitsteilung bzw. der funktionalen Trennung oder Integration im Betrieb berücksichtigt. Zu der Ebene der **Gruppen** werden kollektive Arbeitsgruppen sowie ihre Regulation gezählt. Die Ebene des **Individuums** berücksichtigt den einzelnen Arbeitnehmer/die einzelne Arbeitnehmerin [Uli13, S. 7]. Werden verschiedene Definitionen der Dimension Organisation verglichen, so wird diese oftmals in die Ebene des gesamten Unternehmens eingeordnet. Sie umfasst dabei bspw. Organisations- und Wertschöpfungsstrukturen sowie die Gestaltung von Managementfunktionen [WH18, S. 182]. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird dem Verständnis der Dimension Organisation auf ganzheitlicher Unternehmensebene gefolgt.

Wie in der Definition von soziotechnischen Systemen beschrieben, weisen die drei Dimensionen in sich die Eigenschaft der Eigenständigkeit auf. In der soziotechnischen Systemgestaltung sind die drei Dimensionen Mensch, Technik und Organisation dennoch niemals losgelöst voneinander, sondern stets in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit und ihrem Zusammenwirken zu betrachten. Das Konzept der soziotechnischen Systemgestal-

tung betont dabei explizit die Notwendigkeit, den Technologieeinsatz und die Organisation gemeinsam unter Berücksichtigung der Aufgabe zu optimieren („joint optimization“) [Uli13, S. 5f.]. Die Reihenfolge der Verknüpfung der drei Dimensionen bestimmt dabei nach ULICH zum Beispiel die Art der Mensch-Maschine-Funktionsteilung und den möglichen Grad der Automatisierung. Ausgehend von dem Einsatz eines autonomen technischen Systems, z.B. eines fahrerlosen Transportsystems, verändern sich die Tätigkeiten des Arbeitnehmers/ der Arbeitnehmerin von der Transportaufgabe zu bspw. Montagetätigkeiten. Dieser Wandel gibt somit wiederum Aufschluss über die Art der Ressourcennutzung in der Organisation und erfordert eine adäquate Anpassung. Die Veränderungen in der Organisation wirken sich anschließend erneut auf den Einsatz und die Funktionsweise der technischen Systeme aus. Es entsteht ein Kreislauf, der von unterschiedlichen Richtungen initiiert werden kann [Uli13, S. 6]. Der Vorteil dieser soziotechnischen Systemgestaltung liegt in der ganzheitlichen Betrachtung eines Gesamtsystems, die zu einer verbesserten Akzeptanz von Veränderungen bei dem Nutzer/der Nutzerin führt und einen Mehrwert, bspw. hinsichtlich der Produktivität des Unternehmens, liefern [BS11, S. 4].

Fazit:

Die soziotechnische Systemgestaltung wird in der vorliegenden Arbeit mit Hilfe der Dimensionen Mensch, Technik und Organisation strukturiert. Sie werden dabei als eigenständige Teilsysteme eines soziotechnischen Systems bei gleichzeitiger Berücksichtigung ihrer Interdependenzen betrachtet. Die Dimension Mensch stellt mit dem Mitarbeiter/der Mitarbeiterin und dem zugehörigen Arbeitsumfeld (z.B. Aufgabe) das soziale System dar. Im Rahmen der Dimension Technik werden technische Systeme adressiert. Die Dimension Organisation betrachtet das Unternehmen auf ganzheitlicher Ebene. Die Gegenüberstellung verschiedener Ansätze der soziotechnischen Systemgestaltung hat gezeigt, dass die Einteilung in die drei Dimensionen Mensch, Technik und Organisation eindeutig möglich ist. Welche Aspekte welcher Dimension zuzuordnen ist, ist in der einschlägigen Literatur jedoch sehr unübersichtlich und vielfältig. Vor diesem Hintergrund bedarf es einer Analyse und Strukturierung der Dimensionen in ihre Bestandteile.

3.3.3 Soziotechnische Betrachtung von Industrie 4.0

Die industriellen Veränderungen durch Industrie 4.0 beziehen sich nicht nur rein auf die Weiterentwicklung der eingesetzten Technologien. Sie wirken sich gleichermaßen auf den Mitarbeiter/die Mitarbeiterin sowie ganze Organisationsstrukturen aus. Dem Wandel der Arbeitswelt im Kontext von Industrie 4.0 wird derzeit ein besonderer Stellenwert zugeschrieben und unter dem Begriff „Arbeit 4.0“ (siehe Seite 13) zusammengefasst. Die soziotechnische Systembetrachtung von Industrie 4.0 geht darüber hinaus. Sie stellt einen Zusammenhang zwischen allen drei Aspekten her – den neuen Technologien, dem Wandel der Arbeitswelt und den organisatorischen Veränderungen – und betrachtet diese als ein Gesamtsystem [HHI+15, S. 6]. Es verändern sich demnach mit Industrie 4.0 nicht nur einzelne Tätigkeiten, Qualifikationen und Arbeitsplätze (Arbeit 4.0), sondern das gesamte

organisatorisch-soziale Gefüge. Die soziotechnische Betrachtung von Industrie 4.0 ordnet nach HIRSCH-KREINSEN & WEYER das soziotechnische System den strategischen Vorgaben unter und bringt die einzelnen Dimensionen Technik, Mensch und Organisation in einen dynamischen Zusammenhang. Ein Beispiel für die Relationen zwischen den drei Dimensionen im Kontext Industrie 4.0 zeigt Bild 3.5.

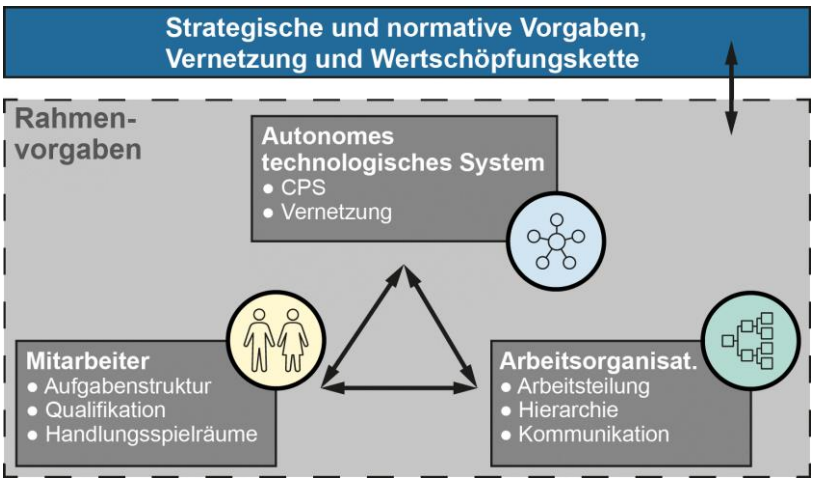


Bild 3.5: Industrie 4.0 als soziotechnisches System in Anlehnung an [HW14]

Mit Industrie 4.0 werden im Rahmen der **Dimension Technik** Maschinen und Endgeräte mehr und mehr mit Sensorik ausgestattet und zu intelligenten CPS weiterentwickelt. Sie sammeln und verarbeiten Daten, die über ein gemeinsames Netzwerk zur Verfügung gestellt werden. Die Auswertung der bereitgestellten Daten führen zu immer mehr Informationen, aus denen Wissen über Anwender/innen oder dem Anwenderverhalten generiert werden kann.

Daten auf der gesamten Unternehmensebene, d.h. in der **Dimension Organisation**, ermöglichen auf der einen Seite neue Wertschöpfungsaktivitäten wie bspw. ergänzende Dienstleistungen oder neue Erlösmodelle wie Pay per Use-Ansätze. Die Möglichkeiten dieser vernetzten, echtzeitfähigen Verarbeitung von Daten verlangen jedoch auf der anderen Seite die Reflektion der organisationalen Strukturen, z.B. bzgl. der Arbeitsteilung, der Hierarchie oder des Personen- bzw. Datenschutzes. So ist bei dem Großteil der Unternehmen vornehmlich der IT-Bereich als verantwortlicher Geschäftsbereich für Industrie 4.0 definiert [Fuj16, S. 7,9]. Auch das Budget für Digitalisierungsprojekte wird primär diesem Bereich zugeordnet. Hierdurch entsteht der Eindruck, dass die Digitalisierung derzeit vermehrt als rein technologische Aufgabenstellung gesehen wird [Fuj16, S. 7]. Die Integration von Industrie 4.0 betrifft jedoch nicht nur rein technische Fragestellungen, sondern hat schwer abzuschätzende Auswirkungen in Bezug auf die Organisation und den Menschen [DER+16, S. 35f.].

Die technischen Möglichkeiten und die Veränderungen der Organisation und Prozesse wirken sich auf den **Menschen** und sein Wirken in dem Gesamtsystem aus. Die ursprüngliche Beherrschbarkeit der Technik durch den Menschen relativiert sich im Zuge der Di-

gitalisierung. Der Mensch wird zu einem gleichberechtigten Bestandteil im Gesamtgefüge. Damit verändern sich sein Handlungsspielraum sowie die dazugehörigen Aufgaben. Der frühzeitigen Planung und Konzipierung der Mensch-Maschine-Schnittstellen werden somit eine immer höhere Bedeutung beigemessen. Ziel ist der Erhalt der Kontrollmöglichkeiten des Menschen bei gleichzeitiger Unterstützung durch eine Intelligenz technischer Systeme [KS16b, S. 13], [WH18, S. 184]. Zudem verändern sich notwendige Qualifikationen und mögliche akademische wie auch fachliche Ausbildungsformen, bspw. von der klassischen Konstruktionsarbeit sowie Grundlagen des Prototypenbaus hin zu einer vollständig virtuellen Produktentstehung. Die Grenzen zwischen dem virtuellen und realen Handeln des Menschen schwinden damit stetig. Veränderte Kompetenzbedarfe resultieren daraus, sodass ohne rechtzeitiges Handeln mit der bestehenden Belegschaft oftmals Wissenslücken hinsichtlich Industrie 4.0 entstehen [KS16b, S. 13–14].

Fazit:

Industrie 4.0 hat Auswirkungen auf alle Geschäftsbereiche eines Unternehmens, sodass sie als soziotechnische Aufgabe zu verstehen ist. Beispielsweise hängt der nutzenstiftende Betrieb eines Montageassistenzsystems neben der technischen Realisierbarkeit maßgeblich von passgenauen Prozessen, adäquaten Kompetenzen und der Mitarbeiterakzeptanz ab. Insbesondere nicht-technische Auswirkungen wie Bedenken von Mitarbeitern/Mitarbeiterinnen vor permanenter Überwachung oder unklare Investitionskosten und starre Unternehmens- und Abteilungskulturen können die erfolgreiche Einführung von Industrie 4.0 Lösungen verzögern oder gar verhindern. Es wird deutlich, dass Veränderungen von Industrie 4.0 unmittelbar Auswirkungen auf einzusetzende Technik, die Organisation sowie den Menschen haben und daher nicht losgelöst voneinander betrachtet werden können [LP16, S. 6].

3.4 Fehlendes Lösungswissen als Kernherausforderung im Mittelstand

Durch Industrie 4.0 entstehen für Unternehmen vielversprechende Möglichkeiten, um ihre Prozesse und Leistungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette effizienter zu gestalten. Die Gestaltung von Industrie 4.0 ist dabei stets als soziotechnische Aufgabe zu verstehen (vgl. Abschnitt 3.3). Für Unternehmen bietet Industrie 4.0 die Möglichkeit, langfristig wettbewerbsfähig zu bleiben und die Position als potentieller Markt- oder Technologieführer zu festigen. Insbesondere mittelständisch geprägte Unternehmen scheinen sich mit der Integration von Industrie 4.0 schwer zu tun. Dabei ist es gerade für diese von großer Bedeutung, schnell und rationell an den Potentialen von Industrie 4.0 zu partizipieren, um langfristig erfolgreich zu bleiben.

Neben der soziotechnischen Betrachtung ist ein wichtiger Erfolgsfaktor bei der Gestaltung von Industrie 4.0 die richtige Auswahl der zum Problem passenden Lösungen. Ausschließlich diese schaffen im Unternehmen Mehrwerte für Kunden und Mitarbeiter/innen, nachhaltige Wertschöpfung und Wirksamkeit [VS18, S. 2]. Laut McKinsey haben zwar

bereits 70 Prozent der Unternehmen mit der Pilotierung von Industrie 4.0 Lösungen begonnen, gleichzeitig jedoch nur 29 Prozent einen tatsächlichen Mehrwert daraus generieren können. Ein Großteil der Unternehmen befindet sich eher in einem sog. „Pilotprojekt Fegefeuer“, welches zu keinem sinnvollen Ergebnis führt [McK19, S. 8]. Unternehmen sollte es also nicht darum gehen, das grundsätzlich Mögliche einzuführen, sondern das für die spezifische Situation Notwendige. Sie brauchen diejenigen Lösungen, mit denen sie ihre individuellen Bedarfe adressieren können [VS18, S. 36], [EL16, S. 7]. Im Vergleich zwischen Großunternehmen und bspw. KMUs scheint es für KMU eine besondere Herausforderung zu sein, eben diese geeigneten Lösungen zu identifizieren und auszuwählen. So geben in der von dem BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE initiierten Studie „AUTONOMIK für Industrie 4.0“ 65 Prozent der KMU (gegenüber 19 Prozent von Großunternehmen) die Auswahl zum Bedarf passender Lösungen als ein wesentliches Hemmnis der Digitalen Transformation an [BMW15a, S. 37].

Industrie 4.0 ist dabei keinesfalls neu, sodass es nicht an der Verfügbarkeit der richtigen Lösung scheitern sollte. Deutschland verfügt bereits über unzählige IT-Lösungen und Technologien auf Spitzenniveau, um Industrie 4.0 voranzutreiben. Ihre Entwicklung unterliegt einer hohen Dynamik, sodass ihre Anzahl heute nahezu grenzenlos erscheint [BFW15, S. 1]. Laut einer Studie nach MCKINSEY stellt die zu hohe Anzahl an möglichen Anwendungsfällen eine der häufigsten Barrieren zur Umsetzung von Industrie 4.0 dar [McK19, S. 9]. Wie groß die Vielfalt der Technologien ist und wie schnell sie sich verändert, zeigt in Bild 3.6 der Hype-Cycle nach GARTNER aus den Jahren 2014 und 2019 [BMW15b, S. 26], [Gar19-ol].

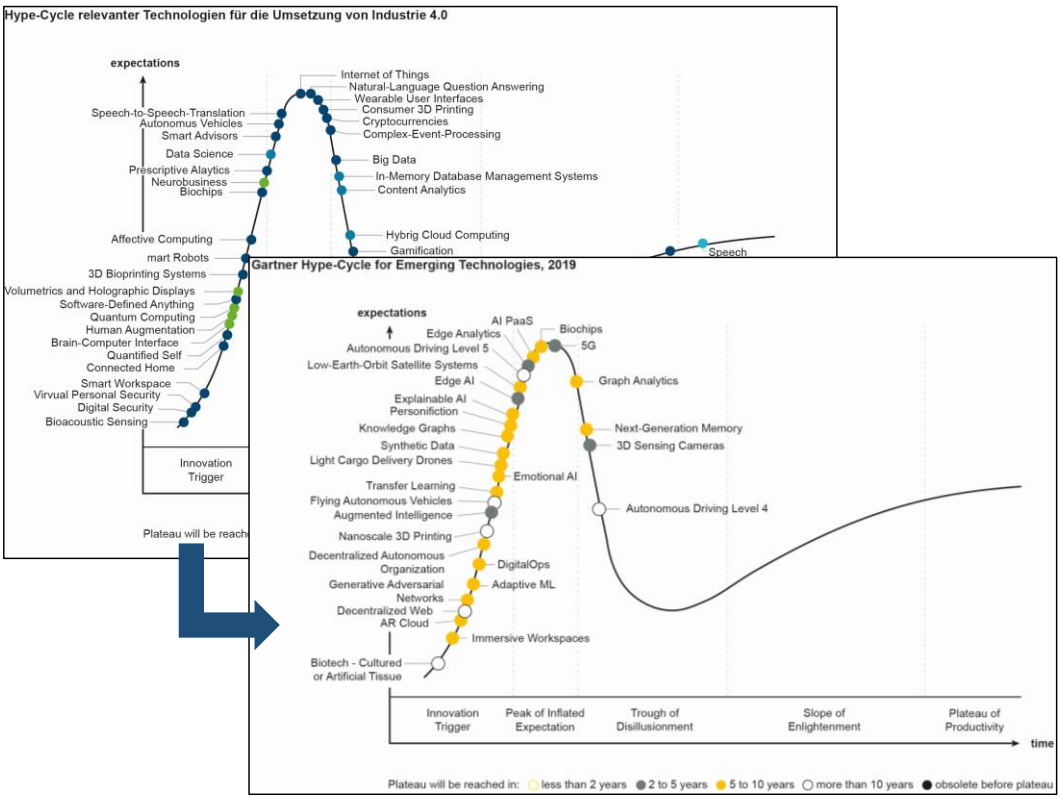


Bild 3.6: Entwicklung des Hype-Cycles nach GARTNER von 2014 zu 2019

Anhand der Hype-Cycles aus den Jahren 2014 und 2019 ist erkennbar, dass sich die relevanten Technologien innerhalb von fünf Jahren nahezu vollständig unterscheiden. Technologien wie bspw. 5G kommen neu hinzu. Andere Technologien, z.B. Biochips, entwickeln sich innerhalb von fünf Jahren immens weiter, sodass sie in dem Hype Cycle in der nächsthöheren Phase eingeordnet werden. Mittelständisch geprägte Unternehmen mit knapperen zeitlichen und finanziellen Ressourcen (hierdurch existieren selten eigene Industrie 4.0 Stabstellen) fällt es schwer, mit diesen rasanten Entwicklungen Schritt zu halten. Zusätzlich zu der großen Anzahl der Technologiemöglichkeiten stellen ihre starken Abhängigkeiten eine große Herausforderung dar. Technologien wie „Cloud-Computing“ und „Big-Data“ können bspw. nur dann erfolgreich und sicher umgesetzt werden, wenn vorab die Technologie „Digital Security“ eingeführt wurde [BMW15b, S. 26]. Hinzu kommt, dass der Nutzen der einzelnen Technologien in Relation zu dem Investitionsbedarf oftmals von Intransparenz geprägt ist [BMW15b, S. 37], [Sch16a, S. 11]. Diese Unüberschaubarkeit der Möglichkeiten führt daher zu großen Unsicherheiten bei dem Mittelstand bzgl. der für sie geeigneten Technologien von Industrie 4.0.

Die Transformation eines Unternehmens im Rahmen von Industrie 4.0 ist demnach stark von den beteiligten Menschen und ihrem verfügbaren Wissen über mögliche Lösungen abhängig. Dabei ist disziplinspezifisches Wissen im Kontext Industrie 4.0 nicht ausreichend. Der digitale Wandel, bspw. der Einzug von Daten und Datenanalysen in die Arbeitsprozesse, verändert die Anforderungen an die Mitarbeiter/Mitarbeiterinnen über alle Wertschöpfungsstufen hinweg. Hierdurch steigt bspw. der Bedarf an Datenanalysten bzw. IT-Fachwissen [DER+16, S. 41f.]. Schon seit einiger Zeit ist jedoch bekannt, dass insbesondere in diesem Bereich ein Fachkräftemangel vorherrscht. Resultierend verfügen kaum Unternehmen über die erforderlichen Mitarbeiter/innen, um Industrie 4.0 über ihr internes Wissen voranzutreiben [DER+16, S. 41]. Laut BITKOM empfinden unter Industrieunternehmen ab 100 Mitarbeitern/Mitarbeiterinnen 53 Prozent den Mangel an Fachkräften als Hürde für den Einsatz von Industrie 4.0 Anwendungen [Rie16, S. 9]. Ebenfalls mit 53 Prozent sehen Unternehmen besonders in der Qualifizierung der Mitarbeiter/Mitarbeiterinnen die größte Herausforderung im Rahmen von Industrie 4.0 [BUB17, S. 119]. Die Förderung von Wissen des Personals hat somit bei der Einführung von Industrie 4.0 einen hohen Stellenwert. Industrie 4.0 ist als technikinduzierte Organisations- und Personalentwicklung zu verstehen, welche sich von den Mitarbeitern/Mitarbeiterinnen über Abteilungen bis hin zu der gesamten Wertschöpfungskette erstreckt [LKS+16, S. 73].

Um diese internen Wissenslücken schließen zu können, sollte der Zugriff auf Wissen über externe Quellen berücksichtigt werden. Es existieren eine Vielzahl an Industrie 4.0 Vorreitern, welche erfolgreich Lösungen eingeführt haben. Dabei handelt es nicht nur um Technologien, sondern ebenso um Lösungen in den Dimensionen Mensch und Organisation. Um diese Informationen zu nutzen, muss das Lösungswissen in wiederverwendbarer Form vorliegen. Das benötigte Wissen sollte dabei auf zukünftige, unvorhergesehene sowie individuelle Ereignisse und Situationen der Unternehmen übertragbar sein. Es gilt, einen „situativen Transformationsprozess“ von Wissen zu initiieren. Bei der im Kontext

Industrie 4.0 existierenden Dynamik ist es dabei von Bedeutung, sehr schnell Informationen zu interpretieren (besonders aus der soziotechnischen Perspektive), alternative Lösungswege zu bewerten, Einflussmöglichkeiten einzuschätzen und Entscheidungen zu treffen [HH21, S. 629]. Daher wird es zum einen, insb. für den Mittelstand mit seinen Wissenslücken, notwendig, dass Unternehmen ihr Wissensmanagement fördern und anpassen, sodass relevante Informationen gefiltert und differenzierte Nutzungsmöglichkeiten für das Wissen entwickelt werden [FPM+21, S. 289]. Zum anderen, dass das wiederverwendbare Wissen in einer Form vorliegt, die eine schnelle Interpretation des Lösungswissen für das vorliegende Problem ermöglicht. Hierbei scheint es jedoch insbesondere im Kontext Industrie 4.0 an Ansätzen zur Unterstützung in genau diesen Aktivitäten des Wissensmanagements zu fehlen [FPM+21, S. 289].

Fazit:

Die Integration von Industrie 4.0 ist für die Unternehmen in Deutschland essenziell für ihre Wettbewerbsfähigkeit. Sie eröffnet ihnen unzählige Möglichkeiten der Leistungssteigerung. Die Gestaltung von Industrie 4.0 stellt jedoch insbesondere den Mittelstand vor große Herausforderungen. Gerade bei der starken Mittelstandsstruktur in Deutschland wird eine konkrete Unterstützungsleistung bei der soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 unabdingbar [KS16a, S. 32f.] Trotz der verfügbaren Lösungen auf Spitzenniveau, scheint es bei ihnen an Wissen sowie schnell umsetzbaren und ganzheitlichen Modellen zu fehlen. Dies bezieht sich besonders auf die Identifikation und Auswahl von wertsteigernden Lösungen aus den unüberschaubaren Möglichkeiten für individuelle Problemstellungen. Doch nur, wer sich bei den dynamischen Entwicklungen von Industrie 4.0 auf aktuellem Wissensstand halten kann, wird langfristig von den Lösungen profitieren und seine Wettbewerbsfähigkeit erhalten können. Die Wiederverwendung von Wissen kann somit der Schlüssel zum Erfolg sein. Dies wird im Folgenden unterstrichen.

3.5 Erfolgsfaktor: Wiederverwendung von Wissen

Die Ressource Wissen stellt einen Erfolgsfaktor zur Lösung einer Vielzahl von industriellen Herausforderungen dar. Dabei entwickelt sich die Industrie immer mehr hin zu einer Wissensgesellschaft. In *Abschnitt 3.5.1* werden daher zunächst elementare Begriffe wie Wissen, Wissensträger und Wissensmanagement im industriellen Umfeld definiert und der Einsatz dessen näher erläutert. Wissen kann dabei durch verschiedene Wissensarten strukturiert werden. Diese werden in *Abschnitt 3.5.2* beschrieben und die für die vorliegende Arbeit relevanten Wissensarten herausgestellt. In *Abschnitt 3.5.3* wird das SECI-Modell zur Wissensentstehung in Organisationen vorgestellt. Dieses zielt mit verschiedenen Phasen auf eine systematische Generierung von Wissen ab. Neben der internen Generierung von Wissen ist der Zugriff auf externes Wissen, d.h. die Wiederverwendung von Wissen, für die Lösung komplexer Aufgaben wie die Gestaltung von Industrie 4.0 von großer Bedeutung. Daher wird in *Abschnitt 3.5.4* der Zugriff auf wiederverwendbares Industrie 4.0 Lösungswissen diskutiert.

3.5.1 Einsatz von Wissen in der Industrie

Die Generierung, Verteilung und Verwertung von Wissen stellt in Unternehmen seit je her die Basis zur Ableitung von Innovationen in Form von Sach- und Dienstleistungen dar [Rau13, S. 23], [Sch14, S. 19]. Durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien und damit einer Entwicklung hin zu einer Wissensgesellschaft ist der Wert der immateriellen Ressource Wissen im Vergleich zu materiellen Ressourcen nochmal rasant angestiegen. Im Zeitalter der Digitalen Transformation wird demnach die optimale Nutzung dieser Ressource auf Grund immer dynamischeren Gegebenheiten umso wichtiger [Dör16, S. 57], [PRR12, S. V-3]. So werden bspw. die Erfolge von Unternehmen wie Google oder Microsoft in einen direkten Zusammenhang zu ihrem Status als sogenannte wissensintensive Unternehmen gesetzt [PRR12, S. 3].

Eine einheitliche Definition des Wissensbegriffs existiert auf Grund von verschiedenen Wissenschaftsdisziplinen nicht. In Anlehnung an PROBST ET AL. wird Wissen im Rahmen dieser Arbeit folgendermaßen beschrieben (vgl. Abschnitt 3.1):

> *„Wissen bezeichnet die Gesamtheit der Kenntnisse und Fähigkeiten, die Individuen zur Lösung von Problemen einsetzen. Dies umfasst sowohl theoretische Erkenntnisse als auch praktische Alltagsregeln und Handlungsanweisungen. Wissen stützt sich auf Daten und Informationen, ist im Gegensatz zu diesen jedoch immer an Personen gebunden. Es wird von Individuen konstruiert und repräsentiert deren Erwartungen über Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge [PRR12, S. 23].“*

Wissen steht demnach in Abhängigkeit zu Daten und Informationen sowie gemäß der Wissenstreppe nach NORTH ET AL. zu Symbolen. Im Kontext von Industrie 4.0 ist die traditionelle Wissenstreppe um die Stufen Handeln, Kompetenz und Wettbewerbsfähigkeit zu erweitern (Bild 3.7).

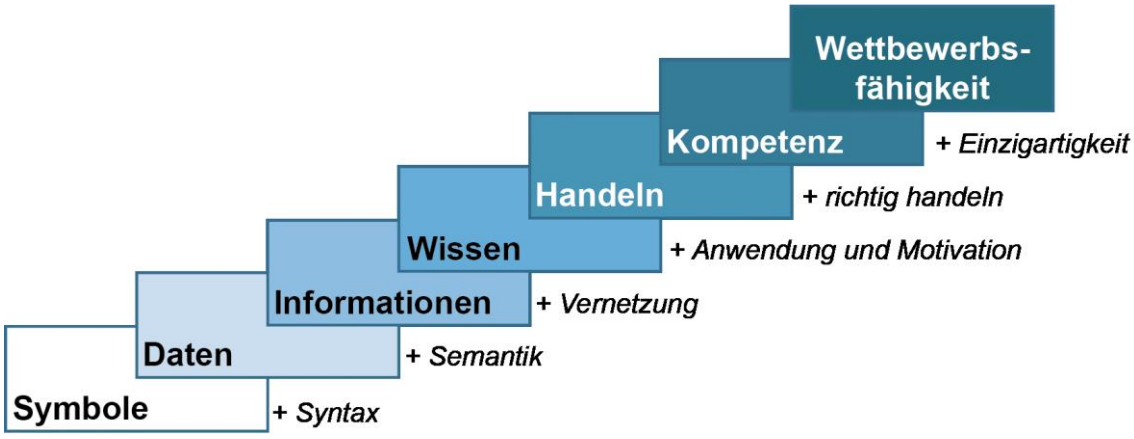


Bild 3.7: Die Wissenstreppe 4.0 nach NORTH ET AL. in Anlehnung an [NM18, S. 5]

Den Ausgangspunkt zur Generierung von Wissen stellen Symbole dar. Durch die Kombination von Symbolen, in Abhängigkeit einer bestimmten Syntax[10], entstehen Daten. Daten sind demnach ohne Interpretation nicht wertschöpfend, sondern eine reine Aneinanderreihung von Zeichen, z.B. Ziffern [DMS+05, S. 20]. Werden Daten unter Berücksichtigung der Semantik[11] interpretiert, werden sie zu Informationen. D.h. Daten werden durch die Aufnahme, das Verstehen und die Verwertung von Daten in einen bestimmten Kontext gesetzt. Durch die Vernetzung dieser Informationen entsteht letztendlich Wissen, welches durch das Bewusstsein von Individuen gesteuert wird. Wissen beruht somit auf Informationen – diese sind der Rohstoff von Wissen und die Form, in der Wissen gespeichert und weitergegeben wird [Ana15, S. 28], [Dör16, S. 34]. Das Wissen wird durch Handeln manifestiert, z.B. indem Problemlösungsverhalten wiederholt wird und zu Routinen werden. Ist eine Person in der Lage, in einer Situation richtig zu handeln, so wird dies als Kompetenz bezeichnet. Kompetentes Handeln wird dabei von Aspekten wie Haltung, Werte und Motivation beeinflusst. Ergebnis des Zusammenspiels mehrerer Kompetenzen von Personen bis hin zu Systemen wird dabei als Wertschöpfung bezeichnet. Ist diese Wertschöpfung ein gegenüber der Konkurrenz überlegener oder einzigartiger Kundennutzen, so resultiert die Wettbewerbsfähigkeit einer Organisation [NM18, S. 4f.].

Unter Beachtung der soziotechnischen Perspektive haben die drei Dimensionen unterschiedlichen Einfluss auf die Ausgestaltung der Treppenstufen. Technologien wie „Big Data Analytics“ oder „Augmented Reality“ (Dimension Technik) stellen sog. Befähiger dar. Einzelne Stufen selbst, wie bspw. das Handeln, werden durch neue Arbeitsteilungen von Mensch und Maschine (Dimension Mensch) sowie die Kompetenzen durch neue Organisations- und Entscheidungsformen (Dimension Organisation) geprägt [NM18, S. 5].

Träger von Informationen für die Wissensgenerierung stellen alle Objekte, Personen oder Systeme dar, die Wissen speichern können. Es werden personelle, kollektive oder materielle Träger unterschieden. Unter *personellen Trägern* werden Menschen verstanden, die zur Speicherung, Verarbeitung, Weiterentwicklung, Kommunikation und Anwendung von Wissen fähig sind. In einem Unternehmen sind dies demnach alle Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen bis hin zu der Geschäftsführung. Speichermedien, die der reinen Dokumentation, Vervielfältigung oder Sicherung von Wissen dienen, werden als *materielle Träger* bezeichnet. Sie sind nicht in der Lage, neues Wissen zu generieren. Wissen kann dabei von personellen Wissensträgern auf materielle Wissensträger übertragen werden [Dör16, S. 43]. *Kollektives Wissen* bildet mehr als die Summe des Wissens einer Anzahl von Individuen. Es ist die effiziente Kombination verschiedener Wissensbestandteile, bspw. Projekte oder Strategien. Es ist im Sinne der „Wissenstreppe 4.0" für

[10] Unter dem Begriff „Syntax“ werden Ordnungsregeln verstanden, die Daten (bspw. Zeichenfolgen) aus Zeichen (Buchstaben, Ziffern, Sonderzeichen) bilden [Nor16, S. 36].

[11] Unter dem Begriff „Semantik“ wird die Relation zwischen Zeichen (Syntax) und ihrer Bedeutung verstanden [DHT16, S. 3].

die Wettbewerbsfähigkeit und den langfristigen Erfolg eines Unternehmens von besonderer Bedeutung [PRR12, S. 21f.], [NM18, S. 4]. Im industriellen Umfeld sind klassischerweise Anbieterunternehmen als Wissensträger tätig. Sie verfügen mit der Kombination aus personellen und kollektiven Wissensträgern über eine organisationale Wissensbasis [PRR12, S. 23]. D.h. sie sind bspw. über Experten in der Lage zur Überführung von erkannten Kundenbedürfnissen in wertschöpfende Problemlösungen [IRS+09, S. 50].

Es existiert zwar keine einheitliche Definition, der Umgang mit und die Gestaltung der organisationalen Wissensbasis in einem Unternehmen kann jedoch im Allgemeinen als **Wissensmanagement** bezeichnet werden [PRR12, S. 24], [Dör16, S. 143]. Das heißt, Wissen wird gezielt mittels Methoden, Aufgaben und Prozessen beeinflusst. Wissensmanagement bildet damit ein integriertes Interventionskonzept, welches Wissen zweckorientiert nutzbar macht und daher nach PROBST ET AL. alle Unternehmen mehr denn je betrifft [PRR12, S. 24]:

> *„Wissensmanagement ist eine Herausforderung für alle Unternehmen, welche in der Wissensgesellschaft überleben und ihre Wettbewerbsposition ausbauen wollen [PRR12, S. 1].“*

Um dieser Herausforderung im Kontext von Industrie 4.0 gerecht zu werden, ist Wissensmanagement im Unternehmen eine unabdingbare Querschnittsfunktion. Dabei ist es erforderlich, dass Organisationen durch Wissensmanagement in einer volatilen, unsicheren sowie komplexen Umwelt unterstützt werden [NM18, S. 9]. Wird Wissensmanagement im Sinne der Wissenstreppe 4.0 als ganzheitlicher Ansatz verstanden, so hat es Einfluss auf alle Unternehmensbereiche. Unter Berücksichtigung der soziotechnischen Perspektive betrifft Wissensmanagement demnach alle drei Dimensionen in Form von Mitarbeitern/Mitarbeiterinnen (Mensch), organisationalen Prozessen (Organisation) sowie Technologien bzw. die IT-Infrastruktur (Technik). Durch die gezielte Generierung und Verteilung von Wissen in allen drei Dimensionen soll eine ganzheitliche und nachhaltige Wissensbasis geschaffen werden, welche unabhängig von einzelnen Personen verwertbar ist und die Effektivität von Wertschöpfungen steigert [Dör16, S. 145].

Fazit:

Die Nutzung von Wissen kann zur Gestaltung von Industrie 4.0 für Unternehmen einen unabdingbaren Erfolgsfaktor darstellen. Insbesondere im Zeitalter der Digitalen Transformation, das von hoch dynamischen Märkten geprägt ist, gewinnt Wissen zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit enorm an Bedeutung. Um dabei gezielt Wissen einzusetzen, ist ein ganzheitliches Wissensmanagement erforderlich. D.h., die organisationale Wissensbasis ist für den jeweiligen Zweck mittels der Planung, Lenkung und Kontrolle der Handlungen und Kompetenzen eines Unternehmens verwertbar zu machen. Hierbei bezieht sich die Ganzheitlichkeit des Wissensmanagements in einer Organisation insb. auf die Berücksichtigung aller soziotechnischen Dimensionen.

3.5.2 Wissensarten

Wissen kann unter verschiedenen Blickwinkeln betrachtet werden. Es existiert daher eine Vielzahl an Möglichkeiten, Wissen in Form von Wissensarten zu differenzieren. Eine klassische Unterteilung stellt die Gliederung von Wissen nach POLANYI in **implizites und explizites Wissen** dar. Implizites Wissen ist nicht formalisiert und an Personen gebunden, d.h. eng mit den Idealen, Vorstellungen und den Erfahrungen des Individuums verknüpft. Es umfasst demnach sowohl kognitive als auch körperliche Fähigkeiten eines Menschen. Im industriellen Kontext bildet insb. das Erfahrungswissen von langjährigen Mitarbeitenden bzw. Experten eine wertvolle Ressource in Form von implizitem Wissen [Pol85, S. 13ff.]. Im Gegensatz zu implizitem Wissen ist explizites Wissen formalisiert. Mittels bspw. einer Sprache lässt sich explizites Wissen sowohl kommunizieren, transferieren als auch reproduzieren. Der Transfer des Wissens kann dabei über Personen oder über materielle Gegenstände wie Bücher, Displays o.ä. erfolgen [Pol85, S. 13ff.]. Um von der Ressource Wissen effizient profitieren zu können, ist es für Unternehmen erforderlich, auf das wertvolle implizite Wissen zuzugreifen. Hierfür benötigt es jedoch eine formalisierte und kommunizierbare Form, d.h. dem sog. externalisierten Wissen. Der Transfer des impliziten Wissens in explizites Wissen wird nach NONAKA UND TAKEUCHI demnach als Externalisierung (siehe Abschnitt 3.5.3) bezeichnet [NT97, S. 84ff.].

Weiterhin können **Wissensarten aus inhaltlicher Perspektive** unterschieden werden, welche in Anlehnung an SACKMANN (1992) [SAC92] das Faktenwissen, Handlungswissen, Rezeptwissen sowie Normenwissen darstellen [Dör16, S. 48] (Bild 3.8).

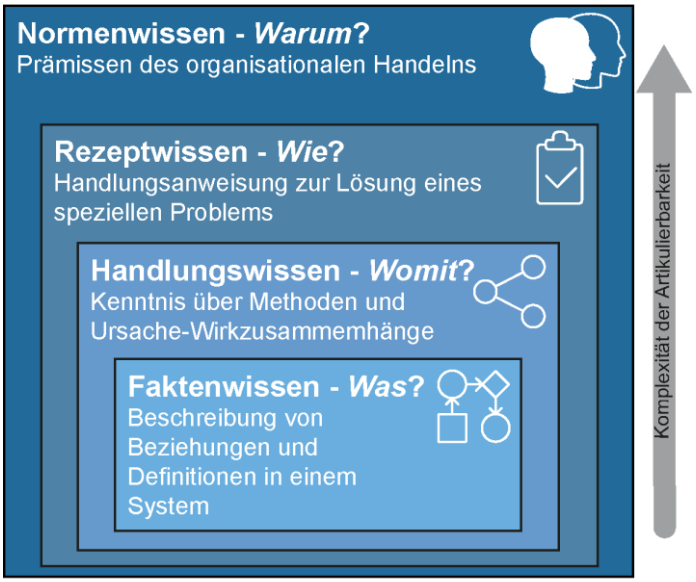


Bild 3.8: Die vier Wissensarten nach SACKMANN in Anlehnung an [Dör16, S.49]

Faktenwissen kann als lexikalisches Wissen bezeichnet werden und beantwortet mit Beziehungen und Definitionen eines Systems die Frage nach dem „Was?“. **Handlungswissen** beinhaltet Kenntnisse über Methoden und Ursachen-Wirkungszusammenhänge. Es beantwortet die Frage nach dem „Womit?“. Das **Rezeptwissen** beantwortet die Frage

„Was soll getan werden?“ bzw. „Wie?“ und liefert daher Handlungsanweisungen zur Lösung eines spezifischen Problems. Eine übergeordnete Form des Wissens stellt das **Normenwissen** dar, welches bspw. mit Bestandteilen wie Kundenbedürfnissen das „Warum?“ beantwortet. Je höher dabei die Stufe der Wissensart ist, desto schwieriger ist dessen Artikulierbarkeit [Dör16, S. 48]. Das für die vorliegende Arbeit relevante Wissen erfordert unter Berücksichtigung von Lösungsmustern die wechselwirkenden Elemente Lösung und Problem. Es lässt sich daher in die Wissensarten Handlungs- und Rezeptwissen einordnen, sodass der Fokus bei der Wissensidentifikation auf diese gelegt wird. Da es sich bei den Wissensarten um die Frage nach Lösungen (Womit?) und ihren Aktivitäten (Was muss getan werden/Wie?) handelt, werden diese im Folgenden unter dem Begriff **Lösungswissen** zusammengefasst. Lösungswissen kann in diesem Kontext als eine Kombination aus Fach- und Kundenwissen in einem Unternehmen beschrieben werden. Lösungswissen entsteht demnach hauptsächlich durch die Anwendung von Fachwissen zur Lösung von Kundenproblemen [Spe15, S. 19].

Fazit:

Wissen kann unter verschiedenen Gesichtspunkten differenziert werden, sodass eine Vielzahl an Wissensarten resultieren. Um den Wissenslücken des Mittelstands in der Identifikation und Auswahl von Industrie 4.0 Lösungen entgegenzuwirken, ist dabei der Zugriff auf externalisiertes Lösungswissen von hoher Relevanz. Lösungswissen setzt sich dabei aus dem Rezept- und Handlungswissen zusammen und wird als die Anwendung von Fachwissen zur Lösung von Kundenproblemen beschrieben.

3.5.3 Das SECI-Modell – Formen der Wissensumwandlung

Das SECI-Modell nach NONAKA UND TAKEUCHI ist ein Ansatz des Wissensmanagements und beschreibt mit den Phasen Sozialisation, Externalisierung, Kombination und Internalisierung vier Formen der Wissensumwandlung [NT97, S. 78ff.]. Sie definieren die Wissenserzeugung dabei als einen spiralförmigen Prozess, in dem explizites und implizites Wissen miteinander kombiniert und zwischen Individuen und Kollektiven transformiert wird (Bild 3.9).

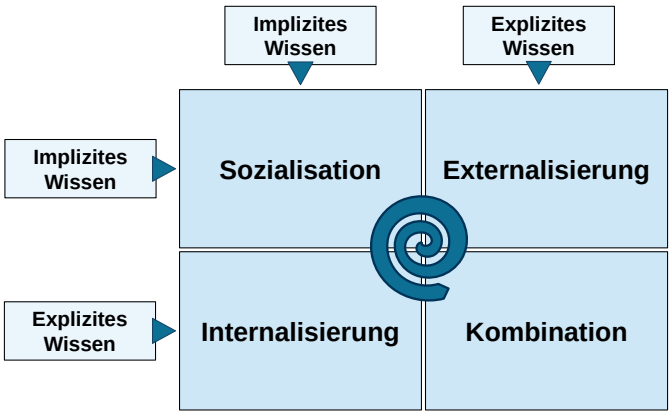


Bild 3.9: Die vier Phasen der Wissensumwandlung in Anlehnung an [NT97, S.79]

In einer Organisation findet ständig ein Austausch von implizitem und explizitem Wissen zwischen Individuen statt, wodurch wiederum neues Wissen erzeugt wird. Um dies zu erreichen, werden die vier Phasen wie folgt definiert [NT97, S. 78ff.]:

Sozialisation: Hierunter wird der weitestgehend stillschweigende Austausch von implizitem Wissen zwischen Individuen, bspw. in Form gemeinsamer Erfahrungen oder Nachahmung, verstanden.

Externalisierung: Die Externalisierung stellt die Übertragung von implizitem Wissen in explizites Wissen dar. Sie enthält dabei den Schlüssel zur Wissensschaffung. Externalisierung wird z.B. durch die Dokumentation des Wissens sowie dem sequenziellen Gebrauch von Modellen, Metaphern oder Analogien ermöglicht.

Kombination: Die Erweiterung von bereits bekanntem explizitem Wissen durch die Verknüpfung dessen zu neuem Wissen wird als Kombination bezeichnet. Hierbei werden Informationen bspw. sortiert, hinzugefügt oder klassifiziert und somit neues Wissen erzeugt. Im industriellen Umfeld ist die Kombination die meistgenutzte Form der Wissensschaffung, indem bspw. Konzepte nach Arbeitsbereichen aufgegliedert werden.

Internalisierung: Die Anwendung des verknüpften Wissens aus der Kombination von den Individuen einer Organisation führt zu einer erneuten Generierung von implizitem Wissen, sodass an diesem Punkt erneut die Sozialisation greifen kann.

Fazit:

Das SECI-Modell verdeutlicht, dass ein Durchlaufen verschiedener Umwandlungsphasen ständig neues Wissen in einem Unternehmen generiert. Um jedoch in die Phase der Kombination zu gelangen und das Wissen stetig zu erweitern, wird der Zugriff auf externalisiertes Wissen vorausgesetzt. Nur wenn Wissen explizit wird, kann es vom gesamten Unternehmen genutzt werden. Ist jedoch das implizite Wissen in einer Organisation für eine Externalisierung von Wissen eines Themenfelds (z.B. Industrie 4.0) nicht ausreichend vorhanden, so sind weitere Möglichkeiten für einen Zugriff auf bereits externalisiertes Wissen zu nutzen. Im Kontext von Industrie 4.0 existieren bereits einige Vorreiter, welche erfolgreich Lösungen eingeführt haben. Die Wiederverwendung von Wissen über solche Best Practices ist eine geeignete Möglichkeit, externes Wissen zu nutzen. Der Ansatz wird im Folgenden vorgestellt.

3.5.4 Zugriff auf wiederverwendbares Industrie 4.0 Lösungswissen

Im industriellen Umfeld stellen Anbieterunternehmen mit ihrer organisationalen Wissensbasis relevante Wissensträger dar (vgl. Abschnitt 3.5.1). Zur Schließung der internen Wissenslücken im Mittelstand bzgl. Industrie 4.0 ist es daher von großer Bedeutung, insb. externes Wissen anderer Organisationen aufzunehmen und zu bewerten. Dies ist von Wichtigkeit, um Wettbewerbsvorteile aus diesem für das eigene Unternehmen zu erkennen [Rau13, S. 23]. In jeder Branche existieren sog. „Digital Leader“, die Vorreiter in

ihrem Gebiet sind und über einen hohen Anteil an Lösungswissen verfügen. An diesen gilt es, sich zu orientieren [EL16, S. 33].

> *„Digitale Leader sind in der Lage, nicht nur zukünftige technische Entwicklungen und Veränderungen in der angestammten Branche in einem gewissen Umfang zu antizipieren. Ihnen gelingt es zusätzlich, diese Erkenntnisse intern und extern durch eine aussagekräftige Vision zu vermitteln. Oftmals gehen diese Aussagen weit über das derzeit bekannte geschäftliche Handeln in der jeweiligen Industrie hinaus. Die digitalen Leader können gesamtgesellschaftliche Phänomene in ihr Geschäftsmodell integrieren. Zusätzlich streben sie in ihrer Zielrichtung häufig noch einen höheren Zweck an [KNP17, S. 46].“*

Diese „Digital Leader“, häufig Großunternehmen mit entsprechenden finanziellen und personellen Ressourcen, bringen regelmäßig sog. Best Practices hervor. Best Practices werden im Allgemeinen als die bestmögliche, bereits erprobte Methode, Maßnahme o.ä. zur Durchführung oder Umsetzung von Etwas beschrieben [Dud20-ol]. In der vorliegenden Arbeit beziehen sich Best Practices auf erfolgreich durchgeführte Projekte im Kontext von Industrie 4.0, aus denen für verschiedene Problemstellungen erfolgreiche Lösungen hervorgehen. Ansätze, welche das wertvolle Wissen aus Best Practices für verschiedene Fokusthemen online bereitstellen, sind bspw. Projekt-Plattformen, Studien- oder Benchmark-Ergebnisse[12]. In diesen werden einzelne erfolgreiche Projektbeispiele von Unternehmen verschiedener Branchen und Größen in Prosa beschrieben. Dabei liegt der Fokus meist auf der Beschreibung der technischen Lösung. Bekannte Beispiele solcher Plattformen vor dem Hintergrund von Industrie 4.0 bzw. Digitalisierung stellen das PAC Innovation Register oder die Plattform Industrie 4.0 (vgl. Abschnitt 4.3) dar [PAC16-ol], [BMW20b-ol]. Insbesondere für den Mittelstand sind die dort beschriebenen Best Practices jedoch nur schwer für ihre individuellen Notwendigkeiten zu strukturieren. Daher ist für einen Transfer des Lösungswissens, unter den Rahmenbedingungen mittelständisch geprägter Unternehmen, eine systematische Unterstützung erforderlich.

3.6 Wiederverwendung von Lösungswissen mit Lösungsmustern

Ein etablierter Ansatz des Wissensmanagements, welcher die Wiederverwendung von Lösungswissen in strukturierter Form ermöglicht, stellen Lösungsmuster dar. Der Einsatz von Lösungsmuster hat sich im industriellen Umfeld seit ihrer Entstehung stetig weiterverbreitet. Lösungsmuster bilden das methodische Grundgerüst der vorliegenden Arbeit. Ihre Entstehung ist auf den Architekten ALEXANDER zurückzuführen. Seine Definition, die Vorteile sowie der Einsatz von Lösungsmustern im Kontext von Industrie 4.0 werden

[12] Benchmarking ist ein Instrument der Wettbewerbsanalyse. Ziel ist ein kontinuierlicher Vergleich von Produkten, Dienstleistungen sowie Prozessen und Methoden mit (mehreren) Unternehmen einer Klasse, um die Leistungslücke zum sog. Klassenbesten systematisch zu identifizieren [Gab20].

zunächst in *Abschnitt 3.6.1* beschrieben. Der Nutzen von Lösungsmustern zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 vor dem Hintergrund der dargestellten Herausforderungen wird in *Abschnitt 3.6.2* diskutiert. Ziel der Arbeit ist die Erstellung von Lösungsmustern selbst. Der klassische Prozess zur Erstellung von Lösungsmustern sowie seine Erweiterung im Kontext dieser Arbeit wird daher in *Abschnitt 3.6.3* erläutert.

3.6.1 Der Lösungsmusteransatz im Überblick

Ziel der vorliegenden Arbeit sind *Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand*. Lösungsmuster bilden demnach das methodische Grundgerüst zur Begegnung der relevanten Herausforderungen von Industrie 4.0 in mittelständisch geprägten Unternehmen. Nach ALEXANDER ET AL. **externalisiert ein Lösungsmuster relevantes Wissen** und beschreibt ein Problem sowie den Kern der Lösung für dieses Problem [AIS+77, S. 10 (röm.)]. Im Umgang mit Mustern wird ein Gesamtproblem in Teilprobleme zerlegt, für die abstrakte Lösungen ausgearbeitet werden können. Dabei kann sich eine Lösung, in Abhängigkeit des Anwenders, unterschiedlich ausprägen. Hierdurch kann ein Muster millionenfach angewendet werden, ohne sich je zu wiederholen [Ana15, S. 34], [AIS+77, S. 10 (röm.)].

Ein Lösungsmuster gliedert sich nach ALEXANDER ET AL. in die vier **Bestandteile** Name, Kontext, Problem und Lösung. Der *Name* stellt eine beschreibende Repräsentation der im Muster enthaltenen Lösung dar. Der *Kontext* ordnet das zu Grunde liegende Problem in die Situation ein, in der es auftritt. Das *Problem* beschreibt die von dem Muster adressierten Herausforderungen bzw. Probleme. Die *Lösung* liefert geeignete Mittel und Wege, dem Problem zu begegnen [Ana15, S. 34], [Ams16, S. 36f.]. Die konkrete Ausgestaltung der einzelnen Bestandteile bspw. in Form einer weiteren Untergliederung oder einer bestimmten Notation ist nicht festgelegt. Diese kann daher flexibel auf den Anwendungskontext, in diesem Fall z.B. Industrie 4.0, angepasst werden.

Lösungsmuster werden seit langer Zeit bereits erfolgreich in verschiedenen **Domänen eingesetzt**. Der Ursprung geht auf den o.g. Ansatz von ALEXANDER ET AL. in der Architekturtheorie zurück [AIS+77]. Erweitert wurde der Einsatz von Lösungsmustern anschließend primär im Bereich der Softwareentwicklung. Bekannte Ansätze sind bspw. GAMMA ET AL. oder BUSCHMANN ET AL. [GHJ+94], [BMR+13]. Weiterhin existieren zahlreiche Lösungsmusteransätze zur Unterstützung des Produktentstehungsprozesses. Darunter fallen bspw. SALUSTRI, DUMITRESCU oder ANACKER [Sal01], [Dum10], [Ana15]. Im Bereich der Geschäftsmodellentwicklung sind die umfangreichen 55 Geschäftsmodellmuster nach GASSMANN ET AL. zu nennen [GFC17]. Eine Übersicht der Lösungsmusteransätze über die Zeit liefert Bild 3.10.

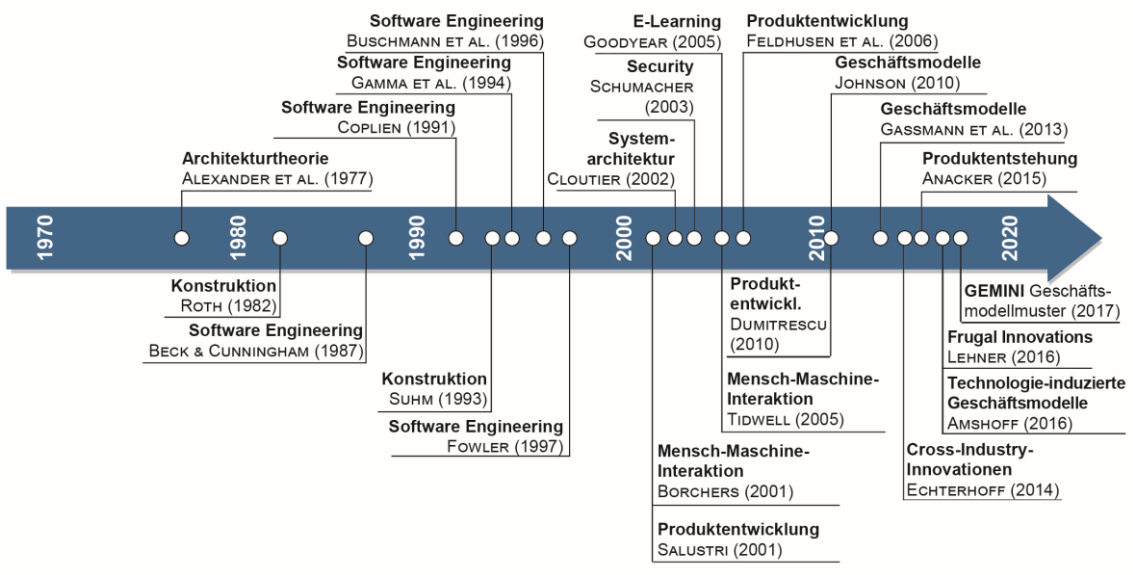


Bild 3.10: Übersicht der Lösungsmusteransätze verschiedener Domänen in Anlehnung an [Ams16]

Fazit:

Lösungsmuster sind ein etablierter Ansatz des Wissensmanagement. Im Kontext der vorliegenden Arbeit wird dabei der Definition und Struktur nach ALEXANDER ET AL. gefolgt. Mit Lösungsmustern ist in diesem Zusammenhang eine systematische Wiederverwendung und Strukturierung von Lösungswissen in die Bestandteile Name, Problem, Kontext sowie Lösung möglich. Der Domänenvergleich zeigt bereits die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten von Lösungsmustern für ein effizientes Wissensmanagement auf. Wird das Wissensmanagement nun speziell auf die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 und die hiermit verknüpften Hemmnisse bezogen, scheint die Anwendung von Lösungsmustern ebenfalls erfolgsversprechend. Der Nutzen von Lösungsmustern in diesem Kontext wird daher im Folgenden erörtert.

3.6.2 Der Nutzen von Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0

Lösungsmuster gliedern sich in die Ansätze des Wissensmanagements ein. Alternative Wissensmanagementansätze zur Nutzung von Lösungswissen stellen bspw. Knowledge-Maps, Topic-Maps oder Wirkprinzipien in Konstruktionskatalogen (z.B. nach ROTH [Rot01].) dar. Die Anwendung von Lösungsmustern bietet jedoch entscheidende **Vorteile**. Diese sind laut ANACKER im Allgemeinen [Ana15, S. 142]:

- Die Übertragbarkeit durch eine einheitliche Struktur.
- Die Verbesserung der Kommunikation.
- Eine langfristige Dokumentation.

- Die Möglichkeit der Komplexitätsreduktion.
- Eine Effizienzsteigerung.
- Die Förderung der Kreativität.

Vor dem Hintergrund der Kernherausforderung des fehlenden Lösungswissens zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 (vgl. Abschnitt 3.4), sind mit Lösungsmustern enorme Nutzenpotentiale verknüpft:

1) Der Einsatz von Lösungsmustern ist insbesondere auf die Identifikation von Problem-Lösungs-Kombinationen ausgerichtet. Die Identifikation von Lösungen aus den unüberschaubaren Möglichkeiten für Industrie 4.0 und für den tatsächlichen Handlungsbedarf wird hiermit gewährleistet.

2) Die Wiederverwendung von (externem) Lösungswissen über Lösungsmuster, bspw. durch die Externalisierung von Best Practice Wissen, ermöglicht eine zielgerichtete Reduktion der Industrie 4.0 Wissenslücken im Mittelstand.

3) Trotz der Generalisierung der Informationen in einem Muster, wird eine individuelle Ausprägung der Lösung vorgesehen. Hierdurch kann auf die spezifische Ausgangssituation und Eigenschaften eines mittelständisch geprägten Unternehmens eingegangen werden. Durch die Individualisierung wird sichergestellt, dass das spezifisch Notwendige anstatt des grundsätzlich Möglichen integriert wird.

4) Die Strukturierung von Lösungsmustern in die Bestandteile Name, Kontext, Problem und Lösung erlaubt eine Vergleichbarkeit und schnelle Interpretierbarkeit der Muster. Dies erleichtert die Entscheidungsfindung von Industrie 4.0 Lösungen aus einer Vielzahl von Möglichkeiten. Schnelle Interpretationen und Entscheidungen bei der Dynamik der Märkte im Zeitalter der Digitalen Transformation kann dabei die Wettbewerbsfähigkeit sichern.

5) Die Formalisierung des Lösungswissens in einheitlichen Dokumentationsschemata gestattet eine Speicherung und kontinuierliche Erweiterung der Lösungsmuster. Hierdurch kann die organisationale Wissensbasis langfristig gesichert und stetig aktualisiert werden. Insbesondere bei der zunehmenden Bedeutung der Ressource Wissen im Zuge von Industrie 4.0 ist dies ein entscheidendes Potential. So scheinen wissensintensive Unternehmen eine größere Erfolgschance zu haben.

Der **Handlungsbedarf** bei der Nutzung von Lösungsmustern zum Wissensmanagement für Industrie 4.0 ist im weiteren Verlauf der vorliegenden Arbeit zu untersuchen. Die bestehenden Lösungsmusteransätze bieten bereits eine gute Grundlage. Ob sie insb. den soziotechnischen Gedanken verfolgen, gilt es im Stand der Technik zu prüfen (vgl. Abschnitt 4.4). Es erscheint, als konzentrieren sich einzelne Ansätze meist auf eine einzige Dimension wie die Technik im Bereich der Produktentwicklung oder die Organisation im Bereich der Geschäftsmodellentwicklung.

Fazit:

Zur Bewältigung der Kernherausforderung des fehlenden Lösungswissens für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0, sind Lösungsmuster ein erfolgsversprechender Ansatz. Sie bieten enorme Nutzenpotentiale vor dem Hintergrund der Integration der zum Problem passenden Industrie 4.0 Lösung. So ist der Lösungsmusteransatz bspw. mit seinen Bestandteilen gut strukturiert und leicht vergleich- sowie interpretierbar. Hierdurch wird der Unüberschaubarkeit der Möglichkeiten von Industrie 4.0 begegnet. Gleichzeitig ist er in seiner konkreten Ausgestaltung so flexibel, dass auf die individuellen Bedürfnisse eines Unternehmens sowie den Charakteristika von dem Mittelstand und Industrie 4.0, wie bspw. der soziotechnischen Perspektive, eingegangen werden kann. Zur Erstellung von Lösungsmustern sind dabei bestimmte Aktivitäten erforderlich. Diese werden in Abschnitt 3.6.3 näher erläutert.

3.6.3 Prozess der Mustererstellung

Die Erstellung von Lösungsmustern gliedert sich in Anlehnung an KOHLS ET AL. [KS08, S. 1] [KW08, S. 222] klassischerweise in die drei Phasen Musteridentifikation/Mustererwerb, Musterdokumentation sowie Musteranwendung. Die Phasen werden dabei zyklisch angeordnet (Bild 3.11).

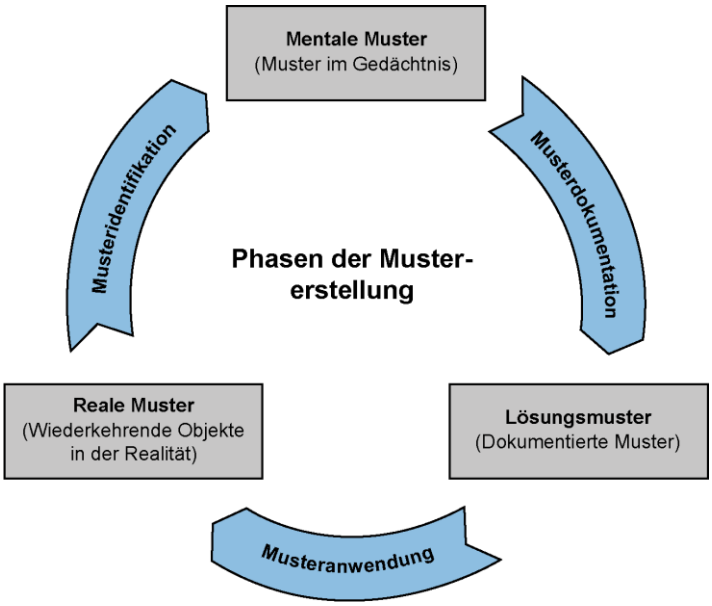


Bild 3.11: Die Phasen der Mustererstellung in Anlehnung an [KW08]

Im Rahmen der **Musteridentifikation** werden in der Realität vorliegende wiederkehrende Objekte (reale Muster) in mentale Muster umgewandelt. Die **Musterdokumentation** adressiert die schriftliche Notation der generalisierten Musterinformationen, sodass Lösungsmuster entstehen. Die individuelle **Anwendung** dieser dokumentierten Muster kann zu neuen in der Realität existierenden Mustern führen [KS08, S. 1] [Ams16, S. 34]. Die einzelnen Phasen in ihrer klassischen Anordnung werden im Folgenden detailliert

erläutert (vgl. *Abschnitt 3.6.3.1 bis Abschnitt 3.6.3.3*). Anschließend wird unter Berücksichtigung von Industrie 4.0 sowie der soziotechnischen Perspektive eine Modifikation des traditionellen Phasenmodells vorgenommen (vgl. *Abschnitt 3.6.3.4*).

3.6.3.1 Musteridentifikation

Das Erkennen von Mustern, d.h. bewährten Problem-Lösungs-Kombinationen, aus implizitem oder explizitem Wissen erfolgt in der Phase der Musteridentifikation. Hierbei können nach ALEXANDER drei Ansätze unterschieden werden [Ale79, S. 258ff.]. Die *induktive Musteridentifikation* zeichnet sich durch ein Vorgehen vom Speziellen zum Allgemeinen aus. D.h. es werden bspw. vergangene erfolgreiche Projekte sowie ihre dazugehörigen Lösungen beobachtet bzw. analysiert. Demgegenüber steht die *deduktive Musteridentifikation*. Dabei wird durch die Ableitung spezieller Lösungen auf Basis von abstrakten Argumenten vom Allgemeinen zum Speziellen vorgegangen. Eine *Mischform* dieser beiden Vorgehensweisen stellt die Beobachtung bzw. Analyse nichterfolgreicher Projektbeispiele (induktiv) dar, aus denen anschließend mögliche Erfolgversprechende Lösungen abstrahiert werden (deduktiv) [Ale79, S. 258ff.].

Auf welcher Basis diese Vorgehensweisen angewendet werden, d.h. welche Wissensquellen genutzt werden, kann nach KERTH AND CUNNIGHMAN in die Ansätze introspektiv, soziologisch oder gegenständlich differenziert werden [KC97, S. 56]. Sie beziehen sich dabei auf architektonische Muster. Der *introspektive* Ansatz basiert dabei auf einer Reflektion und Analyse eigens erbauter Systeme. Dabei dienen die eigenen Erfahrungen als Wissensgrundlage. Personen aus dem Umfeld, welche ähnliche Systeme erstellt haben, sowie ihre Aktivitäten werden in dem *soziologischen* Ansatz genutzt. Der *gegenständliche* Ansatz verfolgt die Analyse verschiedener abgeschlossener Systeme, denen ähnliche Problemstellungen zu Grunde lagen [KC97, S. 56]. Hierzu zählen im vorliegenden Kontext bspw. abgeschlossene Industrie 4.0 Projekte bzw. marktreife Industrie 4.0 Lösungen. Bild 3.12 fasst die Ansätze in einem Schema zusammen.

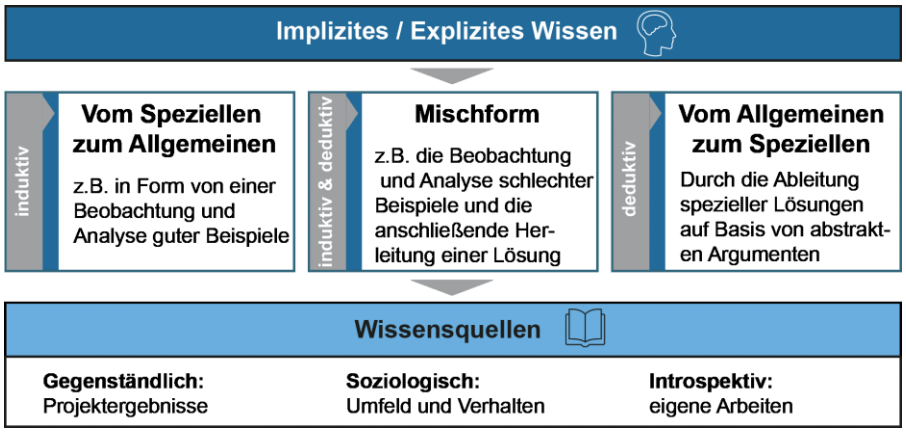


Bild 3.12: Ansätze der Musteridentifikation nach ALEXANDER ET AL. sowie KERTH AND CUNNIGHMAN [AIS+77], [KC97]

Fazit:

Zur Ableitung von Mustern aus der Realität existieren verschiedene Vorgehensweisen. Dabei ist das externe Lösungswissen der „Digital Leader“ und ihrer hervorgebrachten Best Practices (vgl. Abschnitt 3.5.4) für einen erfolgreichen Umgang mit Industrie 4.0 von großer Relevanz. Daher sind im Rahmen der vorliegenden Arbeit der induktive (Analyse erfolgreicher Beispiele) sowie gegenständliche (Analyse von Projekten/Best Practices) Ansatz zur Musteridentifikation als sinnvoll einzustufen.

3.6.3.2 Musterdokumentation und -präsentation

Um das Lösungswissen Dritten zugänglich zu machen, ist die Formalisierung dessen unabdingbar. CLOUTIER UND DINESH unterstreichen dies mit folgender Aussage:

> *“Formalizing patterns through documentation helps to ensure their usage by others, their management as assets, and their application in an appropriate manner, and that they are improved over time [CD07, S. 142].”*

Zu Formalisierung des Lösungswissens in Form von Mustern werden dabei geeignete Notationsschemata bzw. Repräsentationsformen erforderlich [Dei09, S. 144]. In der Literatur existieren eine Vielzahl an Notationsschemata, welche von reinen Prosatexten (z.B. nach ALEXANDER, [Ale79]) bis hin zu modellbasierten Repräsentationen der Muster (z.B. nach ANACKER, [Ana15]) reichen. Der Formalisierungsgrad zur Musterdokumentation ist frei wählbar. Die Gestaltung der Präsentationsform ist in der Literatur ebenfalls nicht explizit vorgegeben. Vielmehr werden Anforderungen an die Repräsentation, wie eine Vergleichbarkeit, Mehrbenutzerfähigkeit oder klare Strukturierung, definiert [Dei09, S. 144f.]. Die dokumentierten Muster werden entweder analog bspw. mittels Steckbriefen oder vermehrt über rechnerunterstützte Wissenssysteme bereitgestellt [Dei09, S. 145]. Den meisten Präsentationsformen gemein ist die Orientierung an den Musterbestandteilen Name, Kontext, Problem sowie Lösung (siehe Abschnitt 3.6.1). Durch diese kann eine einheitliche Strukturierung und Vergleichbarkeit sichergestellt werden. Gleichzeitig besteht die Flexibilität, die einzelnen Musterbestandteile gemäß dem Anwendungszweck und verschiedener Perspektiven weiter zu gliedern.

Fazit:

Im Rahmen der Musterdokumentation und -präsentation wird die Repräsentationsform sowie das Notationsschema eines Musters festgelegt. Die Anforderungen an diese sind im Rahmen der vorliegenden Arbeit, insb. unter Berücksichtigung des Themenfelds Industrie 4.0 sowie der soziotechnischen Systemtheorie, zu identifizieren. Darauf aufbauend ist ein geeignetes Präsentationsschema auszuwählen. Bezogen auf die Strukturierung orientiert sich die Musterdokumentation und -präsentation klassischerweise an den Musterbestandteilen Name, Kontext. Problem und Lösung nach ALEXANDER. Dieser Orientierung wird in der vorliegenden Arbeit gefolgt.

3.6.3.3 Musteranwendung

Ein Lösungsmuster zeichnet sich durch die Aufbereitung von Informationen in generalisierter Form aus. Die Übertragung der Informationen eines oder mehrerer Lösungsmuster auf individuelle Probleme eines Unternehmens wird als Musteranwendung bezeichnet. Weiterhin werden die Auswahl der geeigneten Muster sowie die Kombination mehrerer Muster zu einer schlüssigen Problemlösung im Rahmen der Musteranwendung adressiert [Ams16, S. 38]. Hierfür können verschiedene Hilfsmittel, bspw. aus dem Bereich der Entscheidungsunterstützung, eingesetzt werden. Bild 3.13 zeigt die Zusammenhänge auf.

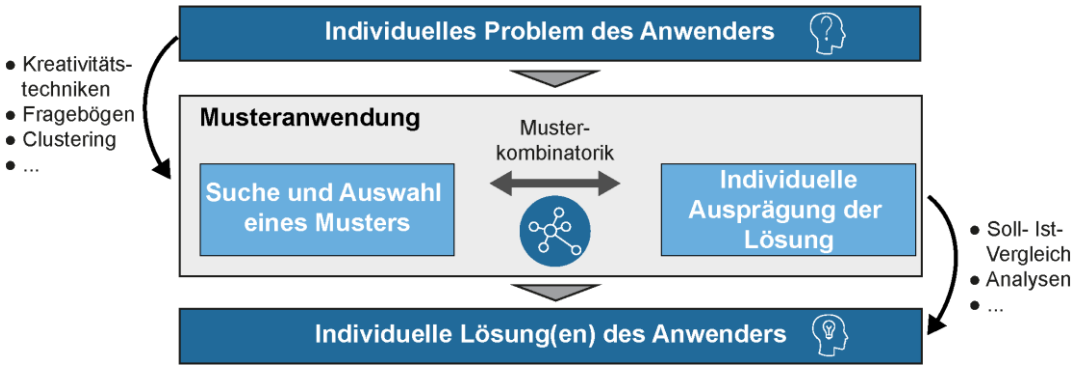


Bild 3.13: Das Konzept der Musteranwendung

Hinsichtlich der Sammlung und Beziehungen von Lösungsmustern können nach SCHUHMACHER drei verschiedene Ebenen definiert werden: der Musterkatalog, das Mustersystem sowie die Mustersprache [Sch03, S. 15] (Bild 3.14).

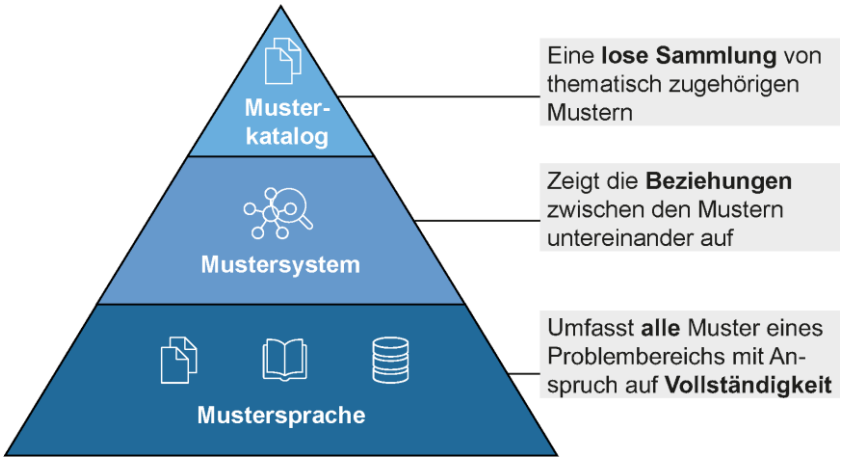


Bild 3.14: Stufen der Musterbeziehungen in Anlehnung an SCHUHMACHER [Sch03]

Im Rahmen eines **Musterkatalogs** besteht eine rein thematische Beziehung zwischen Lösungsmustern. D.h. Muster eines Themenfelds werden gesammelt und in einem Musterkatalog unabhängig von möglichen Interdependenzen aufgelistet. Dabei kann ein Musterkatalog mehrerer Autoren/Autorinnen entstammen und sich somit in der Repräsentation der einzelnen Muster unterscheiden. Ein **Mustersystem** weist demgegenüber eine einheitliche Struktur und Notation auf und baut auf einem einheitlich gestalteten Muster-

katalog auf. Das Mustersystem zeichnet sich durch die Abbildung der Beziehungen zwischen den einzelnen Mustern aus. Auf der untersten Ebene, der **Mustersprache**, wird eine vollständige Bereitstellung aller Muster eines Themenfelds sowie ihrer Beziehungen angestrebt. Die Muster einer Mustersprache sind in sich abgeschlossen und dienen einem übergeordneten Muster, bspw. einem Themengebiet [Zim08, S. 53].

Fazit:

In der Musteranwendung werden geeignete Muster ausgewählt und individuell ausgeprägt. Im Rahmen der Musterauswahl wird dabei eine Entscheidungsunterstützung bspw. durch eine Bewertung der vorliegenden Muster erforderlich. Anschließend sind generalisiert vorliegende Informationen individuell, bspw. in Form von Maßnahmen, auszugestalten. Das Vorgehen für die Musterauswahl und -ausprägung ist bisher wenig systematisiert. Die Musteranwendung wird in der vorliegenden Arbeit nicht fokussiert. Sie wird lediglich zur Validierung der Anwendbarkeit der zu erarbeitenden Lösungsmuster in Kapitel 6 adressiert. Hiervon ausgenommen ist ihre Kombinatorik. Insbesondere bei Industrie 4.0 – geprägt von vernetzten Lösungen – ist der Musterkombination ein besonderer Stellenwert zuzuschreiben. Daher wird der Prozess zur Mustererstellung zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 im Folgenden leicht modifiziert.

3.6.3.4 Der Prozess zur Mustererstellung für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0

Das klassische Vorgehensmodell der Mustererstellung nach KOHLS ET AL. [KS08, S. 1] bietet eine systematische Herleitung von Lösungsmustern. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden daher zur Erarbeitung der Lösungsmuster die beiden Phasen Musteridentifikation und Musterdokumentation berücksichtigt. Die zu identifizierenden Lösungsmuster sollen dabei soziotechnische Problemstellungen im Kontext Industrie 4.0 adressieren (vgl. Abschnitt 3.3). Sowohl die soziotechnischen Dimensionen als auch Industrie 4.0 zeichnen sich durch enge Wechselwirkungen und Vernetzungen aus. Es wird davon ausgegangen, dass sich diese Vielzahl an Abhängigkeiten auf die Beziehungen der zu identifizierenden Industrie 4.0 Lösungsmuster auswirken wird. Ihre Kombinatorik gewinnt hierdurch an Komplexität. Der Musterkombinatorik wird daher in der vorliegenden Arbeit ein besonderer Stellenwert zugeschrieben. Eine eigene Phase der Musterkombination wird in den Erstellungsprozess der Lösungsmuster integriert. Es resultiert demnach, als Grundlage für die Erarbeitung von Lösungsmuster zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0, ein erweitertes Modell mit vier Phasen (Bild 3.15). Die Musteranwendung wird dabei vor dem Hintergrund der Arbeit nicht fokussiert und wird daher nicht mit abgebildet.

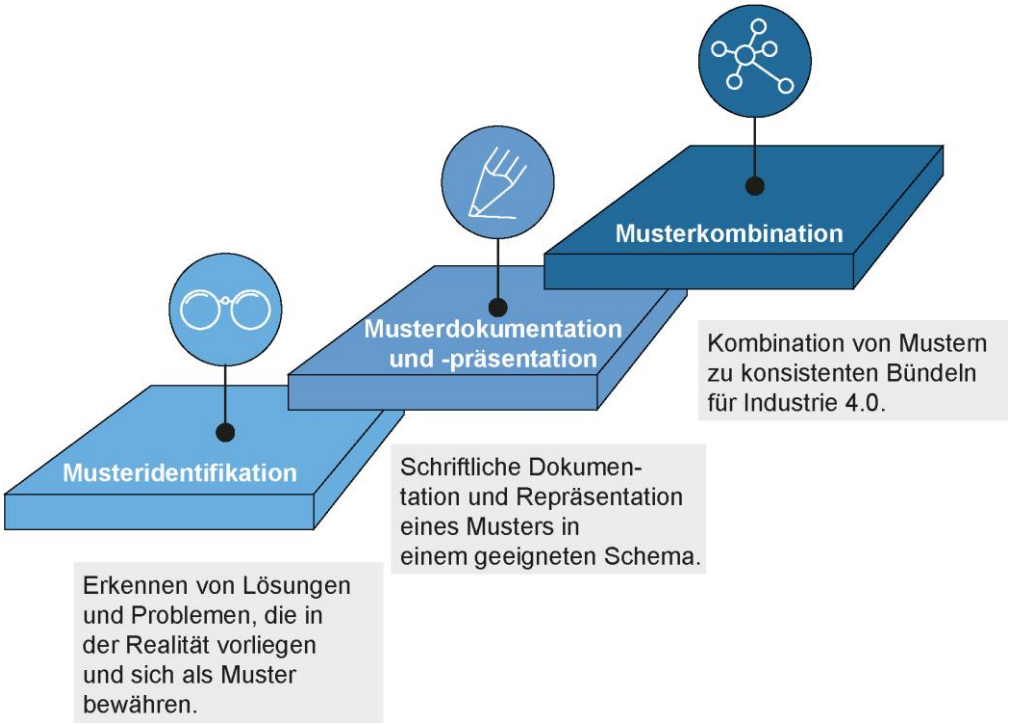


Bild 3.15: Modifiziertes Modell der Mustererstellung in Anlehnung an KOHLS ET AL. [KS08] vor dem Hintergrund der Arbeit

Die **Musteridentifikation** adressiert das Erkennen von wiederholt erfolgreichen Problem-Lösung-Kombinationen aus der Realität. Dabei sind soziotechnische Herausforderungen die Basis der Musteridentifikation. Es resultiert ein Musterkatalog. Diese werden in der Phase der **Musterdokumentation und -präsentation** zunächst schriftlich und mittels generalisierter Informationen festgehalten. Hierfür wird unter Berücksichtigung der Musterbestandteile nach ALEXANDER (Name, Kontext, Problem und Lösung) ein geeignetes Repräsentationsschema mit erforderlichen Komponenten definiert. Die Phase der **Musterkombination** dient der Erarbeitung von konsistenten Bündeln für Industrie 4.0. Ziel ist es, im Mittelstand ganzheitliche Musterpfade für Industrie 4.0 in einem angemessenen Aufwand-Nutzen Verhältnis zu ermöglichen.

Fazit:

Das klassische Modell der Mustererstellung nach KOHLS ET AL. stellt einen Ansatz zur systematischen Generierung und Anwendung von Lösungsmustern dar. Um den Anforderungen der soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 mittels Lösungsmustern gerecht werden zu können, ist der Musterkombination ein besonderer Stellenwert zuzuschreiben. Die Musterkombination wird daher von der Musteranwendung entkoppelt und als gesonderte Phase in den Prozess der Mustererstellung integriert. Es resultiert ein erweitertes Modell, an welchem sich die vorliegende Arbeit orientiert.

3.7 Problemabgrenzung

Aus der vorangegangenen Problemanalyse wird ersichtlich, dass die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 unabdingbar für die erfolgreiche Positionierung produzierender Unternehmen ist. Eine Kernherausforderung für den Mittelstand ist dabei fehlendes Wissen, um aus den unüberschaubaren Möglichkeiten von Industrie 4.0 das spezifisch Notwendige zu identifizieren und soziotechnisch zu interpretieren. Vor diesem Hintergrund ist die Abstraktion von existierendem Lösungswissen mittels Lösungsmustern ein geeigneter Ansatz, um die Wissenslücken in diesem Kontext zu schließen. Es resultiert demnach die Notwendigkeit zur Entwicklung von *Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand*. Um dieses Ziel zu erreichen, können die drei Handlungsfelder „Soziotechnische Betrachtung von Industrie 4.0“, „Wiederverwendung und Aufbereitung von externem Wissen für Industrie 4.0“ sowie „Erstellung von Lösungsmustern entlang des erweiterten Prozessmodells“ identifiziert werden (Bild 3.16).

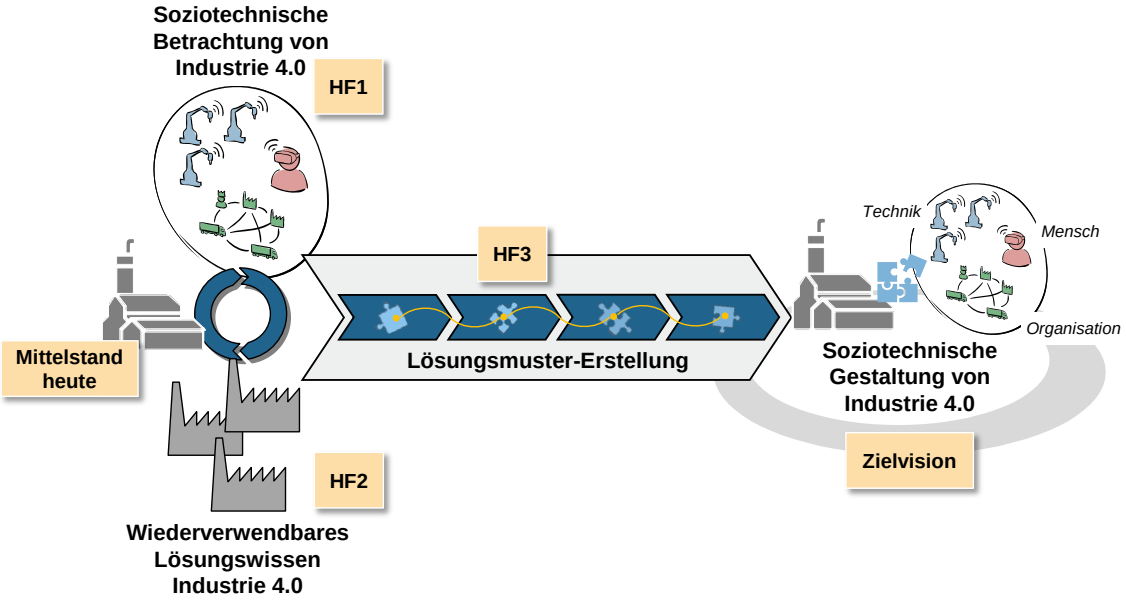


Bild 3.16: Übersicht der Handlungsfelder für die angestrebte Zielsetzung

Handlungsfeld 1: Soziotechnische Betrachtung von Industrie 4.0

Die Gestaltung von Industrie 4.0 ist stets als soziotechnische Aufgabe zu verstehen. Der einschlägigen Literatur im Themenfeld der soziotechnischen Systemtheorie ist eine Strukturierung in die Dimensionen Mensch, Organisation sowie Technik gemein. Welche Aspekte die einzelnen Dimensionen speziell für Industrie 4.0 beinhalten, ist jedoch weitestgehend unklar. Um eine einheitliche Basis für die Lösungsmuster zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 zu schaffen, sind die einzelnen Bestandteile der Dimensionen zunächst zu analysieren und ein **Referenzmodell** aufzustellen.

Handlungsfeld 2: Die Wiederverwendung und Aufbereitung von externem Wissen für Industrie 4.0

Die Wiederverwendung von Lösungswissen zur Umsetzung komplexer Aufgaben wie Industrie 4.0 stellt im industriellen Umfeld einen wesentlichen Erfolgsfaktor dar. Sie bietet das Potential, der Unklarheit bzgl. der unüberschaubaren Möglichkeiten von Industrie 4.0 zu begegnen. Ziel ist die Integration der zum individuellen Problem passenden Lösungen sowie die frühzeitige soziotechnische Analyse dessen, sodass Fehlinvestitionen und ein „Pilotprojekt-Fegefeuer“ vermieden werden können. Der Wissensstand bzgl. Industrie 4.0 im Mittelstand ist jedoch u.a. durch Fachkräfte- sowie Zeitmangel im operativen Geschäft nicht ausreichend ausgebaut. Um die internen Wissenslücken zu schließen, ist daher auf externes Wissen zuzugreifen. So können insb. die Erfolgsgeschichten digitaler Vorreiter, in der eigenen sowie in anderen Branchen (Cross Industry), von großer Bedeutung sein. Für einen Übertrag der Ressource Lösungswissen auf die individuellen Bedürfnisse eines Unternehmens mangelt es bisher an systematischen sowie ganzheitlichen Methoden. Um auf Grundlage des Referenzmodells das notwendige Lösungswissen für Industrie 4.0 greifbar zu machen, sind zunächst Anforderungen an die Wissensquellen abzuleiten. Unter Berücksichtigung der Anforderungen sind **geeignete Wissensquellen** als auch ein methodisches Identifikationsvorgehen festzulegen Um das Wissen dieser Vorreiter für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 aufzubereiten, sind **Problemstellungen in den drei Dimensionen und effiziente Lösungen von Industrie 4.0 zu abstrahieren**.

Handlungsfeld 3: Erstellung von Lösungsmustern

Einen erfolgsversprechenden Ansatz zur Wiederverwendung von Wissen stellen Lösungsmuster dar. Die Ermittlung von Lösungsmustern erfordert die **Analyse des existierenden Lösungswissens** hinsichtlich wiederkehrender soziotechnischer Problemstellungen sowie dazugehöriger erfolgreicher Lösungen. Ein Lösungsmuster besteht nach ALEXANDER aus den Bestandteilen Name, Problem, Kontext sowie Lösung [AIS+77]. Die Beschreibung der Bestandteile im Detail sowie die Ableitung eines geeigneten Generalisierungsgrad ist daher zu erarbeiten. Resultat ist ein **Musterkatalog**. Die Informationen in einem Lösungsmuster sind weiterhin Dritten in geeigneter Form zugänglich zu machen. Es ist eine von den Nutzerqualifikationen unabhängige Anwendung zu gewährleisten. Um die Informationen übersichtlich darzustellen und die Komplexität zu reduzieren, eignet sich eine Visualisierung des Musters. In Abhängigkeit des Musterkatalogs und unter Berücksichtigung der Musterbestandteile nach ALEXANDER ist hierfür ein **interdisziplinäres Notationsschema sowie eine geeignete Repräsentationsform** erforderlich. Das Notationsschema soll dabei zum einen den Aufbau der Repräsentationsform (z.B. Seitenanzahl, Struktur und Subkategorien) abbilden. Zum anderen sind zur Abbildung der relevanten Informationen anschließend geeignete Techniken zur Visualisierung des Wissens zu identifizieren und ggf. weiterzuentwickeln. Um die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 mit Hilfe von Lösungsmustern bestmöglich zu unterstützen und die knapperen Ressourcen des Mittelstands zu schonen, sind Synergien der Muster zu

nutzen. Ein weiteres Teilziel in der Erstellung der Lösungsmuster sollte daher die **konsistente Kombination** dieser sein.

3.8 Anforderungen an die Lösungsmuster zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand

Aus der Problemanalyse resultieren folgende Anforderungen an die *Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand*. Diese orientieren sich an den in *Abschnitt 3.7* vorgestellten Handlungsfeldern. Sie werden im Folgenden kurz erläutert. Dabei werden in *Abschnitt 3.8.1* Anforderungen an die soziotechnische Betrachtung von Industrie 4.0 beschrieben. In *Abschnitt 3.8.2* werden die Anforderungen an die Wiederverwendung und Aufbereitung von externem Wissen für Industrie 4.0 vorgestellt. Die mit der Lösungsmuster-Erstellung verknüpften Anforderungen bilden Bestandteil des *Abschnitts 3.8.3.* Abschließend werden in *Abschnitt 3.8.4* die für die gesamte Arbeit geltenden übergeordneten Anforderungen beschrieben.

3.8.1 Anforderungen an die soziotechnische Betrachtung von Industrie 4.0

A1: Gleichberechtigte Berücksichtigung der soziotechnischen Dimensionen

Industrie 4.0 mit ihren tiefgreifenden Veränderungen aller Bereiche ist als soziotechnische Herausforderung zu verstehen. Vor dem Hintergrund der soziotechnischen Systemgestaltung ist das sog. MTO-Konzept nach ULICH etabliert. Hierbei sind die Dimensionen Technik, Organisation und Mensch zu berücksichtigen.

A2: Definition soziotechnischer Artefakte von Industrie 4.0

Trotz des etablierten MTO-Konzepts existiert keine einheitliche Definition der einzelnen Dimensionen speziell für Industrie 4.0 (vgl. Abschnitt 3.3.3). Um ein klares soziotechnisches Verständnis zu erzeugen, sind die Dimensionen daher hinsichtlich der Charakteristika von Industrie 4.0 zu strukturieren. Die Struktur bildet die Grundlage zur Erarbeitung von Lösungsmustern zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0

3.8.2 Anforderungen an die Wiederverwendung und Aufbereitung von externem Wissen für Industrie 4.0

A3: Nutzung wiederverwendbaren Wissens von Industrie 4.0

Die Integration von Industrie 4.0 Lösungen ist erfolgskritisch für die Wettbewerbsfähigkeit des Mittelstands. Gleichzeitig ist Industrie 4.0 von stark dynamischen Märkten und unüberschaubaren Möglichkeiten geprägt. Um diese Komplexität zu beherrschen, ist ein

hoher Wissensgrad erforderlich (vgl. Abschnitt 3.5). U.a. Ressourcenknappheit im Mittelstand führt jedoch zu internen Wissenslücken bzgl. Lösungswissen für Industrie 4.0. Daher gilt es, bereits existierendes Wissen externer Unternehmen zu nutzen.

A4: Induktive Erschließung des Lösungswissens

Lösungswissen kann sowohl implizit als auch explizit vorliegen. Um vor allem von dem externen Wissen digitaler Vorreiter (Digital Leader) profitieren zu können, sollte die Identifikation induktiv erfolgen. Es gilt, hierzu entsprechende gegenständliche Wissensquellen zu identifizieren und ein geeignetes methodisches Vorgehen bereitzustellen (vgl. Abschnitt 3.5.4).

3.8.3 Anforderungen an die Lösungsmuster-Erstellung

A5: Berücksichtigung soziotechnischer Problemstellungen

Die zu erarbeitenden Lösungsmuster sollen der soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 dienen. Ziel ist es daher, wiederkehrende erfolgreiche Lösungen für typische soziotechnische Problemstellungen von Industrie 4.0 in Form von Lösungsmustern zu identifizieren. Soziotechnisch bedeutet demnach in diesem Kontext, dass das Lösungsmuster Problemstellungen aus mind. zwei der Dimensionen Mensch, Organisation und Technik adressiert (vgl. Abschnitt 3.3 und 3.6).

A6: Generierung tragfähiger Industrie 4.0 Lösungsmuster

Lösungsmuster sind abstrakte Beschreibungen von wiederkehrenden Problem-Lösungskombinationen. Um diese in generalisierter Form zur Verfügung zu stellen, ist eine Abstraktion von tragfähigen, d.h. erfolgversprechender, Problem-Lösungspaaren aus dem Industrie 4.0 Lösungswissen erforderlich. Hierfür ist ein adäquater Generalisierungsgrad bereitzustellen. Ein Muster besteht nach ALEXANDER weiterhin aus den vier Bestandteilen Name, Kontext, Problem sowie Lösungen. Diese sind bei der Generierung der Muster zu berücksichtigen. Weiterhin ist die Erstellung von Lösungsmustern an spezifische Aktivitäten gekoppelt. Dem erweiterten Prozess der Mustererstellung im Kontext Industrie 4.0 ist daher zu folgen (vgl. Abschnitt 3.6.3.4).

A7: Interdisziplinäres Repräsentationsschema

Die Musterpräsentation adressiert die Beschreibung der Musterbestandteile Name, Kontext, Problem und Lösung in geeigneter Form. Die identifizierten Lösungsmuster von Industrie 4.0 sollen unabhängig von der zugehörigen Fachdisziplin des Anwenders/der Anwenderin verständlich dargestellt sein. Hierfür ist ein interdisziplinäres Notationsschema in Form von ausgewählten und modifizierten Spezifikations- sowie Visualisierungsmethoden erforderlich (vgl. Abschnitt 3.6.3.4).

A8: Identifikation konsistenter Lösungsmusterkombinationen

Die Lösungsmuster selbst stehen in Abhängigkeit zueinander. Die Anwendung eines Musters führt in der Regel zu weiteren Mustern, die vorgelagert oder anschließend zu berücksichtigen sind. Die identifizierten Muster sind daher hinsichtlich ihrer Vernetzung zu analysieren und Synergien sollten genutzt werden. Hierfür sind geeignete Methoden zur Bildung konsistenter Musterkombinationen vorzusehen. Die voneinander abhängigen Muster sind weiterhin hinsichtlich ihrer Anwendungsreihenfolge zu untersuchen (vgl. Abschnitt 3.6.3.4).

3.8.4 Übergeordnete Anforderungen

A9: Eignung für den Mittelstand

Die Umsetzung von Industrie 4.0 ist für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen essenziell. Sie eröffnet ihnen unzählige Möglichkeiten der Leistungssteigerung. Vor allem mittelständisch geprägte Unternehmen stellt die Identifikation problemorientierter Lösungen aus den unüberschaubaren Möglichkeiten sowie die Interpretation dessen vor dem soziotechnischen Hintergrund vor große Herausforderungen. Daher sind zum einen die spezifischen Eigenschaften des Mittelstands zu berücksichtigen. Zum anderen sind die für den Mittelstand relevanten Problemstellungen und zugehörigen Lösungen im Kontext der Lösungsmustererstellung zu berücksichtigen (vgl. Abschnitt 3.4).

4 Stand der Technik

Im Rahmen der Problemanalyse sind insgesamt neun Anforderungen an *Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand* abgeleitet worden. Auf Grundlage dessen erfolgt in dem folgenden Kapitel die Beschreibung und Bewertung etablierter Ansätze aus dem Stand der Technik. In *Abschnitt 4.1* stehen allgemeine Ansätze zur Gestaltung von Industrie 4.0 im Fokus. Modelle der soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 werden in *Abschnitt 4.2* thematisiert. Darauffolgend werden in *Abschnitt 4.3* bestehende Möglichkeiten zur Wiederverwendung von Lösungswissen für Industrie 4.0 untersucht. Gegenstand von *Abschnitt 4.4* sind Lösungsmuster vor dem Hintergrund der Arbeit. Abschließend erfolgt in *Abschnitt 4.5* ein Abgleich des diskutierten Stands der Technik mit den Anforderungen aus der Problemanalyse. Hieraus wird der Handlungsbedarf zur Erarbeitung der Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand bestärkt.

4.1 Allgemeine Ansätze zur Gestaltung von Industrie 4.0

Das Paradigma Industrie 4.0 ist nicht neu. Zur Beherrschung der Komplexität von Industrie 4.0 sind verschiedene Ansätze zur Gestaltung dessen entstanden. Diese reichen von Leitfäden bis Reifegradmodelle. In der vorliegenden Arbeit werden ausgewählte Ansätze zur Gestaltung von Industrie 4.0 vorgestellt, die für das Forschungsthema repräsentativ sind und aus dem Forschungsumfeld entstammen. Eine vollständige Darstellung aller Ansätze zur Gestaltung von Industrie 4.0 kann bei der Vielzahl der Ansätze nicht erfolgen. In *Abschnitt 4.1.1* wird der reifegradbasierte acatech Industrie 4.0 Maturity Index vorgestellt. In *Abschnitt 4.1.2* folgt der vom VDMA bereitgestellte Leitfaden Industrie 4.0. Der Leitfaden zur erfolgreichen Implementierung von Industrie 4.0 Lösungen nach SCHUH ET AL. wird in *Abschnitt 4.1.3* beschrieben. Abschließend wird in Abschnitt *4.1.4* die Systematik zur Reifegradmodell-basierten Planung nach WESTERMANN erläutert.

4.1.1 Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index

Der acatech Maturity Index ist ein sechsstufiges Reifegradmodell. Es dient als ein Leitfaden für die Entwicklung eines Unternehmens hin zu Industrie 4.0. Das Reifegradmodell betrachtet ein Unternehmen dabei aus technologischer, organisatorischer und kultureller Perspektive und hilft Unternehmen u.a. bei der Transformation zu einer lernenden und agilen Organisation. Hierfür begleitet der Ansatz Unternehmen – von der Etablierung der Grundvoraussetzung für Industrie 4.0 bis hin zur Umsetzung [SAG+17, S. 7].

Zur **Einordnung der Unternehmen** werden zunächst sechs aufeinander aufbauende, nutzenorientierte Entwicklungsstufen bereitgestellt [SAG+17, S. 14]. Die Entwicklungsstufen starten mit der *Computerisierung und Konnektivität* als Aspekte der Digitalisierung.

D.h. im Rahmen des acatech Maturity Index wird der Ansatz verfolgt, dass die Digitalisierung noch kein Bestandteil von Industrie 4.0 ist, aber durch Computerisierung und Konnektivität die Grundlagen schafft. Im Kontext von Industrie 4.0 Fähigkeiten folgen die Stufen 3 bis 6: *Sichtbarkeit, Transparenz, Prognosefähigkeit* sowie *Adaptierbarkeit* [SAG+17, S. 15]. Bild 4.1 zeigt die sechs Entwicklungsstufen im Überblick.

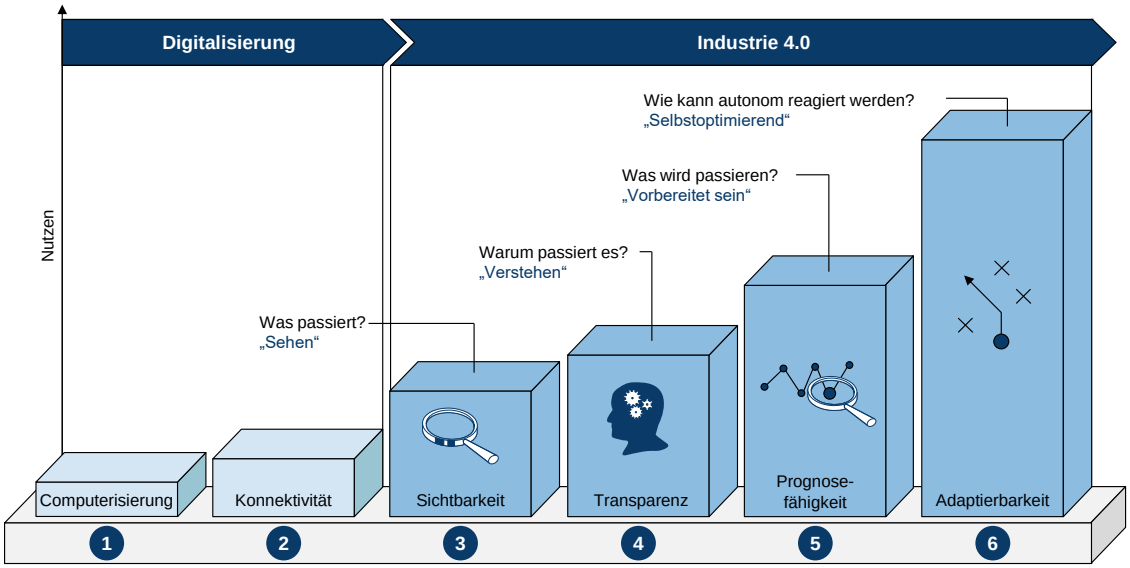


Bild 4.1: Die Entwicklungsstufen des acatech Industrie 4.0 Maturity Index

Die höchste Entwicklungsstufe von Industrie 4.0, die Adaptierbarkeit, wird im Rahmen des Maturity Index folgendermaßen definiert:

> *„Prognosefähigkeit stellt die Voraussetzung für ein automatisches Handeln und die Selbstoptimierung dar. Durch kontinuierliche Adaptierung wird ein Unternehmen in die Lage versetzt, Entscheidungen IT-Systemen zu überlassen und sich ohne Zeitverlust entsprechend den veränderten Rahmenbedingungen im Geschäftsumfeld auszurichten [SAG+17, S. 18].“*

Neben den Entwicklungsstufen sind in dem acatech Maturity Index sog. *Gestaltungsfelder* (Ressourcen, Informationssysteme, Organisationsstruktur und Kultur) sowie *Funktionsbereiche* produzierender Unternehmen (Entwicklung, Produktion, Logistik, Service und Marketing & Vertrieb) von Bedeutung. Es werden sowohl übergeordnete Reifegrade als auch Reifegrade für einzelne Funktionsbereiche bestimmt. Abschließend wird dargestellt, wie Unternehmen auf Basis des aktuellen Stands eine digitale Roadmap mit spezifischen Maßnahmen für Funktionsbereiche und Gestaltungsfelder aufbauen können [SAG+17, S. 20].

Die **Anwendung** des acatech Industrie 4.0 Maturity Index gliedert sich dementsprechend in drei aufeinander aufbauende Phasen: *Reifegradbestimmung, Soll-Bestimmung und Maßnahmen* (vgl. Bild 4.2) [SAG+17, S. 46].

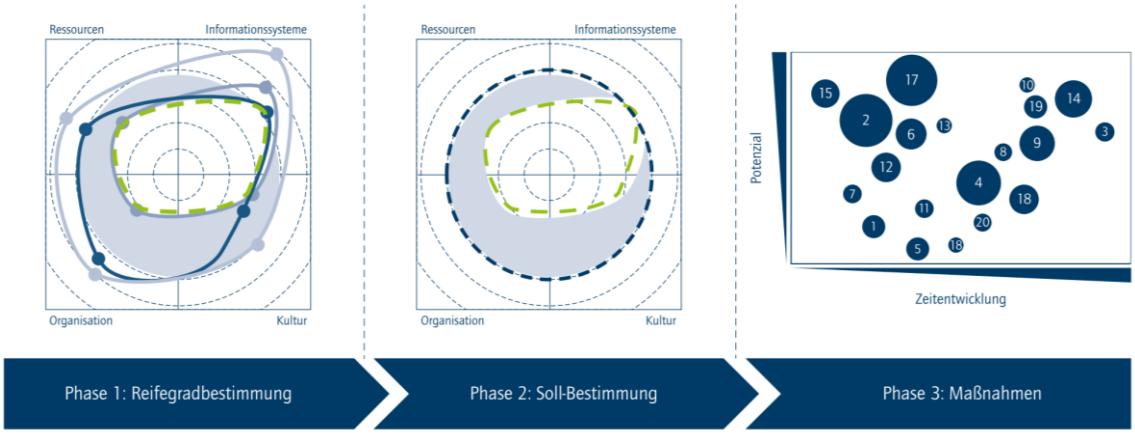


Bild 4.2: Die Anwendungsphasen des acatech Industrie 4.0 Maturity Index

In der Phase der *Reifegradbestimmung* wird die aktuelle Entwicklungsstufe des betrachteten produzierenden Unternehmens mittels der Untersuchung der vorhandenen Industrie 4.0 Fähigkeiten in den Funktionsbereichen und Gestaltungsfeldern bestimmt. In der *zweiten Phase* wird anschließend, abgeleitet aus der Unternehmensstrategie, das Ziel des späteren Transformationsprozesses definiert. Dabei werden mit Hilfe einer sog. GAP-Analyse die auszubauenden Fähigkeiten ermittelt. Abschließend werden im Rahmen der *dritten Phase* Maßnahmen zum Aufbau dieser Fähigkeiten abgeleitet und in einer Roadmap angeordnet [SAG+17, S. 46].

Bewertung im Kontext der Arbeit:

Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index ist ein Werkzeug zur Begleitung von Unternehmen bei der Transformation hin zu einem lernenden und agilen Unternehmen. Hierfür werden sechs Entwicklungsstufen für Industrie 4.0 bereitgestellt. Abschließend wird eine individuelle Roadmap aufgestellt, in welcher Industrie 4.0 Maßnahmen in verschiedenen Funktionsbereichen definiert werden. Der acatech Industrie 4.0 Maturity Index betrachtet dabei nicht nur technologische Aspekte. Er berücksichtigt in Teilen die soziotechnische Perspektive und bezieht organisatorische und kulturelle Strukturen in die Leistungsbewertung ein. Die Ableitung von konkreten Handlungsempfehlungen wird in dem acatech Industrie 4.0 Maturity Index über die Phase 3 (Maßnahmen) nur geringfügig adressiert. Einzelne methodische Hilfsmittel, wie die digitale Roadmap, lassen sich jedoch ggf. in den späteren Anwendungsprozess von Lösungsmustern integrieren.

4.1.2 VDMA Leitfaden Industrie 4.0

Der vom VDMA bereitgestellte Leitfaden Industrie 4.0 unterstützt den deutschen Mittelstand des Maschinen- und Anlagenbaus bei der Einführung von Geschäftsmodellen für Industrie 4.0. Er soll Unternehmen ein Vorgehensmodell liefern, mit welchem sie Innovationen erfolgreich erarbeiten und umsetzen können [VDM15, S. 4,7].

Das **Vorgehensmodell** gliedert sich in insgesamt fünf Prozessschritte. Im Rahmen einer *Vorbereitungsphase* werden zunächst die Rahmenbedingungen für die Erarbeitung von

Industrie 4.0 Ideen im Unternehmen geschaffen. Anschließend werden in der folgenden *Analysephase* Kompetenzen und Entwicklungspotentiale ermittelt. In der dritten Phase, der *Kreativitätsphase*, werden Workshops zur Ideengenerierung mit verschiedenen Mitarbeitenden des Unternehmens durchgeführt. Diese Ideen werden zu gezielten Konzepten für Geschäftsmodelle weiterentwickelt. Die erarbeiteten Konzepte werden in der *Bewertungsphase* hinsichtlich ihres Marktpotentials oder ihres Potentials in der Produktion sowie hinsichtlich erforderlicher Ressourcen und Stärken untersucht. Vielversprechende Geschäftsmodellkonzepte werden daraus identifiziert. Abschließend werden die Konzepte in der *Einführungsphase* von einem Projektteam ausgearbeitet und der Unternehmensleitung präsentiert, sodass Pilotprojekte initiiert werden können [VDM15, S. 10].

Ein zentrales methodisches Werkzeug des VDMA Leitfadens stellt der **Werkzeugkasten Industrie 4.0** dar. Der Werkzeugkasten Industrie 4.0 begleitet das gesamte Vorgehensmodell, indem dieser bspw. für die Einordung der Kompetenzen des eigenen Unternehmens und im weiteren Verlauf als Grundlage für neue Ideen genutzt wird [VDM15, S. 8]. Er bildet eine Wissensbasis hinsichtlich Visionen und grundlegender Technologien von Industrie 4.0 und überführt sie in sog. Entwicklungsstufen. Hierdurch sollen die Ideen und Ansätze von Industrie 4.0 verständlicher und greifbarer dargestellt werden [VDM15, S. 11]. Der Werkzeugkasten gliedert sich in die Bereiche „Produkte“ sowie „Produktion“. Verschiedene Anwendungsebenen dieser Bereiche werden ähnlich einem morphologischen Kasten in der Zeile aufgelistet. Von links nach rechts werden in den Spalten fünf dazugehörige Entwicklungsstufen präsentiert. Bild 4.3 liefert eine Übersicht (Nachbau).

Dem Bereich *„Produkte“* sind die Anwendungsebenen Sensoren und Aktoren, Kommunikation und Connectivity, Datenspeicherung und Informationsaustausch, Monitoring, produktbezogene IT-Services und Geschäftsmodelle zugeordnet. Dabei wird in der Anwendung des Werkzeugkastens die Frage beantwortet, inwiefern mit Hilfe von Industrie 4.0 neue Produkte entwickelt oder bestehende weiterentwickelt werden, sodass für potentielle Kunden ein Mehrwert entsteht [VDM15, S. 13].

Der Bereich *„Produktion“* beschäftigt sich mit der Frage, wie mithilfe von Industrie 4.0 Produktionsabläufe optimiert und Kosten gesenkt werden können. Hierfür werden die Anwendungsebenen Datenverarbeitung in der Produktion, Maschine-zu-Maschine-Kommunikation, unternehmensweite Vernetzung mit der Produktion, Infrastruktur von Informations- und Telekommunikationstechnologie in der Produktion, Mensch-Maschine-Schnittstellen sowie Effizienz bei kleinen Losgrößen bereitgestellt [VDM15, S. 15].

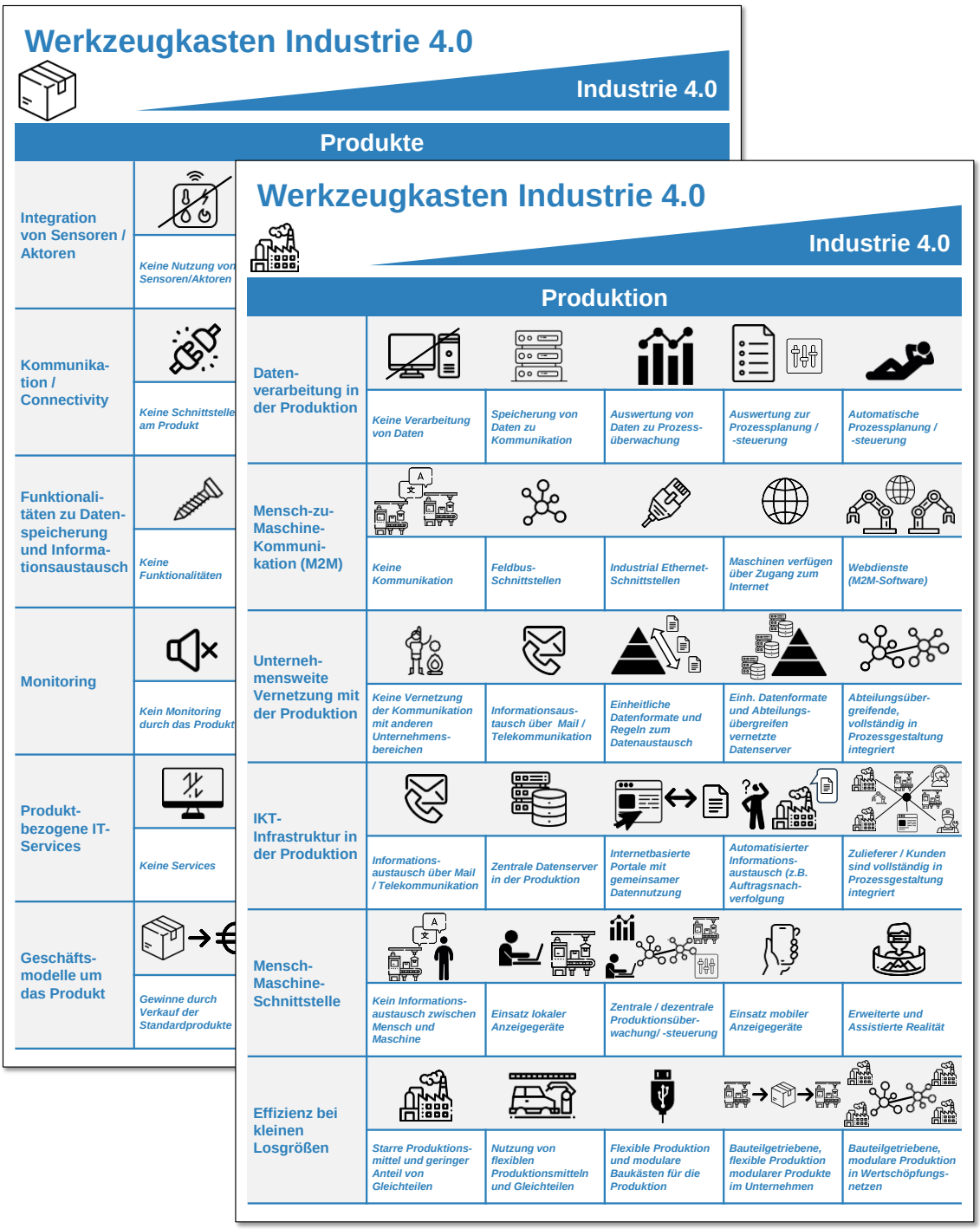


Bild 4.3: Der VDMA Werkzeugkasten Industrie 4.0 (Nachbau)

Insgesamt liefern die Entwicklungsstufen in beiden Bereichen Antwortmöglichkeiten zur Einordnung des aktuellen Produkts oder neuer Industrie 4.0 Ideen eines Unternehmens. So werden Produkte z.B. in „Keine Schnittstellen am Produkt“ bis hin zu „Das Produkt verfügt über Zugang zum Internet“ auf der Anwendungsebene „Kommunikation und Connectivity“ eingeordnet. Hierdurch werden Impulse gegeben, attraktive Anwendungs-ebenen zu identifizieren und zu ermitteln, wie der Betrachtungsgegenstand sinnvoll auf höhere Entwicklungsstufen gebracht werden kann [VDM15, S. 16].

Bewertung im Kontext der Arbeit:

Der vom VDMA bereitgestellte Leitfaden Industrie 4.0 unterstützt kleine und mittlere Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus bei der Einführung von Industrie 4.0. Hierfür werden zum einen fünf Prozessschritte – von der Vorbereitung bis hin zur Ideenfindung bzgl. neuer Geschäftsmodellkonzepte – vorgeschlagen. Ein wesentliches Hilfsmittel stellt dabei der Werkzeugkasten Industrie 4.0 dar. Mit diesem wird externalisiertes Wissen bzgl. der Vision und dem Verständnis von Industrie 4.0 in Form von Entwicklungsstufen für Produkte und die Produktion generalisiert zur Verfügung gestellt. Zum Aufbau einer Wissensbasis im Unternehmen hinsichtlich Industrie 4.0 bietet der Werkzeugkasten eine sinnvolle Unterstützung. Zur Ableitung von konkreten Lösungsmöglichkeiten zum Erreichen der Entwicklungsstufen, als Teilziel der vorliegenden Arbeit, liefert dieser jedoch keine Hilfestellung. Weiterhin liegt der Fokus deutlich auf der technischen Dimension. Aspekte der Organisation oder des Menschen im Sinne der geforderten soziotechnischen Perspektive werden vernachlässigt.

4.1.3 Leitfaden zur erfolgreichen Implementierung von Industrie 4.0 Lösungen nach SCHUH ET AL.

Das Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen hat im Jahr 2018 den Leitfaden zur erfolgreichen Implementierung von Industrie 4.0 Lösungen veröffentlicht. Anhand von Use-Cases (Smart Glasses und Data Lake) wird von SCHUH ET AL. im Rahmen des Leitfadens ein organisatorischer Ordnungsrahmen sowie ein Prozess zur Entwicklung und Umsetzung von Industrie 4.0 Use-Cases inkl. Industrie 4.0 Reifegradmodell zur Zielbestimmung und Ideenfilterung bereitgestellt [SBK+18]. Hiermit wird das Ziel verfolgt, Impulse und Handlungsempfehlungen in Form eines Umsetzungskonzepts zur ganzheitlichen Implementierung einer Industrie 4.0 Strategie zu geben [SBK+18, S. 7].

Der **organisatorische Ordnungsrahmen** liefert Hinweise, welche Rahmenbedingungen in einem Unternehmen für die Implementierung von Industrie 4.0 geschaffen werden müssen. Hierzu zählt die Schaffung neuer Entitäten mit neuen Funktionen innerhalb einer Organisationsstruktur. Beispiele stellt ein Industrie 4.0 Steering Committee, ein entsprechender Manager oder neue Labore dar. Die organisatorischen Rahmenbedingungen sind dabei über verschiedene Regler je nach Use-Case, z.B. Werksprojekte, auszugestalten [SBK+18, S. 11ff.].

Der **Prozess zur Entwicklung und Umsetzung von Industrie 4.0 Use-Cases** verfolgt das Ziel, über verschiedene Phasen den Roll-Out von Industrie 4.0 Anwendungen vorzubereiten. Hierfür werden die Phasen Awareness, Ideengenerierung, Konzeptentwicklung, Ausarbeitung, Pilotierung sowie Roll-Out vorgesehen. Zwischen den einzelnen Phasen werden Meilensteine definiert, anhand derer der Prozessfortschritt hinsichtlich der Ideen und Anwendungskonzepte bewertet wird. Bild 4.4 zeigt den Prozess mit seinen Phasen und Meilensteinen [SBK+18, S. 21].

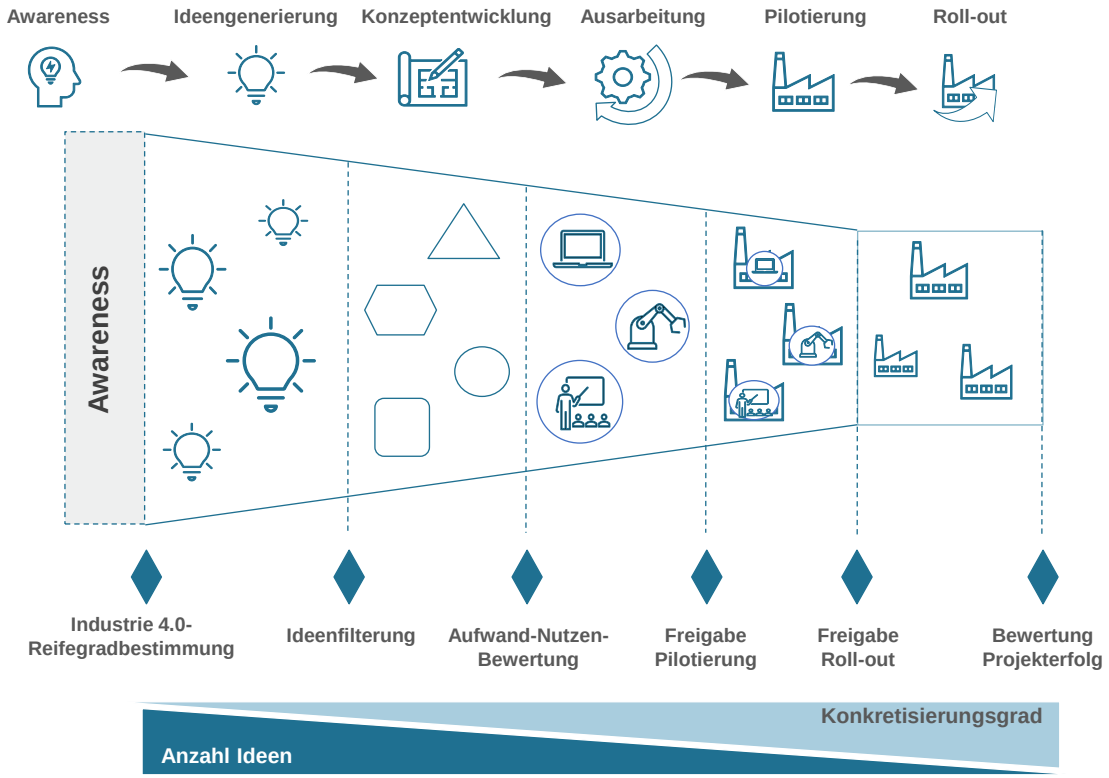


Bild 4.4: Der Prozess zur Entwicklung und Umsetzung von Industrie 4.0 Use-Cases nach SCHUH ET AL.

In der Vorbereitungsphase, der **Awareness,** wird bei den Mitarbeitenden der Organisation das Bewusstsein für Industrie 4.0 gestärkt. Dabei werden alle Hierarchiestufen eines produzierenden Unternehmens adressiert. Möglichkeiten zur Schaffung des Bewusstseins stellen im Rahmen des Ansatzes die Vorstellung bestehender Industrie 4.0 Use-Cases, Referenzbesuche, Schulungen oder Workshops dar. Ausgewählt werden die Möglichkeiten, je nach Zielgruppe, von dem sog. Industrie 4.0 Werksmanager [SBK+18, S. 22]. Als unterstützender Meilenstein wird das Industrie 4.0 Reifegradmodell genannt. Hierbei handelt es sich um das Reifegradmodell des acatech Maturity Index (vgl. Abschnitt 4.1.1), bei dessen Entwicklung das WZL der RWTH-Aachen beteiligt war [SBK+18, S. 33ff.].

Die **Ideengenerierung** für Industrie 4.0 kann auf drei unterschiedlichen Wegen erfolgen. Mit dem Top-Down Ansatz werden von dem Management Ziele und strategisch wichtige Themen vorgegeben. Daher ist in diesem Fall das Management zur Generierung von Ideen verantwortlich. Dies kann durch persönliche Zielvorgaben gefördert werden. Aus der operativen Ebene generierte Prozesspotentiale werden als Bottom-Up Ansatz beschrieben. Anreizmöglichkeiten können bspw. Innovationsprämien liefern. Dritte Möglichkeit zur Ideengenerierung bildet der proaktive Ansatz als Aufgabe des Industrie 4.0 Werksmanagers. Hierbei können unterstützend verschiedene Analysetools eingesetzt werden [SBK+18, S. 23]. Anschließend findet eine erste Bewertung jeder einzelnen Idee statt. Im Rahmen des Meilensteins „Ideenfilterung“ wird jede Idee in das Industrie 4.0

Reifegradmodell eingeordnet und mit den Zielvorstellungen des Unternehmens verglichen [SBK+18, S. 24].

In der Phase der **Konzeptentwicklung** werden die ausgewählten Ideen detailliert. Anforderungen an das Konzept werden von einem spezifischen Team erarbeitet. In verschiedenen Arbeitsmodi, wie Vollzeit- oder Teilzeitbearbeitung durch ein Labor oder durch das Werk, werden die Ideen zu Konzepten weiterentwickelt. Das Konzept enthält alle erforderlichen Informationen für eine quantitative Aufwand-Nutzen-Bewertung. Die Problemstellung, die geplante Lösung, Kosten und Aufwände sowie der Nutzen werden verschriftlicht [SBK+18, S. 24f.].

In der **Ausarbeitungsphase** wird die Entwicklung und prototypische Umsetzung einer zu pilotierenden Industrie 4.0 Lösung erzielt. Dies wird erneut von dem Team aus der Konzeptentwicklungsphase verantwortet. Bei Bedarf können Anwenderunternehmen in diese Prozessphase integriert werden. Als Meilenstein erfolgt, über eine retrospektive Bewertung durch das Industrie 4.0 Steering Committee, die Freigabe zur Pilotierung [SBK+18, S. 26f.].

Im Rahmen der **Pilotierung** wird die entwickelte und prototypische Industrie 4.0 Lösung an einem Lead-Standort getestet. Nutzer werden in die Anwendung eingewiesen und ggf. erste Schulungen initiiert. Gewonnene Erkenntnisse aus der Pilotierung werden laufend dokumentiert, um den folgenden Roll-out zu optimieren. Die Pilotierung wird durch die Freigabe für das Roll-out abgeschlossen [SBK+18, S. 27f.].

Abschließend erfolgt die Integration der Lösung in das gesamte Unternehmen, der sog. **Roll-out**. Das Vorgehen entspricht der Pilotierung. Der Projekterfolg wird bewertet, indem spezifische Prozesskennzahlen genutzt werden. Der Umsetzungsgrad im Reifegradmodell wird aktualisiert [SBK+18, S. 29].

Bewertung im Kontext der Arbeit:

Der von SCHUH ET AL. erarbeitete Leitfaden bietet eine umfassende Hilfestellung – von der Bewusstseinsschaffung bis zur Integration von Industrie 4.0 in das gesamte Unternehmen. Über die vorgeschlagene Möglichkeit, bestehende Industrie 4.0 Use Cases zu betrachten, wird die Wiederverwendung von Wissen zumindest erwähnt. Konkrete Lösungsmöglichkeiten für Industrie 4.0 werden in dem Ansatz nicht bereitgestellt. Vielmehr steht der Weg zur Ideengenerierung im Vordergrund. Möglichkeiten zur Ideenfindung oder zur Bewertung von Lösungen können ggf. auf die vorliegende Arbeit übertragen werden. Über den organisatorischen Ordnungsrahmen sowie die Phase Awareness werden die soziotechnischen Dimensionen Organisation und Mensch implizit integriert. Es handelt sich jedoch um kein soziotechnisches Gestaltungsmodell.

4.1.4 Systematik zur Reifegradmodell-basierten Planung von CPS nach WESTERMANN

Das Reifegradmodell nach WESTERMANN dient im Wesentlichen der Erfassung und Beurteilung des Erfüllungsgrads von CPS-Merkmalen in technischen Systemen. Betrachtet werden dabei technische Systeme von Organisationen des Maschinen- und Anlagenbaus. Auf Basis dieser Beurteilung wird im Rahmen des Reifegradmodells eine individuelle Zielposition definiert sowie eine schrittweise Leistungssteigerung geplant [Wes17, S. 96]. Bild 4.5 zeigt das Reifegradmodell in der Übersicht.

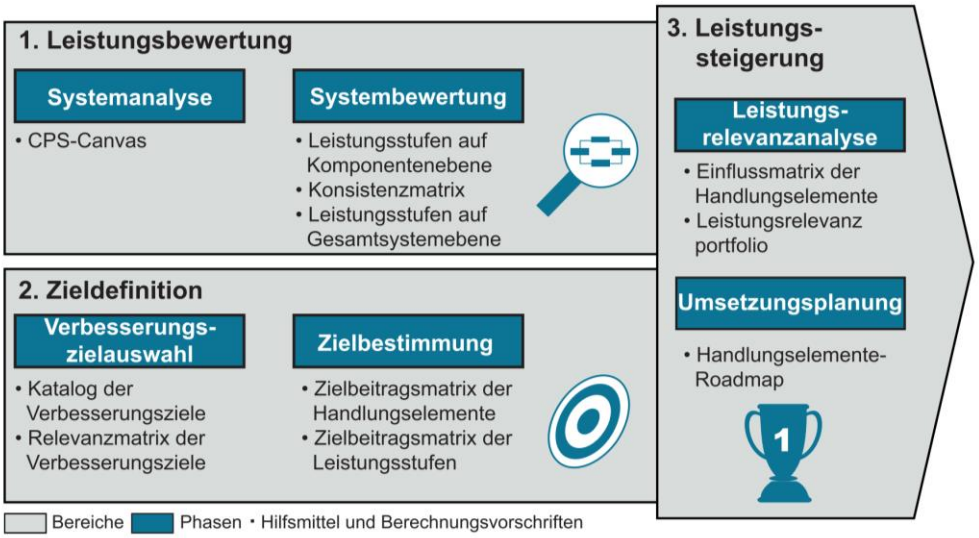


Bild 4.5: Das CPS-Reifegradmodell nach WESTERMANN in der Übersicht

Die einzelnen Bestandteile des Reifegradmodells werden in drei Blöcken und unter Nutzung bereitgestellter Hilfsmittel durchlaufen. Die reine **Leistungsbewertung** erfolgt dabei bspw. über eine Systemanalyse sowie -bewertung. Im Rahmen der *Systemanalyse* wird das zu untersuchende Teilsystem mittels einer sog. CPS-Canvas analysiert. Diese dient als Strukturierungsrahmen zur Sammlung und Dokumentation der für CPS relevanten Informationen. Extrahiert werden die Informationen aus bestehenden Informationsquellen des Unternehmens [Wes17, S. 97f.]. Die anschließende *Systembewertung* erfolgt mittels definierter Leistungsstufen auf Komponentenebene, einer Plausibilitätsprüfung durch eine Konsistenzmatrix sowie bereitgestellte Leistungsstufen auf Gesamtsystemebene. Die Leistungsstufen auf Komponentenebene orientieren sich dabei an der Architektur eines CPS und gliedern sich für verschiedene Handlungselemente stets in fünf Reifegrade. So wird bspw. die Aktorik in die Handlungselemente Prozesseingriff und Positioniergenauigkeit unterteilt [Wes17, S. 98ff.]. Ziel der Konsistenzmatrix ist ein plausibles Ergebnis bzgl. der Leistungsfähigkeit der einzelnen Komponenten des zu betrachtenden Systems über einen paarweisen Vergleich. In dem letzten Schritt der Systembewertung wird das Gesamtsystem in Leistungsstufen eingeordnet [Wes17, S. 110ff.].

Die Ermittlung der **Zieldefinition** gliedert sich nach WESTERMANN in die Phasen *Verbesserungszielauswahl* sowie *Zielbestimmung*. In der *ersten Phase* werden jene Verbesserungsziele aus der Geschäftsstrategie abgeleitet, welchen die Leistungssteigerung des betrachteten Systems dienen soll. Ein Katalog bietet hierbei Hilfestellung [Wes17, S. 114ff.]. In der *Phase der Zielbestimmung* wird mittels einer Zielbeitragsmatrix eine für das Unternehmen individuelle Zielleistungsstufe je Handlungselement festgelegt [Wes17, S. 117ff.].

Der dritte Bestandteil des Reifegradmodells nach WESTERMANN, die **Leistungssteigerung**, adressiert die Planung der Reihenfolge der Handlungselemente. Hierfür werden die Phasen *Leistungsrelevanzanalyse* sowie *Umsetzungsplanung* vorgesehen. Durch die *Leistungsrelevanzanalyse* werden jene Handlungselemente identifiziert, die eine hohe Wichtigkeit für die Leistungsfähigkeit des zu betrachtenden Systems haben. Dabei werden jene Handlungselemente als wichtig eingestuft, die einen hohen Beitrag zu den Verbesserungszielen haben und gleichzeitig stark mit anderen Handlungselementen vernetzt sind. Das Reifegradmodell nach WESTERMANN schließt mit einer initialen *Umsetzungsplanung* ab. Hierbei wird eine zeitliche Reihenfolge für die Umsetzung der priorisierten Handlungselemente festgelegt und in einer Roadmap dargestellt [Wes17, S 120ff.].

Bewertung im Kontext der Arbeit:

Der Reifegradmodell-Ansatz nach WESTERMANN liefert ein umfangreiches Konzept zur Bewertung der Unternehmensleistung im Kontext von CPS. Das Wissen hinsichtlich CPS wird in Form von Handlungselementen und Leistungsstufen externalisiert und generalisiert zur Verfügung gestellt. Hierdurch wird der individuelle Handlungsbedarf von Unternehmen systematisch hergeleitet. In dem Modell werden stets technische Systeme fokussiert, sodass im Sinne der soziotechnischen Perspektive die Dimensionen Mensch und Organisation kaum Berücksichtigung finden. Weiterhin wird die Leistungssteigerung nur geringfügig adressiert. Insbesondere die Verknüpfung von Handlungsempfehlungen mit konkreten Lösungsideen wird in dem Ansatz nur unzureichend berücksichtigt.

4.2 Ansätze zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0. Daher werden im Folgenden bereits bestehende Ansätze in diesem Kontext betrachtet. In *Abschnitt 4.2.1* wird der REFA Standard Industrie 4.0 untersucht, welcher sich an den soziotechnischen Dimensionen orientiert. In *Abschnitt 4.2.2* wird die sozio-technische Gestaltungs- und Einführungssystematik für Industrie 4.0 nach NÖHRING ET AL. in nicht F&E-intensiven Organisationen vorgestellt. Die digitale soziotechnische Systemgestaltung nach WINBY und MOHRMAN ist Bestandteil des *Abschnitts 4.2.3*. Nachfolgend werden in *Abschnitt 4.2.4* Heuristiken der soziotechnischen Systemgestaltung nach HERRMANN und NIERHOFF erläutert. Die Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen nach BANSMANN wird in *Abschnitt 4.2.5* analysiert.

Ein speziell auf Industrie 4.0 bezogenes Konzept der soziotechnischen Systemgestaltung und ihrer Dimensionen liefert HIRSCH-KREINSEN und ist Gegenstand von *Abschnitt 4.2.6*

4.2.1 REFA Standard Industrie 4.0

Der 2018 von dem REFA Institut entwickelte Standard bietet eine Checkliste zur ganzheitlichen Gestaltung der Industrie 4.0. Dabei folgen sie den Annahmen der soziotechnischen Systemgestaltung, dass die Umsetzung von Industrie 4.0 bei gemeinschaftlichem Zusammenwirken von Mensch, Technik und Organisation am erfolgversprechendsten ist [BS18, S. 3].

Ziel der Checkliste ist die Ableitung von Anforderungen, passenden Handlungsbedarfen und Maßnahmen für individuelle Unternehmen. Hierfür gliedert sich die Checkliste in die fünf Kategorien Führung, Beschäftigte, Technik, Kultur und Prozess. Führung und Beschäftigte werden dabei der Dimension Mensch zugeordnet. Die Dimension Technik bildet eine eigene Rubrik. Kultur und Prozess sind Bestandteil der Dimension Organisation [BS18, S. 5ff.].

Über **Reifekriterien** in den einzelnen Kategorien wird das Unternehmen unterstützt, seine derzeitige Ausgangssituation hinsichtlich Industrie 4.0 zu bewerten. Die Reifekriterien werden hierfür in Form von Fragestellungen beschrieben. Ein beispielhaftes Kriterium aus der Kategorie Führung stellt *„Kennt die Führungskraft die grundlegenden Themen, Ziele und die Vision der Industrie 4.0?“* dar [BS18, S. 5]. Mit Hilfe von sog. **Hinweisen** wird die Fragestellung in Prosa näher beschrieben. Im vorliegenden Beispiel lautet der Hinweis:

> *„Themen der Industrie 4.0 müssen strategisch im Unternehmen verankert werden. Entsprechende Entscheidungen und die Integration in existierende Unternehmenssysteme benötigen ein grundlegendes Verständnis über Ziele und Definitionen der Industrie 4.0 und helfen dabei, bestehende Ängste und Hemmnisse zu nehmen [BS18, S. 5].“*

Unter Berücksichtigung des Reifekriteriums sowie des Hinweises ordnet sich ein Unternehmen anschließend in die **Stufen** *„nicht vorhanden“, „teilweise vorhanden“* sowie *„wird umgesetzt“* ein [BS18, S. 14]. Die einzelnen Stufen werden, zur Auswertung der Ergebnisse, in eine Punkteskala transformiert. Bei *„nicht vorhanden“* werden 0 Punkte, bei *„teilweise vorhanden“* 2 Punkte und bei *„wird umgesetzt“* 4 Punkte vergeben. Je Kategorie wird anschließend ein Durchschnittswert ermittelt und das Ergebnis in Form eines Netzdiagramms visualisiert. Hiermit wird der größte Handlungsbedarf herausgestellt [BS18, S. 14].

Abschließend wird das Ziel verfolgt, einen **Maßnahmenplan** zu befüllen. Die Vorlage des Maßnahmenplans enthält die Spalten Nummer, Maßnahme, Ziel, Wer sowie Wann.

Er wird für die einzelnen Dimensionen Mensch, Organisation und Technik separat ausgefüllt [BS18, S. 19]. Impulse für die Maßnahmendefinition liefern bereitgestellte **Maßnahmenlisten** für jede Kategorie (vgl. Bild 4.6).

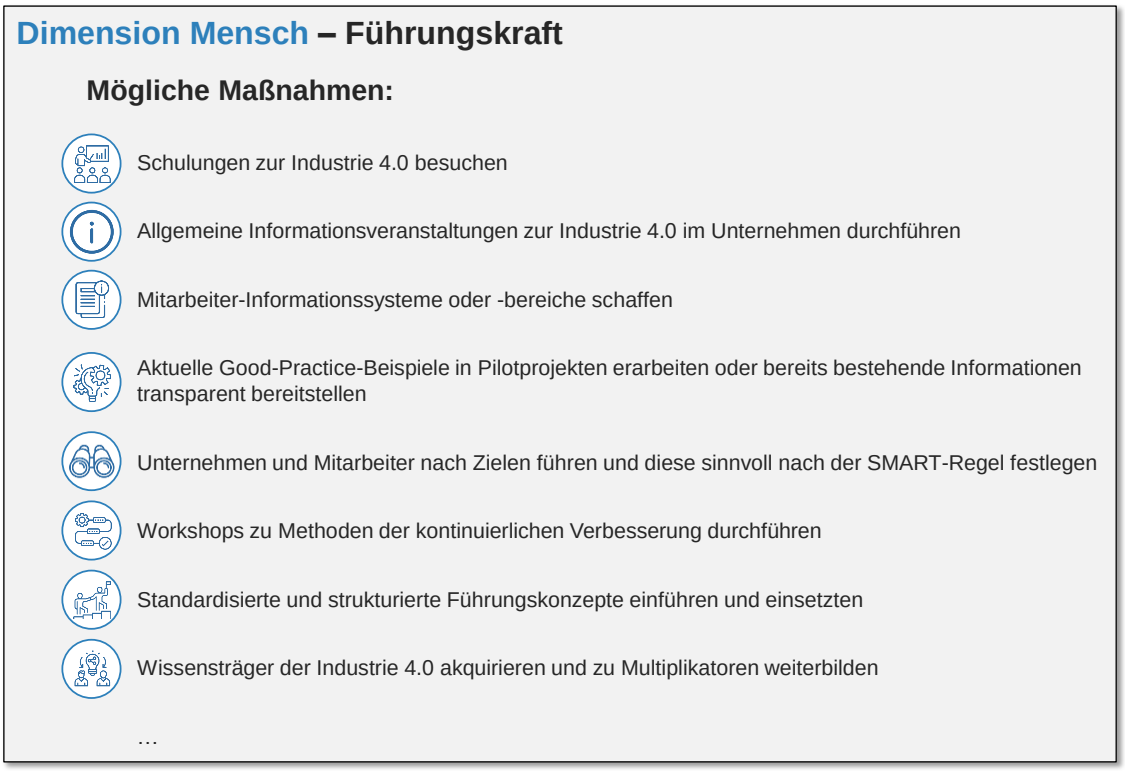


Bild 4.6: Beispielhafte Maßnahmenliste der Kategorie Führung aus der Dimension Mensch

Bewertung im Kontext der Arbeit:

Der REFA Standard Industrie 4.0 liefert eine Checkliste zur Bewertung der Ausgangssituation in einem Unternehmen. Dabei orientiert sich die Checkliste an den soziotechnischen Dimensionen Mensch, Organisation und Technik. Es wird das Ziel verfolgt, über ein Punkteschema zur Auswertung verschiedener Reifekriterien, den priorisierten Handlungsbedarf zu ermitteln. Zur Bearbeitung des Handlungsbedarfs werden Maßnahmenlisten bereitgestellt. Im Kontext der vorliegenden Arbeit liefern die Maßnahmenlisten interessante Impulse zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0. Diese sind jedoch sehr generisch und adressieren eine sehr frühe Phase der Implementierung von Industrie 4.0. Konkrete Lösungsmöglichkeiten werden nicht genannt.

4.2.2 Soziotechnische Gestaltungs- und Einführungssystematik für Industrie 4.0 nach NÖHRING ET AL.

In dem Ansatz nach NÖHRING ET AL. aus dem Jahr 2016 wird ein Konzept einer soziotechnischen Gestaltungs- und Einführungssystematik für Cyber-Physische Produktionssysteme (CPPS) vorgestellt. Hierbei sollen auch nicht Forschungs- und Entwicklungs-

(F&E) intensive Unternehmen zu einer zielgerichteten Auswahl und Integration von CPPS in bestehende Produktionssysteme befähigt werden. Bei der Gestaltung und Einführungssystematik für CPPS-Lösungen werden neben den technischen Lösungen auch menschliche und organisatorische Anforderungen berücksichtigt [NWW+16, S. 376f.]. Das Gesamtkonzept ist in Bild 4.7 dargestellt [NWW+16, S. 377].

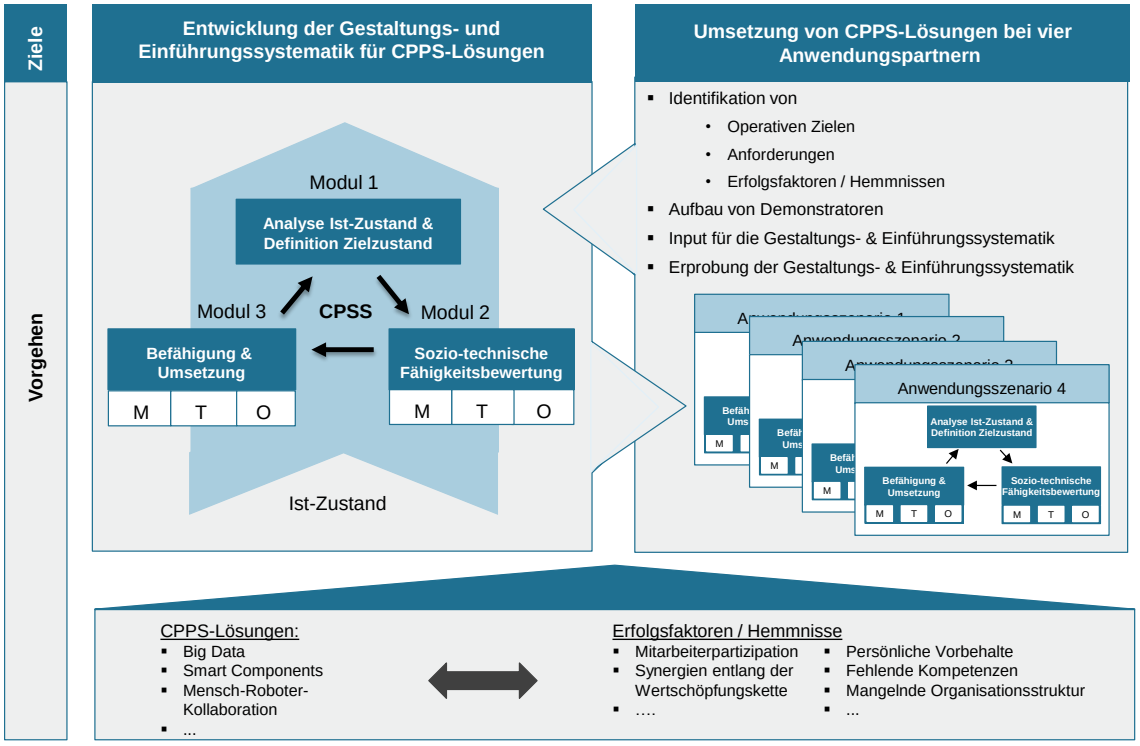


Bild 4.7: Konzept der soziotechnischen Gestaltungs- und Einführungssystematik für CPPS nach NÖHRING ET AL.

Mit dem Konzept sollen zwei Ziele verfolgt werden. Zum einen das Aufzeigen geeigneter CPPS-Lösungsmuster für nicht F&E-intensive Unternehmen. Zum anderen die Unterstützung bei der Integration soziotechnischer Systeme in die Unternehmen.

Als **Basis** der Systematik werden existierende CPPS-Lösungen sowie damit verknüpfte Erfolgsfaktoren und Hemmnisse definiert. Die CPPS-Lösungen entstammen dabei verschiedenen Bereichen wie Big Data oder Mensch-Roboter-Kollaboration.

Darauf aufbauend wird die **Systematik zur soziotechnischen Gestaltung und Einführung der CPPS-Lösung** entwickelt. Das darin enthaltene *Modul 1* adressiert die Analyse des Ist-Zustands und die Definition des Ziel-Zustands, indem eine spezifische Unternehmensvision einbezogen wird. Zielparameter für den Idealzustand werden bspw. in Form von Kennzahlen (KPIs) festgelegt. Anschließend wird ein Zielentfaltungsprozess initiiert, mit welchem abstrakte Ziele in konkrete Zielzustände überführt werden. Mit Hilfe eines CPPS-Lösungskatalogs und dem Abgleich der Lösungen mit den KPIs wird die Auswahl der geeigneten CPPS-Lösungen unterstützt [NWW+16, S. 377].

Im *zweiten Modul* folgt die soziotechnische Fähigkeitsbewertung. Unter Fähigkeiten werden in diesem Ansatz die Erfolgsfaktoren und Hemmnisse aus der Basis inklusive unternehmensspezifischer Ausprägungen verstanden. Das Unternehmen wird, unter Berücksichtigung soziotechnischer Aspekte wie Kompetenzen oder technische Randbedingungen, bewertet. Als Hilfsinstrument fließen Unternehmenstypologien mit typischen Erfolgsfaktoren und Hemmnissen in die Bewertung ein. Ein Soll/Ist-Abgleich liefert anschließend zu beseitigende Hemmnisse zur erfolgreichen CPPS-Lösungseinführung [NWW+16, S. 378].
Die Unterstützung der Umsetzung der CPPS-Lösung wird in dem *Modul 3* fokussiert. Hierfür wird für die Dimensionen Mensch, Organisation und Technik eine Ablaufbeschreibung, als Anleitung der erfolgreichen CPPS-Lösungseinführung, bereitgestellt. Der Aufbau technischer Rahmenbedingungen oder die Kompetenzentwicklung werden als beispielhafte Abläufe genannt [NWW+16, S. 378].

Parallel zur Entwicklung der Systematik steht die prototypische **Umsetzung von CPPS-Lösungen bei vier Anwendungsfällen**. Hierdurch werden Erkenntnisse aus der Praxis einbezogen und die Systematik wird kontinuierlich in nicht F&E-intensiven Unternehmen validiert [NWW+16, S. 377].

Bewertung im Kontext der Arbeit:

Der Ansatz der soziotechnischen Gestaltungs- und Einführungssystematik nach NÖHRINGER ET AL. stellt ein Konzept zur Unterstützung der Einführung von CPPS-Lösungen in nicht F&E-intensiven Unternehmen bereit. Hierfür werden drei Module definiert. Die Module der soziotechnischen Fähigkeitsbewertung sowie der Befähigung und Umsetzung werden dabei unter Berücksichtigung des MTO-Konzepts bearbeitet. Soziotechnische Erfolgsfaktoren sowie Hemmnisse können dabei ein interessanter Input sein, werden jedoch in dem Ansatz nur beispielhaft genannt. Insgesamt liefert die konzeptionelle Darstellung der Systematik lediglich beispielhafte Einblicke in die Ergebnisse. Die Lösungsfindung über einen sog. CPPS-Lösungskatalog, laut NÖHRINGER ET AL. sogar über CPPS-Lösungsmuster, scheint hinsichtlich der Wiederverwendung von Wissen vielversprechend. Dieser wird in Abschnitt 4.3.1 näher beleuchtet.

4.2.3 Digitale soziotechnische Systemgestaltung nach WINBY und MOHRMAN

Der Ansatz nach WINBY UND MOHRMAN ist ein Konzept der soziotechnischen Arbeitsgestaltung, welches im Jahr 2018 entwickelt wurde [WM18]. Mit ihrem Konzept adressieren sie die Lücke zwischen den schnellen technischen Änderungen und der entsprechend langsameren Anpassung der Organisation und der Menschen [WM18, S. 400]. Durch die technologischen Möglichkeiten, wie Künstliche Intelligenz oder digitale Plattformen, sind Organisationen dabei als vernetzte Ökosysteme zu verstehen. Ihre Gestaltung, samt der einzubeziehenden Stakeholder, ist auf diese Veränderung auszurichten, um von Technologien zu profitieren. Dabei ist der Gestaltungsprozess als kontinuierliches Ereignis

einzustufen, da technische Veränderungen stetig neue Geschäftsmodelle und Arbeitsweisen ermöglichen [WM18, S. 400ff.]. Hierfür liefern WINBY UND MOHRMAN mit ihrem digitalen soziotechnischen Systemdesign (D-STS)-Konzept einen Leitfaden mit vier Phasen: Forschungsphase, Gestaltungsphase, Testphase sowie Skalierungsphase [WM18, S. 411]. Im Rahmen der einzelnen Phasen schlagen sie spezifische Aktivitäten und Werkzeuge vor, um die Einführung eines technischen Systems zu gestalten (vgl. Bild 4.8).

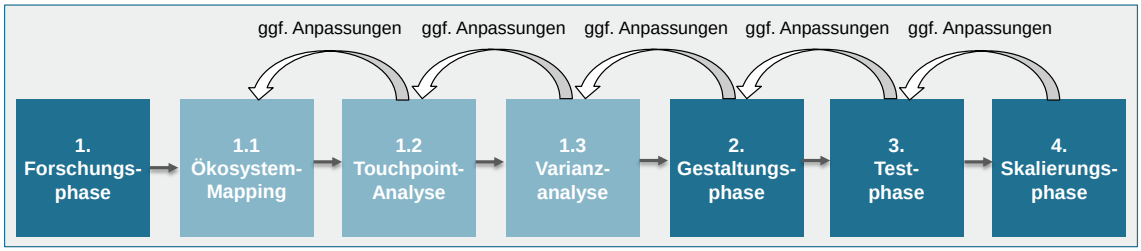


Bild 4.8: Phasen, Aktivitäten und Werkzeuge des D-STS Konzepts [Ben21, S. 260]

In der **Forschungsphase** wird zunächst ein Verständnis über die Auswirkung einer Systemeinführung erzeugt. Eine Analyse der technischen Prozesse, Schnittstellen, Abhängigkeiten, Kundenbedarfe und derzeitigen Lösungen zur Begegnung dieser wird bspw. über Interviews durchgeführt. Hieraus wird eine Datenbasis geschaffen, auf dessen Grundlage drei Primäranalysen vorgeschlagen werden: Ökosystem-Mapping, Touchpoint-Analyse sowie Varianz-Analyse [WM18, S. 411]. Bei dem *Ökosystem-Mapping* wird ein Netzwerkdiagramm bzgl. der von der Systemeinführung betroffenen Anwender und Stakeholder erstellt. Im Rahmen der *Touchpoint-Analyse* wird eine Art „Customer-Journey“ aufgestellt und alle Berührungspunkte des Anwenders werden dokumentiert. Für jeden Berührungspunkt werden anschließend *Varianzen* zwischen der idealen Anwendererwartung und der Erwartung bzgl. des derzeitigen Systems ermittelt. Hierbei können erneut Interviews als Hilfsmittel eingesetzt werden [WM18, S. 411ff.].

Die Ergebnisse der Forschungsphase dienen als Input für die **Gestaltungsphase**. Ein Team, bestehend aus den verschiedenen Stakeholdern, führt ein Prototyping und eine iterative Gestaltung durch, sodass bspw. Fotos, Videos, Codes, Modelle, Spezifikationen oder physische Prototypen entstehen. Ziel ist es, die Lösungsvarianzen zu minimieren [WM18, S. 413ff.].

Das prototypisch gestaltete System wird in der **Testphase** an einem Standort oder in einem Bereich implementiert und iterativ von den Nutzern getestet. Hierfür werden bspw. Lernzyklen etabliert. Die Erkenntnisse werden gesammelt und sowohl die Arbeitsmodi als auch das System werden ggf. angepasst [WM18, S. 415f.].

Abschließend erfolgt die **Skalierungsphase**. Das System wird in das gesamte Arbeitssystem integriert. Dabei arbeiten verschiedene Standorte oder Bereiche mit dem jeweiligen Standort/Bereich der Testphase intensiv zusammen. Aus dem Feedback der Skalierungsphase wird das System kontinuierlich modifiziert [WM18, S. 516].

Bewertung im Kontext der Arbeit:

Der Ansatz nach WINBY UND MOHRMAN adressiert die Einführung technischer Systeme unter Berücksichtigung menschlicher und organisatorischer Auswirkungen. Dabei bezieht er sich auf die Arbeitssystemgestaltung im Kontext neuer Technologien. Es werden vier Phasen definiert, die zur Gestaltung des Arbeitssystems durchlaufen werden sollen. Insgesamt greift der Ansatz den soziotechnischen Gedanken zwar auf, konkrete Hilfsmittel werden jedoch kaum bereitgestellt. Vielmehr handelt es sich um eine allgemeine Beschreibung von durchzuführenden Tätigkeiten. Zudem wird die einzuführende Lösung als gegeben vorausgesetzt. Die Wiederverwendung von Wissen zur Gestaltung soziotechnischer Systeme wird nicht unterstützt.

4.2.4 Heuristiken der soziotechnischen Systemgestaltung nach HERRMANN und NIERHOFF

Ziel des Ansatzes nach HERRMANN UND NIERHOFF sind Heuristiken zur kritischen Analyse und Evaluation der soziotechnischen Systemgestaltung. Ergebnis der Anwendung dieser sind potentielle Verbesserungspotentiale von Systemen oder dessen Gestaltung [HN19, S. 2]. Zu diesem Zweck sind, auf Basis einer Literaturrecherche sowie Expertengesprächen in verschiedenen Domänen wie der „Human-Computer-Interaction“ oder „Socio-Technical Design“, insgesamt acht Heuristiken erarbeitet worden [HN19, S. 3ff.]:

1) Nachvollziehbarkeit und Feedback zur Aufgabenbearbeitung.
2) Von der Flexibilität der Vorgehensweisen zur gemeinsamen Weiterentwicklung des Systems.
3) Kommunikationsunterstützung für Aufgabenbearbeitung und sozialen Austausch.
4) Aufgabengebundener Informationsaustausch für die Erleichterung geistiger Arbeit.
5) Aufgabenorganisation für die Balance zwischen Anstrengung und erlebtem Erfolg.
6) Kompatibilität zwischen Anforderungen, Kompetenzentwicklung und Systemeigenschaften.
7) Effiziente Organisation der Aufgabenbearbeitung für ganzheitliche Ziele.
8) Unterstützende Technik und Ressourcen für produktive und fehlerfreie Arbeit.

Die Heuristiken werden sowohl aus wissenschaftlicher Perspektive als auch in einer Shopfloor-Variante aufgearbeitet. Diese Ausarbeitung enthält eine Überschrift, eine

Kurzbeschreibung, eine ausführliche Beschreibung, Anwendungsbeispiele sowie beispielhafte Reflexionsfragen [HN19, S. 4]. Die Kurzbeschreibung der ersten Heuristik wird bspw. folgendermaßen dargestellt:

> *„Man kann bei der Techniknutzung und – sofern zulässig – in der Zusammenarbeit mit anderen gezielt erkennen, wie weit ein Ablauf fortgeschritten ist. So wird klar, welche weiteren Schritte möglich sind oder nicht, warum das so ist und wie weit man die Erwartungen der anderen erfüllt [HN19, S. 6].“*

Die Anwendung der Heuristiken kann für drei verschiedene Arten von Vorhaben empfohlen werden: dem Systemdesign, der Deskription und Dokumentation von Systemen sowie der Exploration und Evaluation von Systemen. Die erforderlichen Tätigkeiten sind fallspezifisch auszuprägen. Dabei sind Wechselwirkungen zwischen den Heuristiken zu berücksichtigen [HN19, S. 14].

Bewertung im Kontext der Arbeit:

Die Heuristiken zur soziotechnischen Systemgestaltung haben den Anspruch, soziotechnische Probleme aus der Literaturrecherche sowie aus Expertengesprächen abzudecken. Dabei ist das Ziel jeder einzelnen Heuristik, das soziotechnische Zusammenspiel zwischen Mensch, Technik, Organisation und Aufgabenbearbeitung widerzuspiegeln. Diese Grundannahmen decken sich im Allgemeinen mit den Anforderungen an die Lösungsmuster der vorliegenden Arbeit. Durch eine intensive Literaturrecherche sowie Expertengesprächen wird wiederverwendbares Wissen in Form von Erfolgsfaktoren der Systemgestaltung genutzt. Die Heuristiken selbst adressieren jedoch keine Industrie 4.0 Lösungen sondern die Arbeitsgestaltung und können daher im Kontext des Lösungswissens für Industrie 4.0 nicht eingesetzt werden.

4.2.5 Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten nach BANSMANN

Die Systematik nach BANSMANN unterstützt Unternehmen bei der Identifikation, Bewertung, Auswahl und Einführungsplanung von digitalen Lösungen in der Arbeitswelt. Hierfür gliedert sich diese in eine Wissensbasis sowie zwei Vorgehensmodelle [Ban21, S. 97].

Die **Wissensbasis** enthält zum einen eine Referenzarchitektur für Arbeit 4.0, abgeleitet aus 100 Beispielen der Forschung und Praxis. Auf Basis dieser werden Arbeit 4.0 Anwendungsszenarien strukturiert und bspw. Nutzenpotentiale herausgestellt. Die 100 abgeleiteten Anwendungsszenarien werden in einem Steckbrief transparent dargestellt. Anschließend erfolgt eine Klassifizierung der Arbeit 4.0 Anwendungsszenarien gemäß ähnlicher Ausprägungen der Referenzarchitektur zu acht Arbeit 4.0 Klassen, bspw. „Digital Man of Action“ [Ban21, S. 99ff.].
Zum anderen ist ein Arbeit 4.0-Reifegradmodell zur Ableitung relevanter Gestaltungsfelder der Unternehmen Teil der Wissensbasis. [Ban21, S. 98]. Es bildet die Grundlage der späteren Planungssystematik. Für sog. Arbeit 4.0-Gestaltungsfelder werden Kriterien und

jeweils vier Reifegradstufen zur Bewertung der Ausgangssituation eines Unternehmens definiert. Die Gestaltungsfelder ordnen sich dabei in die Schnittstellen der soziotechnischen Dimensionen Mensch, Organisation und Technik ein. Ein Beispiel stellt das Gestaltungsfeld Arbeitsschutz & Gesundheit in der Schnittstelle zwischen Mensch und Technik dar. Entlang dieser Gestaltungsfelder werden die Kriterien bzgl. der Reifegradstufen „unstrukturiert“, „rudimentär“, „systematisch“ sowie „dynamisch“ ausgestaltet. Bild 4.9 zeigt einen Ausschnitt des Reifegradmodells für das Gestaltungsfeld Arbeitsschutz & Gesundheit [Ban21, S. 112ff.].

Kriterien	Organisationale Reife			
	0	1	2	3
Technische Sicherheitsmaßnahmen	**Keine Identifikation**	**Rudimentäre Identifikation**	**Systematische Identifikation**	**Dynamische Identifikation**
Identifikation und Umsetzung notwendiger technischer Sicherheitsmaßnahmen	Es bestehen keine Aktivitäten zur Identifikation und Umsetzung notwendiger technischer Sicherheitsmaßnahmen.	Es werden lediglich vereinzelte Aktivitäten zur Identifikation / Umsetzung notwendiger technischer Sicherheitsmaßnahmen durchgeführt.	Es erfolgt eine systematische Identifikation und Umsetzung notwendiger technischer Sicherheitsmaßnahmen.	Es erfolgt eine vorausschauende Identifikation und Umsetzung notwendiger technischer Sicherheitsmaßnahmen.
Auswirkungsanalyse	**Keine Analyse**	**Rudimentäre Anaylse**	**Systematische Analyse**	**Dynamische Analyse**
Analyse der arbeitsschutz- und gesundheitsbezogenen Auswirkungen von Arbeit 4.0-Anwendungen	Es werden keine arbeitsschutz- und gesundheitsbezogenen Auswirkungen analysiert.	Es werden vereinzelt arbeitsschutz- und gesundheitsbezogene Auswirkungen analysiert.	Es erfolgt eine systematische Analyse von arbeitsschutz- und gesundheitsbezogenen Auswirkungen.	Es erfolgt eine dynamische Analyse von arbeitsschutz- und gesundheitsbezogenen Auswirkungen.
Individualisierte Gestaltung	**Keine Individualisierung**	**Rudimentäre Individualisierung**	**Systematische Individualisierung**	**Dynamische Individualisierung**
Anpassungen an individuelle Bedürfnisse der Handlungspersonen	Es werden keine individulellen Anpassungen vorgenommen.	Es werden vereinzelt individuelle Anpassungen vorgenommen.	Es werden systematisch individuelle Anpassungen vorgenommen.	Es werden vorrausschauende individuelle Anpassungen vorgenommen.
Einbindung und Aufklärung	**Keine Aufklärung**	**Rudimentäre Aufklärung**	**Systematische Aufklärung**	**Dynamische Aufklärung**
Aufklärung über arbeitsschutz- und gesundheitsgerechtes Verhalten	Es werden keine entsprechenden Aktivitäten durchgeführt.	Es werden vereinzelt entsprechende Aktivitäten durchgeführt.	Die Aufklärungsarbeit erfolgt systematisch.	Die Aufklärungsarbeit erfolgt kontinuierlich und unter Berücksichtigung antizipierter Rahmenbedingungen.

Bild 4.9: Reifegradmodell Arbeit 4.0 nach BANSMANN für das Gestaltungsfeld Arbeitsschutz & Gesundheit

Auf Basis der strukturierten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien werden mit der **Auswahlsystematik** ein Vorgehensmodell und Hilfsmittel zur Identifikation und Auswahl dieser bereitgestellt [Ban21, S. 98]. Das Vorgehensmodell besteht aus insgesamt vier Phasen: Identifikation von Herausforderungen, Vorauswahl, Bewertung und Auswahl sowie Identifikation neuer Arbeit 4.0 Anwendungsszenarien (optional). Die einzelnen Phasen werden mit Werkzeugen, wie einem Leitfragen-Katalog in Phase 1 oder Bewertungskriterien in Phase 3, unterstützt [Ban21, S. 146ff.].

Das Resultat der Auswahlsystematik bildet den Impuls für die **Planungssystematik**. Ein weiteres Vorgehensmodell sowie zugeordnete Hilfsmittel unterstützen Unternehmen, relevante Maßnahmen zur Einführung der Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien zu definieren [Ban21, S. 98]. Es besteht aus vier Phasen (vgl. Bild 4.10) [Ban21, S. 158].

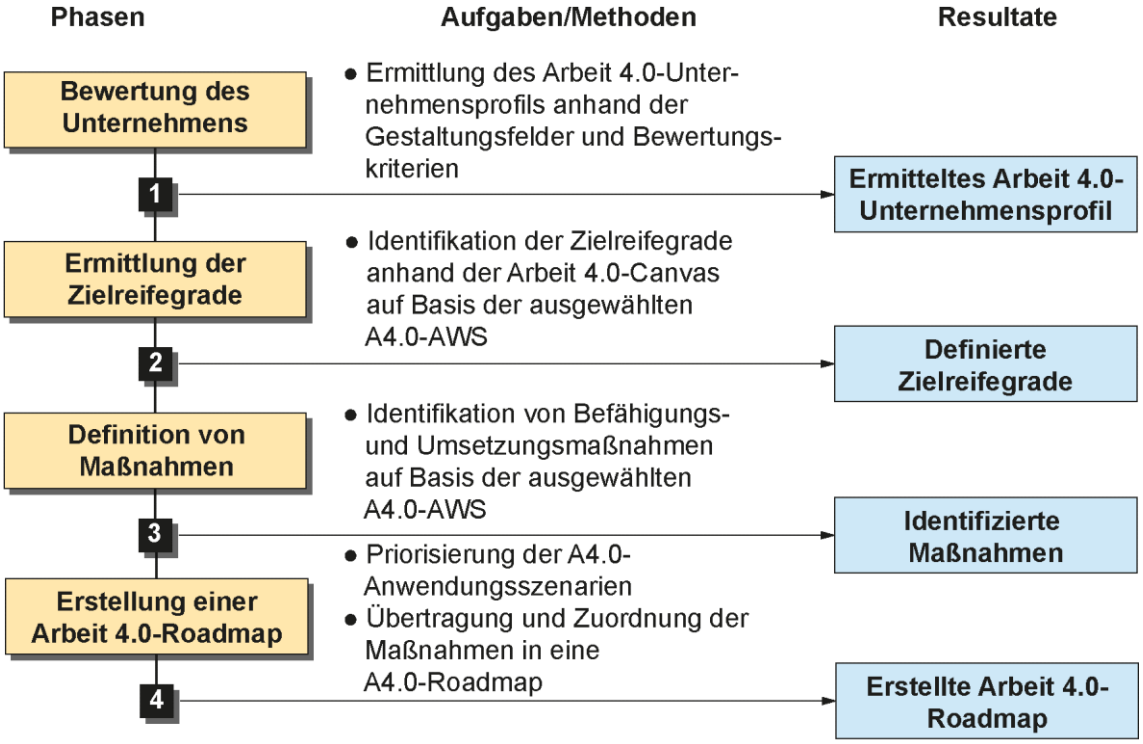


Bild 4.10: Vorgehensmodell der Planungssystematik nach BANSMANN

Zunächst erfolgt eine Bewertung der Reife des Unternehmens hinsichtlich Arbeit 4.0 mittels des Reifegradmodells. In der zweiten Phase werden Zielreifegrade für jedes Gestaltungsfeld ermittelt, indem eine sog. Arbeit 4.0-Canvas ausgefüllt wird. Anschließend werden Maßnahmen zur Einführung der ausgewählten Anwendungsszenarien definiert. Diese werden auf einer Arbeit 4.0-Roadmap in eine Rangfolge gebracht [Ban21, S. 158f.].

Bewertung im Kontext der Arbeit:

Die Systematik nach BANSMANN bietet einen umfassenden Planungsansatz zur Gestaltung der digitalen Arbeitswelt. Hierfür baut er aus bestehendem Wissen 100 erfolgreicher Forschungs- und Praxisbeispiele eine sog. Wissensbasis auf. Auch wenn das Themenfeld Arbeit 4.0 adressiert wird, lassen sich Ansätze zur Verarbeitung des Wissens auf die vorliegende Arbeit übertragen. Zudem enthält der Ansatz nach BANSMANN eine gute Strukturierung der soziotechnischen Dimensionen Mensch, Organisation und Technik in signifikante Handlungsfelder. Er liefert eine erste Orientierung zur Charakterisierung der Dimensionen. Allerdings liegt der Fokus auf den Schnittstellen zwischen den einzelnen Dimensionen. Eine im Rahmen dieser Arbeit erforderliche weitere Untergliederung und Definition der einzelnen Dimensionen für Industrie 4.0 wird nicht adressiert.

4.2.6 Soziotechnische Gestaltungsoptionen digitaler Arbeit nach HIRSCH-KREINSEN

In einem erweiterten Ansatz geht HIRSCH-KREINSEN auf die Gestaltung des soziotechnischen Gefüges näher ein. Sein Fokus liegt dabei auf der Beschreibung der zwischen den Dimensionen Mensch, Organisation und Technik herrschenden Wechselwirkungen. Vor diesem Hintergrund nutzt er Gestaltungskriterien sowie eine kritische Hinterfragung des soziotechnischen Konzepts.

Die Gestaltung der Schnittstelle **Mensch-Maschine** ist dabei im Wesentlichen durch die Kriterien „Kontextsensitivität“ sowie „Komplementarität“ gekennzeichnet. Unter Kontextsensitivität werden u.a. Aspekte einer ergonomisch orientierten Anpassung von digitalen Systemen an spezifische Arbeitsbedingungen oder eine situationsspezifisch optimale Bereitstellung von Daten und Informationen für einen störungsfreien Arbeitsfluss verstanden. Das Kriterium Komplementarität steht für eine flexible, situationsspezifische Funktionsteilung zwischen Menschen und Maschinen sowie eine hinreichende Transparenz und Kontrollierbarkeit des Systems durch die Beschäftigten. Es kann durch Gestaltungsaspekte wie intuitiv bedienbare und schnell erlernbare Anlagen oder zielgerichtete und situationsspezifische Zugänge zu digitalen Informationen in Echtzeit erreicht werden [KI18, S. 22].

Die Schnittstelle **Mensch-Organisation** wird zum einen durch das Gestaltungskriterium „Ganzheitlichkeit“, im Sinne von Vollständigkeit und Anspruch an die Tätigkeiten der Menschen, gekennzeichnet. Zum anderen durch den Aspekt „Dynamik“, welcher für den systematischen Aufgabenwechsel zur Förderung von Lernprozessen steht. Die Umsetzung dieser Gestaltungskriterien der Schnittstelle Mensch-Organisation lässt eine Form der Arbeitsorganisation zu, die eine Vernetzung unterschiedlich qualifizierter, aber gleichberechtigt agierender Beschäftigter in horizontaler wie auch vertikaler Ebene ermöglicht [KI18, S. 23].

Im Rahmen der Schnittstelle **Technologie-Organisation** ist die Einführung von „dezentralisierten Organisationssegmenten von Relevanz. Diese verhilft bspw. zu neuen Formen humanorientierter und innovativer Arbeit. Gestaltungskriterien stellen hierbei ebenfalls die „Ganzheitlichkeit“ sowie „Selbstorganisation der Arbeit“ dar [KI18, S. 23].

Nach HIRSCH-KREINSEN ist die Betrachtung der einzelnen Schnittstellen des MTO-Konzepts im Kontext der Digitalen Transformation nicht weitreichend genug. Er schlägt daher die Erweiterung des Technikbegriffs hin zu „digitalen Technologien“ vor. Diese zeichnen sich durch eine Multifunktionalität aus und ermöglichen die funktions- und domänenspezifische Weiterentwicklung des MTO-Konzepts. So werden nach HIRSCH-KREINSEN bspw. Organisationstechnologien als zusätzliche Funktion digitaler Technologien definiert, sodass Regulations- und Rationalisierungsziele berücksichtigt werden [KI18, S. 26ff.].

Bewertung im Kontext der Arbeit:

HIRSCH-KREINSEN liefert eine umfassende Analyse der soziotechnischen Systemtheorie hinsichtlich Industrie 4.0 bzw. Digitalisierung. Er verdeutlicht, dass dem soziotechnischen Konzept analytisch und anwendungsorientiert ein hoher Stellenwert zukommt. Die Gestaltungskriterien unter Berücksichtigung von Industrie 4.0 lassen sich dabei ggf. für eine soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 mittels Lösungsmustern verwerten. Der Fokus der Ansätze nach HIRSCH-KREINSEN liegt stets auf der systematischen Gestaltung von Arbeitswelten, insb. auf der Gestaltung der Schnittstellen zwischen den Dimensionen Mensch, Organisation und Technik. Die Wiederverwendung von Wissen zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 wird zudem in dem Ansatz von HIRSCH-KREINSEN nicht berücksichtigt.

4.3 Ansätze zur Wiederverwendung von Lösungswissen von Industrie 4.0

Wissen ist im Zeitalter von Industrie 4.0 eine an Wert zunehmende Ressource. Um in dem komplexen und dynamischen Wettbewerb bestehen zu können, ist der Rückgriff auf Lösungswissen ein Erfolgsfaktor. Es existiert bereits eine Vielzahl an Ansätzen, welche Lösungswissen für Industrie 4.0 bereitstellen. Diese können eine wertvolle Quelle zur Ableitung des Lösungswissens für die Lösungsmuster bieten. In *Abschnitt 4.3.1* wird der CPPS-Katalog nach NÖHRING ET AL. vorgestellt. *Abschnitt 4.3.2* präsentiert die Mind-Map diskutierter Technologien und Konzepte nach PFOHL ET AL. Die Knowledge-Map für nachhaltige Produktion nach PATALAS-MALISZEWSKA ET AL. ist Teil des *Abschnitts 4.3.3*. Anschließend werden Ansätze vorgestellt, welche eine Vielzahl von Best Practices zu Industrie 4.0 sammeln und konsolidiert bereitstellen. In *Abschnitt 4.3.4* wird die Landkarte der BMWi Plattform Industrie 4.0 untersucht, welche über 350 Anwendungsfälle (Stand 2020) von Industrie 4.0 zur Verfügung stellt. Gegenstand von *Abschnitt 4.3.5* ist das internationale PAC Innovation Register. Der Abschluss der Analyse Best Practice orientierter Ansätze erfolgt mit den in *Abschnitt 4.3.6* vorgestellten Transferprojekten des it's OWL Spitzenclusters.

4.3.1 CPPS-Lösungskatalog nach NÖHRING ET AL.

Zur Auswahl von Cyber-Physischen-Produktionssystem- (CPPS-) Lösungen, unter Berücksichtigung von Unternehmenszielen, haben NÖHRING ET AL. einen CPPS-Katalog erarbeitet. Hierfür werden bestehende CPPS-Lösungen in ein Strukturierungsschema eingeordnet. Dieses gliedert sich in Titel, Funktionen, Einsatzbereiche, potentielle Systemanbieter/Integratoren, Kundenerfahrungen und Key Performance Indicators von CPPS-Lösungen. Die Technologiefelder belaufen sich dabei auf Innovative Produktionssysteme, Logistik, Robotik, Informations- und Kommunikationstechnik sowie Sensortechnik [NWD18, S. 76]. Die einzelnen CPPS-Lösungen werden zudem im Rahmen eines

Steckbriefs entlang eines Anwendungsbeispiels weiter spezifiziert. Einen beispielhaften Steckbrief zeigt Bild 4.11.

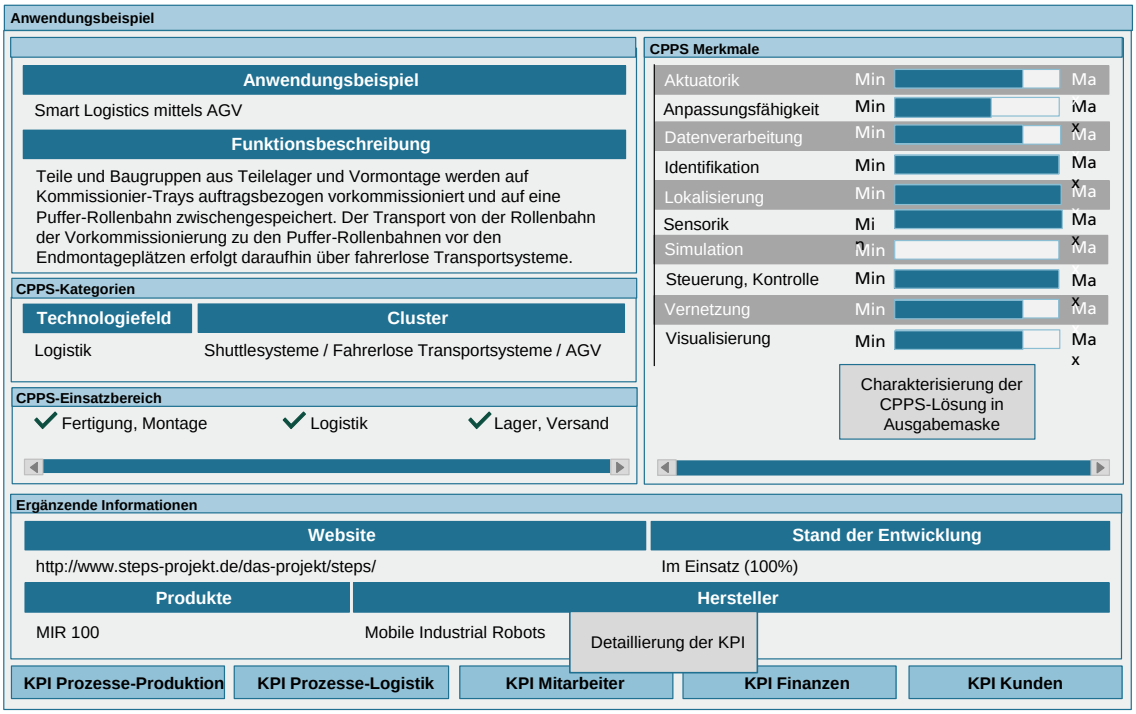


Bild 4.11: Beispielhafter Steckbrief eines Anwendungsbeispiels des CPPS-Katalogs

Als geeignete Quellen zum Befüllen des CPPS-Katalogs werden Forschungsinstitute oder Unternehmen genannt, welche aktuell eingesetzte Lösungen präsentieren. Zudem können Systemanbieter ihre Lösungen und dessen Nutzen mittels des CPPS-Katalogs darstellen. Es handelt sich somit um einen dynamischen Katalog, welcher kontinuierlich angereichert werden soll. Die aktuelle Anzahl der verfügbaren CPPS-Lösungen im Katalog wird nicht angegeben [NWD18, S. 77ff.].

Im Rahmen der Anwendung des CPPS-Katalogs kann nach verschiedenen Kriterien wie den KPIs oder den Technologiefeldern gefiltert werden. Zusätzlich wird eine Freitextsuche ermöglicht [NWD18, S. 77ff.].

Der Zugriff auf den CPPS-Katalog erfolgt webbasiert im Rahmen einer sog. Auswahlhilfe für CPPS-Lösungen. Dabei wird insb. die Berücksichtigung der KPIs zur Auswahl der Lösungen fokussiert. Lösungen mit einer hohen Übereinstimmung mit der KPI Auswahl eines Anwenders werden automatisiert berechnet und priorisiert vorgeschlagen [NWD18, S. 77ff.].

Bewertung im Kontext der Arbeit:

Der CPPS-Katalog nach NÖHRING ET AL. ermöglicht einen strukturierten Zugriff auf Lösungen für Cyber-Physische-Produktionssysteme. Auf Basis von Expertenwissen, bspw. Lösungsanbietern, werden die CPPS-Lösungen gesammelt und einheitlich aufbereitet. Der CPPS-Katalog scheint mit einzelnen Anwendungsbeispielen nur initial befüllt zu

sein. Weitere CPPS-Lösungen sollen von Forschungsinstituten, Unternehmen oder Systemanbietern, auf Basis des Strukturierungsschemas, ergänzt werden. Somit kann nur begrenzt auf tatsächliche Lösungen und damit Lösungswissen zugegriffen werden. Zudem handelt es sich mit den CPPS-Lösungen um eine rein technische Perspektive von Industrie 4.0. Eine soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 kann mit dem CPPS-Katalog nicht erreicht werden.

4.3.2 Mind-Map diskutierter Technologien und Konzepte nach PFOHL ET AL.

Um den Management Prozess von Industrie 4.0 zu unterstützen, haben PFOHL ET AL. eine Mind-Map von 49 derzeit diskutierten Technologien und Konzepten erarbeitet (vgl. Bild 4.12). Hierfür wurde eine umfassende und strukturierte Literaturanalyse durchgeführt.

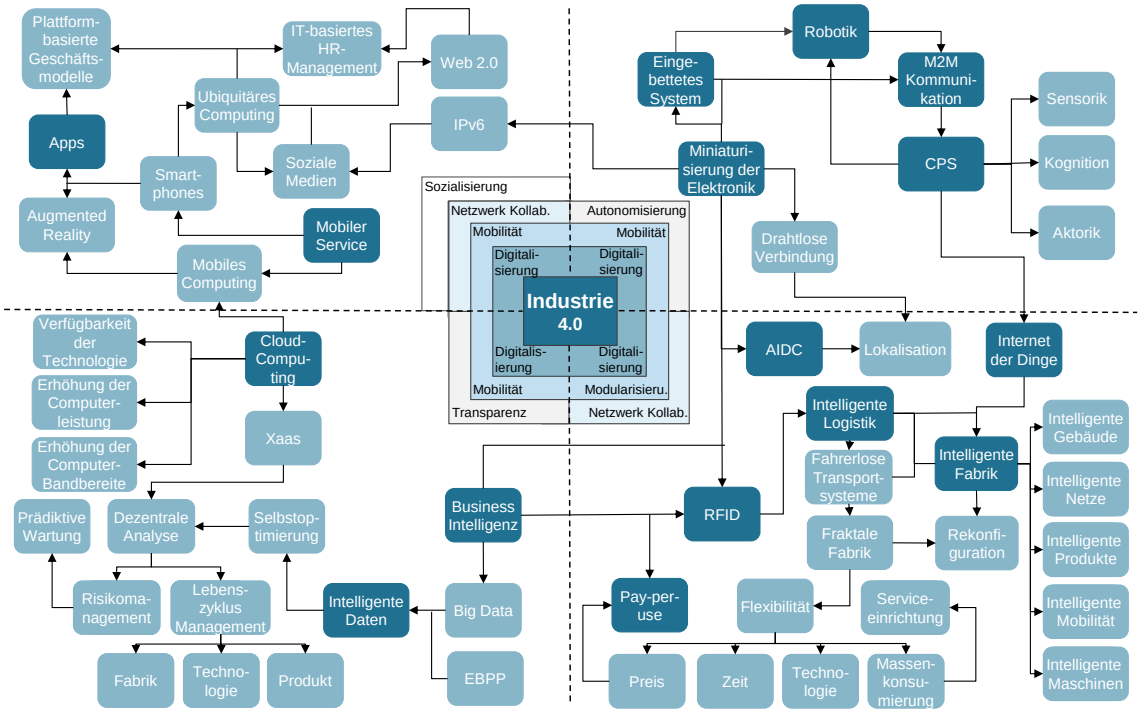


Bild 4.12: Mind-Map diskutierter Technologien und Konzepte nach PFOHL ET AL.

Die in der Mind-Map aufgetragenen Technologien und Methoden für Industrie 4.0 orientieren sich an sieben relevanten **Industrie 4.0 Charakteristika: Digitalisierung, Mobilität, Netzwerk-Kollaboration, Modularisierung, Transparenz, Autonomisierung sowie Sozialisierung.** Diese wurden mittels einer Relevanzbewertung (Maß: Häufigkeit der Nennung in der Literatur) definiert. Unter der Autonomisierung wird bspw. die Befähigung von Maschinen und Algorithmen zu autonomen Entscheidungen und Lernaktivitäten verstanden. Mobilität adressiert die Verbreitung von mobilen Geräten zur Kommunikation, zum Datenaustausch und zur Generierung von Werten, sodass eine ortsunabhängige Interaktion zwischen Menschen oder Maschinen möglich ist [PYK15, S. 38ff.].

Auf Basis dieser Industrie 4.0 Charakteristika wurden für die Mind-Map vier Cluster gebildet, welche eine Kombination aus den Charakteristika darstellen. So bilden **Digitalisierung, Mobilität, Netzwerk-Kollaboration und Sozialisierung** ein Cluster, in welches bspw. Lösungen wie Augmented Reality oder Social Media eingeordnet werden. Das Cluster **Digitalisierung, Mobilität und Autonomisierung** enthält Technologien und Methoden wie Robotics oder Miniaturisierung von Elektronik. Lokalisierung oder Flexibilisierung sowie Smart Service Ansätze wie Pay per Use werden dem Cluster **Digitalisierung, Modularisierung und Netzwerk-Kollaboration** zugeordnet. Das Cluster **Digitalisierung, Mobilität und Transparenz** fokussiert Lösungen wie Cloud Computing, Selbstoptimierung oder Predictive Maintenance [PYK15, S. 41].

Zusätzlich zu der Sammlung der Technologien und Konzepte/Methoden werden in der Mind-Map die **15 relevantesten Lösungen** für Industrie 4.0 sowie die **Beziehungen** zwischen allen Lösungen visualisiert. Als besonders relevant wird eine Lösung eingestuft, wenn sie zu einer hohen Anzahl der Industrie 4.0 Charakteristika befähigt. Hierzu zählen bspw. RFID, Apps, Business Intelligence oder CPS [PYK15, S. 41f.].

Zur **Implementierung** der in der Mind-Map enthaltenen Technologien und Methoden entlang der Wertschöpfungskette empfehlen PFOHL ET AL. eine ganzheitliche Managementperspektive. So sollten Auswirkungen auf Technik, Strukturen sowie Menschen berücksichtigt werden [PYK15, S. 25].

Bewertung im Kontext der Arbeit:

Die Mind-Map nach PFOHL ET AL. enthält mit insgesamt 49 Technologien und Methoden eine gute Übersicht über Lösungen für spezifische Industrie 4.0 Charakteristika. Diese wurden aus der Literatur abgeleitet. Eine weitere Spezifizierung der Lösungen oder der Nachweis über den Erfolg oder Nutzen dieser erfolgt nicht. Zudem können die Lösungen keinen Problemstellungen von Unternehmen zugeordnet werden. Somit ist eine Übertragung dieser in Lösungsmuster, welche speziell erfolgreiche Problem-Lösungs-Kombinationen darstellen, nicht möglich. Bei der Implementierung der Lösungen wird mit den Aspekten Strukturen, Technik und Mensch eine soziotechnische Perspektive empfohlen. Weitere Hinweise zur Ausgestaltung dieser Perspektive werden nicht gegeben.

4.3.3 Knowledge-Map für nachhaltige Produktion nach PATALAS-MALISZEWSKA ET AL.

Ziel des Ansatzes nach PATALAS-MALISZEWSKA ET AL. ist der Aufbau einer datenbasierten **Knowledge-Map** (Wissenslandkarte) zur Entwicklung einer nachhaltigen Produktion in Unternehmen. Die Knowledge-Map stellt einen Graph dar, der aus verschiedenen Wissens-Knotenpunkten sowie Beziehungen zwischen diesen besteht [PRŁ22, S. 217].

Zur Ableitung der Wissens-Knotenpunkte soll über Experten und Spezialisten sowohl auf explizites als auch implizites Wissen zurückgegriffen werden. Da in Unternehmen selten auf Anhieb bekannt ist, wer über Wissen in dem jeweiligen Themenfeld verfügt, sind zum Aufbau der Knowledge-Map zunächst geeignete **Wissensträger** zu identifizieren. Zudem sind **Wissensquellen** wie technische Dokumente, Marktanalysen oder externe Datenbanken einzubeziehen. Um ein besseres Verständnis über Wissensträger und -quellen zu erzeugen, eignet sich die Aufzeichnung der Beziehungen zwischen diesen. Sie bildet die Struktur der Wissensbasis ab [PRŁ22, S. 218]. Um das Ziel der Knowledge-Map zu erreichen, d.h. die Unterstützung einer nachhaltigen Produktion, werden folgende Wissensquellen ausgewählt [PRŁ22, S. 218f.]:

- **Internes implizites Wissen:** Produktionsmitarbeitende sowie Mitarbeitende
- **Externes implizites Wissen:** Datenbank eines Informationssystems
- **Internes explizites Wissen:** Experten des integrierten Management-Systems (ERP-System), Experten des Informations-Systems, Nutzer
- **Externes explizites Wissen:** “Global Reporting Initiative (GRI)”, “Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development der United Nations”

Die **Knowledge-Map** selbst wurde anhand eines Anwendungsbeispiels aus der Metallindustrie erarbeitet. Hierbei wurde das Wissen der einzelnen Wissensträger auf Fragestellungen bzgl. der Nachhaltigkeit bezogen. Es wurde u.a. für einzelne Projekte oder Maschinen bewertet, wie das Niveau des Energieverbrauchs (EC), der Treibhausgasemissionen (GHC), der Reklamationsrate (CR), der Ressourcenproduktivität (RP), des Organisationseinkommen (OI), des technologischen Fortschritts (TP) und des Abfallrecyclings (WR) darzustellen ist. Die Antworten können dabei bei einem geringeren Niveau mit 0, bei einem höheren Niveau mit 1 sowie bei gleichbleibendem Niveau mit 0,5 bewertet werden. Anschließend wurde ein Knotengraph visualisiert, welcher zukünftig mit einem Suchportal verbunden werden soll (vgl. Bild 4.13) [PRŁ22, S. 219ff.].

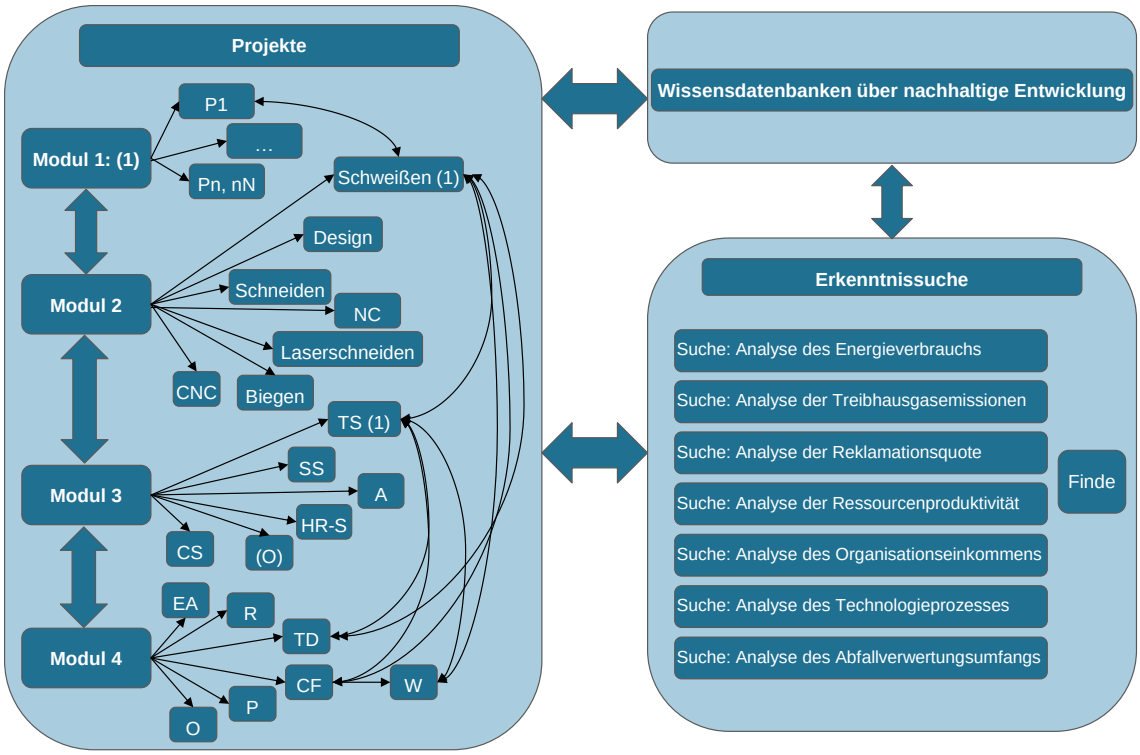


Bild 4.13: Übersicht über das Suchportal inkl. Knowledge-Map

Bewertung im Kontext der Arbeit:

Mit der Knowledge-Map nach PATALAS-MALISZEWSKA ET AL. wird ein Instrument zur Dokumentation von implizitem und explizitem Wissen hinsichtlich einer nachhaltigen Produktion im Unternehmen vorgestellt. Teilziel der Knowledge-Map ist der Aufbau einer Wissensbasis. Hierfür werden sowohl Wissensträger als auch Wissensquellen genannt, die ggf. zur Ableitung von Lösungsmustern zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 übertragen werden können. Die Knowledge-Map selbst gibt keine Auskunft über Lösungen hinsichtlich Industrie 4.0. Sie ist für die vorliegende Arbeit nicht nutzbar.

4.3.4 Landkarte der BMWi Plattform Industrie 4.0

Mit der Online-Plattform Industrie 4.0 bietet das BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWI) einen Zugang zu Informationen rund um das Themenfeld Industrie 4.0. Mit dem Zusammenschluss von Unternehmen, Belegschaften, Gewerkschaften, Verbänden, der Wissenschaft und der Politik wird primär angestrebt, die Digitale Transformation der Produktion in Deutschland voranzubringen. Hierfür werden u.a. vorwettbewerbliche Konzepte und Lösungen entwickelt oder Handlungsempfehlungen, Informationsangebote und Anwendungsbeispiele veröffentlicht [BMW20a-ol].

Ein Medium zur Darstellung solcher Anwendungsbeispiele stellt die „Landkarte Industrie 4.0“ dar. Sie ist ein Bestandteil der Plattform, um erfolgreiche Industrie 4.0 Projekte, d.h. Best Practices, in Deutschland, Frankreich und Japan vorzustellen. Allein in Deutschland

werden über 350 Anwendungsbeispiele von zahlreichen Unternehmen und Forschungseinrichtungen bereitgestellt (Stand 2020) [BMW20b-ol]. Diese werden auf einer Deutschlandkarte, gemäß dem jeweiligen Ort des präsentierenden Unternehmens oder der Einrichtung, dargestellt (vgl. Bild 4.14).

Bild 4.14: Die Best Practice Landkarte der Plattform Industrie 4.0

Mit Hilfe von Filteroptionen in den Kategorien Anwendungsbeispiele, Produktbeispiele, Wertschöpfungsbereich, Entwicklungsstadium, Region und Unternehmensgröße können interessierte Unternehmen gezielt nach für sie relevanten Erfolgsgeschichten suchen. Durch das Anklicken von Positionspfeilen oder das Filtern der verschiedenen Kategorien werden auf der linken Seite des Webfensters Kurzansichten von den Best Practice-Beispielen aufgelistet [BMW20b-ol]. Über die Detailansicht kann der Anwender weiterführende Informationen über die verschiedenen Industrie 4.0 Projekte extrahieren. Dabei erhält der Anwender zum einen Fakten zum Unternehmen/der Forschungseinrichtung sowie Kontaktdaten eines Ansprechpartners. Zum anderen Antworten hinsichtlich der folgenden vom BMWI vorgegebenen Leitfragen [BMW20b-ol]:

- Welche Herausforderungen galt es zu lösen und welcher konkrete Nutzen ergab sich?
- Wie lässt sich der Industrie 4.0 Lösungsansatz beschreiben?

- Was konnte erreicht werden?
- Mit welchen Maßnahmen wurde die Lösung erreicht?
- Was können Andere davon lernen?

Die Anzahl der Anwendungsbeispiele auf der Plattform nimmt dabei stetig zu. So werden auf der einen Seite durch die Arbeiten der Plattform Industrie 4.0 entstandene neue Beispiele aufgenommen. Auf der anderen Seite besteht die Möglichkeit für Unternehmen und Forschungseinrichtungen, ihre Anwendungsbeispiele einzureichen und nach einer Prüfung dort zu platzieren. Hierdurch wird u.a. auf Unterstützungsmöglichkeiten aufmerksam gemacht [BMW20b-ol].

Bewertung im Kontext der Arbeit:

Die vom BMWI initiierte „Landkarte Industrie 4.0“ bietet eine einfache Zugänglichkeit zu der umfangreichen Sammlung verschiedener Industrie 4.0 Anwendungsbeispiele. Dabei wird mittels der Detailansicht und der damit verknüpften Leitfragen systematisch Wissen bzgl. der Best Practices bereitgestellt. Durch die Filterapplikation können nicht relevante Projekte ausgeblendet und damit der Lösungsraum eingegrenzt werden. Hierbei werden neben technischen Möglichkeiten auch Themenstellungen wie „Lernen und Qualifizieren“ berücksichtigt. Durch eine regelmäßige Erweiterung der Landkarte um neue Projekte ist es weiterhin möglich, an der dynamischen Entwicklung der Industrie 4.0 Lösungen zu partizipieren. Auf Grund der individuellen Darstellung der einzelnen Projekte, ist zum einen der Vergleich verschiedener Lösungsalternativen, zum anderen der Übertrag auf die speziellen Bedürfnisse des Anwenders nur schwer möglich. Insgesamt stellt die Landkarte Industrie 4.0 jedoch eine gute Grundlage dar, um von externem Wissen zu profitieren und im Rahmen dieser Arbeit Lösungswissen zu generieren.

4.3.5 PAC Innovation Register

Die Beratungs- und Marktforschungsorganisation PIERRE AUDOIN CONSULTANTS (PAC) bietet mit seinem PAC Innovation Register seit dem Jahr 2016 eine internationale Sammlung von ca. 700 Fallbeispielen aus dem Bereich der Digitalen Transformation (Stand 2020). Davon fallen ca. 100 Fallbeispiele auf deutsche Unternehmen in dem produzierenden Sektor und dem Themenfeld Internet of Things (IOT)/Industrie 4.0 [PAC16-ol]. Nach einer Registrierung werden dem Anwender die Fallbeispiele in Form von strukturierten Projektkarten bereitgestellt (vgl. Bild 4.15). Diese lassen sich herunterladen sowie teilen. Vereinzelte Projektkarten werden mit detaillierten Flyern im PDF Format angereichert.

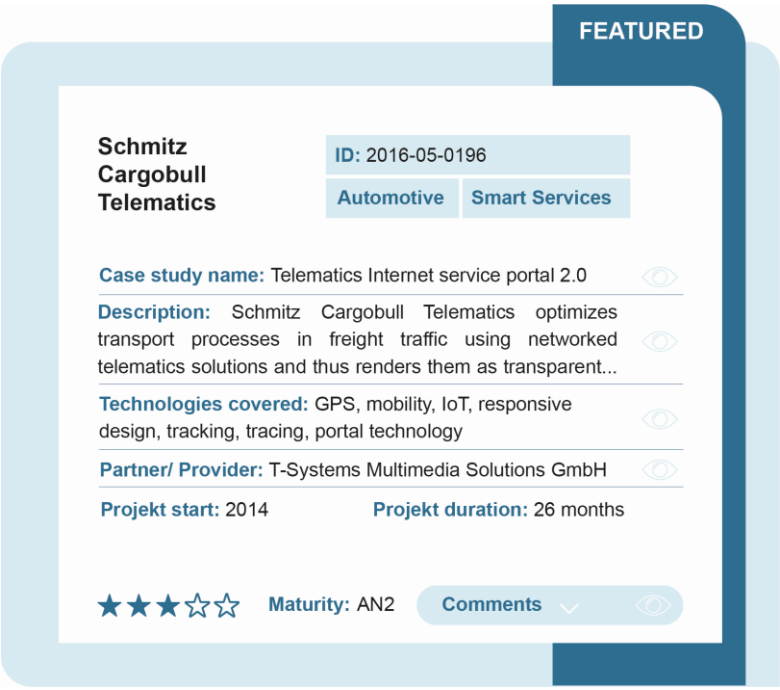


Bild 4.15: Beispielhafte Projektkarte des PAC Innovation Registers

Der Kopf der Projektkarte liefert Informationen über den Kontext des Fallbeispiels wie die Projekt-ID, der Name und die Größe des Unternehmens, das zugehörige Land sowie die Einordnung in Branche, Cluster und Thema. Den Kern der Projektkarte stellen die Details bzgl. des Fallbeispiels dar. So werden der Titel, eine Kurzbeschreibung, verwendete Technologien, Kooperationspartner und zeitliche Fakten des Projekts übermittelt. In der Fußzeile werden abschließend eine Bewertung des Fallbeispiels seitens PAC, der digitale Reifegrad sowie Kommentare angegeben [PAC16-ol].

Der digitale Reifegrad, welcher sich nach PAC in die sechs Stufen AN1 (Analytics-dashboard), AN2 (Analytics-action), BC1 (Business case-improvement), BC2 (Business case-disruptive), DA1 (data-generate) sowie DA2 (data-process) gliedert, ist weiterhin Bestandteil der Filteroptionen des PAC Innovation Register. Neben diesem lässt sich die Sammlung hinsichtlich dem Industriesegment (z.B. Banking oder Manufacturing), dem Thema (z.B. Smart Home oder Smart Cities), dem Land, dem Projektstart sowie dem IT Cluster (z.B. IOT) eingrenzen. Zudem besteht die Möglichkeit, konkret nach der Projekt-ID, dem Unternehmen oder Kooperationspartnern zu suchen [PAC16-ol]. Neben den Projektkarten werden im Rahmen des PAC Innovation Registers Lieferanten der Technologien für die einzelnen Fallbeispiele aufgelistet und mittels verschiedener Portfolios strukturiert. Hierdurch soll der Zugang zu möglichen Projektpartnern erleichtert werden [PAC16-ol].

Bewertung im Kontext der Arbeit:

Das PAC Innovation Register stellt mit ca. 700 Fallbeispielen (Stand 2020) eine große Anzahl an Projekten der Digitalen Transformation bereit. Die Eingrenzung des Lösungsraums wird zwar durch eine Filterfunktion erleichtert, führt jedoch gleichzeitig durch die

hohe Anzahl der Filteroptionen und Projektkarten zu einer komplexen Suche. Die Informationen einer Projektkarte sind durch die einheitlichen Kategorien gut vergleichbar. Der Detailgrad der Karten lässt jedoch lediglich Wissen auf einer sehr abstrakten Ebene zu. Zudem liegt mit der Beschreibung und Auflistung der verwendeten Technologien der Fokus auf der Darstellung von rein technischen Lösungen. Zur Generierung von Lösungswissen mit dem Ziel der Lösungsmusteridentifikation zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 ist das PAC Innovation Register daher nur bedingt nutzbar.

4.3.6 Transferprojekte des Spitzenclusters it's OWL

Das Spitzencluster it's OWL stellt mit rund 200 Unternehmen, Forschungseinrichtungen und Organisationen einen Zusammenschluss zu einem Technologie-Netzwerk, kurz it's OWL, dar. Es versteht sich als ein Innovationstreiber für Industrie 4.0 und die intelligente Produktion [GDE+18, S. 4]. Ein speziell auf die mittelständischen Industrieunternehmen in Ostwestfalen Lippe ausgerichtetes Konzept des Wissenstransfers wurde mit den sogenannten it's OWL Transferprojekten initiiert.

Im Rahmen des Spitzenclusters it's OWL sind bis zum Ende des Jahres 2017 in vier Tranchen insgesamt 171 Kooperationsprojekte zwischen Forschungseinrichtungen bzw. Hochschulen sowie kleinen und mittelständischen produzierenden Unternehmen durchgeführt worden. Ziel dieser sog. Transferprojekte war es, Technologien, Methoden und Werkzeuge aus der Technologie- und Innovationsplattform des Spitzenclusters in die betriebliche Praxis des Mittelstands zu transferieren [GDE+18, S. 16]. Hierfür sind die verschiedenen Transferprojekte den Industrie 4.0 Themenfeldern der Technologie- und Innovationsplattform zugeordnet: Intelligente Vernetzung, Energieeffizienz, Systems Engineering, Mensch-Maschine-Interaktion, Selbstoptimierung, Marktorientierung, Vorausschau, Prävention Produktpiraterie, Technologieakzeptanz sowie Arbeit 4.0 [GDE+18, S. 12].

Die Transferprojekte wurden stets als Kooperationsprojekt durchgeführt und hatten eine kurze Laufzeit von sechs bis zehn Monaten. Die Anbahnung der Projekte erfolgte dabei über ein Gutachterverfahren der sog. Projektskizzen. Abgeschlossen wurden die Projekte sowohl mit einer Abschlusspräsentation als auch einer Dokumentation in Form eines Projektberichts. Hierbei wird insb. die Ausgangssituation sowie die erarbeitete Lösung beschrieben [GDE+18, S. 16,19].

In der Projektdurchführung wurden zum einen erste Lösungskonzepte für die individuellen Problemstellungen der Unternehmen entwickelt und das Unternehmen hinsichtlich Industrie 4.0 sensibilisiert. Zum anderen wurden in weiter fortgeschrittenen Unternehmen Anforderungen für die Implementierung bestehender Lösungsansätze oder Konzepte abgeleitet [GDE+18, S. 20]. Konkrete Themenstellungen, welche auf diese Ziele hinarbeiten, stellen die „Vorausschauende Wartung von Regelventilen“ oder die „Zentrale Auswertung von Prozesssensordaten in der Cloud“ dar [GDE+18, S. 26]. Bild 4.16 zeigt beispielhaft die Verteilung der Projekte auf verschiedene Zielsetzungen:

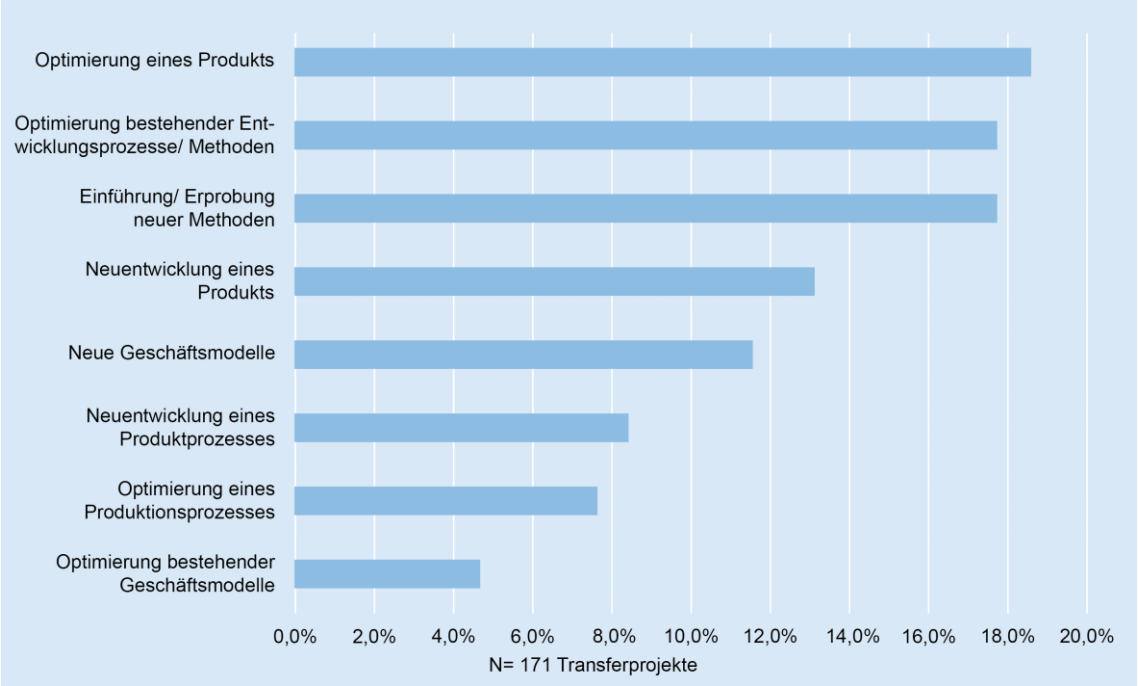


Bild 4.16: Verteilung der it's OWL Transferprojekte auf verschiedene Zielsetzungen

Bewertung im Kontext der Arbeit:

Die Transferprojekte des Spitzenclusters it's OWL bieten einen Einblick in erfolgreich durchgeführte Projekte im Themenfeld Industrie 4.0. Der Fokus liegt dabei insb. auf kleinen und mittleren Unternehmen. Im Kontext dieser Arbeit steht demnach auf die Rahmenbedingungen des Mittelstands ausgerichtetes Lösungswissen zur Verfügung. Die Dokumentation der Projekte in Form von Projektskizzen und Abschlussberichten ermöglicht den Zugriff sowohl auf die Problemstellungen als auch erarbeiteten Lösungen der Projekte. Die it's OWL Transferprojekte bieten demnach großes Potential, Lösungsmuster für Industrie 4.0 zu identifizieren.

4.4 Lösungsmuster für Industrie 4.0

Der Einsatz von Lösungsmustern im Bereich des Wissensmanagements geht bereits auf das Jahr 1979 zurück, in welchem ALEXANDER erstmals Architekturmuster zur Nutzung bestehenden Wissens entwickelt hat. Seitdem sind in verschiedenen Bereichen zahlreiche Ansätze zum musterbasierten Problemlösen entstanden – erarbeitete Lösungsmuster selbst sind jedoch nicht immer enthalten. Vielmehr liegt der Fokus auf dem Arbeiten mit Mustern und es werden Musterbeispiele genannt. Im Folgenden werden daher nur Ansätze vorgestellt, dessen (Teil-) Resultat konkrete Lösungsmuster sind. In *Abschnitt 4.4.1* werden die in der Praxis weit verbreiteten 55 Geschäftsmodellmuster nach GASSMANN ET AL. sowie die damit verknüpfte Methodik des St. Galler Business Model Navigator diskutiert. Die 74 Geschäftsmodellmuster des Verbundprojekts GEMINI werden in *Abschnitt 4.4.2* vorgestellt. Nachfolgend wird in *Abschnitt 4.4.3* der Katalog der Innovati-

onsprinzipien der Digitalisierung nach ECHTERFELD, welche als Lösungsmuster verstanden werden können, erläutert. Lösungsmuster zu Mensch- und Computer-Schnittstellen werden in der in *Abschnitt 4.4.4* untersuchten musterbasierten, interdisziplinären Zusammenarbeit nach BORCHERS aufgezeigt.

4.4.1 Geschäftsmodellmuster nach GASSMANN ET AL.

Aus der Analyse von erfolgreichen Geschäftsmodellen der letzten 50 Jahre und zahlreichen Geschäftsmodellpionieren leiten GASSMANN ET AL. eine Methodik zur Entwicklung von Geschäftsmodellinnovationen ab [GFC17, S. 21]. Die gesamte Methodik wird in dem St. Galler Business Model Navigator zusammengefasst (vgl. Bild 4.17).

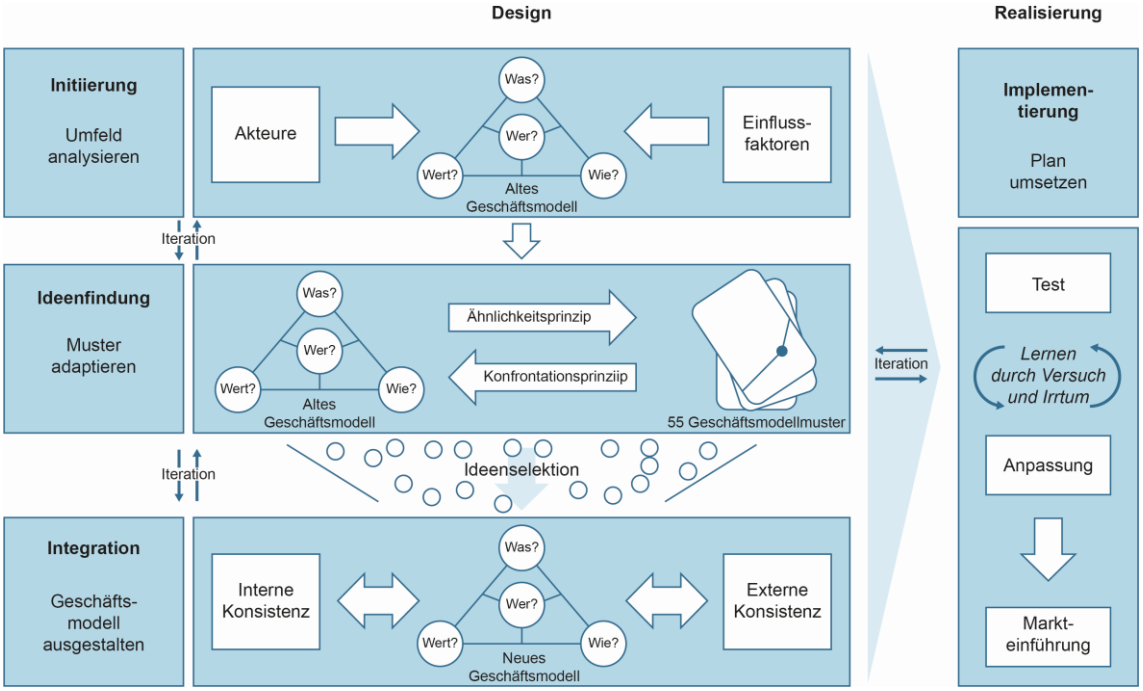


Bild 4.17: Die Methodik des St. Galler Business Model Navigator

Der Business Model Navigator baut auf der These auf, dass sich neue Geschäftsmodelle erfolgreich über kreative Imitation und Rekombination von Beispielen entwickeln lassen [GFC17, S. 22]. Daher wurden insgesamt **55 unterscheidungsfähige Geschäftsmodellmuster abgeleitet**, die wiederholend in erfolgreichen Beispielen neue Geschäftsmodelle bildeten. Ein solches Geschäftsmodellmuster wird nach GASSMANN ET AL. als

> *„[…] eine bestimmte Konfiguration der vier Kernelemente (Wer-Was-Wie-Wert?) eines Geschäftsmodells, welche sich in verschiedenen Firmen und Industrien als erfolgreich erwiesen hat [GFC17, S. 23]“*

definiert. Beispiele für Muster stellen „Subscription – das Abonnieren von Leistungen“ oder „Razor and Blade – günstiger Produktverkauf und hohe Margen beim Verbrauchsmaterial“ dar [GFC17, S. 24f.].

Jedes der 55 Geschäftsmodellmuster wird in **Prosa** mittels folgender Kategorien **beschrieben** [GFC17, S. 94ff.]: „Das Muster“ (Wer?, Was?, Wie? und Wert?), „Der Ursprung“ (die Wurzeln und erste Anbieter), „Die Innovatoren“ (Schub der Innovation und dafür verantwortliche Unternehmen), „Anwendung“ (Wann? und Wie?) sowie „Checkliste bei der Anwendung“ (hilfreiche Fragestellungen).

Die Identifikation der Muster erfolgt über zwei mögliche Prinzipien: dem Ähnlichkeitsprinzip oder dem Konfrontationsprinzip. Mittels dem *Ähnlichkeitsprinzip* werden zunächst Musterkarten von analogen Branchen untersucht. Anschließend bewegt sich das Unternehmen in der Musterwahl in Richtung weniger stark analoger Branchen und überträgt die Muster auf das eigene Geschäftsmodell. Die Identifikation der passenden Muster erfolgt dabei über Suchkriterien [GFC17, S. 47f.].
Bei dem *Konfrontationsprinzip* wird, wie der Name andeutet, eine Konfrontation mit Extremen provoziert. Das derzeitige Geschäftsmodell wird möglichst mit branchenfremden Geschäftsmodellmustern verglichen, sodass der jeweilige Bedeutungshorizont für das derzeitige Geschäftsmodell verdeutlicht wird. Die Muster zur Konfrontation werden dabei meist intuitiv ausgewählt und über Fragen wie „Wie würde das Unternehmen Google unser Geschäft führen?“ analysiert [GFC17, S. 50ff.].

Anschließend erfolgt die **Musteradaption** in einem Workshopformat. Ziel ist es, möglichst viele kreative Ideen für das eigene Unternehmen zu entwickeln. Diese Ideen werden über den NABC-Ansatz (Need, Approach, Benefits und Competition) bewertet [GFC17, S. 53ff.]. In einem nächsten Schritt wird die ausgewählte neue Idee in ein neues Geschäftsmodell überführt, welches konsistent sowohl zu den internen Anforderungen eines Unternehmens als auch zum externen Umfeld sein soll [GFC17, S. 59ff.].

Abschließend erfolgt die **Implementierung** des neuen Geschäftsmodells. Hierfür werden Verhandlungen mit Kooperationspartnern geführt sowie in einem stetigen Zyklus Prototypen designt, aufgebaut und getestet [GFC17, S. 64ff.].

Bewertung im Kontext der Arbeit:

Der Business Model Navigator ist ein sehr ausgereifter musterbasierter Ansatz zur Entwicklung von Geschäftsmodellen. Er ist bereits mehrfach erfolgreich in der Praxis validiert worden. Die 55 konkreten Geschäftsmodellmuster sind systematisch über die Analyse erfolgreicher Geschäftsmodelle und Unternehmen abgeleitet worden. Sie werden sowohl in detaillierter Form mit Prosatexten als auch mittels gekürzter Musterkarten übersichtlich bereitgestellt. Unter Empfehlung von Kreativitätsmethoden sowie Workshopformaten wird die Anwendung der Geschäftsmodellmuster im Unternehmen unterstützt. Sowohl das Vorgehen der Musterableitung, die Muster und ihre Dokumentation selbst als auch einzelne Methoden der Musteranwendung geben sinnvolle Impulse zur Erstellung der Lösungsmuster zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0. Da der Fokus des Business Model Navigator auf Geschäftsmodellen und somit auf einem Ausschnitt der Dimension Organisation liegt, sind potentiell übertragbare Inhalte gemäß der soziotechnischen Perspektive zu erweitern.

4.4.2 74 Geschäftsmodellmuster für Industrie 4.0 des GEMINI-Verbundprojekts

Als Teil des Verbundprojekts „Integrative Planung von Geschäftsmodellen und Wertschöpfungssystemen – GEMINI“ wurden **74 allgemeingültige und technologiespezifische Geschäftsmodellmuster für Industrie 4.0** entwickelt. Diese resultieren aus einer Analyse von bestehenden Geschäftsmodellmustern, bspw. nach GASSMANN ET AL. (vgl. Abschnitt 4.4.1), von innovativen Unternehmen, von Studien im Kontext Industrie 4.0 sowie aus Experteninterviews [GWE+17, S. 28]. Auf Basis der Analysen wurden sowohl allgemeingültige als auch spezifisch für Industrie 4.0 geeignete Geschäftsmodellmuster identifiziert. Ein Beispiel stellt „Freemium“ dar, in welchem Basisversionen eines Produkts oder Services kostenlos, Premiumversionen mit erweiterten Funktionen dagegen mit Kosten angeboten werden [GWE+17, S. 31].

Die Geschäftsmodellmuster wurden zunächst in Form eines Katalogs gesammelt. Anschließend wurde dieser zu einem **Geschäftsmodellmuster-System** weiterentwickelt. Dieses adressiert die konsistente Geschäftsmodellmusterbündelung. Mit Hilfe eines Clustering-Algorithmus auf Basis von Ähnlichkeiten wurden 22 Cluster für die GEMINI Geschäftsmodellmuster identifiziert (z.B. Partner-based Outsourcing oder Benefit-based Pricing) [GWE+17, S. 29ff.]. Um die Anwendung der Geschäftsmodellmuster weiter zu vereinfachen, wurde anschließend eine dritte Strukturierungsebene integriert. Zur Bündelung der Cluster zu weiteren sechs Clustern wurden Stoßrichtungen wie Pricing als Ähnlichkeitsmaß gewählt. Das Schema zeigt Bild 4.18 [GWE+17, S. 31].

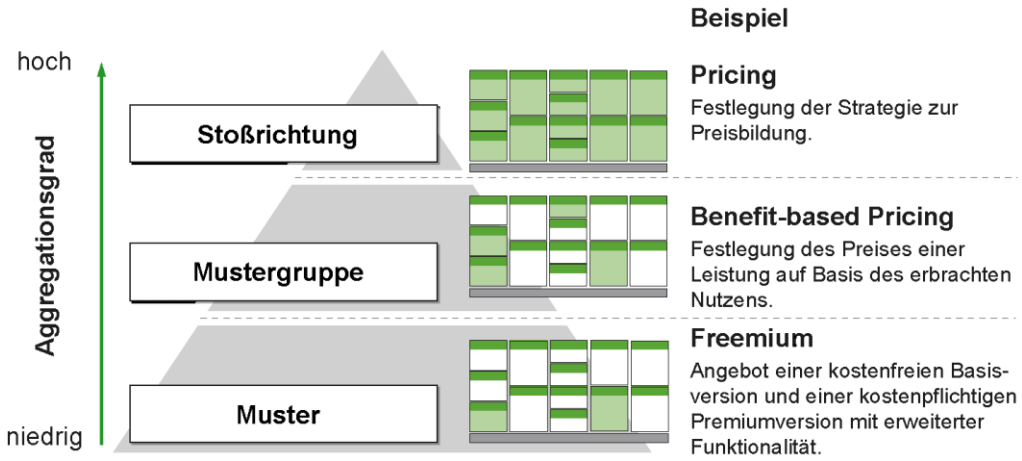


Bild 4.18: Hierarchie-Ebenen der GEMINI Geschäftsmodellmuster

Neben der Bündelung der Geschäftsmodellmuster wird mit Hilfe einer **Konsistenzmatrix** eine Prüfung dieser auf ihre Verträglichkeit vorgenommen. Hierdurch konnten Aussagen über Ähnlichkeiten und Abhängigkeiten in das Geschäftsmodellmuster-System integriert werden [GWE+17, S. 31ff.].

Die 74 Geschäftsmodellmuster wurden abschließend in einem **Kartenset** zusammengeführt. Jede Karte besteht zum einen aus einer Vorderseite mit dem Namen, einem Piktogramm des Musters sowie der zugehörigen Mustergruppe und Stoßrichtung. Zum anderen aus einer Rückseite mit einer allgemeinen Beschreibung, detaillierten Informationen zu Kernelementen eines Geschäftsmodells, Anwenderunternehmen sowie kompatiblen Mustern. Eine beispielhafte Rückseite einer Musterkarte zeigt Bild 4.19.

Bild 4.19: Beispielhafte Musterkartenrückseite eines GEMINI Geschäftsmodellmusters

Bewertung im Kontext der Arbeit:

Im Rahmen des Verbundprojekts GEMINI sind 74 Geschäftsmodellmuster identifiziert worden. Diese beziehen sich speziell auf Geschäftsmodelle im Kontext der Industrie 4.0. Dabei weicht das Verständnis von Industrie 4.0 geringfügig von dem der vorliegenden Arbeit ab, indem das Handlungsfeld Marktleistung einbezogen wird. Aus soziotechnischer Perspektive lassen sich die adressierten Kernelemente, stellvertretend für den Problembereich, der Dimension Organisation zuordnen. Die 74 Geschäftsmodellmuster können daher nur teilweise auf die vorliegende Arbeit übertragen werden. Die Musteridentifikation erfolgt über verschiedene Wissensquellen, welche im Kontext der zu erstellenden Lösungsmuster zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 ebenfalls geprüft wer-

den. Zudem wird ein geeigneter Weg zur Bildung von Clustern und konsistenten Kombinationen von Lösungsmustern aufgezeigt. An diesem kann sich in der vorliegenden Arbeit weitestgehend orientiert werden.

4.4.3 Katalog mit Innovationsprinzipien der Digitalisierung nach ECHTERFELD

Der Ansatz nach ECHTERFELD adressiert die Digitalisierung der Produktprogramme von Unternehmen. Neben dem Produkt selbst werden Dienstleistungen und Geschäftsmodelle betrachtet. Zur Unterstützung der Digitalisierung der Produktprogramme werden sog. **Innovationsprinzipien** erarbeitet. Ziel dessen ist, im Sinne von Lösungsmustern, das Aufzeigen bewährter Möglichkeiten aus unüberschaubaren Handlungsoptionen. Sie dienen primär der Ideenfindung zukünftiger Digitalisierungsoptionen [Ech20, S. 117].

Zur **Erstellung der Innovationsprinzipien** werden die klassischen Phasen der Mustererstellung (vgl. Abschnitt 3.6.3) durchlaufen. Basis der Musteridentifikation bilden 250 Best-Practice Beispiele von Unternehmen verschiedener Branchen, welche ihre Produkte, Dienstleistungen oder Geschäftsmodelle erfolgreich digitalisiert haben. Sie erfolgt demnach induktiv. Anschließend werden die Beispiele über Leitfragen abstrahiert und wiederkehrende Lösungen als Kandidaten der Innovationsprinzipien definiert. Die Kandidaten werden hinsichtlich weiterer gleichartiger Beispiele untersucht und in ein vollwertiges Innovationsprinzip überführt. Ein beispielhaftes Innovationsprinzip stellt „Adaption an das Produktumfeld“ dar. Insgesamt wird ein Katalog von 52 Innovationsprinzipien bereitgestellt [Ech20, S. 117ff.].

Gemäß einer **Kategorisierung** in Stoßrichtungen von Digitalisierungszielen (Produktzentriert, Dienstleistungsfokussiert und Geschäftsmodellfokussiert) und entsprechender Unterkategorien (z.B. Substitution analoger Technologien, Digitalisierung klassischer Services) werden die Innovationsprinzipien strukturiert [Ech20, S. 120ff.].

Anschließend werden die Innovationsprinzipien in Form von **Karten** mit einer Vorder- und Rückseite dokumentiert. Bild 4.20 zeigt die Karte des Innovationsprinzip „Adaption an das Produktumfeld“. Die Vorderseite der Karte besteht aus dem Namen des Innovationsprinzips, der zugehörigen Kategorie sowie der Stoßrichtung. Zudem werden eine Beschreibung und ein aussagekräftiges Piktogramm für das Prinzip eingefügt. Die Rückseite enthält drei Beispiele des Innovationsprinzips aus der Best Practice Analyse. Sie werden in Prosa kurz beschrieben [Ech20, S. 123]. Die Karten werden dem Anwender sowohl in physischer Form als auch digital in einer App bereitgestellt [Ech20, S. 124ff.].

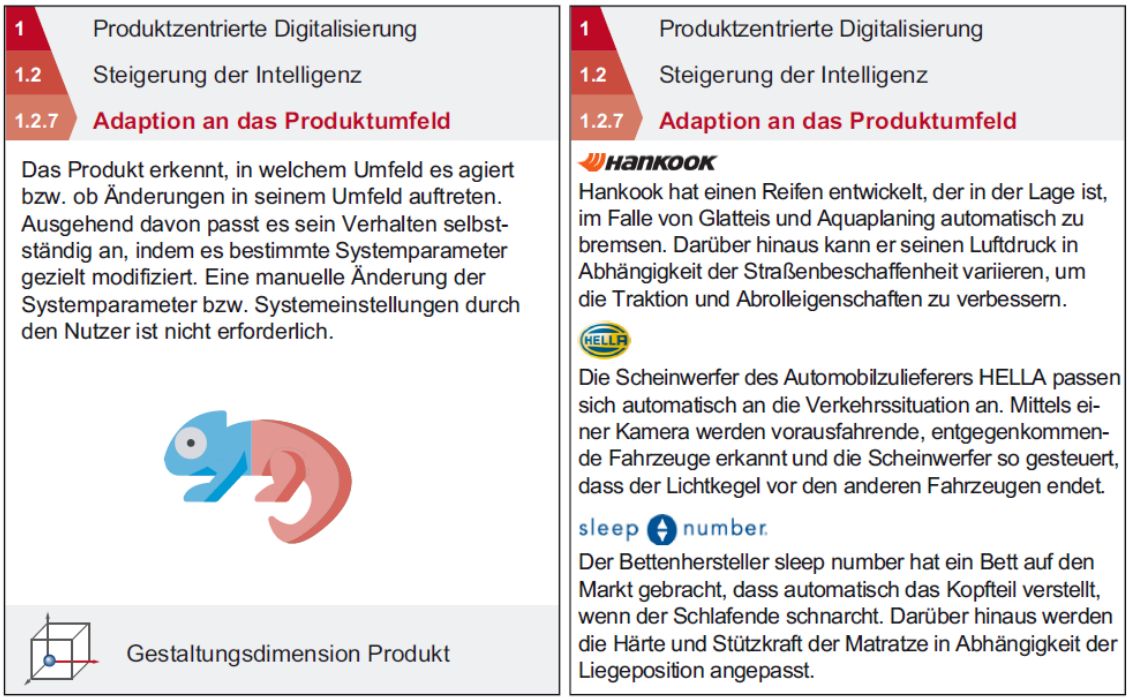


Bild 4.20: Beispielhafte Karte eines Innovationsprinzips nach ECHTERFELD

Bewertung im Kontext der Arbeit:

Im Rahmen des Ansatzes nach ECHTERFELD werden 52 Innovationsprinzipien zur Digitalisierung von Produktprogrammen erarbeitet. Sie folgen dem Lösungsmustergedanken, indem wiederkehrende Lösungen als Innovationsprinzip definiert werden. Mit Produkten, Dienstleistungen und Geschäftsmodellen adressieren sie die Marktleistungen im Kontext der Digitalisierung. Die Leistungserstellung, d.h. Industrie 4.0, wird mit dem Ansatz nicht fokussiert. Zudem werden soziotechnische Problemstellungen nicht berücksichtigt. Die Erstellung der Innovationsprinzipien erfolgt mit der Analyse von 250 Best Practice Beispielen induktiv. Die Vorgehensweise kann demnach auf die vorliegende Arbeit übertragen werden.

4.4.4 Musterbasierte, interdisziplinäre Zusammenarbeit nach BORCHERS

BORCHERS nutzt den Lösungsmusteransatz, um die interdisziplinäre Zusammenarbeit in der Softwareentwicklung, insb. zur Entwicklung von Mensch-Computer-Schnittstellen, zu unterstützen. Für Anwendungsexperten sowie Entwickler/innen soll eine einheitliche und gegenseitig verständliche Kommunikation mittels einer Mustersprache zur Verfügung gestellt werden [Bor08, S. 114]. Durch die Anwendung von Mustern als Kommunikationsmittel werden Wissen und Annahmen expliziter und für andere Disziplinen leichter anwendbar. Das gemeinsame Vokabular kann die Kommunikation innerhalb des Teams erheblich verbessern und als gemeinsames Gedächtnis für Designexpertise dienen [Bor08, S. 115].

BORCHERS liefert in seinem Ansatz eine **Sammlung an Lösungsmustern** für das Human-Computer-Interaction Design am Beispiel des Musik-Bereichs. Er ordnet diese in den Kontext eines computerbasierten Musikdemonstrators ein und fokussiert die Kommunikation mit dem Menschen.

Weiterhin beschreibt er die **Beziehungen** der Muster mittels Beziehungsgraphen und erzeugt so die **Mustersprache** [Bor08, S. 125]. Bild 4.21 zeigt ein Beispiel.

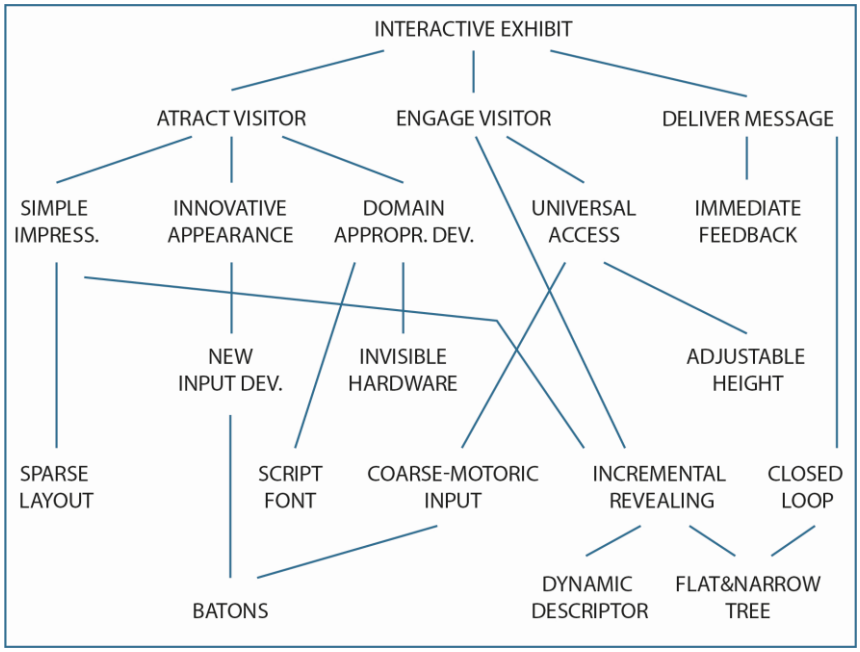


Bild 4.21: Beispielhafter Beziehungsgraph nach BORCHERS

Die **Identifikation** der Muster kann über verschiedene Quellen erfolgen. Hierbei kann zum einen auf externe Quellen oder bereits existierende Musteransätze aus anderen Domänen zurückgegriffen werden. Zum anderen dienen der Musteridentifikation Workshops mit Teilnehmern verschiedener Disziplinen [Bor08, S. 117].

Die **Musterdokumentation** erfolgt weitestgehend in Prosa und orientiert sich an folgenden Kategorien: Kontext, Problem, Lösung, Schaubild, Beispiele sowie Verweise [Bor08, S. 119].

Die **Musteranwendung** gliedert sich auf der einen Seite in den Entwicklungs-Lebenszyklus ein. Dabei ist bei der Anwendung keiner speziellen Methode Folge zu leisten. Vielmehr eignen sich Muster für verschiedene Tätigkeiten im Entwicklungsprozess, z.B. für die Wettbewerbsanalyse oder die partizipative Gestaltung [Bor08, S. 119f.]. Auf der anderen Seite können die Muster im Rahmen der Lehre, insb. im Grundstudium von Computer Science, angewendet werden. Die Studenten erhalten dabei eine Basis-Selektion von Mustern für ihre ersten Design-Projekte. Sie setzen Muster zum Kommunizieren von Optionen und Lösungen zwischen der eigenen und anderen Gruppen ein [Bor08, S. 129].

Bewertung im Kontext der Arbeit:

BORCHERS fokussiert in seinem Ansatz die Kommunikationsunterstützung zwischen interdisziplinären Teams als auch die Gestaltung von Mensch-Computer-Schnittstellen in der Softwareentwicklung. Er bringt dabei die menschliche Dimension auf eine Ebene mit der technischen Dimension und nutzt hierfür Lösungsmuster. Die Identifikation der Muster erfolgt dabei meist über Workshops. Die Dokumentation orientiert sich an den klassischen Musterbestandteilen und erfolgt in Prosa. Wechselwirkungen zwischen den Mustern werden über die Mustersprache abgebildet. Mit Hilfe einer Visualisierung der Beziehungen als Graphen, wird die Mustersprache in dem Ansatz nach BORCHERS nachvollziehbar und anschaulich dargestellt. Die Visualisierung von Wechselwirkungen in Form von Graphen ist ggf. ein geeigneter Impuls für die vorliegende Arbeit.

4.5 Bewertung und Handlungsbedarf

Ein Vergleich des Stands der Technik mit den abgeleiteten Anforderungen an die *Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand* aus der Problemanalyse (vgl. Abschnitt 3.8) führt zu folgender Bewertung (vgl. Bild 4.22):

A1: Gleichberechtigte Berücksichtigung der soziotechnischen Dimensionen

Industrie 4.0 ist als soziotechnische Aufgabe zu verstehen. Diese Perspektive wird in den Ansätzen der soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 (vgl. Abschnitt 4.2) aufgegriffen. Die drei Dimensionen Mensch, Technik und Organisation werden dabei oftmals im Kontext der Arbeitswelt interpretiert, z.B. in der Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten nach BANSMANN. Industrie 4.0 wird demnach nicht ganzheitlich betrachtet. Im Rahmen der Wiederverwendung von Wissen sowie Lösungsmustern, fokussieren die Ansätze meist lediglich eine Dimension. Der CPPS-Lösungskatalog nach NÖHRING ET AL. adressiert bspw. die Dimension Technik, während die Geschäftsmodellmuster nach GASSMANN ET AL. die Dimension Organisation berücksichtigen.

A2: Definition soziotechnischer Artefakte von Industrie 4.0

Trotz des etablierten MTO-Konzepts existiert keine einheitliche Definition der einzelnen Dimensionen speziell für Industrie 4.0. Die Ansätze der soziotechnischen Systemgestaltung geben hierfür Impulse, verdeutlichen jedoch gleichzeitig die fehlende einheitliche Beschreibung der Bestandteile der Dimensionen Mensch, Organisation und Technik für Industrie 4.0. So wird je nach Perspektive eine andere Interpretation der Dimensionen zu Grunde gelegt oder es werden die Wechselwirkungen zwischen diesen fokussiert, z.B. in dem Ansatz nach HIRSCH-KREINSEN.

A3: Nutzung wiederverwendbaren Wissens von Industrie 4.0

Die Nutzung wiederverwendbaren Wissens ist seit langer Zeit ein Erfolgsfaktor für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen. Dabei sind im Kontext von Industrie 4.0 eine

Vielzahl an wissensintensiven Ansätzen entstanden (vgl. Abschnitt 4.3). Über verschiedene Formate wie Kataloge oder Mind-Maps wird das Wissen hinsichtlich Industrie 4.0 Technologien (z.B. nach PFOHL ET AL.) oder Best Practices (z.B. BMWi Plattform Industrie 4.0) aufbereitet. Im Kontext der Arbeit existieren demnach Ansätze, welche die Anforderung A3 vollumfänglich erfüllen – darunter auch Lösungsmusteransätze. Diese verfolgen jedoch nicht das Ziel der soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0.

A4: Induktive Erschließung des Lösungswissens

Zur induktiven Erschließung von Lösungswissen von Industrie 4.0 eignen sich insbesondere Best Practice orientierte Ansätze. Die BMWi Plattform Industrie 4.0 sowie die it's OWL Transferprojekte ermöglichen einen einfachen Zugriff auf eine Vielzahl an erfolgreichen Industrie 4.0 Projekten. Diese stellen für die vorliegende Arbeit eine geeignete Wissensquelle für Lösungsmuster dar. Die induktive Vorgehensweise wird in den Ansätzen zur Wiederverwendung von Wissen sowie den Lösungsmusteransätzen nur teilweise genutzt. Oftmals wird vielmehr das implizite Wissen in Form von Workshops externalisiert. Eine umfangreiche induktive Analyse zur Musteridentifikation für Geschäftsmodelle bzw. Produktprogramme liefern bspw. GASSMANN ET AL. sowie ECHTERFELD.

A5: Berücksichtigung soziotechnischer Problemstellungen

Die zu erarbeitenden Lösungsmuster sollen der soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 dienen. Ziel ist es daher, wiederkehrende erfolgreiche Lösungen für typische soziotechnische Problemstellungen von Industrie 4.0 zu identifizieren. In den Ansätzen zur Wiederverwendung von Wissen werden oftmals Lösungen dargestellt, Problemstellungen (insb. soziotechnische) werden wie in der Mind-Map nach PFOHL ET AL. jedoch nicht zugeordnet. Die allgemeinen Ansätze zur Gestaltung von Industrie 4.0 stellen in der Regel keine Problemstellungen bereit. Vielmehr dienen sie der Ableitung von Problemfeldern in Unternehmen auf Basis von Reifegraden, z.B. mittels des acatech Maturity Index. In diesem wird zwar implizit soziotechnischer Handlungsbedarf adressiert, abstrahierte Problemstellungen zur Erstellung von Lösungsmustern sind jedoch nicht ableitbar. Das zu Grunde liegende Prinzip von Lösungsmustern sind wiederkehrende Problem-Lösungs-Kombinationen. Daher greifen die Lösungsmusteransätze alle Problemstellungen von Industrie 4.0 auf. Soziotechnische Problemstellungen werden jedoch nicht bedient.

A6: Generierung tragfähiger Industrie 4.0 Lösungsmuster

Lösungsmuster sind abstrakte Beschreibungen von wiederkehrenden Problem-Lösungskombinationen, welche im Kontext von Industrie 4.0 gemäß dem erweiterten Prozess (vgl. Abschnitt 3.6.3.4) zu erstellen sind. Ein Muster besteht nach ALEXANDER aus den vier Bestandteilen Name, Kontext, Problem sowie Lösungen. Die im Stand der Technik untersuchten Lösungsmuster bedienen weitestgehend Problem-Lösungs-Kombinationen. Sie werden jedoch nur teilweise in die hier geforderte Struktur nach ALEXANDER eingeordnet. So enthalten die Innovationsprinzipien nach ECHTERFELD bspw. keinen ausgewiesenen Kontext oder Problembereich.

A7: Interdisziplinäres Repräsentationsschema

Die Musterpräsentation adressiert die Beschreibung der Musterbestandteile Name, Kontext, Problem und Lösung in geeigneter Form. Hierfür werden u.a. Musterkarten genutzt, welche die Lösungsmuster strukturiert sowie visuell, durch Piktogramme unterstützt, präsentieren (z.B. GEMINI Musterkarten, Innovationsprinzip-Karten nach ECHTERFELD). Ansätze wie BORCHERS oder die Knowledge-Map nach PATALAS-MALISZESKA ET AL. nutzen Graphen zur Darstellung der Muster oder Lösungen. Diese Repräsentationsform erscheint unübersichtlich und enthält wenige Informationen für einen interdisziplinären Austausch.

A8: Identifikation konsistenter Lösungsmusterkombinationen

Die Lösungsmuster selbst stehen in Abhängigkeit zueinander und bilden oftmals Synergien. Daher sind geeignete Methoden zur Bildung konsistenter Musterkombinationen vorzusehen. ECHTERFELD und das GEMINI Verbundprojekt liefern mit Konsistenzmatrizen geeignete Wege zur Erarbeitung der Lösungsmusterkombinationen. In einzelnen Ansätzen wie die Lösungsmuster nach BORCHERS werden die Beziehungen der Muster über Mustersprachen dargestellt. Eine Spezifizierung der Beziehungen erfolgt jedoch nicht.

A9: Eignung für den Mittelstand

Verfügbares Lösungswissen ist nur selten auf die Bedürfnisse des Mittelstands abgestimmt. Dies erschwert die Übertragung dessen auf die Herausforderungen dieser. Lediglich im Rahmen der it's OWL Transferprojekte sowie durch Filteroptionen auf der BMWi Plattform Industrie 4.0 wird eine Eingrenzung der Informationen für den Mittelstand ermöglicht. Die relevanten Problemstellungen und zugehörigen Lösungen im Kontext der Musteransätze sind zwar auf den Mittelstand anwendbar, dennoch nicht speziell auf diesen ausgerichtet. Demnach gilt es für die Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand, das relevante Lösungswissen für den Mittelstand zu untersuchen.

Keiner der untersuchten Ansätze erfüllt alle Anforderungen in vollem Umfang. Eine wesentliche Schwachstelle ist die gleichwertige Berücksichtigung der soziotechnischen Dimensionen. Ansätze zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 unter Wiederverwendung von Wissen, insb. Lösungsmuster als erfolgsversprechender Ansatz für die vorliegende Arbeit, werden demnach nicht bereitgestellt. Lösungswissen speziell auf die soziotechnischen Problemstellungen des Mittelstands ausgerichtet, ist derzeit nicht ausreichend verfügbar. Es besteht demnach dringender Handlungsbedarf für *Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand*.

Bewertung der untersuchten Ansätze hinsichtlich der gestellten Anforderungen.

Fragestellung:
Inwieweit erfüllen die untersuchten Ansätze (Zeile) die an die soziotechnischen Lösungsmuster der Digitalen Transformation der Leistungserbringung gestellten Anforderungen (Spalte)?

Bewertungsskala:

● voll erfüllt
◐ teilweise erfüllt
○ nicht erfüllt

		Soziot. Betrachtung		Wissens-wiederverw.		Lösungsmuster-erstellung				Über-geor.
		Gleichberechtigte Berücksichtigung der soziot. Dimensionen	Definition soziotechnischer Artefakte von Industrie 4.0	Nutzung wiederverwendbaren Wissens von Industrie 4.0	Induktive Erschließung des Lösungswissens	Berücksichtigung soziotechnischer Problemstellungen	Generierung tragfähiger Industrie 4.0-Lösungsmuster	Interdisziplinäres Repräsentationsschema	Identifikation konsistenter Lösungsmusterkombinationen	Eignung für den Mittelstand
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Allgemeine Ansätze zur Gestaltung von Industrie 4.0	acatech Industrie 4.0 Maturity Index	◐	○	◐	○	○	○	○	○	◐
	VDMA Leitfaden Industrie 4.0	○	○	◐	○	○	○	○	○	●
	Leitfaden zur Implementierung von Industrie 4.0 nach Schuh et al.	◐	◐	◐	◐	○	○	○	○	◐
	Reifegradmodell-basierten Planung von CPS nach Westermann	○	○	◐	○	○	○	○	○	●
Ansätze zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0	REFA Standard Industrie 4.0	●	●	◐	○	◐	○	○	○	●
	Sozio-technische Gestaltungs- und Einführungssystematik nach Nöhring et al.	●	○	◐	◐	◐	◐	○	○	◐
	Digitale soziotechnische Systemgestaltung nach Winby und Mohrman	●	○	○	○	◐	○	○	○	◐
	Heuristiken der soziotechnischen Systemgestaltung nach Herrmann und Nierhoff	●	○	◐	○	◐	○	○	○	◐
	Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten nach Bansmann	●	◐	●	●	◐	○	○	○	●
	Soziotechnische Gestaltungsoptionen digitaler Arbeit nach Hirsch-Kreinsen	●	◐	○	○	◐	○	○	○	◐
Ansätze zur Wiederverwendung von Lösungswissen für Industrie 4.0	CPPS-Lösungskatalog nach Nöhring et al.	○	○	●	◐	◐	○	◐	○	◐
	Mind-Map diskutierter Technologien und Konzepte nach Pfohl et al.	◐	○	●	◐	◐	○	○	○	◐
	Knowledge-Map für nachhaltige Produktion nach Patalas-Maliszewska et al.	○	○	●	○	○	○	○	○	○
	Landkarte der BMWi Plattform Industrie 4.0	◐	○	●	●	●	○	○	○	●
	PAC Innovation Register	○	○	●	●	○	○	○	○	◐
	It's OWL Transferprojekte	◐	○	●	◐	●	○	○	○	●
Lösungsmuster für Industrie 4.0	55 Geschäftsmodellmuster nach Gassmann et al.	○	○	◐	●	○	◐	●	○	◐
	74 Geschäftsmodellmuster für Industrie 4.0 des GEMINI-Verbundprojekts	○	○	●	●	○	◐	●	●	●
	Katalog mit Innovationsprinzipien der Digitalisierung nach Echterfeld	○	○	◐	●	○	◐	●	●	◐
	Musterbasierte, interdisziplinäre Zusammenarbeit nach Borchers	◐	○	◐	○	◐	◐	○	◐	◐

Bild 4.22: Bewertung des Stands der Technik anhand der Anforderungen

5 Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die sind *Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand.* Mit diesen wird der Anspruch verfolgt, sowohl die gestellten Anforderungen (vgl. Abschnitt 3.8) als auch den aus dem Stand der Technik (vgl. Abschnitt 4.5) identifizierten Handlungsbedarf vollumfänglich zu adressieren. Das **Kapitel 5** bildet den Kern der vorliegenden Arbeit. In *Abschnitt 5.1* wird der Lösungsansatz zunächst im Überblick vorgestellt und die wesentlichen Bestandteile werden erläutert. Der Strukturierungsrahmen zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 als Rahmenwerk zur Definition der drei Dimensionen Mensch, Organisation und Technik für die Industrie 4.0 wird in *Abschnitt 5.2* erarbeitet. Die Erstellung der Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand sowie die Kombinatorik dieser erfolgt in *Abschnitt 5.3.* Hieraus resultieren, neben den Lösungsmustern an sich, erste Werkzeuge, welche in der in *Kapitel 6* vorgestellten Anwendung und Evaluation der Lösungsmuster eingesetzt werden.

5.1 Einordnung und Überblick des Lösungsansatzes

Mit dem Lösungsansatz wird das Ziel verfolgt, die hergeleiteten Anforderungen und den Handlungsbedarf (vgl. Abschnitt 3.8 sowie 4.5) vollumfänglich zu adressieren. Hierfür werden *Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand* sowie mit diesen in Verbindung stehende Artefakte wie Rahmenwerke und Werkzeuge angestrebt. Zur Gewährleistung der nutzenstiftenden Anwendung der Lösungsmuster fließen die Resultate aus Kapitel 5 in das Vorgehensmodell zur Musteranwendung in Kapitel 6 ein. Hierbei wird die Auswahl und Ausprägung der Lösungsmuster hin zu einer soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 unterstützt. Das Vorgehensmodell steuert den Einsatz der zur Verfügung stehenden Lösungsmuster und dient als Leitfaden. Der Durchlauf des Vorgehensmodells in der Praxis wird in der vorliegenden Arbeit beispielhaft anhand eines Pilotunternehmens von INLUMIA beschrieben. Anschließend erfolgt die Evaluation des Lösungsansatzes anhand der definierten Anforderungen (vgl. Abschnitt 6.2). Bild 5.1 ordnet den Lösungsansatz in den Gesamtkontext der Arbeit ein.

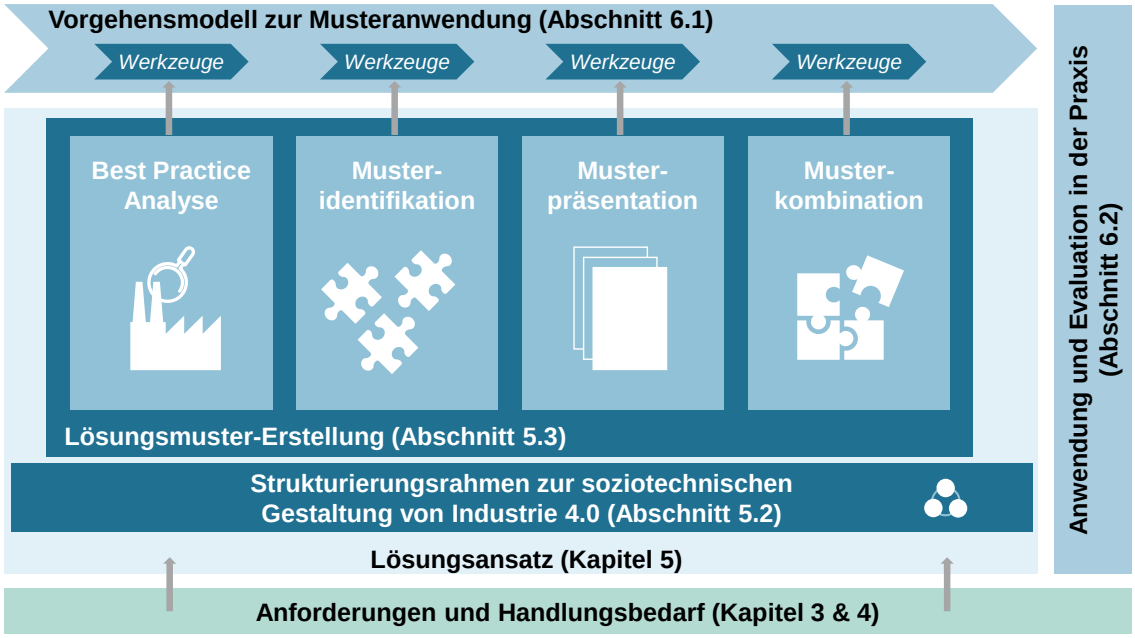


Bild 5.1: Bestandteile des Lösungsansatzes im Überblick

Der Lösungsansatz selbst besteht aus zwei wesentlichen Bestandteilen: Dem Strukturierungsrahmen zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 sowie der Lösungsmuster-Erstellung. Diese werden im Folgenden vorgestellt.

Das Grundgerüst für den gesamten Ansatz stellt der **Strukturierungsrahmen zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0** dar. Er gibt die zu berücksichtigen Bestandteile der drei klassischen soziotechnischen Dimensionen Mensch, Organisation und Technik vor. Diese wurden mittels einer Gegenüberstellung einschlägiger Literatur zu der soziotechnischen Systemtheorie mit den Charakteristika von Industrie 4.0 identifiziert. Im Zuge der Analyse wurde bspw. eine Begriffsänderung der Dimension Technik auf Technologien vorgenommen. Der soziotechnische Strukturierungsrahmen ist für die weiteren Bestandteile des Ansatzes gültig und dient damit als Leitlinie zur Erarbeitung der Lösungsmuster, insb. der soziotechnischen Problemstellungen, von Industrie 4.0.

Im Rahmen der **Lösungsmuster-Erstellung** werden die Lösungsmuster aus einer Analyse von Best-Practices von Industrie 4.0 identifiziert, dokumentiert sowie sinnvoll kombiniert. Hierfür werden die Phasen des erweiterten Prozesses der Mustergenerierung (vgl. Abschnitt 3.6.3.4) adressiert. Die Lösungsmuster-Erstellung besteht aus den folgenden vier Komponenten:

1) Die *Analyse von Best-Practices*, d.h. erfolgreich abgeschlossenen Industrie 4.0 Projekten. Eine Abstraktion und Strukturierung der darin enthaltenen Problemstellungen und Lösungen bringen sog. Problem- und Lösungsklassen hervor. Die soziotechnischen Problemstellungen bilden die zu lösenden Herausforderungen mit Lösungsmustern.

2) Die *induktive Musteridentifikation* aus der vorangegangenen Analyse der Best-Practices. Die anschließende Untersuchung der Industrie 4.0 Projekte hinsichtlich wiederkehrender Problem-Lösungs-Kombinationen führt zu einem dokumentierten Katalog aus 31 Lösungsmustern.

3) Die *Musterpräsentation* in Form von erarbeiteten Musterkarten für die Lösungsmuster. Diese stellen in verschiedenen Strukturelementen die relevanten und generalisierten Informationen der identifizierten Lösungsmuster transparent dar. Die Musterkarten orientieren sich mit den Bestandteilen Name, Kontext, Problem und Lösung an dem Schema nach ALEXANDER [Ale79].

4) Die *Musterkombination* für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0. Hierfür werden verschiedenen Kombinationsmöglichkeiten der Lösungsmuster für die insgesamt acht ermittelten soziotechnischen Problemklassen erarbeitet.

5.2 Strukturierungsrahmen zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0[13]

Aus der Problemanalyse geht hervor, dass sich die Veränderungen durch Industrie 4.0 im industriellen Umfeld nicht nur rein auf die Weiterentwicklung der eingesetzten Technologien beziehen. Sie wirken sich gleichermaßen auf den Mitarbeiter/die Mitarbeiterin sowie ganze Organisationsstrukturen aus. Daher ist Industrie 4.0 als soziotechnische Aufgabe zu betrachten. Hierbei hat sich ein Konzept mit drei zu berücksichtigenden Dimensionen durchgesetzt – das Mensch-Technik-Organisation-Konzept (MTO-Konzept), dessen Ursprung auf ULICH zurückgeht [Uli13, S. 5]. Die Dimension Mensch wird dabei mit dem Mitarbeiter/der Mitarbeiterin als das soziale System beschrieben. Die Dimension Technik adressiert die einzusetzenden technischen Systeme im Leistungserstellungsprozess. Im Rahmen der Dimension Organisation wird das Unternehmen auf ganzheitlicher Ebene betrachtet.

Die Gegenüberstellung verschiedener Ansätze der soziotechnischen Systemgestaltung (u.a. in *Abschnitt 3.3 und 4.2)* hat gezeigt, dass zwar eine Einteilung in die drei Dimensionen Mensch, Technik und Organisation eindeutig möglich ist. Eine tiefergehende Gliederung in zugehörige Bestandteile speziell für Industrie 4.0 ist auf Grund der Vielfältigkeit und dem oftmals starken Bezug zu Arbeit 4.0 nicht eindeutig ableitbar. Das MTO-Konzept bildet im Kontext dieser Arbeit die Grundlage zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0. Für eine nachvollziehbare Ableitung soziotechnischer Problemstellungen für Industrie 4.0, für welche Lösungsmuster zu erarbeiten sind, besteht die Notwen-

[13] Die für dieses Kapitel verwendeten Daten sind in Teilen der Arbeit von UNGEWISS [UHB18] entnommen worden.

digkeit, die Bestandteile der Dimensionen Mensch, Organisation und Technik klar zu definieren. Daher ist ein Strukturierungsrahmen zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 erarbeitet worden, welcher im Folgenden vorgestellt wird.

Das **Ziel** des Strukturierungsrahmens ist die Bereitstellung eines allgemeingültigen Referenzwerks, das die relevanten Merkmale der drei soziotechnischen Dimensionen Mensch, Organisation und Technik für Industrie 4.0 transparent abbildet. Dabei liegt der Fokus auf den einzelnen Dimensionen selbst, weniger auf den Wechselwirkungen.

Das **Vorgehen** zur Erarbeitung des Strukturierungsrahmens gliedert sich in drei Schritte. Zunächst wird die einschlägige Literatur zum Themenfeld der soziotechnischen Systemgestaltung analysiert. Ansätze, welche sowohl explizit als auch implizit das MTO-Konzept aufgreifen, werden hinsichtlich der genannten Aspekte für Mensch, Technik und Organisation untersucht. In einem zweiten Schritt werden die aufgelisteten soziotechnischen Komponenten den Charakteristika von Industrie 4.0 gegenübergestellt. Abschließend werden in Schritt 3 die relevanten Komponenten des Strukturierungsrahmens bestimmt und mit Hilfe von Fragestellungen für Industrie 4.0 spezifiziert.

Schritt 1: Analyse der soziotechnischen Komponenten einschlägiger Literatur

Insgesamt wurden folgende 11 Ansätze in die Analyse (vgl. Anhang A1) einbezogen: APPELBAUM (1997), BOCHUM (2015), DEMBROWSKI ET AL. (2014 und 2018), HIRSCH-KREINSEN (2014, 2015 und 2018), LÖHRER ET AL. (2018), SIVRI UND KRALLMANN (2016), STEINHÜSER ET AL. (2017), STOPPER ET AL. (2017) sowie ULICH (2013). Zur Erarbeitung des Strukturierungsrahmens wurden zunächst die relevanten Aspekte für die einzelnen Dimensionen extrahiert (vgl. Anhang A1). Ein Auszug zeigt Bild 5.2.

Ansätze	Relevante Aspekte Organisation
Löhrer et al., 2018	*Menschenzentrierung und Verantwortungsfreiraum *Selbstverantwortung *Personaleinsatz *menschenzentrierte und verantwortungsfreiräumliche Prozesse *informelles Le *Schulungen *Ausbildungsfo
Bochum, 2015	*Organisations *Organisations *Prozessmana *Produktionspr
Dembrowski et al., 2018	*Sensibilisieru *Unternehmen *Change-Mana *Prozessgesta *Prozessbesc *Prozessorien *Qualifizierung *Reifegrad *Projektorganis
Hirsch-Kreinsen, 2018	*Handlungsspi *Selbstorganis *Kommunikatio *Neuorganisati *Lernen und Q *Lernförderung *Kommunikatio *Prozesse
Steinhüser et	*Strukturen un *Mitarbeiterzen

Ansätze	Relevante Aspekte Mensch
Löhrer et al., 2018	*Kompetenzentwicklung *Arbeitsinhalte *Arbeitsaufgaben *Arbeitsstrukturen *Individualisierung
Bochum, 2015	*Qualifizierungs- un *Laufbahnmodelle *Kompetenzen *Lernen
Dembrowski et al., 2018	*Qualifikation *Entscheidungskom *Akzeptanz *Personen-/Datens
Hirsch-Kreinsen, 2018	*Lern- und Qualifika *Arbeitsfluss *Tätigkeitsgestaltun *Ergonomie *Arbeitsbedingunge *Zusammenarbeit *Mensch-Maschine- *Sicherheit
Steinhüser et al.,2017	*individuelle Fähigk *Problemlösungs- u *Arbeitspraktiken *Arbeitskontext *Autonomie *Personalisierung

Ansätze	Relevante Aspekte Technologie
Löhrer et al., 2018	*mechatronische Systeme *neue Produktionstechniken *Automatisierungskomponenten *CPS *Datennutzung *Darstellung von Informationen *IT Komponenten *IT Systeme
Bochum, 2015	*Technologien
Dembrowski et al., 2018	*Eignung einer Technologie *Digitalisierungslösungen *Produktionsequipment und Maschinen *IT- Software und Infrastruktur *IT-Sicherheit
Hirsch-Kreinsen, 2018	*Organisationstechnologie *Automatisierung *Automatisierungstechnik *Bereitstellung von Daten und Informationen *IT-Systeme
Steinhüser et al.,2017	*Automatisierung von Produktionsprozessen *Connected Factory *Serlbstlernende Produktion *Technologien *Internet der Dinge *Vernetzung von Maschinen *trializes Analytics

Bild 5.2: Auszug der relevanten Aspekte der soziotechnischen Dimensionen

Mittels einer Analyse der Ansätze auf Basis von sich wiederholenden Schlagwörtern konnten die einzelnen Aspekte der Dimensionen (z.B. Arbeitsaufgaben und Arbeitspraktiken in der Dimension Mensch) zu Kategorien (z.B. Qualifizierung) zusammengefasst werden. Kategorien in der **Dimension Mensch** stellen dabei bspw. *Qualifizierung, Arbeitsstrukturen, Rollen* oder *Zusammenarbeit* dar. Die **Dimension Technik** besteht aus Kategorien wie bspw. *IT-Systeme, Mensch-Maschine-Interaktion* oder *Automatisierung*. Im Rahmen der **Dimension Organisation** stellen *Strategie, Wissen* oder *Kultur* mögliche Kategorien dar.

Schritt 2: Gegenüberstellung mit Industrie 4.0 Charakteristika

Die Integration der Kategorien in den soziotechnischen Strukturierungsrahmen erfolgt über die Untersuchung dieser mit Charakteristiken von Industrie 4.0. Ziel ist der Aufbau des Strukturierungsrahmens speziell für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0. Folgende Industrie 4.0 Charakteristika wurden dabei einbezogen (vgl. Abschnitt 3.2.2):

Horizontale Integration:

- Vernetzung zwischen unterschiedlichen IT-Systemen und Ressourcen (z.B. Maschinendaten) zu durchgängigen Systemen
- Dynamische Wertschöpfungsketten bzw. -netze

Vertikale Integration:

- Verknüpfung von IT-Systemen verschiedener Hierarchieebenen
- Dezentral koordinierter Einsatz von CPS
- Flexibel und autonom konfigurierende Produktion
- Neue Formen der Zusammenarbeit zwischen Menschen, zwischen Maschinen und zwischen Menschen und Maschinen

Systems Engineering:

- Interdisziplinäre Formen des Engineerings
- Individualisierung
- Durchgängige und vernetzte Prozesse

Die relevanten Aspekte der einzelnen Dimensionen aus Schritt 1 werden bzgl. der Industrie 4.0 Charakteristika analysiert.
Im Bereich der **Horizontalen Integration** wird die Vernetzung von IT-Systemen und Ressourcen durch die Kategorien *IT-Systeme* und *Datenmanagement* der Dimension Technik adressiert. Die Nutzung von IT-Systemen und ihre Infrastruktur sind bspw. relevante Aspekte der Kategorie IT-Systeme. Die Nutzung von Daten sowie die Datenübertragung über IT-Systeme wird von der Kategorie Datenmanagement adressiert. Dynami-

sche Wertschöpfungsketten werden über den relevanten Aspekt der Wertschöpfungsprozesse in der organisatorischen Kategorie *Prozesse* berücksichtigt. Neue Formen der Kollaboration über Unternehmensgrenzen hinweg sind weiterhin in der Kategorie *Zusammenarbeit* der Dimension Mensch von Relevanz.

Die Verknüpfung von IT-Systemen im Bereich der **Vertikalen Integration** kann ähnlich wie bei der Horizontalen Integration über die technischen Kategorien *IT-Systeme* und *Datenmanagement* aufgegriffen werden. Der dezentral koordinierte Einsatz von CPS ist ebenfalls Bestandteil der Kategorie *Datenmanagement*. Der Einsatz von CPS sowie CPPS wird in verschiedenen Ansätzen als eigener Aspekt der Kategorie Datenmanagement aufgeführt. Relevante Aspekte der Kategorie *Automatisierung* sind bspw. autonome und selbstlernende Produktionsmaschinen und adressieren somit die flexibel und autonom konfigurierende Produktion. Die Automatisierung zielt ebenfalls auf die Zusammenarbeit zwischen Maschinen ab. Neue Formen der Zusammenarbeit zwischen Menschen sowie Menschen und Maschinen können primär in Kategorien der Dimensionen Organisation und Mensch verortet werden. So sind relevante Aspekte der Kategorien *Kultur* und *Wissen* die Gestaltung der Kooperation und Kommunikation. In der Kategorie *Zusammenarbeit* der Dimension Mensch wird u.a. die Mensch-Maschine-Interaktion als relevanter Aspekt genannt. In der Kategorie *Qualifizierung* wird die Kompetenzentwicklung für die neuen Formen der Zusammenarbeit adressiert.

Eine Charakteristik des Bereichs **Systems Engineering** ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit. Dabei ist ein relevanter Aspekt der Kategorie *Zusammenarbeit* in der Dimension Mensch die Arbeit in organisationalen Gruppen. Die geeignete Gestaltung der Arbeitsumgebung, um interdisziplinär zusammenarbeiten zu können, wird in der Kategorie *Arbeitsstrukturen* aufgegriffen. Die zunehmende Individualisierung spiegelt sich in relevanten Aspekten der *Arbeitsaufgaben* wider. So werden im Zuge der Komplexitätssteigerung eine erhöhte Anforderungsvielfalt sowie gänzlich neue Tätigkeiten als relevante Aspekte genannt. Durchgängige und vernetzte Prozesse werden durch die organisatorischen und technischen Kategorien *Prozesse*, *IT-Systeme* und *Datenmanagement* adressiert.

Der Kategorie *Technologien* der Dimension Technik kommt in der Gegenüberstellung mit Industrie 4.0 eine gesonderte Rolle zu. Relevante Aspekte dieser Kategorie sind der Einsatz neuer Technologien sowie Internet der Dinge. Sie greift demnach übergeordnet den technischen Grundgedanken von Industrie 4.0 auf. Resultierend wird die Dimension Technik in die Dimension Technologien umbenannt.

Schritt 3: Aufbau des Strukturierungsrahmens und Spezifizierung

Aus der Gegenüberstellung der Industrie 4.0 Charakteristika mit den relevanten Aspekten der Ansätze der soziotechnischen Systemgestaltung wird abschließend der Strukturierungsrahmen abgeleitet. Dieser ist in Bild 5.3 dargestellt. Der Strukturierungsrahmen bildet die relevanten Kategorien der einzelnen Dimensionen für Industrie 4.0 (folgend als

Komponenten des Strukturierungsrahmens bezeichnet) ab. Zur Unterstützung der soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 werden die einzelnen Komponenten des Strukturierungsrahmens mit Fragestellungen spezifiziert. Der Strukturierungsrahmen und die zugeordneten Fragestellungen werden im Folgenden beschrieben.

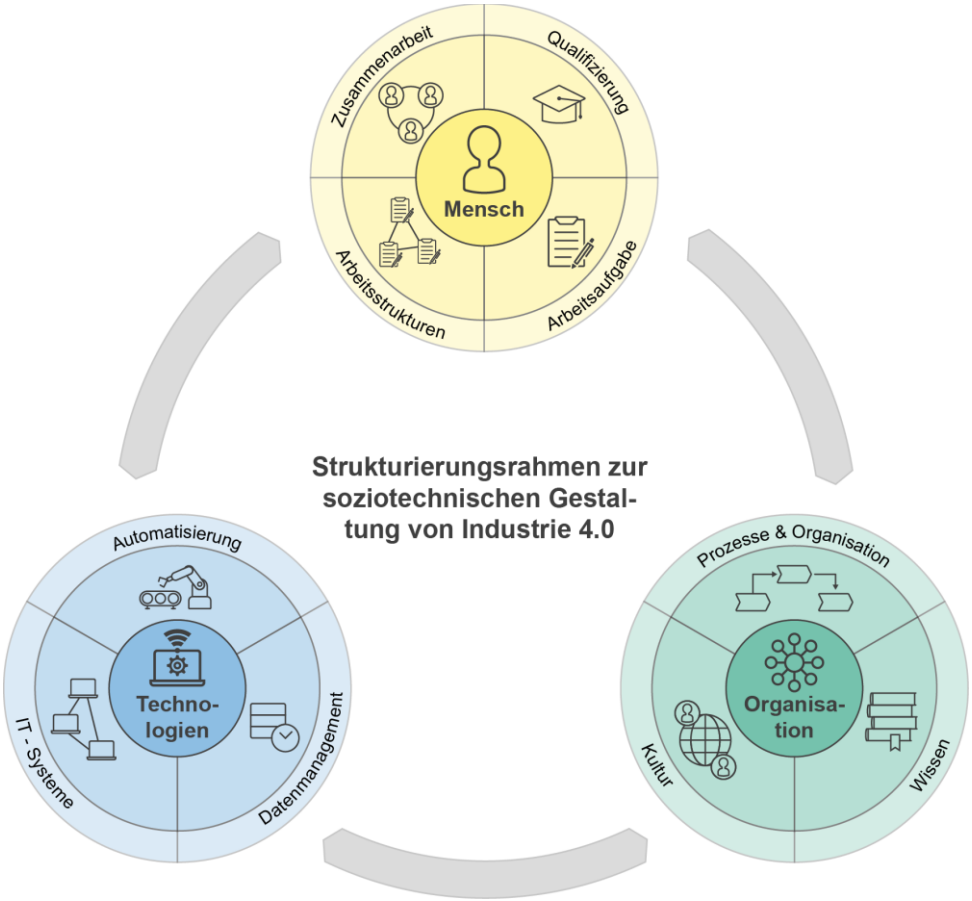


Bild 5.3: Aufbau des Strukturierungsrahmens zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0

Die **Dimension Technologien** zeichnet sich durch die Komponenten *Automatisierung*, *IT-Systeme* und *Datenmanagement* aus.
Bezogen auf den Inhalt sind im Rahmen der *Automatisierung* bspw. folgende Fragestellungen von Bedeutung:

- Wie hoch ist der Automatisierungsgrad in der Produktion – sowohl hinsichtlich der Maschinen als auch der Prozesse?
- Inwiefern werden Informations- und Kommunikationstechnologien zur Automatisierung der Prozesse eingesetzt?

Die Komponente *IT-Systeme* bezieht sich auf die IT-Infrastruktur des Unternehmens. Dabei werden z.B. jene Fragestellungen adressiert:

- Werden die Prozesse ausreichend mit Software unterstützt?
- Ist die IT-Infrastruktur durch Schnittstellen durchgängig gestaltet?

- Werden Technologien zur IT-Sicherheit integriert?

Fragestellungen wie

- Inwiefern werden Daten zur Vernetzung von Prozessen/Maschinen genutzt?
- Wird mittels des Einsatzes von Cyber-physischen-Systemen die Datenaufnahme und -verarbeitung fokussiert?

werden der Komponente *Datenmanagement* zugeordnet.

Die **Dimension Mensch** wird durch die Komponenten *Qualifizierung*, *Arbeitsaufgaben*, *Zusammenarbeit* sowie *Arbeitsstrukturen* charakterisiert.
Die Komponente *Qualifizierung* zielt dabei auf die Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter/Mitarbeiterinnen ab. Sie fokussiert Fragestellungen wie

- Werden Kompetenzen und Fähigkeiten speziell für Industrie 4.0 aufgebaut?
- Werden Lern- und Qualifikationsprozesse interdisziplinär gestaltet?

Die Gestaltung der *Arbeitsaufgaben* kann u.a. mittels folgender Fragestellungen beschrieben werden:

- Mit wie viel Eigenverantwortung und Flexibilität werden Arbeitsaufgaben bearbeitet?
- Werden die Arbeitsinhalte und Anforderungen an die Mitarbeiter/Mitarbeiterinnen an eine Individualisierung angepasst?

Unter der Komponente *Zusammenarbeit* wird die Interaktion zwischen den Mitarbeitern/Mitarbeiterinnen selbst sowie mit Maschinen verstanden. Hierbei werden bspw. die Fragen

- Wie hoch ist der Grad der Interdisziplinarität?
- Ist die Maschinenbedienung intuitiv gestaltet und wird sie mit neuen Technologien unterstützt?

gestellt. Die Komponente *Arbeitsstrukturen* fokussiert die Bedingungen am Arbeitsplatz. Beispielhafte Fragestellungen sind:

- Sind die Arbeitsplätze hinsichtlich der neuen Formen der Kollaboration mit Menschen und Maschinen optimiert?
- Werden neue Technologien und Assistenzsysteme unterstützend eingesetzt?

Die **Dimension Organisation** kann durch die Komponenten *Kultur*, *Prozesse und Organisation* sowie *Wissen* spezifiziert werden.
Die Komponente *Kultur* bezieht sich dabei auf die Unternehmenskultur der Organisation und adressiert Fragestellungen wie

- Inwiefern wird eine offene Kooperation und Kommunikation auch über Unternehmensgrenzen hinweg gefördert?
- Wird für die soziotechnischen Veränderungen durch Industrie 4.0 sensibilisiert?

Im Rahmen der Komponente *Prozesse & Organisation* wird insb. die Ablauforganisation des Unternehmens fokussiert. D.h. folgende beispielhafte Fragestellungen sind für diese Komponente relevant:

- Inwiefern sind die Prozesse transparent und (datenbasiert) rückverfolgbar?
- Werden neue Wertschöpfungsprozesse wie Smart Service Prozesse integriert?
- Sind die Prozesse durchgängig vernetzt oder von Medienbrüchen geprägt?

Der Umgang mit Wissen im Unternehmen wird durch die Komponente *Wissen* in der Dimension Organisation abgebildet. Hierbei geht es um Fragestellungen wie

- Inwiefern ist fachübergreifendes Wissen im Unternehmen vorhanden?
- Wie wird der interdisziplinäre Wissenstransfer gestaltet?
- Wird Wissen in der Organisation über Datennutzung generiert?

Zusammenfassend werden die für diese Arbeit relevanten Komponenten der Dimensionen Mensch, Organisation und Technologien durch den Strukturierungsrahmen zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 definiert und transparent dargestellt. Er bildet den Rahmen für den gesamten Ansatz und dient daher im Folgenden als Referenzmodell für die Mustergenerierung. Insbesondere zur eindeutigen Zuordnung von Problemen und die daraus angestrebte Ableitung von Lösungsmustern ist die soziotechnische Strukturierung von Relevanz.

5.3 Lösungsmuster-Erstellung

Ziel der Arbeit ist die Identifikation und Bereitstellung von Lösungsmustern für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0. Die Erstellung der Lösungsmuster erfolgt dabei in vier aufeinander folgenden Phasen. Eine Übersicht über die einzelnen Phasen mit ihren Aufgaben/Methoden und Resultaten ist in Bild 5.4 dargestellt.

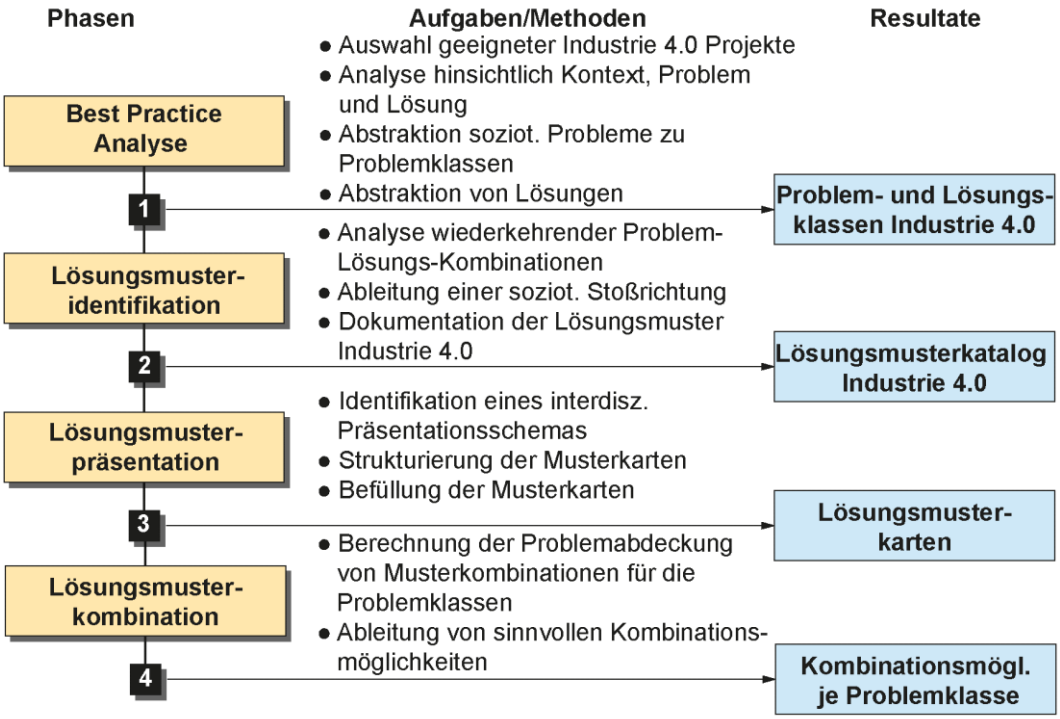


Bild 5.4: Vorgehensmodell zur Lösungsmuster-Erstellung

In der ersten Phase, der **Best Practice Analyse**, wird zunächst das *wiederverwendbare Wissen Industrie 4.0 (vgl. Abschnitt 3.6)* zur induktiven (vom Speziellen zum Allgemeinen) Ableitung von Lösungsmustern bereitgestellt. Hierfür werden auf Basis von zielgerichteten Anforderungen geeignete Industrie 4.0 Projekte zur weiteren Analyse festgelegt. Im Kontext dieser Arbeit werden aus zwei Datenquellen (Plattform Industrie 4.0 und it's OWL Transferprojekte) 87 erfolgreich abgeschlossene Industrie 4.0 Projekte mittelständisch geprägter Unternehmen ausgewählt. Zur Vorbereitung der Musteridentifikation werden diese Projekte bereits hinsichtlich der Musterbestandteile Name, Kontext, Problem sowie Lösung untersucht. Dabei werden Hilfsmittel wie eine Projekt-Merkmalsmorphologie erarbeitet und für die tiefergehende Analyse eingesetzt. Anschließend werden die Problemstellungen unter der soziotechnischen Perspektive abstrahiert, sodass *soziotechnische Problemstellungen sowie Problemklassen* resultieren. Demgegenüber steht die Abstraktion entsprechender Lösungen zu *Lösungsklassen*. Ziel ist eine umfangreiche Extraktion des relevanten Lösungswissens, sodass wiederkehrende Problem-Lösungskombinationen identifizierbar sind.

Die **Identifikation der Lösungsmuster zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand** erfolgt in der zweiten Phase. Zur Ableitung von Lösungsmustern werden die abstrahierten Problemstellungen und Lösungen hinsichtlich wiederkehrender Problem-Lösungs-Kombinationen untersucht. Ein Lösungsmuster zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 adressiert dabei in seinem Problembereich mindestens zwei der Dimensionen Mensch, Organisation und Technologien. Auch wenn das Lösungsmuster die soziotechnische Gestaltung ermöglicht, kann es selbst über die Anzahl der adressierten Problemstellungen je Dimension einer soziotechnischen Stoßrichtung zugeordnet

werden. Insgesamt resultieren *31 Lösungsmuster* – 11 Muster mit der Stoßrichtung Technologien, 12 Muster mit der Stoßrichtung Organisation sowie 8 Muster mit der Stoßrichtung Mensch.

In der dritten Phase erfolgt die **Präsentation der identifizierten Lösungsmuster** in einem geeigneten Schema. Hierfür wird eine Musterkarte als Repräsentationsform gewählt. Die Musterkarte wird mit geeigneten Kategorien für die Musterbestandteile Name, Kontext, Problem und Lösung aufgebaut. Das Schema wird auf Basis der vorhandenen generalisierten Informationen befüllt, sodass *Lösungsmusterkarten* resultieren.

Die **Kombination der Lösungsmuster** wird in der vierten Phase fokussiert. Ziel ist es, die Lösungsmuster für die soziotechnischen Problemklassen konsistent zu bündeln. Mit den *Kombinationsmöglichkeiten* wird eine hohe Abdeckung der soziotechnischen Problemstellungen je Problemklasse forciert, sodass bei der soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 Synergien genutzt und der Nutzen der Lösungsmuster bestmöglich entfaltet werden kann. Nachfolgend werden die einzelnen Phasen zur Lösungsmuster-Erstellung detailliert erläutert.

5.3.1 Best Practices Analyse

Grundlage zur Erarbeitung der Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand ist die Wiederverwendung von Wissen in Form von Best Practices. Im Kontext dieser Arbeit wird zur Identifikation der Lösungsmuster das gegenständliche induktive Vorgehen (vgl. Abschnitt 3.6.3.1) gewählt. Ziel ist es daher, erfolgreich abgeschlossene Projekte sowie ihre dazugehörigen Lösungen für Industrie 4.0 zu analysieren.

5.3.1.1 Auswahl und Analyse der Industrie 4.0 Projekte

Zur **Auswahl** der zum Ziel der vorliegenden Arbeit passenden Best Practice-Quellen (vgl. Abschnitt 4.3), sind auf Basis der Problemanalyse in einem ersten Schritt fünf Anforderungen an diese formuliert worden:

1) Möglichst große Anzahl an verfügbaren Projekten
2) Hoher Informationsgehalt bzgl. Problemen und Lösungen
3) Themenschwerpunkt der Projekte auf Industrie 4.0
4) Konkrete Anwendungen im produzierenden, mittelständisch geprägtem Gewerbe
5) Vergleichbarkeit durch einheitliche Darstellung der Projekte

Es existieren bereits einige Ansätze, welche eine Vielzahl an Projekten sowie ihre Ergebnisse bereitstellen. Hierdurch kann ein schneller und aufwandsarmer Zugriff auf das wiederverwendbare Wissen gewährleistet werden. Für einen Abgleich mit den oben genannten Anforderungen werden die vorgestellten Ansätze in Abschnitt 4.3 herangezogen. Der Abgleich führt zu der Auswahl von 87 Projekten aus zwei Quellen: dem Netzwerk it's OWL (vgl. Abschnitt 4.3.6) sowie der Plattform Industrie 4.0 (vgl. Abschnitt 4.3.4). Die Beschreibung, Anzahl, Themenschwerpunkte sowie nutzbare Dokumente der Projekte zeigt Bild 5.5.

Bild 5.5: Übersicht der Projektauswahl aus zwei Quellen

Aus den Kooperationsprojekten zwischen Forschungseinrichtungen und mittelständischen Unternehmen des Netzwerks **it's OWL**, den sog. Transferprojekten, konnten 40 durchgeführte Projekte dem Themenfeld der Industrie 4.0 zugeordnet werden. In einem einheitlichen Format bereitgestellte Informationen in Form von Projektskizzen sowie Abschlussberichten und -präsentationen konnten hierbei zur Analyse der Projektinhalte herangezogen werden. In diesen sind sowohl die zu Grunde liegende Ausgangslage und Problemstellung sowie die erarbeitete Lösung detailliert in Prosa sowie unterstützenden Grafiken beschrieben.

Im Rahmen der auf der **Plattform Industrie 4.0** bereitgestellten Landkarte für deutschlandweite Anwendungsbeispiele von Unternehmen verschiedener Größen und Branchen wurden 43 Use Cases für die Analyse gefiltert. Dabei handelt es sich um Projekte aus der produzierenden Industrie mit den Themenschwerpunkten „Produktion und Lieferkette" sowie „Aus- und Weiterbildung" bei kleinen und mittelständisch geprägten Unternehmen. Das Wissen wurde dabei aus der Detailansicht der Projekte extrahiert. In dieser, sowie weiterführenden Links, werden sowohl die Problemstellung als auch die Lösung als eigene Kategorie erläutert.

Zudem sind die **vier Pilotprojekte der INLUMIA Partnerunternehmen** in die Best Practice Analyse eingeflossen. Eine Übersicht dieser zeigt Abschnitt 2.3.

Zur ersten **Analyse** der Best Practices wurden unter Berücksichtigung des musterbasierten Ansatzes zwei Hilfsmittel erarbeitet. Die Informationen der einzelnen Projekte und Use-Cases wurden zunächst in einen strukturierten **Projekt-Steckbrief** (vgl. Anhang A2.1) überführt, welcher sich in die Musterbestandteile nach ALEXANDER ET AL. [ALE79] Name/Projekttitel, Kontext, Problembeschreibung sowie Lösungsbeschreibung gliedert. Bezogen auf den *Kontext* wird das Unternehmen und seine Mitarbeiterzahl, der relevante Unternehmensbereich sowie der Themenschwerpunkt des Projekts aufgenommen. Im Rahmen der *Problembeschreibung* wird stichpunktartig die im Projekt vorliegende individuelle Herausforderung des Unternehmens erläutert. In der *Lösungsbeschreibung* wird die zugehörige Lösung beschrieben. Dabei werden sowohl die End- als auch erforderlichen Teillösungen und Vorgehensweisen in diese Kategorie aufgenommen. Ziel der Dokumentation der Projekte mittels der Projekt-Steckbriefe ist eine vergleichbare und transparente Darstellung der individuellen Informationen unter Berücksichtigung des musterbasierten Ansatzes. Hierdurch wird eine nachfolgende Musteridentifikation erleichtert.

Des Weiteren wurde ein **Analysewerkzeug** in Form eines abgewandelten morphologischen Kastens[14] entwickelt. In Anbetracht einer zukünftigen Ableitung von Lösungsmustern nach ALEXANDER ET AL., wurde die sog. **Projekt-Merkmalsmorphologie** (vgl. Anhang A2.2) gemäß der etablierten Musterbestandteile Name, Kontext, Problem und Lösung gegliedert. Für die einzelnen Musterbestandteile wurden geeignete Merkmale (z.B. Herausforderungen Industrie 4.0 in der Musterkategorie Problem) sowie Ausprägungsmöglichkeiten (z.B. veraltete Produktionstechnologie) identifiziert. Ziel war es dabei, einen stärkeren Bezug zu Industrie 4.0 sowie eine deduktive Perspektive, d.h. vom Allgemeinen ausgehend, auf die Projekte zu integrieren. Sie schafft eine weitere Grundlage zur Identifikation von Lösungsmustern für Industrie 4.0. Eine Übersicht der Merkmale und ihren Ausprägungen liefert Bild 5.6.

[14] Bei dem Morphologischen Kasten handelt es sich um eine Kreativitätstechnik. Hierbei wird ein Problem in seine grundlegenden Bestandteile zerlegt. Anschließend werden Lösungsmöglichkeiten für jedes einzelne Element des betrachteten Problems untersucht. Durch die geeignete Kombination der verschiedenen Lösungsmöglichkeiten soll das übergeordnete Problem gelöst werden [SB12, S. 174].

	Merkmal	Aus-prägung 1	Aus-prägung 2	Aus-prägung 3	Aus-prägung 4	Aus-prägung 5	Aus-prägung 6	Aus-prägung 7	Aus-prägung 8	Aus-prägung 9	Aus-prägung 10
Name	Titel des Projektes										
Kontext	Unternehmens-klasse	Klein (1-100)	Mittel (100-250)	Groß (250-1.000)	Sehr groß (>1.000)						
	Ausgangs-situation	Digital Novice	Technical Pioneer	Strategic Expert	Digital Champion						
	Branche	Maschinen- und Anlagenbau	Elektronik/ E-Technik	Automobil-industrie	Automat.-technik	Chemie-industrie	Agrar-industrie	Konsumgüte rindustrie	Sonstiges		
	Unternehmens-bereich	Engineering	Arbeits-vorbereitung	Fertigung	Fertigungs-steuerung	Montage	Prüfen/ Testen	Warenein-gang/ Lager	Intralogistik	Instand-haltung	Versand/ Logistik
Problem	Herausfor-derungen Industrie 4.0	Veraltete Produktions-Technologie	Fehlende Prozesse/ Organisation	Mangelndes Know-How	Fehlende Ressourcen	Mangelnde IT-Infra-struktur	Hoher Qualifizier-ungsbedarf	Fehlende Nutzen-transparenz	Auswahl geeigneter Lösungen	Unklare Kosten	Sicherheits-bedenken
	Problemfeld	Sensibili-sierung	Konzi-pierung	Umsetzung							
	Problemfokus	Prozess-fokus	Produkt/ Anlagen-fokus								
	Relev. Verant-wortlichkeiten	Managem. (Untern.)	Managem. (Produktion)	Werker	Techniker/ Service	Engineer					
	Externe Stakeholder	Lieferant	Kunde	Externe Dienstleister	Keine						
Lösung	Technologie-feld	Automatis. technologien	Datenerf. technologien	Datensp. technologien	Datenübertr. technologien	Datenvis. technologien	Datenanaly. technologien				
	Technologie-art	Methoden	Software	Hardware							
	Technologie-reife	Kernkompe-tenztechn.	Elementar-technologie	Rand-technologie							
	Erforderliche Partner	Lieferant	Kunde	Externe Dienstleister							
	Anwender	Manage-ment	Produktions-leitung	Werker	Kunde	Techniker/ Service					
	Qualifikations-level	Ungelernt	Angelernt	Fachkraft	Experte						

Bild 5.6: Übersicht der Projekt-Merkmalsmorphologie

Die Ableitung der Merkmale und Ausprägungen für die Musterbestandteile erfolgte auf Basis von verschiedenen Studien und einschlägiger Literatur (u.a. [BMW15a], [GP14], [CM12], [DLW+19]) sowie Expertengesprächen mit den INLUMIA-Partnerunternehmen zum Thema Industrie 4.0. Zusätzlich wurden bei jedem Musterbestandteil Merkmale aus möglichst allen soziotechnischen Dimensionen in die Morphologie integriert.

Im Rahmen des Musterbestandteils *Kontext* erfolgte die Einordnung der Projekte in die Merkmale Unternehmensklasse, Ausgangssituation, Branche sowie relevanter Unternehmensbereich. Die Ausprägungen des Merkmals Ausgangssituation orientieren sich dabei bspw. an LIPSMEIER ET AL. [DLW+19], [CM12] und werden in „Digitaler Novize“, „Technischer Pionier“, „Strategischer Experte“ und „Digitaler Champion“ unterschieden.

Der Musterbestandteil *Problem* wird mit den Merkmalen Herausforderungen Industrie 4.0, Problemfeld, Problemfokus, Betroffene Verantwortlichkeiten sowie relevante externe Stakeholder beschrieben. Ausprägungsmöglichkeiten des Merkmals Problemfeld orientieren sich an der Prozessphase, in die das Problem des Projekts einzuordnen ist, und werden durch „Sensibilisierung“, „Konzipierung“ sowie „Umsetzung“ differenziert.

Die Gliederung des Musterbestandteils *Lösung* erfolgt durch die Merkmale Technologiefeld, Technologie, Technologiereife, erforderliche Partner in der Wertschöpfungskette, Anwender sowie erforderliches Qualifikationslevel. Das Merkmal Technologiereife kann bspw. durch „Kernkompetenztechnologie“, „Elementartechnologie“ oder „Randtechnologie“ ausgeprägt werden.

Alle 87 Projekte wurden mittels der Einordnung in die Projekt-Merkmalsmorphologie untersucht. Hierfür erfolgte eine Zuordnung jeden Projektes zu den Ausprägungen der Morphologie. Eine Mehrfachauswahl ist dabei bei Merkmalen wie „Herausforderungen Industrie 4.0“ möglich.

Mit Hilfe der Projekt-Steckbriefe sowie der Projekt-Merkmalsmorphologie konnte umfangreiches Wissen zu den Musterbestandteilen Kontext, Problem sowie Lösung extrahiert werden. Die individuellen Projektinformationen über Probleme und Lösungen werden im Folgenden, zur Vorbereitung der Musteridentifikation, abstrahiert.

5.3.1.2 Abstraktion der Problemstellungen

Ein Lösungsmuster wird nach ALEXANDER als ein Ansatz definiert, welcher ein Problem sowie den Kern der Lösung für dieses Problem beschreibt. Die Informationen in einem Muster liegen dabei in einer generalisierten Form vor, sodass das Muster millionenfach angewendet werden kann, ohne sich zu wiederholen [AIS+77, S. 10 (röm.)]. Um die Lösungsmuster identifizieren und ihre generalisierten Informationen bereitstellen zu können, ist demnach zunächst eine Abstraktion und Strukturierung der auftretenden Problemstellungen im Kontext Industrie 4.0 unter Berücksichtigung der soziotechnischen Perspektive erforderlich.

Unter Verwendung des Musterbestandteils *Problem* der Projektsteckbriefe sowie der Projekt-Merkmalsmorphologien werden in einem **ersten Schritt** die individuellen Problemstellungen aus den Best Practices extrahiert. Vermehrt auftretende Problemstellungen werden in eine generalisierte Formulierung überführt. Diese wurden mit den Ergebnissen aus dem World Café zu soziotechnischen Problemstellungen (vgl. Abschnitt 2.3) angereichert. Insgesamt wurden ca. *74 generalisierte Problemstellungen*[15] abgeleitet.

Die generalisierten Problemstellungen werden, unter Berücksichtigung des Strukturierungsrahmens zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0, den einzelnen Komponenten der Dimensionen Mensch, Organisation und Technologien zugeordnet. Für diese Zuordnung werden die Leitfragen der einzelnen Komponenten genutzt (vgl. Abschnitt 5.2). Problemstellungen der Dimension Mensch sind bspw. „Mangelnde Kompetenzen bzgl. neuer Technologien“ (Komponente Qualifizierung) oder „Mentale Belastung der Mitarbeiter/Mitarbeiterinnen“ (Komponente Arbeitsaufgaben). Im Rahmen der Dimension Technologien treten Problemstellungen wie „Fehlende Schnittstellen bei vorhandenen IT-Systemen“ (Komponente IT-Systeme) oder „Überforderung beim Umgang mit

[15] Die 74 generalisierten Problemstellungen bieten ein umfassendes Bild auf die auftretenden Problemstellungen bzgl. Industrie 4.0 im Mittelstand. Auf Grund der Ableitung der generalisierten Problemstellungen aus einer begrenzten Anzahl an Industrie 4.0 Projekten und Teilnehmenden des World Cafés, hat die Liste der 74 Problemstellungen keinen Anspruch auf Vollständigkeit.

großen Datenmengen“ (Komponente Datenmanagement) auf. Die Dimension Organisation wird u.a. durch eine „Fehlende Know-How Weitergabe“ (Komponente Wissen) oder eine „Mangelnde Kundenorientierung“ (Komponente Kultur) geprägt.

Aus der Zuordnung der Problemstellungen zu den soziotechnischen Dimensionen wird anschließend *ein Problemradar Industrie 4.0* (vgl. Bild 5.7) aufgespannt, in welchem die 74 Problemstellungen transparent aufgetragen werden.

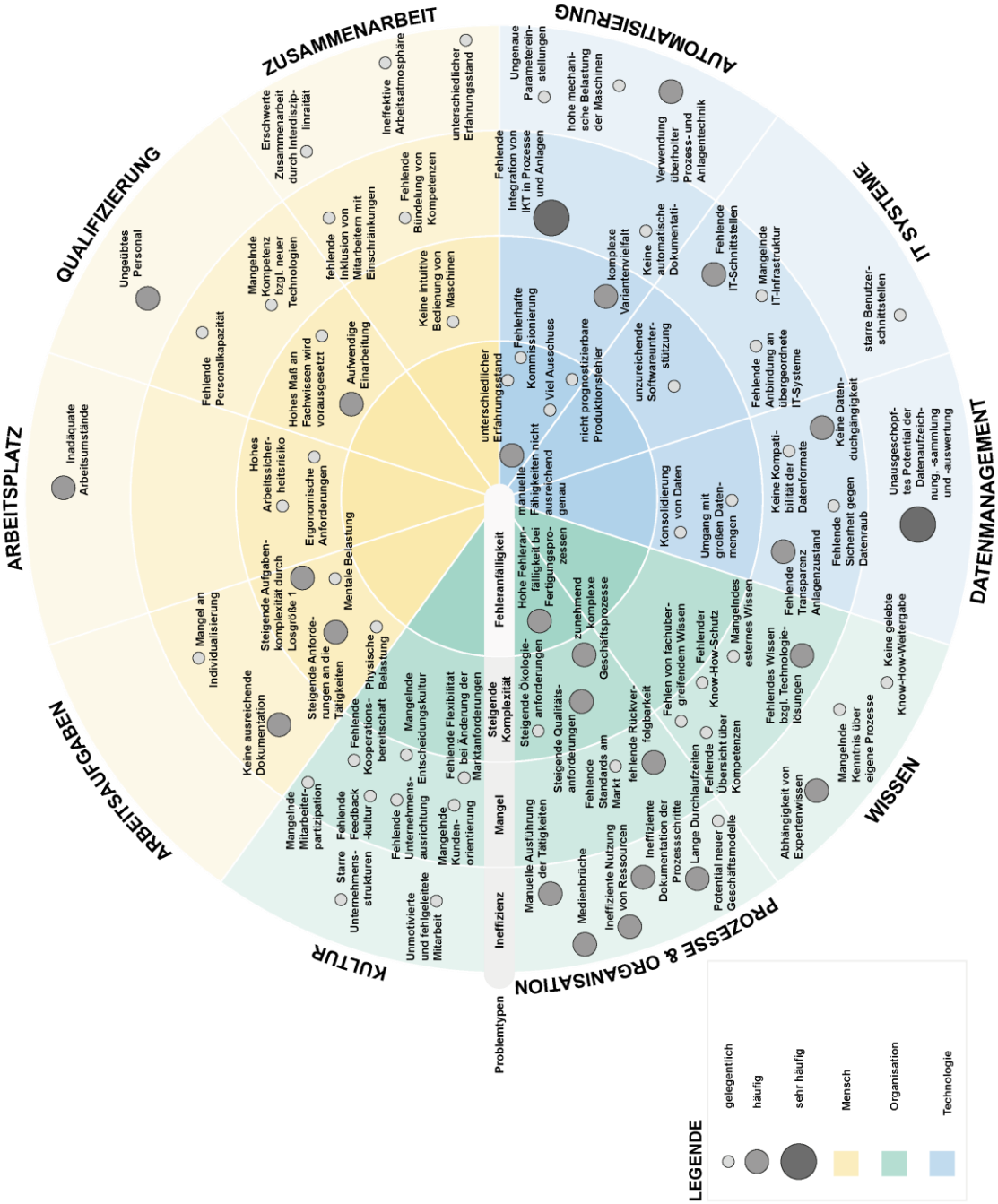


Bild 5.7: Industrie 4.0 Problemradar

Die 74 Problemstellungen (graue Kreise) werden in dem Problemradar gemäß ihrer auftretenden Häufigkeit in den analysierten Projekten (Durchmesser und Graustufe des Kreises) in die einzelnen Dimensionskomponenten des soziotechnischen Strukturierungsrahmens eingeordnet (Tortenstücke). Weiterhin werden sie in sog. Problemtypen (Kreisringe) gegliedert. Die Problemtypen fassen das zu Grunde liegende Defizit in der Problemstellung zu einer Kategorie zusammen und werden definiert als Ineffizienz, Mangel, Steigende Komplexität und Fehleranfälligkeit. So gehört bspw. die Problemstellung „Keine Kompatibilität der Datenformate“ (Dimension Technologie; Komponente Datenmanagement) dem Problemtyp „Mangel“ an, wobei die Problemstellung „Starre Unternehmensstrukturen“ dem Problemtyp „Ineffizienz“ zugeordnet wird.

Nach Ableitung der generalisierten Problemstellungen erfolgt in einem **zweiten Schritt** die konkrete Zuordnung dieser zu den 87 Projekten (vgl. Abschnitt 5.3.1). Ziel ist die Erzeugung einer vergleichbaren Datenbasis. Für jedes einzelne Projekt wird überprüft, welche der generalisierten Problemstellungen (Zelle) je soziotechnischer Komponente (Titel der Spalte) von Relevanz sind (gelbe Markierung der Zelle) (vgl. Bild 5.8).

Projekt P20_InDeO_Intelligente Inspektion von 3D-emaillierten Oberflächen

omatisierung	Wissen	Prozesse & Organisation	Kultur	Arbeitsaufgaben
nde Integration von IKT rozessen und Anlagen	Fehlendes Wissen bzgl. Technologie-lösungen	fehlende Rückverfolgbarkeit	Fehlende Flexibilität bei Änderung der Marktanforderungen	Keine ausreichende Dokumentation
Keine automatische Dokumentation	Durch bisherige Spezialisierung fehlt fachübergreifendes Wissen	Fehlende Standards am Markt	Mangelnde Kundenorientierung	Mangel an Individuali
ehlerhafte Werkstücke/ Viel Ausschuss	Fehlende Übersicht über Kompetenzen und Wissen	Potential neuer Geschäfts-prozesse/ Umgang mit Smart Services	Fehlende Unternehmens-ausrichtung	Mentale Belastu Mitarbeiter
nvorhersehbare Ausfälle	Mangelndes externes Wissen	Hohe Fehleranfälligkeit bei Fertigungsprozessen	Mangelnde Mitarbeiterpartizipation	Physische Bela
prognostizierbare duktionsfehler	Mangelnde Kenntnis über eigene Prozesse	Steigende politische Ökologieanforderungen	Mangelnde Entscheidungskultur	Steigende Aufgabenkomplexität du Losgröße 1
e Bereitstellung von igungsmaterial	Fehlender Schutz vor Know-How-Diebstahl	Zunehmend komplexe Geschäftsprozesse	Risikoscheues Management	Steigende Anforderungen a die Tätigkeiten
nende und komplexe ariantenvielfalt	keine gelebte Know-How-Weitergabe	steigende Qualitätsanforderungen	Unmotivierte und fehlgeleitete Mitarbeiter	Monotone Arbeit
elle Fähigkeiten sind ausreichend genau/ zu aufwändig	Abhängigkeit von Expertenwissen bzgl. Prozesszusammenhänge	Viele Tätigkeiten werden manuell ausgeführt	Starre Unternehmensstrukturen	
lastung				

Bild 5.8: Beispielhafte Zuordnung der generalisierten Problemstellungen zu dem it’s OWL Transferprojekt P20: InDeO

Die resultierende Datenbasis wird genutzt, um in einem **letzten Schritt** sog. *soziotechnische Problemklassen* zu bilden. Die Problemstellungen treten in den Unternehmen stets in Kombinationen auf. D.h. es werden in einem Projekt Problemstellungen aus bis zu allen drei soziotechnischen Dimensionen adressiert. Ziel der Ableitung von Problemklassen ist es daher, die Ähnlichkeit der Projekte hinsichtlich häufig gemeinsam auftretender

soziotechnischer Problemstellungen zu identifizieren und zu Clustern zusammenzufassen. Als soziotechnisch wird dabei ein Cluster gewertet, welches mind. zwei der Dimensionen Mensch, Organisation und Technologien adressiert. Die Untersuchung der Ähnlichkeiten erfolgt auf Ebene der Komponenten des Strukturierungsrahmens zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0. Es wird eine Ähnlichkeitsmatrix aufgespannt, welche in den Zeilen alle 87 Projekte sowie in den Spalten alle Komponenten des Strukturierungsrahmens umfasst. In der Matrix wird mit Hilfe der im zweiten Schritt beschriebenen Datenbasis für jedes Projekt über die Werte „0“ und „1“ aufgetragen, ob Problemstellungen der jeweiligen Komponente relevant sind oder nicht. Hierbei bedeutet der Wert „1“, dass die Komponente von Relevanz ist. Mathematisch ausgedrückt kann jedes Projekt über die Ähnlichkeitsmatrix durch einen n-dimensionalen Vektor beschrieben werden. Der Vergleich dieser Vektoren hinsichtlich ihres Abstands erlaubt anschließend die Überführung in eine sog. multidimensionale Skalierung (MDS)[16]. Die Berechnung der Klassen über Abstände wird als hierarchisches Clustern bezeichnet und wurde in der Statistik- und Analysesoftware SPSS von IBM[17] durchgeführt. Die Auswertung des resultierenden Dendrogramms[18] führt abschließend zu acht soziotechnischen Problemklassen für Industrie 4.0. Die MDS ist in Bild 5.9 dargestellt. Die acht Problemklassen der MDS setzen sich aus verschiedenen Industrie 4.0 Projekten zusammen. Diese werden durch die kleinen Kreise veranschaulicht. Je näher die Kreise in der MDS beieinanderliegen, desto ähnlicher sind ihre Problemstellungen hinsichtlich der soziotechnischen Komponenten.

[16] Die Multidimensionale Skalierung (MDS) ermöglicht die Betrachtung von Ähnlichkeiten verschiedener Objekte im mehrdimensionalen Raum [WP15, S. 181]. Anschließend wird die multidimensionale Anordnung der zu untersuchenden Objekte auf eine Ebene projiziert. Auf diese Weise werden Gruppen von Objekten erkenntlich, indem Objekte mit hoher Ähnlichkeit nah beieinander und Objekte mit niedriger Ähnlichkeit weit auseinander liegen [GP14, S. 67].

[17] SPSS Statistics ist eine kostenpflichtige Statistiksoftware des Unternehmens IBM. Erhältlich unter: https://www.ibm.com/de-de/analytics/spss-statistics-software

[18] Um die Einteilung von Gruppen/Clustern vornehmen zu können, kann ein Dendrogramm als grafische Entscheidungsunterstützung verwendet werden. Mit Hilfe eines Dendrogramms lassen sich rein optisch erste sinnvolle Gruppentrennungen erkennen [WP15, S.172], [BEP+18, S.471].

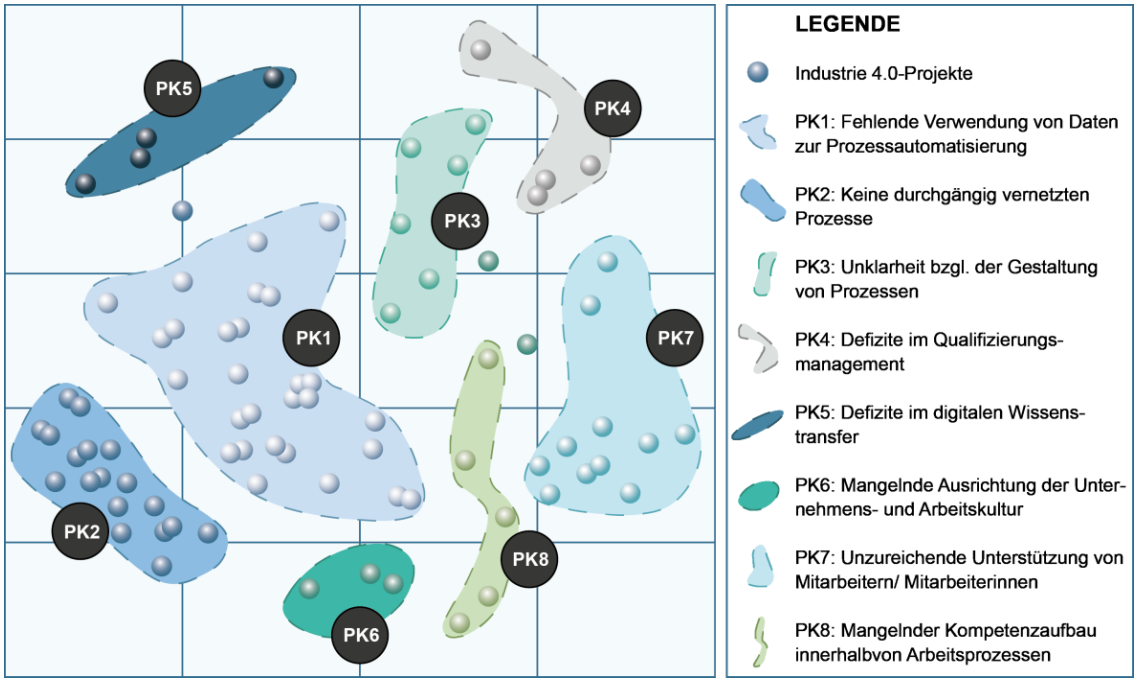


Bild 5.9: Die MDS führt zu acht soziotechnischen Problemklassen für Industrie 4.0

Die einzelnen Ausprägungen der Problemklassen (PK) werden im Folgenden beispielhaft anhand der Problemklassen 1 und 2 näher erläutert. Der Titel einer Problemklasse ergibt sich dabei aus der Relevanz der soziotechnischen Komponenten des Strukturierungsrahmens in den zugehörigen Projekten.

PK 1: Fehlende Verwendung von Daten zur Prozessautomatisierung

Das größte Cluster stellt mit 32 Projekten die Problemklasse 1 dar. Der Fokus dieser Problemklasse liegt auf der Dimension Technologien. Insbesondere die Problemstellungen im Bereich der *Automatisierung* sowie *Datenmanagement* sind von großer Bedeutung. Weiterhin ist die Komponente *Prozesse & Organisation* der Dimension Organisation stark ausgeprägt. Die Dimension Mensch wird in dieser Problemklasse mit vereinzelten Problemstellungen aus allen Komponenten eher geringfügig berücksichtigt.

PK 2: Keine durchgängig vernetzten Prozesse

Die zweite Problemklasse setzt sich aus 18 Projekten zusammen. Sie fokussiert alle Komponenten der Dimension Technologien (*Datenmanagement, IT-Systeme und Automatisierung*). Die Dimension Organisation wird erneut durch die Komponente *Prozesse & Organisation* integriert. In dieser Problemklasse spielt die Dimension Mensch eine ähnliche Rolle wie die Organisation. Es werden insbesondere Problemstellungen der Komponente *Arbeitsaufgabe* berücksichtigt.

Die soziotechnische Ausprägung der weiteren Problemklassen ist mittels der Tortendiagramme (blau = Technologien, gelb = Mensch, Grün = Organisation) in Bild 5.10 veranschaulicht. Ihre jeweiligen Ausprägungen sind in A3 beschrieben.

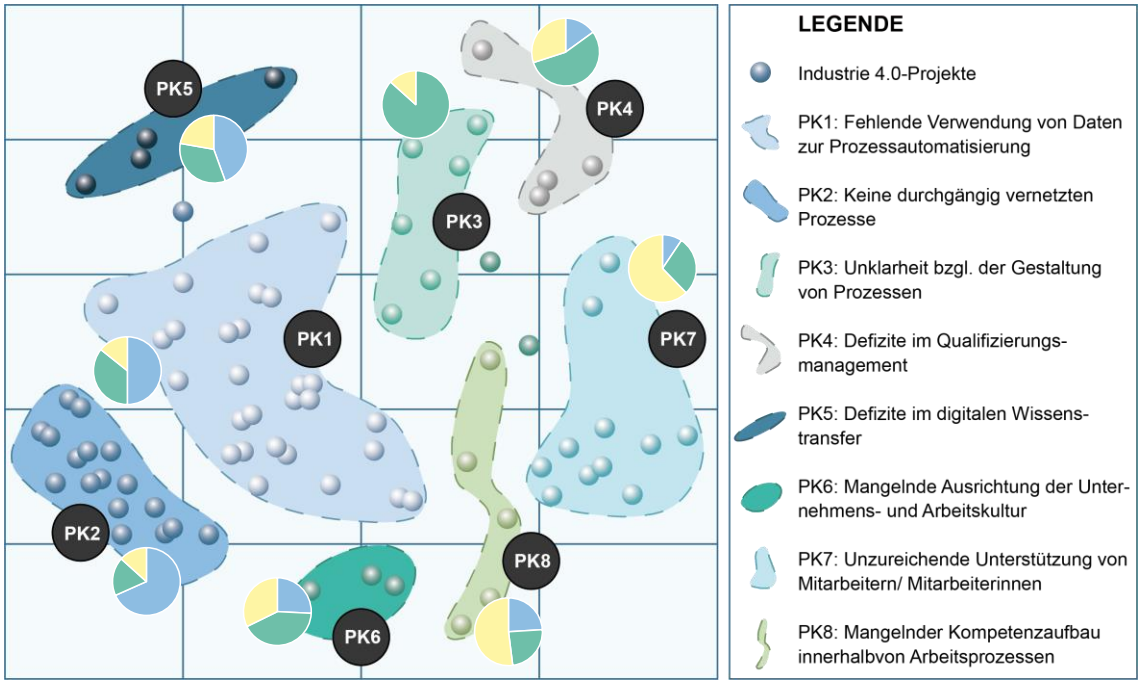


Bild 5.10: Soziotechnische Stoßrichtungen der einzelnen Problemklassen

Die Generalisierung der Problemstellungen sowie die Strukturierung dieser mittels Problemklassen ist zur anschließenden Identifikation der Lösungsmuster erforderlich. Ein Lösungsmuster beschreibt ein wiederkehrendes Problem sowie die zugehörige Lösung dessen in generalisierter Form. Eine Abstraktion der Lösungen erfolgt demnach ebenfalls und wird im weiteren Verlauf vorgestellt.

5.3.1.3 Abstraktion der Lösungen

Um die Abstraktion der Lösungen zu erreichen, werden die Informationen bzgl. der Komponente *Lösung* aus den Projektsteckbriefen sowie den Projekt-Merkmalsmorphologien genutzt. Im Rahmen dieser Betrachtung konnte festgestellt werden, dass die Varianz der Lösungen in den Projekten in Relation zu den Problemstellungen deutlich geringer ist. Die Generalisierung sowie das Clustering der Lösungen erfolgt daher mittels manueller Verfahren. Insgesamt können aus einer ersten Schlagwortanalyse **20 generalisierte Industrie 4.0 Lösungen** wie „Diagnosesysteme/Expertensysteme“, „Transportsysteme“ oder „Werkerassistenzsysteme“ aus den 87 Industrie 4.0 Projekten abgeleitet werden. Anschließend wird untersucht, welche der 20 generalisierten Lösungen in den einzelnen Projekten angewendet werden (vgl. Bild 5.11).

Nr.	Generalisierte Lösungen	Projekte												
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P1
1	Diagnosesysteme/Expertensysteme	x	x			x								
2	Monitoringsysteme/ Dashboards													
3	Intelligente Messsysteme					x				x				
4	Adaptive Steuerungssysteme	x		x		x			x					
5	IT-Systeme / Softwareunterstützung								x					
6	Interface-Systeme/Portale													
7	industrielle Robotersysteme				x					x				
8	Transportsysteme							x						
9	cyber-physische Fertigungssysteme/ Hardware											x	x	
10	Werkerassistenzsysteme	x								x	x			x
11	Demonstratoren Industrie 4.0													
12	Neue Dienstleistungen/Geschäftsmodelle							x						
13	Lokalisierungssysteme							x						
14	(Projektmanagement-)Methoden						x							
16	Konzepte/Standards						x							
17	Plattformen													
18	Labore/Testumgebungen													
19	mobile Anwendungen													
20	Infrastrukturen (örtlich)													

Bild 5.11: Zuordnung der generalisierten Lösungen zu den einzelnen Projekten

Thematisch ähnliche bzw. häufig für einen ähnlichen Zweck genutzte Lösungen werden in einem zweiten Schritt zu sogenannten Lösungsklassen zusammengefasst und die relevanten Projekte hinterlegt. Dabei können einzelne generalisierte Lösungen mehreren Lösungsklassen zugeordnet sein. So werden bspw. „Diagnosesysteme/Expertensysteme“, „Monitoringsysteme/ Dashboards“, „Intelligente Messsysteme“ sowie „mobile Anwendungen“ von sechs Projekten für eine Überwachung von Produkt- oder Maschinenzuständen eingesetzt. Daraus kann die Lösungsklasse Zustandsüberwachung definiert werden. Die Verwendung von industriellen Robotersystemen, Transport- sowie Werkerassistenzsystemen (kollaborative Roboter) werden zu der Lösungsklasse Robotik-Systeme zusammengefasst und in acht Projekten berücksichtigt. Mittels des thematischen Clusterns können insgesamt **12 Lösungsklassen** (vgl. Bild 5.12) identifiziert werden.

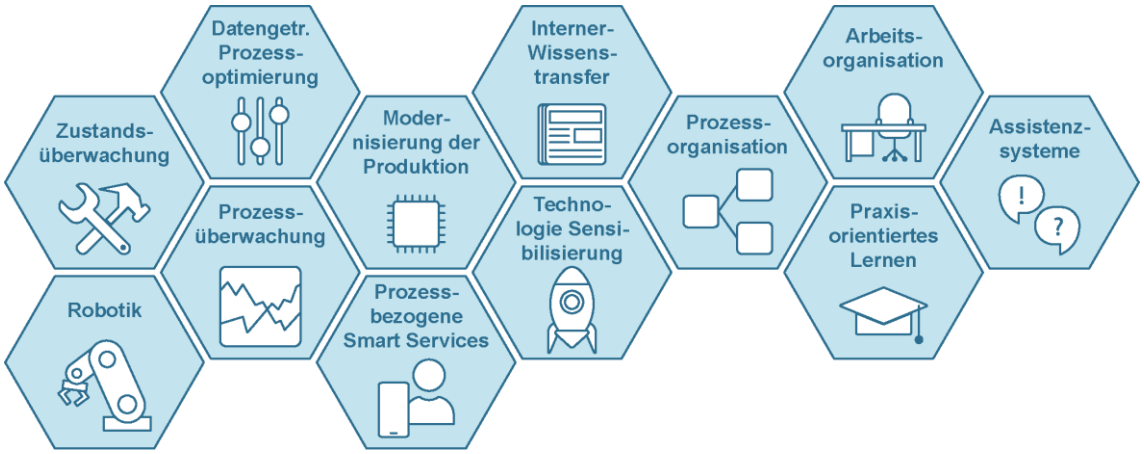


Bild 5.12: Lösungsklassen Industrie 4.0

Die einzelnen Lösungsklassen werden im Folgenden erläutert.

1) **Zustandsüberwachung:** Mit der Zustandsüberwachung werden Lösungen adressiert, die die Überwachung von Zustandsparametern wie bspw. Verschleiß einer Maschine zur frühzeitigen Erkennung von Fehlzuständen oder Wartungsbedarfen unterstützen. Hierzu zählen die generalisierten Lösungen Diagnosesysteme/Expertensysteme, Intelligente Messsysteme, Monitoringsysteme/Dashboards sowie Mobile Anwendungen.

2) **Prozessüberwachung:** Mit Hilfe von Lösungen der Prozessüberwachung werden Prozessparameter wie Durchlaufzeiten entlang der gesamten Leistungserstellung kontinuierlich gemessen und bspw. Anomalien im Fertigungsprozess detektiert. Zugeordnete generalisierte Lösungen stellen Diagnosesysteme/Expertensysteme, Monitoringsysteme/Dashboards, Intelligente Messsysteme, Infrastrukturlösungen (örtlich) sowie IT-Systeme/Software dar.

3) **Robotik-Systeme:** Durch Lösungen aus dem Bereich der Robotik-Systeme wird eine (Teil)-Automatisierung erzielt, wodurch bspw. hochpräzise Tätigkeiten oder kundenindividuelle Anpassungen übernommen werden. Realisiert wird dies über die generalisierten Lösungen industrielle Roboter, Transportsysteme sowie Werkerassistenzsysteme.

4) **Datengetriebene Prozessoptimierung:** Unter Lösungen der datengetriebenen Prozessoptimierung fallen Ansätze, die automatisch/autonom auf Basis von Datenauswertungen, z.B. von Auftragsdaten, Prozessschritte anpassen und steuern. Eingesetzt werden hierfür die generalisierten Lösungen Adaptive Steuerungssysteme, Interface-Systeme/Portale, Neue Servicelösungen, (Projektmanagement-) Methoden, IT-Systeme/Software sowie Werkerassistenzsysteme.

5) **Modernisierung der Produktion:** Hierunter wird die Ausrichtung bestehender Produktionsprozesse und -verfahren auf neue Technologielösungen, bspw. Smart Sensors, verstanden. Hierfür sind die generalisierten Lösungen Intelligente Messsysteme sowie cyber-physische Fertigungssysteme/Hardware von Relevanz.

6) **Prozessbezogene Smart Services:** Durch vernetzte Geräte und Anlagen werden kontinuierlich Prozessinformationen gesammelt. Diese können für neuartige interne Services, bspw. Materialverfolgungen, entlang des gesamten Leistungserstellungsprozesses verwendet werden. Adressiert werden diese von den generalisierten Lösungen Adaptive Steuerungssysteme, Interface-Systeme/Portale, Neue Servicelösungen, Lokalisierungssysteme sowie (Projektmanagement-) Methoden.

7) **Interner Wissenstransfer:** Die Lösungsklasse adressiert Ansätze, welche die Informationsbereitstellung und -kommunikation zwischen Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen ermöglicht. Es können dabei die generalisierten Lösungen Monitoringsysteme/Dashboards, IT-Systeme/Software sowie (Projektmanagement-) Methoden eingesetzt werden, um bspw. ein Wiki-System zu etablieren.

8) **Prozessorganisation:** Lösungen wie neue Projektmanagementansätze (z.B. agile Methoden) und Kooperationsformen mit Wertschöpfungspartnern werden in der Lösungsklasse Prozessorganisation fokussiert. Demnach werden die generalisierten Lösungen (Projektmanagement-) Methoden, Konzepte/Standards, Neue Servicelösungen sowie Interface-Systeme/Portale dieser Lösungsklasse zugeordnet.

9) **Technologiesensibilisierung:** Lösungen zur Ausrichtung der Organisation auf neue Technologien und Cyber-Physische-Systeme, bspw. Testumgebungen und Labore, gehören der Lösungsklasse der Technologiesensibilisierung an. Neben Testumgebungen und Laboren zählen Demonstratoren Industrie 4.0, cyber-physische Fertigungssysteme/Hardware, Infrastrukturen (örtlich) sowie (Projektmanagement-) Methoden zu den geeigneten generalisierten Lösungen.

10) **Arbeitsorganisation:** Die Lösungen der Klasse Arbeitsorganisation bestimmen bspw. den Einsatz von mobilen Endgeräten am Arbeitsplatz, welche eine Steigerung des Wohlbefindens der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen sowie ihrer Work-Life-Balance bewirken. Ergänzend zu mobilen Anwendungen werden Monitoringsysteme/Dashboards, Adaptive Steuerungssysteme sowie Infrastrukturen (örtlich) als generalisierte Lösungen zugeordnet.

11) **Praxisorientiertes Lernen:** Im Rahmen der Lösungsklasse Praxisorientiertes Lernen werden z.B. Lösungen wie digitale Medien in die Aus- und Weiterbildung integriert. Weiterhin werden innovative Trainingsumgebungen für Industrie 4.0 realisiert. Demnach sind Labore/Testumgebungen, Infrastrukturen (örtlich), (Projektmanagement-) Methoden, Demonstratoren Industrie 4.0 sowie Werkerassistenzsysteme in dieser Klasse von Bedeutung.

12) **Assistenzsysteme:** Lösungen, die der Unterstützung von Menschen bei ihren Tätigkeiten dienen, bspw. bei schweren körperlichen oder komplexen Aufgaben, werden der Lösungsklasse Assistenzsysteme zugeordnet. Beispielhaft sind hier Montage-Assistenzsysteme zu nennen. Generalisierte Lösungen dieser Klasse stellen daher Werkerassistenzsysteme, IT-Systeme/Software, cyber-phasische Fertigungssysteme/Hardware sowie mobile Anwendungen dar.

Die über das wiederverwendbare Wissen der Industrie 4.0 Projekte generalisierten sowie strukturierten Problemstellungen und Lösungen bieten die Grundlage zur Identifikation der Lösungsmuster. Ziel ist es, aus den generalisierten Informationen wiederkehrende Problem-Lösungs-Kombinationen zu Lösungsmustern zusammenzufassen. Die Identifikation dieser Problem-Lösungs-Kombinationen und somit die Ableitung des Musterkatalogs wird im Folgenden näher erläutert.

5.3.2 Lösungsmusteridentifikation

Die Identifikation der Lösungsmuster aus der Best Practice Analyse bildet den Kern des Lösungsansatzes zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand. Gemäß der Definition eines Lösungsmusters, besteht dieses stets aus **wiederkehrenden Problem-Lösungs-Kombinationen.** Diese sind aus dem zuvor generierten Lösungswissen für Industrie 4.0 zu identifizieren. Strukturierendes Element zur Identifikation der Lösungsmuster stellen die Lösungsklassen dar. D.h. die Lösungsmuster sind jeweils einer Lösungsklasse zugeordnet. Über die Lösungsklassen wird ermittelt, welche wiederkehrenden Lösungen welche wiederkehrenden soziotechnischen Problemstellungen adressieren. Eine Lösung sollte dabei mindestens zwei Dimensionen von Mensch, Organisation und Technologien berücksichtigen, um als Lösungsmuster zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand aufgenommen zu werden. Diese Prämisse schließt jedoch nicht aus, dass die jeweiligen Lösungsmuster eine soziotechnische Stoßrichtung haben.

Die Identifikation der einzelnen Lösungsmuster erfolgte stets mittels der Durchführung folgender Tätigkeiten:

1) Untersuchung der Lösungsansätze der Projekte einer Lösungsklasse auf *wiederkehrende Lösungen*,
2) Untersuchung der Projekte mit wiederkehrenden Lösungen auf *wiederkehrende soziotechnische Problemstellungen*,
3) Benennung dieser *wiederkehrenden Problem-Lösungs-Kombination* zu einem Lösungsmuster,
4) Ermittlung der *soziotechnischen Stoßrichtung* des Lösungsmusters.

Ziel des Vorgehens ist es zum einen, wiederkehrende generalisierte Lösungen innerhalb einer Lösungsklasse zu ermitteln. Zum anderen, die Identifikation jener wiederkehrender soziotechnischer Problemstellungen aus dem Problemradar (vgl. Abschnitt 5.3.1.2), welche von diesen Lösungen adressiert werden. Hieraus ergibt sich der Lösungsmusterkatalog, bestehend aus 31 Lösungsmustern. Über die Anzahl der zugeordneten Problemstellungen je Dimension wird abschließend die soziotechnische Stoßrichtung des Lösungsmusters festgelegt. Demnach werden die Lösungsmuster in eine der Dimensionen Mensch, Organisation oder Technologien eingeordnet.

Im Folgenden wird die Identifikation der Lösungsmuster beispielhaft anhand des Lösungsmusters „Externe Kooperationen“ der Lösungsklasse Prozessorganisation erläutert (vgl. Bild 5.13).

Individuelle Lösungen je Projekt	Generalisierte Lösungen je Projekt	Projekt-nummer	Generalisierte Problemstellungen je Projekt
▪ Individuelle Konfigurationsdaten vom Kunden ▪ Preiskalkulation in Echtzeit ▪ **Aufbau eines Partnernetzwerks** ▪ Automatischer Maschinenauftrag vom Kunden	▪ Adaptive Steuerungssysteme ▪ Interface-Systeme/ Portale ▪ Neue Servicelösungen ▪ **(Projektmanagement-) Methoden**	**P64**	▪ Fehlende Schnittstellen bei vorhandenen Informationssystemen ▪ Zunehmend komplexe Geschäftsprozesse ▪ **Mangelnde Kundenorientierung** ▪ **Steigende Aufgabenkomplexität durch Losgröße 1** ▪ **Lange Durchlaufzeiten / lange Umrüstzeiten**
▪ **Durchgängige Kundenintegration** ▪ Browsergestütztes Lieferanten Portal (SAP-GUI)	▪ Adaptive Steuerungssysteme ▪ Interface-Systeme/ Portale ▪ **(Projektmanagement-) Methoden**	**P67**	▪ Konsolidierung von Daten / Überführung von Kundendaten in eigene Systeme ▪ Fehlende Schnittstellen bei vorhandenen Informationssystemen ▪ Medienbrüche ▪ **Steigende Aufgabenkomplexität durch Losgröße 1** ▪ Unausgeschöpftes Potential der Datenaufzeichnung, -sammlung und -auswertung ▪ **Ineffiziente Nutzung & Bereitstellung von Ressourcen** ▪ **Lange Durchlaufzeiten / lange Umrüstzeiten**
▪ Montage- und Kommissionier-Assistenzsystem auf Basis von Bewegungserkennung ▪ **Hochschul-**	▪ Werkerassisenzsysteme ▪ **(Projektmanagement-) Methoden**	**P73**	▪ Zunehmende und komplexe Variantenvielfalt ▪ Hohe Fehleranfälligkeit bei Fertigungsprozessen ▪ Steigende Anforderungen an die Tätigkeiten ▪ Ungeübtes Personal ▪ Ineffektive Arbeitsatmosphäre ▪ Manuelle Fähigkeiten sind nicht ausreichend genau/ zu aufwändig ▪ **Steigende Qualitätsanforderun-** ▪ **Steigende A-**

Bild 5.13: Analyse wiederkehrender Lösungen und Problemstellungen

Schritt 1: Untersuchung der Lösungsansätze der Projekte einer Lösungsklasse auf *wiederkehrende Lösungen*

Im ersten Schritt werden die generalisierten Lösungen und ihre individuelle Ausprägung in den 14 hinterlegten Projekten der Lösungsklasse Prozessorganisation hinsichtlich wiederkehrender Lösungen geprüft. Die Analyse der generalisierten Lösungen je Projekt zeigt, dass 11 Projekte die Lösung (Projektmanagement-) Methoden nutzen. Für eine genauere Spezifizierung, welche konkreten Lösungen für ein Muster relevant sind, werden die individuellen Lösungsausprägungen der Projekte untersucht. Hieraus wird deutlich, dass im Kontext der (Projektmanagement-) Methoden sechs der Projekte Kooperationen mit externen Partnern, bspw. Kunden oder Lieferanten, anwenden.

Schritt 2: Untersuchung der Projekte mit wiederkehrenden Lösungen auf *wiederkehrende soziotechnische Problemstellungen*

Werden nun die in den sechs Projekte adressierten Probleme (rechte Spalte) verglichen, können sich wiederholende Problemstellungen (hervorgehobene Probleme) identifiziert werden. So werden bspw. Problemstellungen wie „Mangelnde Kundenorientierung“ oder „Ineffiziente Nutzung und Bereitstellung von Ressourcen“ mehrfach adressiert.

Schritt 3: Benennung dieser *wiederkehrenden Problem-Lösungs-Kombination* zu einem Lösungsmuster

Gemäß der Definition von Lösungsmustern, welche wiederkehrende Probleme sowie den Kern der Lösung zu diesen Problemen enthalten, wird die beschriebene Problem-Lösungs-Kombination in der vorliegenden Arbeit als ein Lösungsmuster identifiziert. Der Titel des Lösungsmusters orientiert sich an der darin enthaltenen Lösung und wird demnach als „Externe Kooperationen“ bezeichnet.

Schritt 4: Ermittlung der *soziotechnischen Stoßrichtung* des Lösungsmusters

Weiterführend wird für das identifizierte Lösungsmuster die soziotechnische Stoßrichtung ermittelt. Dies erfolgt durch die Betrachtung der wiederkehrenden Problemstellungen im soziotechnischen Problemradar (vgl. Bild 5.14). Das Problemradar des Lösungsmusters „Externe Kooperationen“ verdeutlicht, dass die adressierten Problemstellungen überwiegend der Dimension Organisation (grüne Tortenstücke) zugeordnet sind. Hierdurch wird für das Lösungsmuster „Externe Kooperationen“ die Stoßrichtung der Dimension Organisation festgelegt.

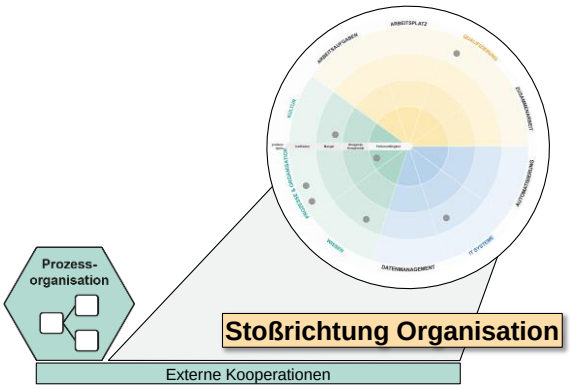


Bild 5.14: Beispielhafte Ermittlung der soziotechnischen Stoßrichtung

Mit diesem Vorgehen wurde für alle identifizierten Lösungsmuster eine primäre soziotechnische Stoßrichtung determiniert. Es können innerhalb einer Lösungsklasse Lösungsmuster aller Dimensionen auftreten. So sind bspw. im Rahmen der Lösungsklasse Prozessorganisation die Lösungsmuster *Externe Kooperationen* und *Agile interdisziplinäre Methoden* organisatorisch orientiert, die Lösungsmuster *Projektmanagement Software* und *IT-Schutzkonzepte für Daten und Know-How* sind jedoch technologisch orientiert.

Um ein vollständiges Abbild des Lösungsmusters zu erhalten, d.h. über die Informationen der begrenzten Anzahl an verfügbaren Projekte hinaus, werden in einem letzten Schritt der Musteridentifikation die wiederkehrenden Probleme mittels weiterführender Recherchen (bspw. über den Stand der Technik sowie Experteninterviews) um weitere generalisierte Problemstellungen ergänzt. Die soziotechnische Stoßrichtung bleibt dabei jedoch stets erhalten. So können dem Lösungsmuster Externe Kooperationen u.a. die Problemstellungen „Mangelndes externes Wissen“ sowie „Hohes Maß an Fachwissen wird vorausgesetzt“ ergänzend zugeordnet werden.

Eine Übersicht über alle identifizierten Lösungsmuster inklusive ihrer Stoßrichtung liefert Bild 5.15.

Nr.	ID	Lösungsmuster	Lösungsklasse
1	ZÜ1	Condition Monitoring	Zustands-überwachung
2	ZÜ2	Prädiktive Analysen	
3	PÜ1	Anomalieerkennung	Prozess-überwachung
4	PÜ2	Kontinuierliches Prozessmonitoring	
5	PÜ3	Kontinuierliche Qualitätsprüfung	
6	DPO1	Selbstoptimierende Prozesssteuerung	Datengetriebene Prozess-optimierung
7	DPO2	Durchgängige IT-Infrastruktur	
8	DPO3	Automatische Auftragsabwicklung	
9	ROB1	Roboter zur Prozessautomatisierung	Robotik
10	ROB2	Kollaborative Robotik	
11	ROB3	Fahrerlose Transportsysteme	
12	MP1	Retro Fitting	Modernisierung der Produktion
13	MP2	Neue Fertigungssysteme	
14	TS1	Technologie-Evaluierung	Technologie Sensibilisierung
15	TS2	Technologieorientierter Kompetenzaufbau	
16	SMS1	Customization Services	Prozessbezogene Smart Services
17	SMS2	Remote Experten	
18	SMS3	Tracking und Tracing	
19	PO1	Agile interdisziplinäre Methoden	Prozess-organisation
20	PO2	Projektmanagement Software	
21	PO3	Externe Kooperationen	
22	PO4	Schutzkonzepte für Daten und Know-How	
23	WT1	Wissensmanagement-Systeme	Interner Wissenstransfer
24	WT2	Industrie 4.0 Sensibilisierung	
25	prL1	Digitale Lernplattform	Praxisorientiertes Lernen
26	prL2	Lernfabrik	
27	AO1	Fernüberwachung/Steuerung	Arbeits-organisation
28	AO2	Flexibler Arbeitsplatz	
29	ASS1	Kognitive Assistenzsysteme	Assistenz-systeme
30	ASS2	Virtuelle/Augmentierte Assistenzsysteme	
31	ASS3	Physische Assistenzsysteme	

Lösungsmuster mit der Stoßrichtung Mensch
Lösungsmuster mit der Stoßrichtung Organisation
Lösungsmuster mit der Stoßrichtung Technologien

Bild 5.15: Lösungsmusterübersicht zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand

Beispielhaft werden drei Lösungsmuster – jeweils ein Lösungsmuster je soziotechnischer Stoßrichtung – erläutert. Die detaillierten Informationen der Lösungsmuster sind den Lösungsmusterkarten zu entnehmen (vgl. Abschnitt 5.3.3 und A4).

ZÜ1 Condition Monitoring mit der Stoßrichtung Technologien

Das Lösungsmuster *Condition Monitoring* der Lösungsklasse Zustandsüberwachung adressiert Problemstellungen aller soziotechnischen Dimensionen. Die Lösungsklasse, die soziotechnische Stoßrichtung sowie die relevanten Komponenten der Dimensionen bilden den Kontext des Musters ab. Die Problemstellungen des Lösungsmusters Condition Monitoring beziehen sich auf abweichende bzw. fehlerhafte Zustände eines Systems wie einer Produktionsanlage. Beispielhafte Problemstellungen, die dazu führen, sind „Nicht prognostizierbare Produktionsfehler“ (Dimension Technologien), „Hohe Fehleranfälligkeit bei Fertigungsprozessen“ (Dimension Organisation) oder „Ungeübtes Personal“ (Dimension Mensch). Diese Problemstellungen können mit dem Lösungsansatz des Condition Monitorings adressiert werden. Beim Condition Monitoring werden Daten zu Anlagenzuständen sowie KPIs über Sensorik gemessen und auf einer übersichtlichen Benutzeroberfläche visualisiert, bspw. auf mobilen Endgeräten oder direkt an der Maschine. In den Best Practices wurden bspw. optische Zustandskontrollen als Lösung eingesetzt. Hierdurch können Produktionsfehler frühzeitig aufgedeckt sowie ungeübtes Personal bei der Bewertung des Maschinenzustands systemisch unterstützt werden.

PO1 Agile interdisziplinäre Methoden mit der Stoßrichtung Organisation

Der Lösungsklasse Prozessorganisation wird das Lösungsmuster *Agile interdisziplinäre Methoden* zugeordnet. Mit diesem können alle technologischen Komponenten (Automatisierung, IT-Systeme, Datenmanagement), alle organisatorischen Komponenten (Prozesse & Organisation, Wissen, Kultur) sowie die Zusammenarbeit und Arbeitsaufgaben der Dimension Mensch adressiert werden. Konkreten Problemstellungen wie „Fehlender Umgang mit großen Datenmengen“, „Starre Unternehmensstrukturen“ oder „Steigende Anforderungen an die Tätigkeiten“ werden mit dem Lösungsmuster begegnet. Die Lösung hierfür kann der Einsatz von interdisziplinären Projektteams in kurzen, intensiven Projekten oder Projektphasen gemäß agilen Methoden (z.B. Scrum) sein.

prL1 Digitale Lernplattform mit der Stoßrichtung Mensch

Digitale Lernplattform ist ein Lösungsmuster der Lösungsklasse Praxisorientiertes Lernen. Hierbei sind alle drei Dimensionen von Relevanz, der Großteil der Problemstellungen sind jedoch organisatorisch und menschlich orientiert. Beispiele für Problemstellungen stellen „Fehlendes Wissen bzgl. Technologielösungen“ aus der Komponente Wissen (Dimension Organisation) oder „Aufwändige Einarbeitung“ der Komponente Qualifizierung (Dimension Mensch) dar. Auf der Lösungsseite des Musters werden digitale Lernplattformen spezifiziert. Darunter wird ein Angebot von Schulungen und Weiterbildun-

gen verstanden, welche online (z.B. über Cloud-Lösungen) angeboten und interaktiv absolviert werden. Videos von Experten können abgerufen, Schulungsunterlagen gelesen und E-Learning-Kurse durchgeführt werden.

Alle Lösungsmuster werden zunächst stichpunktartig in einem Katalog (Listenformat) mit den Bestandteilen Name, Kontext, Problem sowie Lösung dokumentiert.

5.3.3 Lösungsmusterpräsentation

> *"Formalizing patterns through documentation helps to ensure their usage by others, their management as assets, and their application in an appropriate manner, and that they are improved over time [CD07]."*

CLOUTIER UND DINESH [CD07] verdeutlichen in ihrer Aussage, dass die geeignete Zugänglichkeit zu den Informationen eines Lösungsmusters für die Anwendung und Validierung dessen von großer Bedeutung sind. Weiterhin ist eine von den Nutzerqualifikationen unabhängige Anwendung zu gewährleisten. Die Dokumentation der Lösungsmuster in einem Musterkatalog stellt jedoch oftmals eine reine Auflistung dar und ist demnach zur individuellen Auswahl und Ausprägung eines Lösungsmusters wenig informativ. Um die generalisierten Informationen übersichtlich darzustellen, ist daher ein geeignetes Präsentationsschemas auszuwählen und systematisch aufzubauen. Gleichzeitig gilt es, eine Informationsflut zu vermeiden. Unter Berücksichtigung der Musterbestandteile Name, Kontext, Problem sowie Lösung [Ale79] ist weiterhin ein interdisziplinäres Notationsschema erforderlich. Das Notationsschema legt dabei unabhängig der zugehörigen Disziplin des Anwenders/der Anwenderin in der Organisation den Aufbau der Präsentationsform (z.B. Seitenanzahl, Struktur und Komponenten) fest. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurde die Präsentation der Lösungsmuster in Form von Musterkarten gewählt. Die Auswahl der Präsentationsform erfolgte in Anlehnung an die im Stand der Technik untersuchten Ansätze von GEMINI und ECHTERFELD (vgl. Abschnitte 4.4.2 und 4.4.3) sowie in Diskussion mit den Pilotpartnern von INLUMIA. Der Aufbau der Lösungsmusterkarten wird nachfolgend beispielhaft erläutert.

Zunächst wird für jede soziotechnische Stoßrichtung, d.h. je Dimension, ein wiederkehrendes Farbschema gewählt, sodass auf den ersten Blick ersichtlich ist, um welche Dimension es sich handelt. Die Dimension Technologien wird durch blaue, die Dimension Organisation durch grüne sowie die Dimension Mensch durch gelbe Musterkarten repräsentiert. Die bereitgestellten Informationen der Lösungsmuster sind von größerem Umfang, sodass sich die Musterkarten in eine Vorder- sowie Rückseite gliedern. Die Vorderseite fokussiert dabei den Musterbestandteil Problem, die Rückseite demgegenüber die Lösung. Der Aufbau der Musterkarte wird im Folgenden erneut anhand des Beispiels „Externe Kooperationen" erläutert (vgl. Bild 5.16). Alle weiteren Musterkarten sind im Anhang A4 dargestellt.

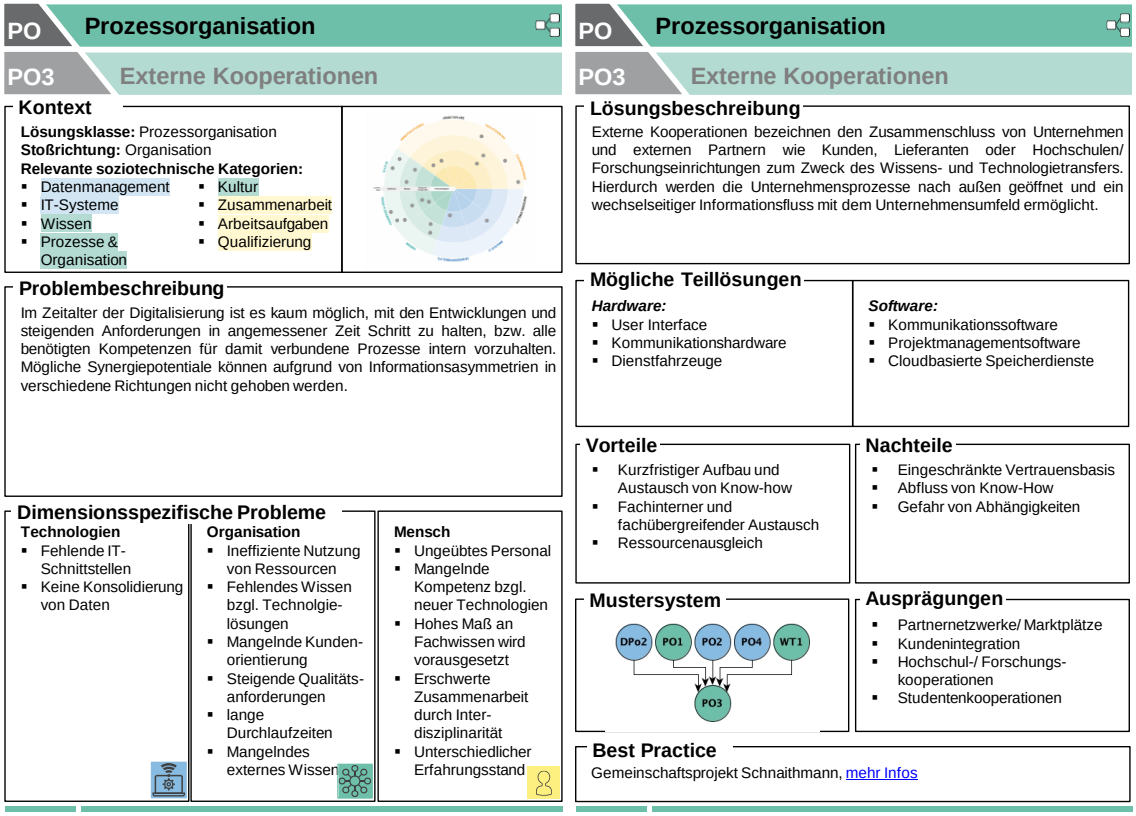


Bild 5.16: Musterkarte des Lösungsmusters „Externe Kooperationen“

Gemäß den klassischen Musterbestandteilen wird im Kopf der Musterkarte der **Name** des Lösungsmusters sowie die Muster-ID dargestellt. Weiterhin ist die zugehörige Lösungsklasse, im vorliegenden Beispiel Prozessorganisation (PO), aufgelistet.

Der **Kontext** wird durch die Lösungsklasse, die soziotechnische Stoßrichtung sowie den relevanten Komponenten der Problemstellungen aus dem Strukturierungsrahmen zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 repräsentiert. Die Verteilung der Problemstellungen in diesen Komponenten wird mittels der vereinfachten visuellen Darstellung des Problemradars verdeutlicht. Für das Lösungsmuster „Externe Kooperationen“ ist erkennbar, dass primär organisatorische Problemstellungen adressiert werden, sodass die Stoßrichtung nachvollzogen werden kann.

Im Rahmen des Musterbestandteils **Problem** wird zunächst das zu Grunde liegende Problem sowie mögliche Auswirkungen übergeordnet und mit Bezug auf das Themenfeld Industrie 4.0 beschrieben. Die Beschreibung orientiert sich dabei insbesondere an den Problemstellungen derjenigen analysierten Projekte, welche diesem Lösungsmuster zugeordnet werden. Die adressierten generalisierten Problemstellungen des Lösungsmusters werden anschließend je Dimension aufgelistet.

Die Rückseite der Musterkarte fokussiert die enthaltene **Lösung** des Lösungsmusters. Ziel ist es, die Planung der Lösung mit Hilfe der Informationen frühzeitig zu unterstützen. Hierfür wird die Lösung auf Basis der zugeordneten Projekte erneut zunächst in Prosa beschrieben. Es wird bspw. erläutert, was unter Externen Kooperationen zu verstehen ist

und aus welchen Partnern (Kunde, Lieferant, Hochschulen, etc.) sich diese zusammensetzen können. Weiterhin wird der Zweck der Lösung, z.B. ein Wissens- und Technologietransfer, beschrieben. Ergänzend werden zu verwendende (technische) Teillösungen, gegliedert in Hard- und Software, vorgeschlagen. So ist es bspw. bei Externen Kooperationen auf Grund der örtlichen Trennung hilfreich, eine webbasierte Kommunikationssoftware einzusetzen, für welche ein geeignetes User Interface benötigt wird. Die Vor- und Nachteile der Lösung werden anschließend prägnant aufgelistet, um die Bewertung und Entscheidung zum Einsatz des Lösungsmusters zu unterstützen (vgl. Abschnitt 6.1). Unter der Kategorie Ausprägungen wird aufgeführt, welche Möglichkeiten zur individuellen Ausgestaltung der Lösung wählbar sind. Externe Kooperationen können dabei mit Bezug zu Industrie 4.0 bspw. mittels Kundenintegrationen, Hochschul- oder Forschungskooperationen bis hin zu der Beteiligung an Partnernetzwerken oder Plattform-Konzepten ausgestaltet werden. Ein erfolgreiches Beispiel aus den analysierten Projekten wird in der Kategorie Best Practice aufgeführt. Eine Verlinkung zu der Projektdarstellung ermöglicht die Anreicherung der Informationen oder eine Kontaktaufnahme.

Die Lösungsmuster stehen in Abhängigkeitsbeziehungen zueinander. Sie werden demnach selten einzeln umgesetzt, sondern bilden mit weiteren Lösungsmustern einen Umsetzungspfad. Die Lösungsmuster sind demnach in eine geeignete Reihenfolge zu bringen. Die Anwendung eines Lösungsmusters kann bspw. die vorherige Einführung eines anderen Lösungsmusters erfordern oder den Einsatz eines weiteren Lösungsmusters ermöglichen. Daher werden sog. Mustersysteme je Muster als visuelle Baumgrafik in die Musterschablone integriert. Es werden mit dem Mustersystem direkte Voraussetzungen des Lösungsmusters Externe Kooperationen (z.B. Schutzkonzepte für Daten und Know-How) sowie die nachfolgend möglichen Lösungsmuster (z.B. Prädiktive Analysen) dargestellt. Die Herleitung dieser Mustersysteme ist nicht Fokus der Arbeit und wird daher im Anhang (vgl. Anhang A6) kurz erläutert.

5.3.4 Lösungsmusterkombination

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 mit Hilfe der Lösungsmuster. Hierbei soll gewährleistet werden, dass die drei Dimensionen Mensch, Organisation sowie Technologien zweckmäßig und möglichst gleichermaßen berücksichtigt werden. Zur Unterstützung der soziotechnischen Gestaltung werden die Lösungsmuster im Folgenden zu konsistenten Bündeln kombiniert. Ausgehend von den soziotechnischen Problemklassen, welche auch den Ausgangspunkt zur Auswahl eines Lösungsmusters darstellen, werden Bündel mit möglichst hohen Problemabdeckungen je Klasse gesucht. So können Synergien der Lösungen genutzt und das Aufwand-Nutzen-Verhältnis maximiert werden.

Zur Ermittlung der Lösungsmuster-Kombinationen je Problemklasse wird eine Kombinationsanalyse angewendet. Ziel dieser Analyse sind drei[19] Kombinationsmöglichkeiten je Problemklasse, welche eine möglichst hohe Abdeckung der in der Klasse enthaltenen generalisierten Problemstellungen (mindestens 80 Prozent) erreichen. Zur Berechnung dieser Problemabdeckungen wird das Softwaretool Microsoft Excel genutzt. Mittels hinterlegter Algorithmen wird für jede Problemklasse automatisiert ermittelt, welche Kombinationen der Lösungsmuster zu welcher Problemabdeckung in Prozent führt.

Im vorliegenden Beispiel werden die Kombinationsalternativen für die **Problemklasse (PK) 6: Mangelnde Ausrichtung der Unternehmens- und Arbeitskultur** ermittelt (vgl. Bild 5.17). Die Grundlage hierfür bilden die relevanten Problemstellungen der Problemklasse 6 entlang der Komponenten des Strukturierungsrahmens. Insgesamt sind 34 Problemstellungen für die Problemklasse 6 von Relevanz.

Mittels dieser relevanten Problemstellungen wird **im ersten Schritt** ein Vergleich durchgeführt, wie viele Problemstellungen der einzelnen Lösungsmuster mit diesen übereinstimmen (vgl. Bild 5.17). Hierdurch werden Lösungsmuster identifiziert, die einer hohe absolute Häufigkeit der relevanten Problemstellungen der Problemklasse begegnen. Als Lösungsmuster mit einer hohen absoluten Häufigkeit werden dabei jene definiert, die mindestens 50 Prozent der relevanten Problemstellungen der Klasse (hier also mindestens 17 Problemstellungen) adressieren.

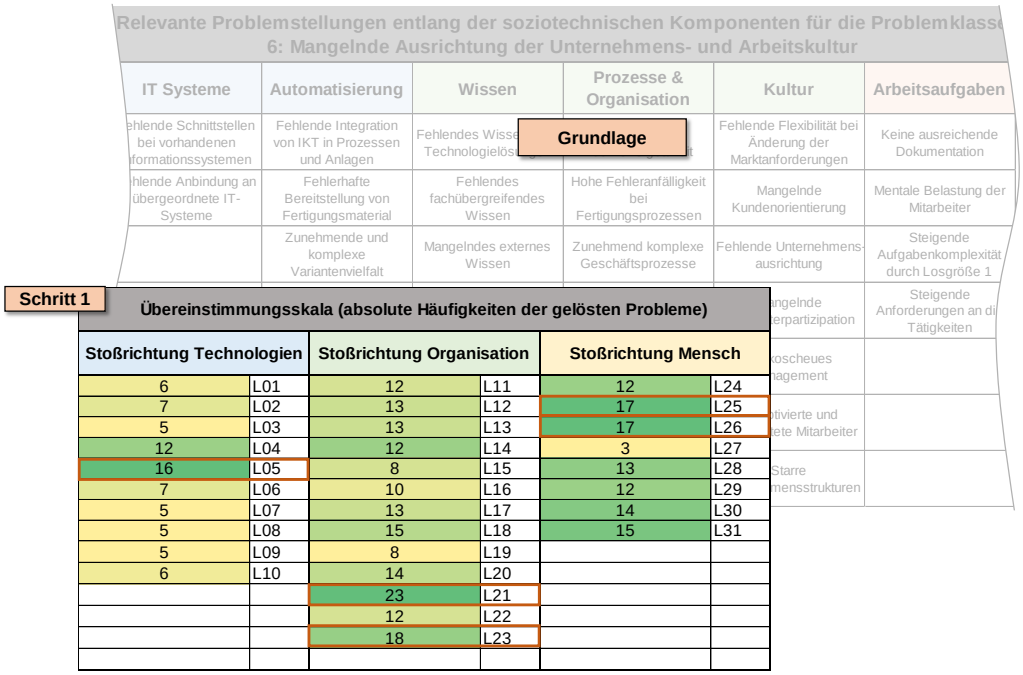


Bild 5.17: Berechnung der absoluten Häufigkeitswerte der relevanten Problemstellungen von PK6 je Lösungsmuster

[19] Es wurde die Anzahl von drei Kombinationsmöglichkeiten festgelegt, um einen überschaubaren Lösungsraum und damit eine möglichst geringe Komplexität zu gewährleisten.

Der Vergleich ergibt, dass das Lösungsmuster *L21 – Wissensmanagement-Systeme* mit der Stoßrichtung der Dimension Organisation mit einer absoluten Häufigkeit von 23 die meisten Problemstellungen der PK 6 adressiert. Weiterhin weisen *L23 – Lernfabrik* (Dimension Organisation), *L25 – Kognitive Assistenzsysteme* (Dimension Mensch), *L26 – Virtuelle/Augmentierte Assistenzsysteme* (Dimension Mensch) sowie *L05 – Durchgängige IT-Infrastruktur* (Dimension Technologie) eine hohe Häufigkeit auf.

In einem **zweiten Schritt** werden für verschiedene Kombinationen der Lösungsmuster berechnet, wie hoch die Problemabdeckung dieser Kombination in Prozent für diese Problemklasse ist. Bei der Kombinatorik wird angestrebt, stets eine überschaubare Anzahl der zusammengestellten Lösungsmuster zu gewährleisten. Die Berechnung startet daher mit der Integration jener Lösungsmuster mit einer hohen absoluten Häufigkeit der relevanten Problemstellungen, d.h. im vorliegenden Beispiel mit L05, L18, L21, L25 und L26. Anschließend werden die Kombinationen schrittweise verändert, indem weitere Lösungsmuster einbezogen werden. Dabei wird über den Algorithmus ermittelt, inwiefern die Problemabdeckung steigt oder sinkt. Insgesamt können für die Problemklasse 6 folgende Lösungsmuster zu Kombinationsmöglichkeiten mit einer Problemabdeckung von mindestens 80% kombiniert werden (Bild 5.18):

Kombinationsanalyse Dimensionsspezifische Muster - Alternative 3

Deckung der Problemstellungen durch Lösungsmuster zu					88,24%
Technologie		Organisation		Mensch	
L01	Z übe				
L02	Prädik				
L03	Annom				
L04	Selbs Proze				
L05	Datend mittels				
L06	Robote auto				
L07	F Trans				
L08	Re				
L09	Sch				
L10	Fernü und				

Schritt 2

Kombinationsanalyse Dimensionsspezifische Muster - Alternative 2

Deckung der Problemstellungen durch Lösungsmuster zu					94,12%
Technologie		Organisation		Mensch	
L01	Zustar				
L02	Prädi				
L03	Anno				
L04	Selbs Proz				
L05	Daten mittel				
L06	Robot aut				
L07	F Tran				
L08	R				
L09	Sc				
L10	Fernüb				

Kombinationsanalyse Dimensionsspezifische Muster - Alternative 1

Deckung der Problemstellungen durch Lösungsmuster zu					100,00%
Technologie		Organisation		Mensch	
L01	Zustands-überwachung	L11	Automatische Auftragsabwicklung	L24	Kollaborative Robotik
L02	Prädiktive Analysen	L12	Neue Fertigungssysteme	L25	Kognitive Assistenzsysteme
L03	Annomalieerkennung	L13	Technologie-Sensibilisierung	L26	Virtuelle / Augmentierte Assistenzsysteme
L04	Selbstoptimierende Prozesssteuerung	L14	Kontinuierliches Prozessmonitoring	L27	Physische Assistenzsysteme
L05	Datendurchgängig-keit mittels IT-Systemen	L15	Kontinuierliche Qualitätsprüfung	L28	Kompetenzaufbau
L06	Roboter zur Prozess-automatisierung	L16	Customization Services	L29	Remote Experten
L07	Fahrerlose Transportsysteme	L17	Tracking und Tracing	L30	Digitale Lernplattform
L08	Retro Fitting	L18	Agile interdisziplinäre Methoden	L31	Flexibler Arbeitsplatz
L09	Schutzkonzepte	L19	Projektmanagement-Software		
L10	Fernüberwachung- und Steuerung	L20	Externe Kooperationen		
		L21	Wissens-management		
		L22	Sensibilisierung I4.0		
		L23	Lernfabrik		

Bild 5.18: Ermittlung der drei Kombinationsmöglichkeiten für PK 6

Die Kombination aus den Lösungsmustern

- Durchgängige IT-Infrastruktur der Stoßrichtung *Technologien*,
- Agile interdisziplinäre Methoden, Wissensmanagement-Systeme und Lernfabrik der Stoßrichtung *Organisation* sowie
- Kognitive Assistenzsysteme und Virtuelle/Augmentierte Assistenzsysteme der Stoßrichtung *Mensch*

deckt die Problemstellungen der Problemklasse 6 zu **100%** ab. Diese Kombination bildet demnach die bevorzugte Kombinationsmöglichkeit und wird als **„Schaffung digitaler Kommunikationsbedingungen“** bezeichnet.

Mit einer Problemabdeckung von **94,12%** wird die Kombinationsmöglichkeit **„Integration externer Stakeholder“** gebildet. Diese setzt sich aus folgenden Lösungsmustern zusammen:

- Selbstoptimierende Prozesssteuerung der Stoßrichtung *Technologien* und
- Externe Kooperationen der Stoßrichtung *Organisation.*

Die dritte Kombinationsmöglichkeit **„Modernisierung der Arbeitsbedingungen“** weist eine **88,24%**ige Problemabdeckung auf. Sie besteht aus den Lösungsmustern

- Fernüberwachung & -steuerung der Stoßrichtung *Technologien*,
- Kontinuierliches Prozessmonitoring, Neue Fertigungssysteme und Technologie-Evaluierung der Stoßrichtung *Organisation*,
- Flexibler Arbeitsplatz sowie Digitale Lernplattformen der Stoßrichtung *Mensch*.

Insgesamt werden mittels der Kombinationsanalysen 24 Kombinationsmöglichkeiten (drei je PK) generiert. Ein Ausschnitt der Kombinationsmöglichkeiten zeigt Bild 5.19. Die vollständige Auflistung präsentiert A5.1.

Problem-klasse	ID	Titel der Kombinations-möglichkeit	Enthaltene Lösungsmuster	Problem-abdeckung
Problemklasse :Unklarheit bzgl. der Gestaltung von Prozessen	M3.1	Strategische Zusammenarbeit	Agile interdisziplinäre Methoden	100%
			Externe Kooperationen	
			Wissensmanagement-Systeme	
			Lernfabrik	
	M3.2	Durchgängige Digitale Infrastruktur	Durchgängige IT-Infrastruktur	91%
			Technologie-Evaluierung	
			Digitale Lernplattform	
	M3.3	kundenorientierte und schlanke Prozessausrichtung	Kontinuierliches Prozessmonitoring	82%
			Neue Fertigungssysteme	
			Customization Services	
			Kognitive Assistenzsysteme	
			Technologie-Kompetenzaufbau	
Problemklasse : Defizite im Qualifizierungsmanagement	M4.1	Praxisorientierter Aufbau von Digitalisierungs-kompetenzen	Agile interdisziplinäre Methoden	100%
			Wissensmanagement-Systeme	
			Lernfabrik	
			Technologie-Kompetenzaufbau	
	M4.2	Qualifizierung bzgl. Digitali-sierungs-technologien	Selbstoptimierende Prozesssteuerung	91%
			Technologie-Evaluierung	
			Digitale Lernplattform	
	M4.3	Deskriptiver Aufbau von Digitalisierungs-kompetenzen	Durchgängige IT-Infrastruktur	83%
			Kontinuierliches Prozessmonitoring	
			Kontinuierliche Qualitätsprüfung	
			Neue Fertigungssysteme	
			Kognitive Assistenzsysteme	
oblemklasse : Defizite im digitalen Wissenstransfer	M5.1	Digitale Verteilung von Prozess-wissen	Selbstoptimierende Prozesssteuerung	100%
			Wissensmanagement-Systeme	
			Digitale Lernplattform	
	M5.2	Digitale Wissens-dokumen-tation	Kontinuierliches Prozessmonitoring	89%
			Wissensmanagement-Systeme	
			Digitale Lernplattform	
	5.3	nti-icher ma-abruf	Kontinuierliche Qualitätsprüfung	89%
			Tracking und Tracing	

Bild 5.19: Liste der Kombinationsmöglichkeiten je Problemklasse (Ausschnitt)

Jede Kombinationsmöglichkeit besteht aus einer unbestimmten Anzahl an Lösungsmustern, sodass die Problemstellungen einer Problemklasse möglichst umfassend, mindestens jedoch zu 80 Prozent, abgedeckt werden. In der Regel doppeln sich die zugeordneten Lösungsmuster im Rahmen einer Problemklasse nicht. Die Kombinationsmöglichkeiten werden im Folgenden, bezogen auf die Problemklasse und mit ihren enthaltenen Lösungsmustern, kurz beschrieben:

M1.1: Daten- und Wissensbasierte Neuausrichtung der Produktion

Aufgrund der mangelnden Verwendung von Prozess- und Anlagendaten verpassen Unternehmen die Möglichkeit, ihre Prozesse zu optimieren oder gar neue Geschäftspotentiale aufzudecken. Um dem entgegenzuwirken, ermöglicht die Erzeugung, Sammlung und Verwendung von Daten eine intelligente Produktion. In dieser können Störungen bspw. über Anomalieerkennungen frühzeitig erkannt und die Steuerung optimiert werden. Der Einsatz von datenbasierten Roboter- oder Assistenzsystemen erleichtert weiterhin die Zusammenarbeit mit dem Menschen.

M1.2: Steigerungen der Prozessgenauigkeiten

Infolge der Verwendung von überholter Prozess- und Anlagentechnik oder dem ungünstigen Einsatz von manueller Arbeit können Qualitätsvorgaben für die Erzeugnisse oftmals nicht eingehalten werden. Mit Hilfe geeigneter Assistenzsysteme oder dem Einsatz von Robotik können die Prozesse aus technischer Sicht qualitätskonform durchgeführt und die Prozessgenauigkeit gesteigert werden. Darüber hinaus lassen sich im Rahmen der Dimension Organisation Kontrollsysteme für die Überprüfung der Genauigkeit integrieren. Eine Steigerung der Prozessgenauigkeit durch den Menschen kann durch einen geeigneten Wissenstransfer, bspw. über Remote Experten, erreicht werden.

M1.3: Digitale Überwachung

Unternehmen, die häufig mit Systemausfällen oder unerwarteten Störungen von Maschinen und Anlagen konfrontiert werden, fehlt der allumfassende Überblick über den Zustand ihres Maschinenparks. Unter Einsatz von Zustandsüberwachungen der Maschinen und Anlagen sowie ihre Vernetzung miteinander kann der Status des gesamten Produktionsprozesses nachverfolgt werden. Dadurch sind aus organisatorischer Perspektive bspw. neue interne Services wie Tracking und Tracing von Material möglich. Weiterhin ermöglicht die digitale Überwachung über mobile Geräte eine Entkoppelung des Menschen vom Arbeitsplatz und somit mehr Flexibilität in den Arbeitsaufgaben.

M2.1: Datenbasierte autonome Prozesssteuerung und -kontrolle

Die Verkettung von Prozessschritten birgt die Gefahr von nicht identifizierbaren Störungen, solange nicht jedes einzelne Glied dieser Prozesskette permanent überwacht wird. Mittels der Analyse von bspw. Maschinen- und Anlagendaten sowie der Erkennung von Anomalien werden Störungen frühzeitig erkannt und mehr und mehr Wissen über die

eigenen Prozesse aufgebaut. Dieses gilt es zu Kontrollzwecken über Wissensmanagement-Systeme bereitzustellen. Durch selbstständige Parametereinstellungen wird weiterhin ein reibungsloser Prozessablauf ermöglicht.

M2.2: Schnittstellenoptimierung von Mensch und Maschine

Fehlende Kenntnisse der Arbeitskräfte führen dazu, dass veränderte Situationen im Prozess nicht rechtzeitig erkannt werden und die Adaption der Arbeitsweise nicht eigenverantwortlich durchgeführt wird. Es kommt vermehrt zu Fehlern. Die optimierte Planung der Mensch-Maschine-Interaktion durch ein geeignetes Projektmanagementsystem bietet die Möglichkeit, die Mitarbeiter/Mitarbeiterinnen auf geänderte Umstände systematisch vorzubereiten. Zugleich unterstützen bspw. kognitive Assistenzsysteme oder Monitoringsysteme dabei, komplexe Produktionsprozesse leichter nachzuvollziehen und Arbeitsschritte fehlerfrei umzusetzen.

M2.3: Kundenindividuelle und automatische Prozessabwicklung

Der Wunsch nach kundenindividuellen Produkten stellt Unternehmen oftmals vor die Herausforderung, die Einzelfertigung in ihre bereits bestehenden (Serien-) Fertigungsprozesse und -systeme effizient zu integrieren. Die Aufnahme von Kundendaten und Einspeisung von Auftragsdaten aus ERP-Systemen in die Fertigung ermöglicht hierbei eine optimierte Planung bis hin zu automatisierter Ausführung der Produktionsaufträge. Parallel bringt dies neue mögliche Arbeitsmodelle, z.B. Remote Kommunikation mit dem Kunden in Echtzeit, im Unternehmen hervor.

M3.1: Strategische Zusammenarbeit

Betriebsblindheit und starre Strukturen hemmen in der Regel die Innovationsfähigkeit des eigenen Unternehmens. Durch ausbleibende kritische Selbstbewertung und Risikoscheue wird ein Unternehmen im Zeitalter der Digitalisierung zukünftig nur schwer wettbewerbsfähig bleiben. Eine strategische Zusammenarbeit mit bspw. Kunden oder Forschungsinstituten sowie eine Öffnung der Prozesse durch agile Methoden kann dem entgegenwirken. So werden die Geschäftsprozesse kontinuierlich weiterentwickelt und Synergieeffekte durch Kompetenzbündelung aufgezeigt, um neue Innovationspotentiale zu erschließen.

M3.2: Durchgängige Digitale Infrastruktur

In Folge von Insellösungen kann das Potential aufgenommener Daten nicht erschlossen werden. Um bspw. Wissen über den Anlagenzustand zu generieren, müssen Mitarbeiter/innen die Informationen aus mehreren Quellen und Formaten extrahieren. Eine Rückverfolgbarkeit wird hierdurch erschwert. Zur Lösung bietet sich eine Integration der verschiedenen Insellösungen in eine durchgängige IT-Infrastruktur an. Durch diese sowie einheitliche Datenformate kann das Know-How über die Prozesse im gesamten Unternehmen bereitgestellt, verteilt und über Lernplattformen digital angeeignet werden.

M3.3: Kundenorientierte und schlanke Prozessausrichtung

Der Trend zu einer kundenindividuellen Produktion erfordert eine flexible und schnelle Anpassung aller Maschinen- und Personalkapazitäten. Starre Strukturen und Abläufe eines Unternehmens verhindern diese Flexibilität. Unterstützende Assistenz- und Monitoringsysteme schaffen Abhilfe und begleiten den Mitarbeiter/die Mitarbeiterin durch den kundenindividuellen Arbeitsprozess. Durch diese sowie neue Fertigungssysteme werden variantenreiche Prozesse und Änderungen schnell und fehlerarm vorgenommen.

M4.1: Praxisorientierter Aufbau von Digitalisierungskompetenzen

Fehlendes Wissen hinsichtlich der Digitalisierung hemmt die Weiterentwicklung eines Unternehmens. Es können schlimmstenfalls Fehlentscheidungen getroffen werden, die zu finanziellen Einbußen führen. Demnach gilt es, den Aufbau von Digitalisierungskompetenzen im Unternehmen zu fördern. Mit Hilfe interdisziplinär zusammengestellter Arbeitsgruppen und durch die gezielte Weitergabe des Know-Hows können Unternehmen eigene Experten ausbilden. Infrastrukturlösungen wie Lernfabriken halten dabei den Praxisbezug aufrecht.

M4.2: Qualifizierung bzgl. Digitalisierungstechnologien

Die Unkenntnis über innovative Technologien und deren Potentiale führen zu einer Weiterführung überholter Prozess- und Anlagentechniken. Dies resultiert u.a. in einer ineffizienten Auslastung von Produktionskapazitäten. Mit Hilfe einer Evaluierung von neuen Technologien, bspw. durch den Aufbau von Testumgebungen in sog. Smart Factories, sowie Schulungen der Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen werden Technologiepotentiale aufgedeckt. Durch die Qualifizierung bzgl. einer effizienten Datennutzung durch neue Technologien werden z.B. (teil-) autonome Prozesssteuerungen möglich.

M4.3: Deskriptiver Aufbau von Digitalisierungskompetenzen

Der traditionelle Gebrauch von veralteten Prozess- und Anlagentechniken bei einem gleichzeitig hohen Anteil an langjährig Beschäftigten verhindert oftmals die Auseinandersetzung der Mitarbeiter/innen mit neueren Technologien. Zudem senkt er die Motivation des kontinuierlichen und selbstständigen Erlernens dieser. Durch die digitale Unterstützung des Umgangs mit neuen Technologien, bspw. durch kontextspezifische Bedienungsanweisungen, wird die Unsicherheit der Mitarbeiter/innen reduziert und Kompetenzen für Industrie 4.0 werden aufgebaut.

M5.1: Digitale Verteilung von Prozesswissen

Die mangelnde Weitergabe von Wissen bremst Unternehmen in ihrer Weiterentwicklung, da bspw. bereits aufgetretene Aufgaben oder Probleme unreflektiert wiederholt werden. Ein Wissenszuwachs bleibt zudem aus. Die digitale Sammlung und Weitergabe von Wissen und Erfahrungen in Wissensmanagement-Systemen verringert dementsprechend die Wahrscheinlichkeit, dass Fehler wiederholt werden. Weiterhin kann das dokumentierte

Wissen zu Qualifizierungszwecken eingesetzt werden. Zudem können durch eine Datenanalyse Fehler frühzeitig erkannt und ggf. autonom behoben werden.

M5.2: Digitale Wissensdokumentation

Die analoge Dokumentation von Fachwissen und Prozessinformationen stößt aufgrund mangelnder Kapazitäten, fehlender Standards, unzureichendem Input und der ineffizienten Distribution an ihre Effizienzgrenzen. Wissen, als ein Erfolgsfaktor für effiziente Prozessgestaltung, ist digital verfügbar zu machen. Die kontinuierliche Dokumentation und Ablage von gefilterten Prozessdaten vereinfachen den Zugriff auf Informationen und unterstützen den Mitarbeiter/die Mitarbeiterin in der Analyse der aktuellen Situation. Durch digitale Lernplattformen wird das Potential der Wissensdatenbank ausgeschöpft.

M5.3: Kontinuierlicher Informationsabruf

Eine hohe Dynamik von Gütern innerhalb eines Unternehmens kann logistische Herausforderungen, ineffiziente Durchlaufzeiten sowie komplexe und wenig abgestimmte Prozesse zur Folge haben. Durch die Kennzeichnung von Gütern oder Maschinen sowie mittels smarter Sensorik können Informationen dieser, bspw. die Position sowie der Produktionsfortschritt, kontinuierlich und ortsunabhängig verfolgt werden. Hierdurch wird eine Flexibilitätssteigerung in den Arbeitsabläufen erreicht.

M6.1: Schaffung digitaler Kommunikationsbedingungen

Aufgrund unzureichender Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien in die Unternehmensprozesse und fehlender Schnittstellen wird die Kommunikation zwischen Mitarbeitern/Mitarbeiterinnen erschwert. Informationen gehen verloren, Missverständnisse entstehen und Prozesse sind nur schwer nachzuvollziehen. Um dem entgegenzuwirken sind die Kommunikationswege digital zu gestalten und die Zusammenarbeit zu fördern. Über geeignete Assistenzsysteme wird den Mitarbeitern/Mitarbeiterinnen bspw. auftragsspezifisches Wissen digital bereitgestellt, ohne von anderen Personen abhängig zu sein. Gleichzeitig wird die interdisziplinäre Kommunikation durch neue Arbeitsmodelle wie agilen Methoden beeinflusst. Bei eventuellen Rückfragen wird eine adhoc Kommunikation zwischen den Angestellten über verknüpfte IT-Systeme ermöglicht.

M6.2: Integration externer Stakeholder

Begrenztes Wissen innerhalb eines Unternehmens erschwert die Einführung von Industrie 4.0. Das fehlende Wissen gilt es, durch externe Unterstützung, bspw. Forschungspartner, Kunden oder Lieferanten, auszugleichen. Durch die Zusammenarbeit mit externen Stakeholdern wird ein Zugang zu benötigtem Wissen geschaffen, ohne den Personalstamm zu erweitern. Langfristige Kosten können hierdurch vermieden werden. Durch die frühzeitige Integration von Kunden oder Lieferanten können weiterhin bspw. die Prozesszeit verkürzt und Fehler verhindert werden.

M6.3: Modernisierung der Arbeitsbedingungen

Die gesamte Unternehmenskultur, insb. die Gestaltung der Arbeitsprozesse und -plätze der Mitarbeiter/innen, sind nicht auf die Einführung von Industrie 4.0 ausgerichtet. Die Arbeitsprozesse sind geprägt von Medienbrüchen, Wissenslücken sowie einer hohen Fehleranfälligkeit. Die Modernisierung der Arbeitsbedingungen ist demnach ein relevanter Schritt, um die Mitarbeiter/innen auf die steigenden Anforderungen durch Industrie 4.0 vorzubereiten. Die Arbeitsprozesse und -bedingungen können u.a. durch die Nutzung von Daten erleichtert werden, sodass Abläufe transparent und ortsunabhängig gestaltet werden. Dabei werden die Mitarbeiter/innen an dem Modernisierungsprozess beteiligt, indem durch sie eine Evaluierung von möglichen Technologien durchgeführt und bedarfsgerecht auf Digitalen Lernplattformen geschult wird.

M7.1: Robotergestützte Assistenz kognitiver Aufgaben

Das Streben nach einer kundenindividuellen Fertigung stellt Unternehmen vor organisatorische Herausforderungen bzgl. der internen Arbeitsabläufe und der Unterweisung der Belegschaft. Die mentale Belastung der Mitarbeiter/innen nimmt stetig zu, sodass vermehrt Fehler oder Qualitätseinbußen auftreten. Kollaborative Roboter oder Assistenzsysteme entlasten die Mitarbeiter/innen in ihren ausführenden Tätigkeiten und bieten strukturierte Arbeitsprozesse. Das Zusammenspiel von Mensch und System kann dabei in eigenen oder externen Lernfabriken erprobt und gestärkt werden, um eine zusätzliche mentale Belastung durch Überforderung zu vermeiden.

M7.2: Aus- bzw. Umlagern von Kapazitäten

Veraltete Fertigungsprozesse und -anlagen erfordern oftmals viele manuelle Tätigkeiten. Gleichzeitig existiert ein Fachkräftemangel. Dies führt zu Qualitäts-, Zeit- und Kosteneinbußen. Das Aus- bzw. Umlagern von Kapazitäten ist eine Möglichkeit, diese Mängel auszugleichen. Die vermehrte Übernahme von Aufgaben durch Maschinen oder Robotik, z.B. fahrerlose Transportsysteme, gestattet Unternehmen, frei gewordene Kapazitäten für andere manuell geprägte Prozesse einzusetzen. Darüber hinaus führt ein Ausgleich des Mangels durch die Integration von externem Know-How zu einer Leistungsoptimierung.

M7.3: Entlastung körperlich beanspruchender Tätigkeiten

Monoton wiederkehrende und körperlich belastende Tätigkeiten führen in einem Unternehmen zu einer Verschlechterung der Arbeitsmoral und zur Erhöhung des Krankenstands. Zur Entlastung körperlich beanspruchender Tätigkeiten können diese Aufgaben von autonom agierenden Produktions- und Logistiksystemen übernommen werden. Des Weiteren erleichtern adaptive physische Assistenzsysteme sowie kollaborierende Robotersysteme die körperlichen Tätigkeiten bei gleichzeitig hoher Prozessgenauigkeit.

M8.1: Kompetenzausgleich durch (Teil-) Automatisierung

Aufgrund fehlender Personalkapazität, kurzer Einarbeitungszeiten und zunehmend komplexen Geschäftsprozessen steigen die Anforderungen an die Tätigkeiten. Eine hohe Anpassungsfähigkeit wird erforderlich. Insgesamt fehlt es an Kompetenzen im Umgang mit Industrie 4.0 Tätigkeiten. Prozessschritte ohne zwingende Notwendigkeit von menschlicher Anwesenheit können zum Ausgleich des Kompetenzmangels automatisiert und die Kapazitäten anderweitig genutzt werden. Hierdurch werden Mitarbeitern/Mitarbeiterinnen teilweise neue Aufgaben zugeordnet. Durch Assistenzsysteme wird eine erfolgreiche Kapazitätsumlagerung gefördert.

M8.2: Einsatz von Mensch-Maschine-Interaktionen

In einigen Fertigungsprozessen stoßen menschliche Fertigkeiten an ihre Grenzen. Dies kann auf Kosten der Produktqualität gehen oder bis hin zu einer Gefährdung der Arbeitnehmer/innen reichen. Durch zunehmende Mensch-Maschine-Interaktionen können die Belastungen der Mitarbeiter/innen und Arbeitssicherheitsrisiken reduziert sowie Qualitätssteigerungen erreicht werden. Hierbei können Robotik-Systeme sowohl körperliche als auch kognitiv anspruchsvolle Tätigkeiten ggf. automatisiert übernehmen.

M8.3: Technologieorientierte Kompetenzverlagerung

Die Rentabilität der menschlichen Arbeitsleistung ist in vereinzelten Prozessen aufgrund stetig steigender Qualitätsanforderungen oder des begrenzten digitalen Know-Hows nicht ausreichend. Im Zuge der Digitalisierung und durch innovative Technologien besteht die Möglichkeit, dass die Arbeitsleistung (voll-) umfänglich durch den Einsatz neuer Technologien übernommen wird. Durch die Integration von Remote Experten und den Datenzugriff ist die physische Präsenz von Personal nicht mehr zwingend erforderlich. Menschliche Kompetenzen werden auf andere Aufgaben verlagert und Mitarbeiter/innen entsprechend umgeschult.

Die Lösungsmusterkombinationen werden in einem Steckbrief transparent visualisiert. In diesem wird zunächst die Problemklasse aufgeführt, welche die Kombination adressiert. Weiterhin wird eine Problemspezifizierung für diese Kombination in Prosa vorgenommen und die Problemabdeckung in Prozent angegeben. Anschließend wird die Kombinationsmöglichkeit kurz textuell zusammengefasst und die kombinierten Lösungsmuster werden je soziotechnischer Stoßrichtung aufgelistet. Einen beispielhaften Steckbrief zeigt Bild 5.20, die vollständige Steckbriefsammlung ist in Anhang A5.2 dargestellt.

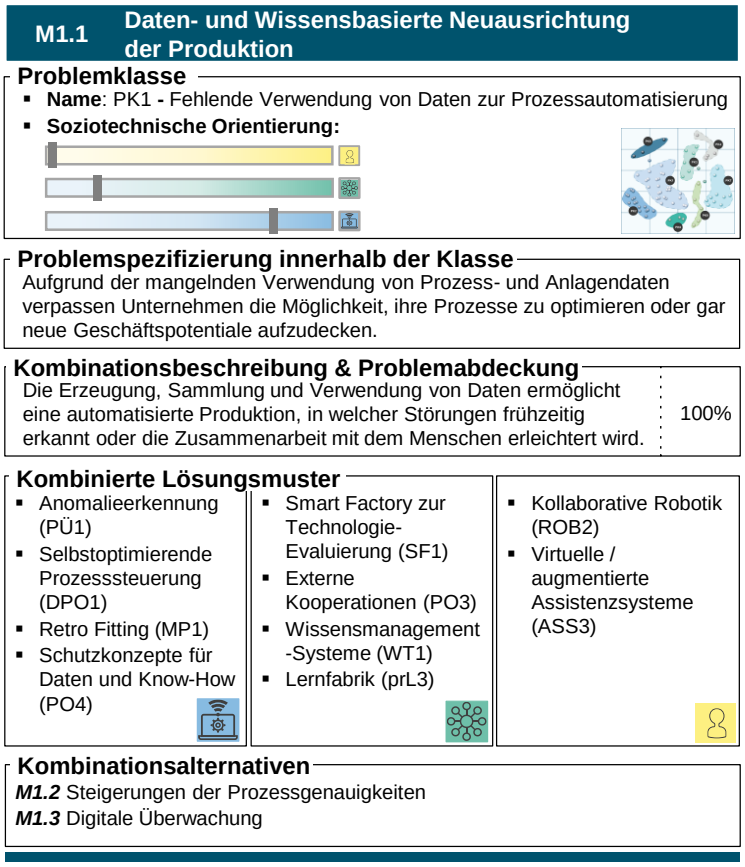


Bild 5.20: Steckbrief der Kombinationsmöglichkeiten

Zur Unterstützung der Kombinationsbewertung hinsichtlich Synergien werden die Kombinationsmöglichkeiten mittels einer Matrix auf Konsistenzen geprüft (vgl. Bild 5.21).

Konsistenzmatrix hinsichtlich der Kombinationsmöglichkeiten Fragestellung: "Inwiefern ist die gemeinsame Umsetzung der Kombinationsmöglichkeit der Spalte mit der Kombinationsmöglichkeit der Zeile als konsistent zu bewerten?" Bewertungsmaßstab: -1 = wenig konsistent 0 = konsistent 1 = höchst konsistent	Kombinationsmöglichkeiten	Daten- und Wissensbasierte Neuausrichtung der Produktion	Steigerung der Prozessgenauigkeiten	Digitale Überwachung	Datenbasierte autonome Prozesssteuerung- und -kontrolle	Schnittstellenoptimierung von Mensch und Maschine	Kundenindividuelle und automatische Prozessabwicklung	Strategische Zusammenarbeit	Digitale Know-How Weitergabe	Kundenorientierte und schlanke Prozessausrichtung	Praxisorientierter Aufbau von Digitalisierungskompet
Kombinationsmöglichkeiten	Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Daten- und Wissensbasierte Neuausrichtung der Produktion	1		-1	-1	1	-1	1	1	-1	-1	1
Steigerung der Prozessgenauigkeiten	2			-1	-1	1	1	-1	-1	1	-
Digitale Überwachung	3				1	-1	1	-1	-1	1	
Datenbasierte autonome Prozesssteuerung- und -kontrolle	4					-1	-1	-1	-1	-1	
Schnittstellenoptimierung von Mensch und Maschine	5						-1	-1	-1	1	
Kundenindividuelle und automatische Prozessabwicklung	6							-1	-1	-1	
Strategische Zusammenarbeit	7								-1	-1	1
Digitale Know-How Weitergabe	8									-1	-1
Kundenorientierte und schlanke Prozessausrichtung	9										-1
Praxisorientiert											

Bild 5.21: Ausschnitt der Konsistenzmatrix für die Kombinationsmöglichkeiten

Mittels der Konsistenzmatrix wird bewertet, ob die Umsetzung der Kombinationsmöglichkeit der Spalte gemeinsam mit der Kombinationsmöglichkeit der Zeile konsistent ist. Die Lösungsmuster, als Bestandteile der Kombinationsmöglichkeiten, fließen in die Konsistenzanalyse ein. Als höchst konsistent (Bewertungswert = 1) wird demnach eine Kombination bewertet, wenn sowohl mindestens zwei identische als auch voneinander abhängige (siehe Mustersysteme in den Musterkarten) Lösungsmuster Bestandteil der zu vergleichenden Kombinationsmöglichkeiten sind. Können im Vergleich zweier Kombinationen lediglich identische Lösungsmuster identifiziert werden, so wird die Kombination als konsistent eingestuft (Bewertungswert = 0). Sind die Lösungsmuster der zu vergleichenden Kombinationsmöglichkeiten weder identisch noch abhängig voneinander, wird diese Kombination als wenig konsistent (Bewertungswert = -1) bewertet. Die Kombinationsmöglichkeit „**Praxisorientierter Aufbau von Digitalisierungskompetenzen“** setzt sich bspw. aus den Mustern

- „Agile interdisziplinäre Methoden“,
- „Wissensmanagement-Systeme“,
- „Lernfabrik“ sowie
- „Technologieorientierter Kompetenzaufbau“

zusammen. Die Kombinationsmöglichkeit **„Strategische Zusammenarbeit“** besteht aus den Mustern

- „Agile interdisziplinäre Methoden“,
- „Externe Kooperationen“,
- „Wissensmanagement-Systeme“ sowie
- „Lernfabrik“.

Wird im Rahmen der Konsistenzmatrix nun diese Kombination verglichen, so sind zum einen drei identische Lösungsmuster („Agile interdisziplinäre Methoden“, „Wissensmanagement-Systeme“, „Lernfabrik“) erkennbar. Zum anderen ist aus der Bedingungsmatrix ableitbar, dass bspw. das Muster „Wissensmanagement-Systeme“ eine Voraussetzung zur Einführung des Musters „Agile interdisziplinäre Methoden“ ist. Dieses schafft wiederum die Rahmenbedingungen für die Umsetzung des Musters „Externe Kooperationen“. Die Kombinationsmöglichkeiten „Praxisorientierter Aufbau von Digitalisierungskompetenzen“ und „Strategische Zusammenarbeit“ werden daher als höchst konsistent (Wert = 1) eingestuft.

6 Anwendung und kritische Bewertung

In diesem Kapitel erfolgt die Evaluation *der Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand*. Hierfür werden diese in der Praxis angewendet und nachfolgend bewertet. Die einzelnen Phasen des entwickelten Vorgehensmodells zur Anwendung der Lösungsmuster und die darin enthaltenen Werkzeuge werden in *Abschnitt 6.1* eingeführt. Die Evaluation der Lösungsmuster erfolgte über verschiedene Veranstaltungen bei insgesamt ca. 90 Unternehmen. Im Folgenden wird ein konkretes Praxisbeispiel aus dem Verbundprojekt INLUMIA zur Demonstration der nutzenstiftenden Lösungsmusteranwendung präsentiert. Das mittelständische Anwendungsbeispiel aus der Luft-, Klima- und Abgastechnik sowie dessen Ausgangssituation im Kontext von Industrie 4.0 werden in *Abschnitt 6.2* näher erläutert. Die Resultate des Anwendungsbeispiels werden in *Abschnitt 6.3* beschrieben. In *Abschnitt 6.4* werden die *Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand* abschließend bewertet, indem sie den in Abschnitt 3.8 abgeleiteten Anforderungen gegenübergestellt werden.

6.1 Vorgehensmodell und Werkzeuge der Musteranwendung für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand

Um die Anwendung der Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung in der Industrie einfach zu gestalten, ist diese methodisch zu unterstützen. Dabei ist zum einen die systematische Suche und Auswahl der für das Unternehmen geeigneten Lösungsmuster zu forcieren. Zum anderen die zweckmäßige Anordnung der Lösungsmuster in einem Umsetzungspfad, sodass sie erfolgversprechend implementiert werden. Darüber hinaus ist die individuelle Übertragung der generalisierten Informationen auf das Unternehmen zu adressieren. Dabei sind die in den vorherigen Abschnitten erarbeiteten Werkzeuge wie die Problemklassen, die Lösungsmusterkombinations-Steckbriefe oder die Musterkarten sowie ergänzende Werkzeuge mit konkreten Handlungsanweisungen für die Unternehmen zu verknüpfen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde daher zur nutzenstiftenden Anwendung der Lösungsmuster ein vierphasiges Vorgehensmodell entwickelt, welches als Leitfaden zur Auswahl und Anwendung dieser dient (vgl. Bild 6.1). Das Vorgehensmodell ist in interdisziplinären Workshops im Unternehmen zu durchlaufen. Für die einzelnen Phasen können dabei unterschiedliche Disziplinen und Rollen einbezogen werden.

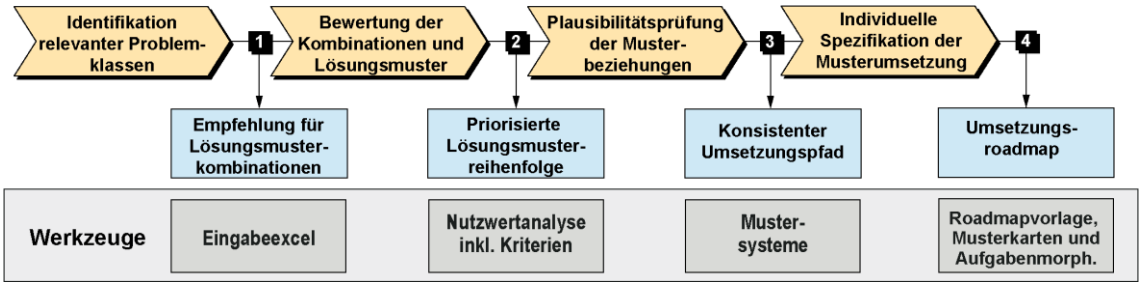


Bild 6.1: Vorgehensmodell zur Auswahl und Anwendung der Lösungsmuster

Die einzelnen Phasen des Vorgehensmodells sowie die unterstützenden Werkzeuge je Phase werden im Folgenden erläutert.

Phase 1: Identifikation relevanter Problemklassen

In der ersten Phase zur Anwendung der Lösungsmuster werden die für das Unternehmen relevanten soziotechnischen Problemstellungen und daraus die relevanten Problemklassen ermittelt. Sie bilden die Grundlage zur Empfehlung geeigneter Lösungsmusterkombinationen. Die Identifikation der relevanten Problemstellungen erfolgt über eine entwickelte Eingabe-Matrix als Excel-Tool. Sie listet die generalisierten Problemstellungen des soziotechnisch strukturierten Problemradars Industrie 4.0 (vgl. Abschnitt 5.3.1.2) auf. Mittels der Eingabe-Matrix beantwortet das Unternehmen die Frage, ob eine Problemstellung bzgl. Industrie 4.0 in ihrer Organisation von Relevanz ist. Die Beantwortungswerte für die Problemstellungen stehen standardmäßig auf dem Wert „0“, welcher für „nicht relevant“ steht. Tritt eine einzelne Problemstellung in dem jeweiligen Unternehmen auf, wird der Wert „0“ entsprechend auf den Wert „1“ gewechselt. Es empfiehlt sich, die Befüllung der Eingabematrix von einer Verantwortlichkeit durchführen zu lassen, welche eine möglichst weite Sicht auf den betrachteten Unternehmensbereich hat. Dabei kann es sich je nach Unternehmensgröße bspw. um eine leitende Funktion bis hin zu der Geschäftsführung handeln. Die individuellen Werte des Unternehmens fließen anschließend automatisch in einen Berechnungsalgorithmus ein. Dieser ermittelt, inwiefern die relevanten Problemstellungen mit den Problemstellungen der entwickelten Problemklassen übereinstimmen. Aus der Berechnung resultiert ein Ranking über alle acht Problemklassen, wobei die ersten drei Rangplätze zur weiteren Berücksichtigung vorgeschlagen werden (mind. 50% Problemübereinstimmung zwischen der Problemklasse und den relevanten Problemstellungen des Unternehmens). Auf Grund der direkten Verknüpfung der Problemklassen zu jeweils drei Lösungsmusterkombinationen, werden diese dem Unternehmen zur Anwendung empfohlen. Um den entstandenen Lösungsraum für die drei Problemklassen von insgesamt neun möglichen Kombinationen weiter zu reduzieren und die für das Unternehmen geeignetsten Lösungsmuster zu identifizieren, erfolgt in der nachfolgenden Phase eine systematische Bewertung dieser.

Phase 2: Bewertung der Kombinationen und Lösungsmuster

Die Bewertung der Lösungsmusterkombinationen erfolgt mit Hilfe einer Nutzwertanalyse. Im Sinne eines effektiven Bewertungsprozesses ist es dabei erforderlich, eine Vergleichbarkeit der Bewertungen über einheitliche Kriterien zu gewährleisten. Zur Erarbeitung von geeigneten Bewertungskriterien wurde eine Literaturanalyse von zehn Ansätzen zu Technologiebewertungskriterien mit Bezug zu Industrie 4.0 durchgeführt. Bild 6.2 zeigt einen Ausschnitt der Analyse.

Autor/ Kriterien	Hoher Strategiefit	Hohe Dringlichkeit	Niedriger Aufwand	Niedriges Risiko	Hoher Nutzen	Nachhaltigkeit
Amhoff, Benjamin **[Ams06]**		✓		✓		
Berger, Timo **[Ber06]**	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Menthe, Thomas; Sieg, Manfred **[MS06]**	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Nöhring, F.; Wöstmann, R., Deuse, J. **[NWD18]**	✓	✓	✓		✓	
Schöning, Sebastian **[Sch06]**	✓		✓		✓	✓
Kröll, Marks **[Krö07]**	✓	✓	✓		✓	
Arndt, Holger **[Arn15]**					✓	

Bild 6.2: Analyse von Bewertungskriterien für Lösungsmuster zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand

Resultierend werden für die Bewertung der Lösungsmuster sechs Bewertungskriterien (vgl. Bild 6.3) bereitgestellt:

1) Der **Strategiefit** berücksichtigt das Einfügen der Lösungsmuster(-kombinationen) in das strategische Rahmenwerk des Unternehmens. Dazu ist die Konformität zu der relevanten Bereichsstrategie sowie zu den Kernkompetenzen des Unternehmens zu bewerten. Weiterhin wird die strategische Bedeutung im Wettbewerb berücksichtigt.

2) Im Rahmen der **Dringlichkeit** wird bewertet, inwieweit die Einführung der Lösungsmuster(-kombinationen) zeitkritisch ist. Hierzu werden Faktoren wie Wettbewerbsdruck sowie Kundenanforderungen ins Kalkül gezogen.

3) Auch wenn die Einführung neuer Industrie 4.0 Lösungen stets mit Aufwänden verbunden sind, sollten diese, insb. unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen des Mittelstands, tragbar sein. Der **Aufwand** wird daher über die Einschätzung der Personal- und Kostenaufwände sowie des Projektumfangs beurteilt.

4) Das **Risiko** der Lösungsmuster(-kombinationen) wird zum einen durch Faktoren wie der Konkurrenzsituation bestimmt. Zum anderen fließen weichere Risikofaktoren wie die Mitarbeitermotivation und -akzeptanz in die Bewertung ein.

5) Wesentliches Ziel von Industrie 4.0 ist die Generierung von nutzenstiftenden Leistungen – sowohl für das Unternehmen selbst als auch den Kunden. Der **Nutzen** der Lösungsmuster(-kombinationen) kann dabei bspw. durch die potentielle

Wirtschaftlichkeit, Mitarbeiterzufriedenheit, Kundenbindung oder Weiterentwicklung des Unternehmens ausgedrückt werden.

6) Die Einführung der Lösungsmuster(-kombinationen) ist besonders effizient, wenn **Synergiepotentiale** genutzt werden können. Hierfür wird zum einen die Verträglichkeit zu den weiteren zu bewertenden Lösungsmuster(-kombinationen) beurteilt. Eine Grundlage zur Einschätzung der Synergiepotentiale liefert die Konsistenzmatrix (vgl. Abschnitt 5.3.4) bzw. die extrahierten Informationen bzgl. der verstärkenden Muster in der Musterkarte. Zum anderen werden interne Vorarbeiten sowie bereits eingesetzte Lösungsansätze für Industrie 4.0 berücksichtigt.

Bild 6.3: Bewertungskriterien und dessen Merkmale zur Bewertung der Lösungsmuster(-kombinationen)

Die Ermittlung der einzelnen Gewichtungen der Kriterien erfolgt unter Zuhilfenahme einer sog. Relevanzmatrix. Im Rahmen der Relevanzmatrix wird die Frage beantwortet, ob das Kriterium in der Zeile Priorität vor dem Kriterium in der Spalte hat. Die Beantwortungsskala ist mit 1 und 0 binär. Die Gewichtungen werden prozentual angegeben und verteilen sich wie folgt: Strategiefit 20%, Dringlichkeit 10%, Aufwand 10%, Risiko 20%, Nutzen 30% sowie Synergiepotential 10%. Bei der Erarbeitung der Relevanzmatrix und den daraus resultierenden Gewichtungen handelt es sich dabei um eine subjektive Einschätzung, die im Bedarfsfall individuell anzupassen ist.

Die Befüllung der Nutzerwertanalyse erfolgt in einem interdisziplinären Workshop. Unter Berücksichtigung der Steckbriefe der Lösungsmusterkombinationen werden die Teilnehmer/innen des Unternehmens aufgefordert, die zu bewertenden Möglichkeiten zu diskutieren. Auf einer Bewertungsskala von 0-10 wird gemeinsam ein Bewertungswert festgelegt, wobei „0“ für keine Erfüllung des Kriteriums und „10“ für eine vollumfängliche Erfüllung des Kriteriums steht.

Die Summe aus der Multiplikation der Bewertung mit der Gewichtung je Kriterium führt anschließend zu einer finalen Punktzahl je Kombinationsmöglichkeit. Hierdurch können sie nach absteigender Punktzahl in eine Rangfolge gebracht werden. Die ersten drei Lösungsmusterkombinationen werden zur Umsetzung in dem jeweiligen Unternehmen vorgeschlagen.

Die Kombinationsmöglichkeiten setzen sich dabei aus verschiedenen Lösungsmustern zusammen. Diese Zusammensetzung wird als Lösungsmusterpool bezeichnet. Für den vorliegenden Lösungsmusterpool ist eine erste priorisierte Musterreihenfolge zu bilden. Hierfür wird die Durchführung der Nutzwertanalyse speziell für die einzelnen Lösungsmuster und unter Zuhilfenahme der Lösungsmusterkarten wiederholt. Resultat ist eine gewünschte Priorisierung der Mustereinführung in Form eines individuellen Umsetzugspfads seitens des Unternehmens.

Phase 3: Plausibilitätsprüfung der Musterbeziehungen

Der individuell gewünschte Umsetzungspfad, bestehend aus den bewerteten Lösungsmustern der priorisierten Kombinationsmöglichkeiten, ist in einem nächsten Schritt auf Plausibilität zu prüfen. Hierfür sind die Abhängigkeitsbeziehungen der Lösungsmuster über die Mustersysteme zu berücksichtigen. Die Herleitung des Mustersystems wird im Anhang A6 erläutert. Zur Handhabung der Komplexität des Mustersystems wird für jedes Lösungsmuster eine *reduzierte Form des Mustersystems* extrahiert. In diesem werden lediglich die unmittelbaren Beziehungen des Lösungsmusters, d.h. die vor- und nachgelagerte Umsetzungsphase dargestellt. Ein Beispiel zeigt Bild 6.4.

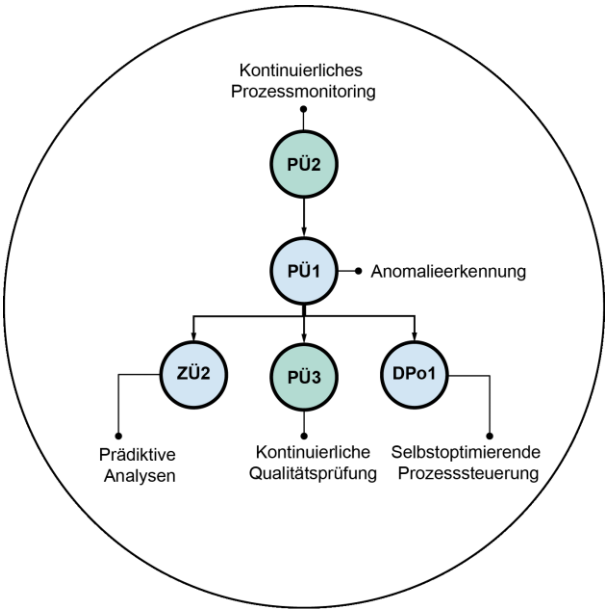


Bild 6.4: Beispiel eines reduzierten Mustersystems

Mit Hilfe der Mustersysteme der einzelnen Lösungsmuster, einsehbar über die Musterkarten, werden zunächst die direkten Voraussetzungsbeziehungen geprüft. Je Lösungsmuster wird demnach untersucht, ob voraussetzende Lösungsmuster bereits in dem Lösungsmusterpool enthalten sind oder ggf. Lösungsmuster aus dem Musterkatalog zu ergänzen sind. Nachdem der Lösungsmusterpool vervollständigt wurde, werden die Umsetzungsphasen der zuvor priorisierten Musterreihenfolge untersucht. Unter Zuhilfenahme des ganzheitlichen Mustersystems wird ermittelt, welche Lösungsmuster in welcher Phase sowie parallel umsetzbar sind. Hieraus wird für das Unternehmen der finale Um-

setzungspfad abgeleitet. Unterstützt wird die Erarbeitung des individuellen Umsetzungspfad durch die Musterkarten der Lösungsmuster in Spielkartenformat sowie eine Vorlage zum Anordnen dieser. Der visualisierte Umsetzungspfad wird als Kommunikationsmittel für den Workshop zur individuellen Spezifikation der Musterumsetzung genutzt.

Phase 4: Individuelle Spezifikation der Musterumsetzung

Die Informationen in den Lösungsmustern sind im Rahmen der Musterkarten zunächst in generalisierter Form dokumentiert. Ein Konzept zur individuellen Ausprägung eines solchen Musters ist demnach Bestandteil der Musteranwendung. Ziel der Musterspezifikation ist die Definition von individuellen Maßnahmen für den zuvor definierten Umsetzungspfad. Hierfür wird im Rahmen eines Workshops eine Umsetzungsroadmap entwickelt. Diese enthält in einem Zeithorizont von fünf Jahren je Lösungsmuster konkrete Maßnahmen zur Einführung der darin enthaltenen Industrie 4.0 Lösung. Als Hilfestellung dienen dabei insbesondere die Ausprägungsbeispiele und Best Practices der Musterkarten sowie eine erarbeitete Aufgaben-Morphologie für typische Industrie 4.0 Aufgaben (vgl. Bild 6.5). Die einzelnen Industrie 4.0 Aufgaben, Tätigkeiten und zugeordneten Lösungsalternativen sind aus einer Literaturrecherche, Expertengesprächen im Rahmen von INLUMIA sowie der Analyse der Projektbeispiele abgeleitet worden. Sie orientieren sich dabei an dem Strukturierungsrahmen zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 und sind daher in die einzelnen Dimensionen sowie Komponenten gegliedert. Für jede einzelne Tätigkeit werden Lösungen in Form von Standards, Systemen oder Analysemethoden aufgelistet.

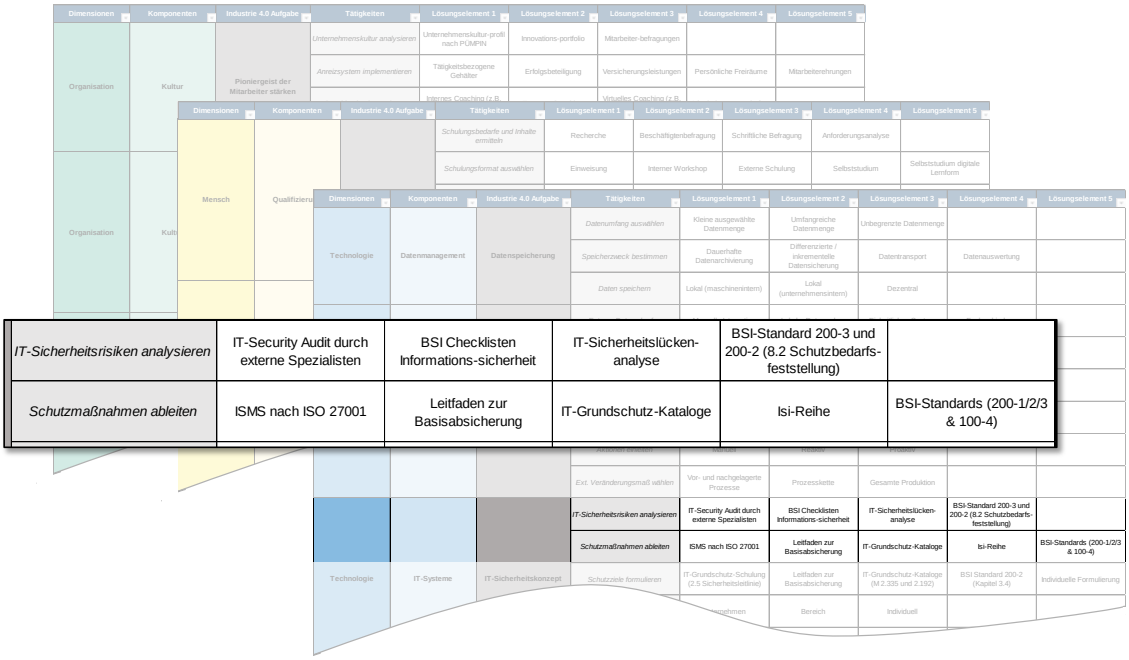


Bild 6.5: Ausschnitt der Aufgaben-Morphologie für typische Industrie 4.0 Aufgaben entlang der soziotechnischen Komponenten

In Bild 6.5 ist beispielhaft ein Auszug aus der Komponente IT-Systeme der Dimension Technologien gezeigt. Für einzelne Kategorien wie einem IT-Sicherheitskonzept werden die vom Unternehmen durchzuführenden Tätigkeiten aufgelistet. Zur Erarbeitung des IT-Sicherheitskonzepts sind dabei bspw. zum einen die IT-Sicherheitsrisiken zu analysieren. Hierfür eignen sich Standardmethoden wie IT-Security Audits bis hin zu einem Kapitel des BSI-Standards 200-3 und 200-2 [BSI17a], [BSI17b]. Die aufgelisteten Lösungsalternativen in der Aufgaben-Morphologie nehmen weitestgehend von links nach rechts in ihrer Reife hinsichtlich Industrie 4.0 zu. Zur Anwendung der Aufgaben-Morphologie ist daher die Ausgangssituation des Unternehmens zu betrachten. Es bietet sich für eine Einschätzung dessen an, vorab eine Leistungsbewertung mit Hilfe eines Reifegradmodells (bspw. dem INLUMIA Quick-Check Industrie 4.0 oder dem acatech Maturity Index) durchzuführen. Weiterhin sind vorliegende Dokumente des Unternehmens, bspw. Prozessmodellierungen vorheriger Pilotprojekte, sinnvolle ergänzende Informationsquellen zur Ableitung individueller Maßnahmen. Die Ausgestaltung der Umsetzungsroadmap erfolgt schrittweise je Lösungsmuster und Jahr. Die geplanten Maßnahmen werden gemäß dem abgeleiteten Umsetzungspfad auf der Roadmap angeordnet und dabei möglichst konkret beschrieben. Erfahrungsgemäß nimmt der Konkretisierungsgrad entlang des Zeithorizontes weiter ab. Potentielle Synergien zwischen Maßnahmen der einzelnen Muster sind bspw. über Pfeilbeziehungen oder farbliche Markierungen hervorzuheben und die Abhängigkeiten durch die Einhaltung der Umsetzungsphasen zu berücksichtigen.

Die Umsetzungsroadmap ist als dynamisches Werkzeug zu verstehen, welches kontinuierlich gepflegt wird. Dabei sind Maßnahmen stetig als absolviert zu kennzeichnen, zu konkretisieren und zu ergänzen. Weiterhin dient sie als transparentes Kommunikationsmittel für das gesamte Unternehmen hinsichtlich der Industrie 4.0 Bestrebungen sowie als Grundlage für die Kapazitätsplanung folgender Pilotprojekte.

6.2 Anwendungsbeispiel: Mittelständischer Hersteller für die Luft-, Klima- und Abgastechnik

Die Validierung der Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 wird im Folgenden anhand eines mittelständischen produzierenden Unternehmens mit ca. 250 Mitarbeitern beschrieben. Das Anwenderunternehmen produziert seit über fünfzig Jahren Produkte für die Luft-, Klima- und Abgastechnik. Hierzu zählen lufttechnische Systeme aus flexiblen und starren Rohren, einschließlich der Formteile und Verbindungselemente für den Bereich Verwaltungs-, Industrie- und Wohnbau. Das Rohr- und Formteilprogramm besteht aus Schalldämpfern und akustischen Bauteilen, Wetterschutzgittern sowie Luftein- und Luftauslässen. Der Bereich der kontrollierten Wohnungslüftung umfasst ein umfangreiches Programm von Zentralgeräten mit Rohrsystemen, Ansaughauben und Dachdurchführungen bis zur Planung und Einweisung dieser. Der Fokus des Anwenderunternehmens in der vorliegenden Arbeit liegt in der Digitalen Transformation des Bereichs der Wickelrohrfertigung. Die Digitalisierung der selbst realisierten Betriebsmittel stellt für das Unternehmen den nächsten logischen Schritt hin zu einer Industrie 4.0-

fähigen Produktion dar. Das Ziel liegt in der Verarbeitung von Daten und der Vernetzung von Maschinen, Produktionsanlagen und Geschäftsprozessen zur Erhöhung der Effizienz. Einige wesentliche Aspekte stellen das Unternehmen bei der Umsetzung von Industrie 4.0 Bestrebungen jedoch vor große Herausforderungen. Aus einer langjährigen Historie bestehen die Fertigungsmaschinen zum Teil aus rein analogen Systemen. Gleichzeitig existieren im Unternehmen mehrere Hard- und Softwarelösungen mit inkompatiblen Schnittstellen (vgl. Bild 6.6).

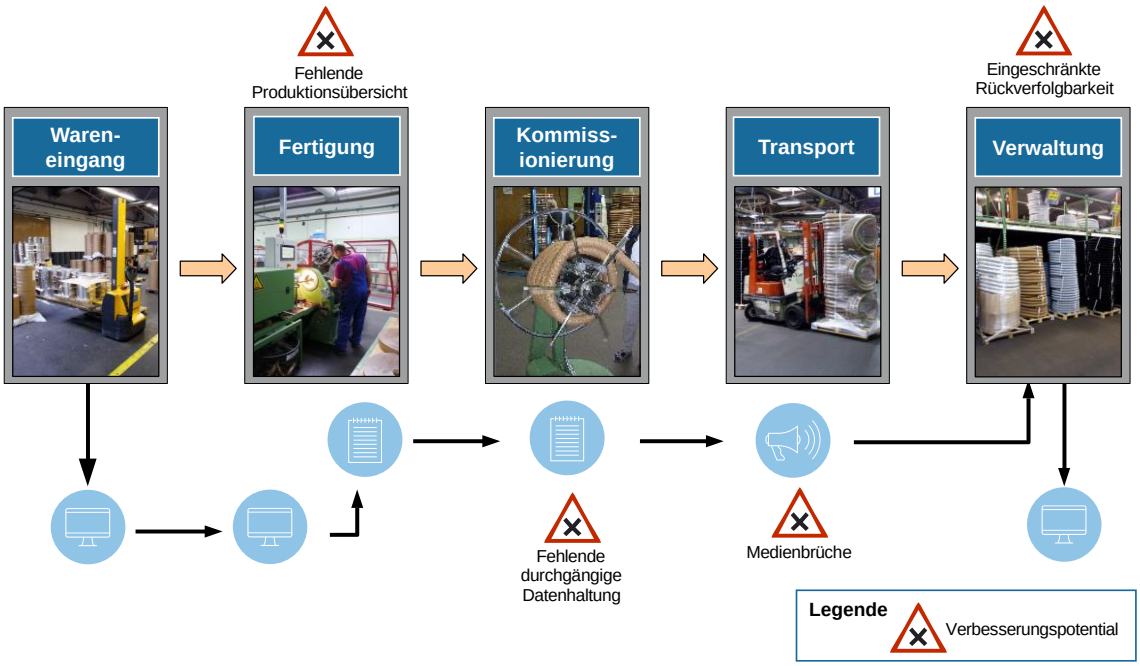


Bild 6.6: Ausgangssituation in der Leistungserstellung des Anwenderunternehmens

Die vorliegende Situation in der Wickelrohrfertigung führt in dem Anwenderunternehmen bspw. dazu, dass Fertigungsdokumente rein papierbasiert bereitgestellt werden. Die Daten müssen im Nachgang aufwändig in ein übergeordnetes System überführt werden. Diese Medienbrüche sind ein potentieller Grund, warum die erfolgreiche Einführung von Industrie 4.0 Lösungen zu scheitern droht. Zum anderen führen die Industrie 4.0 Bestrebungen zu massiven Akzeptanzproblemen bei den Mitarbeitern und Mitarbeiterinnen. Diese Herausforderungen gehen gleichzeitig mit einer Unsicherheit hinsichtlich der strategischen Entscheidungen der Führungsebene einher. Dem Anwenderunternehmen ist unklar, welche Industrie 4.0 Lösungen für sie geeignet sowie erfolgversprechend sind, sodass die beschriebenen soziotechnischen Herausforderungen gleichermaßen berücksichtigt werden können.

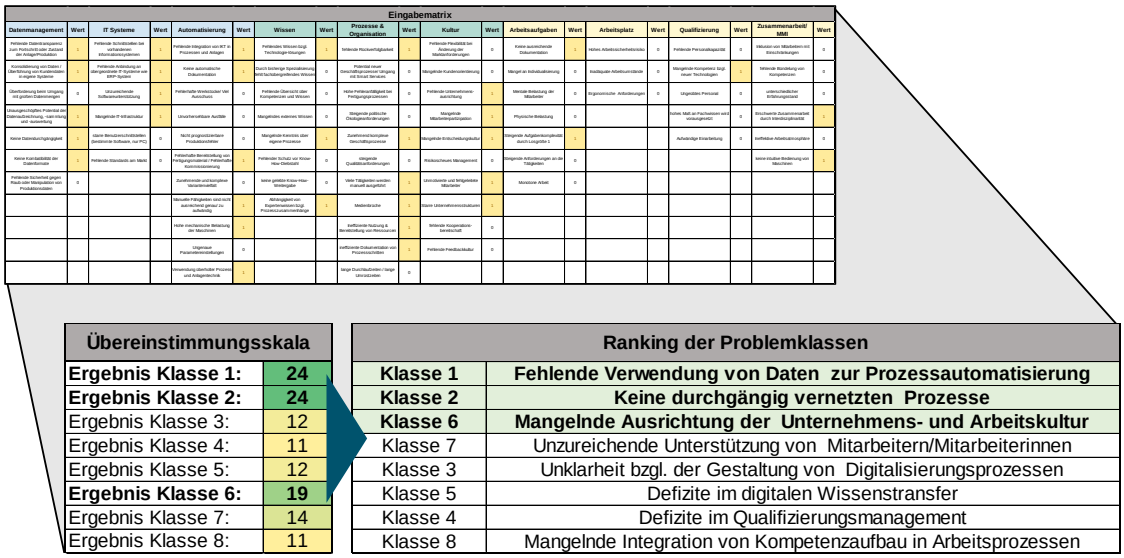
Um das Unternehmen bei der Identifikation sowie Spezifikation geeigneter Lösungen zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 zu unterstützen, wurde der lösungsmusterbasierte Ansatz im Rahmen des gemeinsamen Forschungsprojekts „INLUMIA - Instrumentarium zur Leistungssteigerung von Unternehmen durch Industrie 4.0“ (vgl. Abschnitt 2.3) angewendet. An dem Beispiel des beschriebenen Anwenderunternehmens

wird nachfolgend gezeigt, wie eine Nutzung der Lösungsmuster zur erfolgreichen Gestaltung von Industrie 4.0, hier insb. der Wickelrohrfertigung 4.0, beitragen kann.

6.2.1 Phase 1: Identifikation relevanter Problemklassen

In der ersten Phase zur Anwendung der Lösungsmuster erfolgt die Identifikation der relevanten Problemklassen für das Anwenderunternehmen. Zu diesem Zweck werden die zuvor beschriebenen Herausforderungen des Unternehmens in die Eingabe-Excel überführt. Leitende Verantwortlichkeiten aus Forschung und Entwicklung sowie der Fertigung analysierten hierfür die aufgelisteten Industrie 4.0 Problemstellungen in den einzelnen soziotechnischen Dimensionen und Komponenten hinsichtlich des Auftretens in der Wickelrohrfertigung. „Fehlende Datentransparenz zum Fortschritt oder Zustand der Anlage/Produktion“ und „Keine Datendurchgängigkeit“ in der Dimension Technologien (Komponente Datenmanagement), „Medienbrüche“ und „Mangelnde Entscheidungskultur“ in der Dimension Organisation (Komponenten Prozesse & Organisation und Kultur) sowie „Keine ausreichende Dokumentation“ und „Mangelnde Kompetenz bzgl. neuer Technologien“ in der Dimension Mensch (Komponenten Arbeitsaufgaben und Qualifizierung) stellen beispielhaft gewählte Problemstellungen des Unternehmens dar. Insgesamt hat das Unternehmen 34 Problemstellungen als für sie relevant eingestuft. Dabei sind 15 Problemstellungen der Dimension Technologien, 14 Problemstellungen der Dimension Organisation sowie 5 Problemstellungen der Dimension Mensch zuzuordnen. Mit Hilfe der berechneten Übereinstimmungsskala werden die acht Problemklassen Industrie 4.0 automatisiert in eine Rangfolge gebracht. Zur weiteren Berücksichtigung werden dem Unternehmen folgende Problemklassen vorgeschlagen (vgl. Bild 6.7):

1) **Fehlende Verwendung von Daten zur Prozessautomatisierung** (24 Problemübereinstimmungen)
2) **Keine durchgängig vernetzten Prozesse** (24 Problemübereinstimmungen)
3) **Mangelnde Ausrichtung der Unternehmens- und Arbeitskultur** (19 Problemübereinstimmungen)



Eingabematrix

Datenmanagement	Wert	IT Systeme	Wert	Automatisierung	Wert	Wissen	Wert	Prozesse & Organisation	Wert	Kultur	Wert	Arbeitsaufgaben	Wert	Arbeitsplatz	Wert	Qualifizierung	Wert	Zusammenarbeit/ MMI	Wert
Fehlende Datenverfügbarkeit zum Fortschritt oder Zustand der Anlage/Produktion	1	Fehlende Schnittstellen der vorhandenen Informationssystemen	1	Fehlende Integration von IKT in Prozessen und Anlagen	1	Fehlendes Wissen bzgl. Technologie-Neuungen	1	Mehrende Rückverfolgbarkeit	1	Fehlende Flexibilität bei Änderung der Marktanforderungen	0	Keine autonomende Dokumentation	1	Hohes Arbeitssicherheitsrisiko	0	Fehlende Personalkapazität	0	Mitsicht von Mitarbeitern mit Entschlüsselungen	0
Inconsistenzung von Daten/ Überflüssung von Ausdrücken in eigene Systeme	1	Fehlende Anbindung an übergeordnete IT-Systeme wie ERP-System	1	Keine automatische Dokumentation	1	Durch bestehende Spezialisierung bzw. Entschlüsselgrenzen Wissen	0	Potential neuer Geschäftsprozesse/ -ungang ist bisher Services	0	Mangelnde Kundenorientierung	0	Mangel an individualisierung	0	Inadäquate Arbeitsumstände	0	Mangelnde Kompetenz bzgl. neuer Technologien	1	Mehrende Bereitstellung von Kompetenzen	0
Überflüssung beim Umgang mit großen Datenmengen	0	Unzureichende Softwareunterstützung	1	Fehlerhafte Werkzeuge/ Ver Ausschuss	0	Fehlende Übersicht über Kompetenzen und Wissen	0	Hohe Fehlerhaftigkeit bei Fertigungsprozessen	0	Fehlende Unternehmens-ausrichtung	1	Mentale Belastung der Mitarbeiter	0	Ergonomische Anforderungen	0	Ungenügtes Personal	0	unterschiedlicher Erfahrungsstand	0
Managementsyphes Potential der Datenaufzeichnung, -sammlung und -auswertung	1	Mangelnde IT-Infrastruktur	1	Unvorhersehbare Ausfälle	0	Mangelndes externes Wissen	0	Mangende politische Überlegenheitsbedingungen	0	Mangelnde Mitarbeiterpartizipation	1	Physische Belastung	0			Kohes Maß an Fachwissen wird vorausgesetzt	0	Mrschwerte Zusammenarbeit durch Interdisziplinarität	1
Geringe Datenaufzeichnungsgüte	1	Ältere Benutzeroberfläche/ Elektronische Software, nur PC	0	Nicht prognosizierbare Produktionsfehler	0	Mangelnde Kenntnis über eigene Prozesse	1	Zuverlässig/ konzipiere Geschäftsprozesse	1	Mangelnde Entscheidungskultur	1	Steigende Aufgabenkomplexität durch Langzeiter 5	1			Aufwändige Einarbeitung	0	Defiziäre Arbeitsaufgaben	0
Keine Kontaktfähigkeit der Datenbrunnen	1	Fehlende Standards am Markt	0	Fehlerhafte Bereitstellung von Fertigungsmaterial / Fehlerhafte Kommissionierung	1	Fehlender Schutz vor Know How-Diebstahl	0	Integrierte Qualitätsanforderungen	0	Risikoscheues Management	0	Steigende Anforderungen an die Tätigkeiten	0					keine intuitive Bedienung von Maschinen	1
Fehlende Sicherheit gegen Fraud oder Manipulation von Produktionsdaten	0			Zeitfremende und komplexe Veranlassenheit	0	Keine geteilte Know How-Weitergabe	0	Hohe Tätigkeiten werden manuell ausgeführt	1	Unzulässige und fehlgeleitete Mitarbeiter	1	Monotone Arbeit	0						
				Manuelle Fähigkeiten sind nicht ausreichend gefördert zu Arbeitszeit	1	Abhängigkeit von Expertenwissen bzgl. Prozessvorgangsfehlerquo	1	Medienbrüche	1	Starre Unternehmensstrukturen	1								
				Hohe manuelle Belastung der Maschinen	1			Ineffizente Nutzung & Bereitstellung von Ressourcen	1	Immende kooperative Bereitschaft	0								
				Ungenaue Prozessvorhersagen	0			Ineffizente Dokumentation von Prozessschritten	1	Fehlende Feedbackkultur	0								
				Einsetzbarg überhöhte Prozess- und Anlagenbeschäfe	1			lange Durchlaufzeiten / lange Umrüstzeiten	0										

Übereinstimmungsskala	
Ergebnis Klasse 1:	**24**
Ergebnis Klasse 2:	**24**
Ergebnis Klasse 3:	12
Ergebnis Klasse 4:	11
Ergebnis Klasse 5:	12
Ergebnis Klasse 6:	**19**
Ergebnis Klasse 7:	14
Ergebnis Klasse 8:	11

Ranking der Problemklassen	
Klasse 1	**Fehlende Verwendung von Daten zur Prozessautomatisierung**
Klasse 2	**Keine durchgängig vernetzten Prozesse**
Klasse 6	**Mangelnde Ausrichtung der Unternehmens- und Arbeitskultur**
Klasse 7	Unzureichende Unterstützung von Mitarbeitern/Mitarbeiterinnen
Klasse 3	Unklarheit bzgl. der Gestaltung von Digitalisierungsprozessen
Klasse 5	Defizite im digitalen Wissenstransfer
Klasse 4	Defizite im Qualifizierungsmanagement
Klasse 8	Mangelnde Integration von Kompetenzaufbau in Arbeitsprozessen

Bild 6.7: Empfohlene Problemklassen des Anwendungsbeispiels

Die einzelnen Problemklassen sind mit jeweils drei Kombinationsmöglichkeiten der Lösungsmuster verknüpft. Hieraus ergibt sich eine Empfehlung von insgesamt neun Kombinationsmöglichkeiten für das Anwenderunternehmen (vgl. Bild 6.8).

	Problemklasse 1	Problemklasse 2	Problemklasse 6
Kombinationsmöglichkeiten	M1.1: Daten- und Wissens-basierte Neuausrichtung der Produktion	M2.1: Datenbasierte autonome Prozesssteuerung- und -kontrolle	M6.1: Schaffung digitaler Kommunikations-bedingungen
	M1.2: Steigerung der Prozessgenauigkeiten	M2.2: Schnittstellen-optimierung von Mensch und Maschine	M6.2: Integration externer Stakeholder
	M1.3: Digitale Über-wachung	M2.3: Kundenindividuelle und automatische Prozess-abwicklung	M6.3: Modernisierung der Arbeitsbedingungen

Bild 6.8: Empfohlene Kombinationsmöglichkeiten je Problemklasse

Für die empfohlenen Kombinationsmöglichkeiten werden dem Unternehmen die Steckbriefe sowie die Musterkarten in Form von physischen Spielkarten zur Verfügung gestellt. Zur weiteren Reduktion des Lösungsraumes werden die Kombinationsmöglichkeiten sowie die zugehörigen Lösungsmuster in der folgenden Phase bewertet.

6.2.2 Phase 2: Bewertung der Kombinationen und Lösungsmuster

Die zweite Phase im Rahmen der Anwendung der Lösungsmuster dient der weiteren Reduktion des Lösungsraumes. Zum Erreichen dieser Reduktion erfolgt eine Bewertung der Kombinationsmöglichkeiten sowie zugehörigen Lösungsmuster unter Zuhilfenahme der Nutzwertanalyse (vgl. Abschnitt 6.1). Die Bewertung erfolgte in einem interdisziplinären Workshop, bestehend aus Teilnehmern der Bereiche Geschäftsführung, Forschung und Entwicklung, Produktionsleitung sowie Fertigungsmitarbeiter.

In einem **ersten Schritt** wird die Nutzwertanalyse auf die empfohlenen neun Kombinationsmöglichkeiten angewendet. Unter Zuhilfenahme der Steckbriefe wird von den Teilnehmern/Teilnehmerinnen der Bewertungswert (Skala von 0 bis 10) für die sechs Kriterien je Kombinationsmöglichkeit eingeschätzt. Hierbei wird die Konsistenzmatrix zur Einschätzung des Synergiepotentials hinzugezogen. Die Kriterien werden unternehmensindividuell bewertet. Bild 6.9 zeigt einen Ausschnitt des Resultats der Nutzwertanalyse für die empfohlenen Kombinationsmöglichkeiten.

Beurteilungskriterien		Gew.	Daten- und Wissensbasierte Neuausrichtung der Produktion		Steigerung der Prozessgenauigkeiten		Digitale Überwachung		Zu beurteilende Varianten: Datenbasierte autonome Prozesssteuerung- und -kontrolle		Schnittstellenoptimierung von Mensch und Maschine		Kundenindividuelle und automatische Prozessabwicklung		Schaffung digitaler Kommunikationsbedingungen		Integration externer Stakeholder		Modernisierung der Arbeitsbedingungen	
10 = hohe Erfüllung 0 = keine Erfüllung		[%]	Bew. (0-10)	Bew. x Gew.	Bew. (0-10)	Bew. x Gew.	Bew. (0-10)	Bew. x Gew.	Bew. (0-10)	Bew. x Gew.	Bew. (0-10)	Bew. x Gew.	Bew. (0-10)	Bew. x Gew.	Bew. (0-10)	Bew. x Gew.	Bew. (0-10)	Bew. x Gew.	Bew. (0-10)	Bew. x Gew.
1	Hoher Strategiefit	**20,00**	7	140,00	5	100,00	9	180,00	5	100,00	9	180,00	3	60,00	5	100,00	2	40,00	9	180,00
2	Hohe Dringlichkeit	**10,00**	7	70,00	4	40,00	8	80,00	4	40,00	7	70,00	3	30,00	4	40,00	2	20,00	8	80,00
3	Niedriger Aufwand	**10,00**	2	20,00	3	30,00	4	40,00	3											
4	Niedriges Risiko	**20,00**	3	60,00	3	60,00	5	100,00	3											
5	Hoher Nutzen	**30,00**	8	240,00	5	150,00	10	300,00	6											
6	Synergiepotential	**10,00**	4	40,00	3	30,00	3	30,00	4											
		100,00		**570,00**		**410,00**		**730,00**												

Beurteilungskriterien		Gew.	Daten- und Wissensbasierte Neuausrichtung der Produktion		Steigerung der Prozessgenauigkeiten		Digitale Überwach	
10 = hohe Erfüllung 0 = keine Erfüllung		[%]	Bew. (0-10)	Bew. x Gew.	Bew. (0-10)	Bew. x Gew.	Bew. (0-10)	Bew. x
1	Hoher Strategiefit	**20,00**	7	140,00	5	100,00	9	180,00
2	Hohe Dringlichkeit	**10,00**	7	70,00	4	40,00	8	80,00
3	Niedriger Aufwand	**10,00**	2	20,00	3	30,00	4	40,00
4	Niedriges Risiko	**20,00**	3	60,00	3	60,00	5	100,00
5	Hoher Nutzen	**30,00**	8	240,00	5	150,00	10	300,00
6	Synergiepotential	**10,00**	4	40,00	3	30,00	3	30,00
		100,00		**570,00**		**410,00**		**730,0**

Bild 6.9: Resultat der Nutzwertanalyse für die empfohlenen Kombinationsmöglichkeiten (Ausschnitt)

Die Interpretation der Nutzwertanalyse erfolgt über die erreichte Punktzahl je Kombinationsmöglichkeit, berechnet aus dem Bewertungswert multipliziert mit der Gewichtung. Umso höher die Punktzahl, desto geeigneter ist die Kombination für das spezifische Unternehmen. Für das Anwenderunternehmen wurden folgende drei Kombinationsmöglichkeiten zur weiteren Berücksichtigung ermittelt:

1) **M 1.3 Digitale Überwachung (730 Punkte)**
2) **M 6.3 Modernisierung der Arbeitsbedingungen (720 Punkte)**
3) **M 2.2 Schnittstellenoptimierung von Mensch und Maschine (670 Punkte)**

Aus den zugeordneten Lösungsmustern wird nachfolgend der Lösungsmusterpool für den **zweiten Bewertungsschritt** gebildet. Er besteht aus insgesamt 15 Lösungsmustern, welche sich mit jeweils fünf Lösungsmustern gleichmäßig auf die Stoßrichtungen der drei soziotechnischen Dimensionen verteilen (vgl. 6.10).

Problem-klasse	ID	Kombi-nations-möglichkeit	Lösungsmuster	Problem-abdeckung
Problemklasse 1: Fehlende Verwendung von Daten zur Prozessautomatisierung	M1.3	Digitale Überwachung	Condition Monitoring	82%
			Prädiktive Analysen	
			Durchgängige IT-Infrastruktur	
			Kontinuierliches Prozessmonitoring	
			Customization Services	
			Tracking und Tracing	
			Technologieorientierter Kompetenzaufbau	
			Flexibler Arbeitsplatz	
Problemklasse 2: Keine durchgängig vernetzten Prozesse	M 2.2	Schnittstellenopti-mierung von Mensch und Maschine	Projektmanagement Software	81%
			Kontinuierliches Prozessmonitoring	
			Neue Fertigungssysteme	
			Kognitive Assistenzsysteme	
			Virtuelle/Augmentierte Assistenzsysteme	
Problemklasse 6: Mangelnde Ausrichtung der Unternehmens- und Arbeitskultur	M 6.3	Modernisierung der Arbeitsbedingungen	Fernüberwachung &-steuerung	91%
			Kontinuierliches Prozessmonitoring	
			Neue Fertigungssysteme	
			Technologie-Evaluierung	
			Flexibler Arbeitsplatz	
			Digitale Lernplattform	

Lösungsmusterpool
Condition Monitoring
Prädiktive Analysen
Durchgängige IT-Infrastruktur
Projektmanagement Software
Fernüberwachung &-steuerung
Kontinuierliches Prozessmonitoring
Customization Services
Tracking und Tracing
Neue Fertigungssysteme
Technologie-Evaluierung
Technologieorientierter Kompetenzaufbau
Flexibler Arbeitsplatz
Kognitive Assistenzsysteme
Virtuelle/Augmentierte Assistenzsysteme
Digitale Lernplattform

Bild 6.10: Lösungsmusterpool für das Anwenderunternehmen

Um im Sinne der soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 alle drei Dimensionen gleichermaßen zu berücksichtigen, wird die Nutzwertanalyse je Dimension durchgeführt. Hierdurch soll unterstützt werden, dass Lösungsmuster mit verschiedenen Stoßrichtungen zur Spezifikation ausgewählt werden. Zur Einschätzung der einzelnen Lösungsmuster werden die Musterkarten analysiert. Resultierend entsteht für das Anwenderunternehmen eine priorisierte Musterreihenfolge aus den in Bild 6.10 dargestellten Lösungsmustern. Lösungsmuster mit einer identischen Punktzahl werden dabei parallel angeordnet (vgl. Bild 6.11).

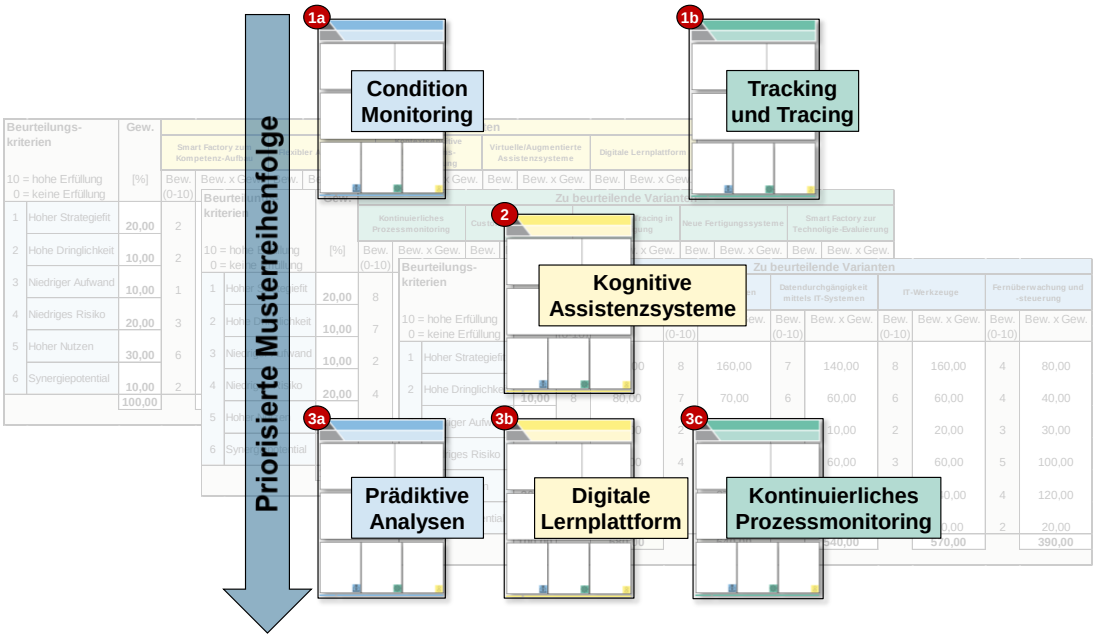


Bild 6.11: Priorisierte Musterreihenfolge des Anwenderunternehmens

Die priorisierte Musterreihenfolge des Anwenderunternehmens ist anschließend auf Plausibilität zu prüfen. Hierbei sind die Abhängigkeiten von großer Relevanz. Ziel ist die Transformation der priorisierten Musterreihenfolge in einen plausiblen Umsetzungspfad.

6.2.3 Phase 3: Plausibilitätsprüfung der Musterbeziehungen

Die dritte Anwendungsphase dient dem Aufbau eines für das Unternehmen geeigneten und zugleich plausiblen Umsetzungspfads. Hierfür ist die priorisierte Musterreihenfolge aus Phase 2 hinsichtlich der Voraussetzungsbeziehungen der Muster zu prüfen. Es empfiehlt sich, hierfür eine Person mit Überblick aller Industrie 4.0 Aktivitäten im Unternehmen zu benennen. Das Anwenderunternehmen hat bspw. einen leitenden Mitarbeiter der Forschung und Entwicklung gewählt. Mit Hilfe der einzelnen Mustersysteme je Lösungsmuster (ablesbar von der Musterkarte) wird zunächst der priorisierte Lösungsmusterpool um direkt voraussetzende dimensionsspezifische Lösungsmuster ergänzt. Beispielhaft sind für die Umsetzung des Lösungsmusters „PÜ2 - Kontinuierliches Prozessmonitoring“ die Muster „ZÜ1 – Condition Monitoring“ sowie „DPo2 – Durchgängige IT-Infrastruktur“ erforderlich. Da sich „ZÜ1“ bereits im Lösungsmusterpool befindet, ist demnach lediglich „DPo2“ zu ergänzen (vgl. Bild 6.12).

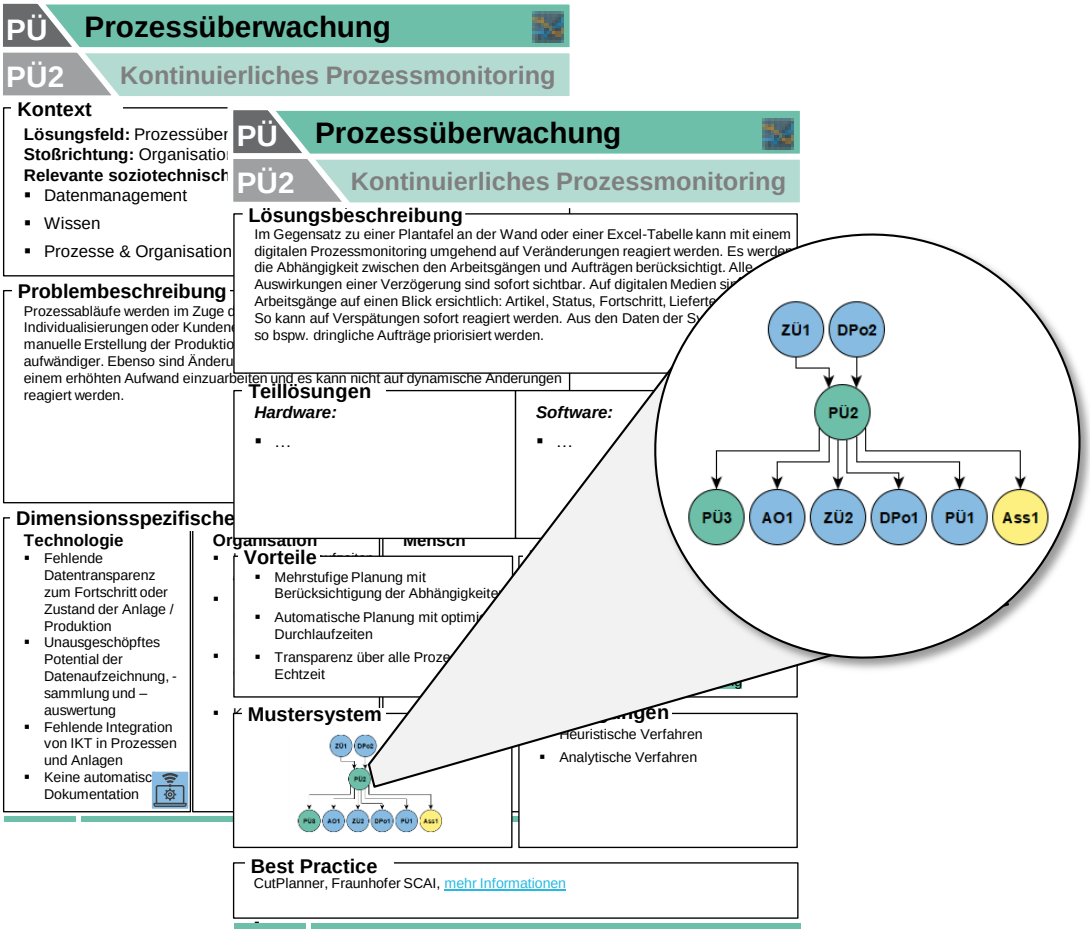


Bild 6.12: Nutzung der Mustersysteme einzelner Lösungsmuster zur Erweiterung des Lösungsmusterpools

Insgesamt sind für das Anwenderunternehmen zehn weitere Lösungsmuster zu betrachten, um die priorisierten Lösungsmuster umsetzen zu können:

- PÜ1 - Anomalieerkennung,
- DPo2 - Durchgängige IT-Infrastruktur,
- MP1 - Retro Fitting,
- MP2 - Neue Fertigungssysteme,
- PO1 - Agile interdisziplinäre Methoden,
- PO2 - Projektmanagement-Software,
- PO3 - Externe Kooperationen,
- PO4 - Schutzkonzepte für Daten und Know-How,
- WT1 - Wissensmanagement-Systeme sowie
- WT2 - Industrie 4.0 Sensibilisierung.

Um den finalen Umsetzungspfad zu bilden, ist anschließend zu untersuchen, in welche Umsetzungsphasen die einzelnen Muster einzuordnen sind. Hierfür wird das ganzheitliche Mustersystem genutzt. Aus der topologischen Sortierung resultiert ein für das Unternehmen individuell geltendes Mustersystem.

Insgesamt gliedert sich das individuelle Mustersystem des Anwenderbeispiels in sieben Umsetzungsphasen. Insbesondere die ersten drei Umsetzungsphasen dienen dazu, die Voraussetzungen für die priorisierten Lösungsmuster zu schaffen. Die priorisierte Mustereihenfolge selbst kann jedoch weitestgehend aufrechterhalten werden. In einem nächsten Schritt wird geprüft, welche der ergänzten Lösungsmuster in dem Unternehmen bereits Anwendung finden. Jene Lösungsmuster, welche bspw. in vorangegangenen Pilotprojekten bereits umgesetzt wurden, werden aus dem Mustersystem gestrichen. Das Anwenderunternehmen führt z.B. bereits seit langer Zeit regelmäßig Kooperationsprojekte mit externen Partnern wie Forschungseinrichtungen durch. In diesem Zuge ist bereits systematisch und unter Nutzung von interdisziplinären Methoden des Systems Engineerings in verschiedenen Workshops der Bedarf für vernetzungsfähige Maschinen in der Wickelrohrfertigung identifiziert worden. Darauf aufbauend hat das Unternehmen teilweise neue Fertigungssysteme beschafft und implementiert. Der übrig gebliebene historische Maschinenpark ist jedoch noch nicht aufgerüstet worden. Parallel zu den Neuanschaffungen wurde ein Konzept zum Schutz der anfallenden Daten ausgearbeitet, insb. um personenbezogene Daten zu schützen. Über das Intranet werden die Mitarbeiter/innen des Anwenderunternehmens regelmäßig über die Industrie 4.0 Kooperationsprojekte sowie deren Ergebnisse informiert, sodass grundsätzlich eine Sensibilisierung der Mitarbeiter/innen vorliegt. Resultierend können für das Anwenderunternehmen sechs der ergänzten Lösungsmuster als „bereits eingeführt“ eingestuft werden: MP2: Neue Fertigungssysteme, PO1: Agile interdisziplinäre Methoden, PO2: Projektmanagement-Software, PO3: Externe Kooperationen, PO4: Schutzkonzepte für Daten und Know-How sowie WT2: Industrie 4.0 Sensibilisierung. Daraus ergibt sich für das Anwenderunternehmen der finale Umsetzungspfad (vgl. Bild 6.13).

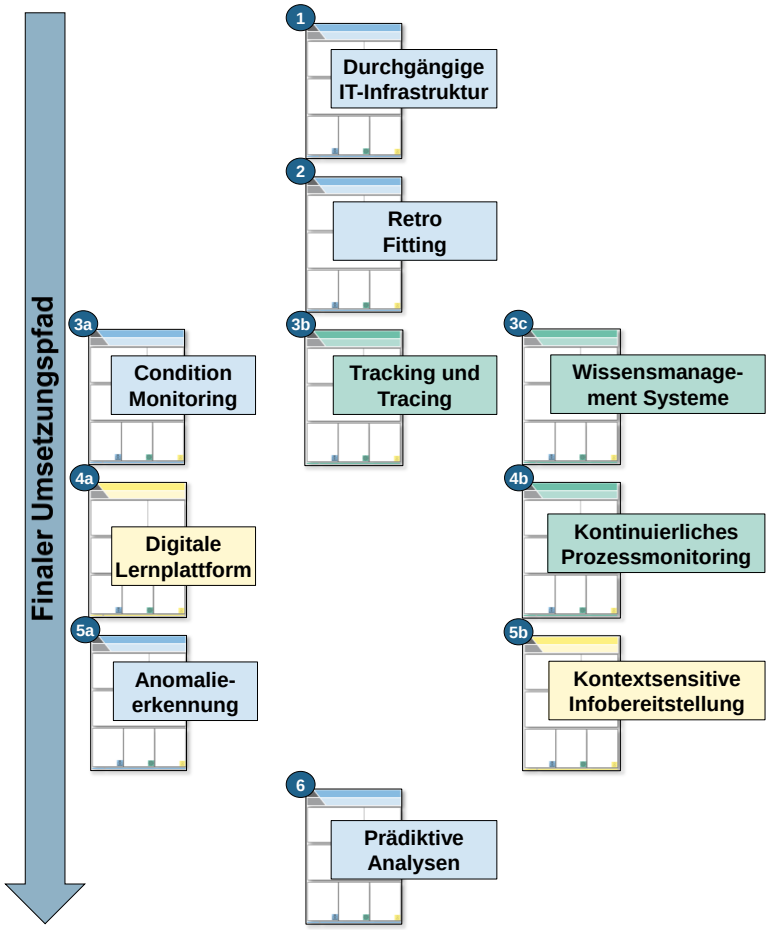


Bild 6.13: Finaler Umsetzungspfad des Anwenderunternehmens

Insgesamt besteht der finale Umsetzungspfad aus zehn Lösungsmustern in sechs Umsetzungsphasen. Gemäß diesen Umsetzungsphasen sind die generalisiert bereitgestellten Informationen bzgl. der Lösung in den Musterkarten in konkrete Maßnahmen für das Unternehmen zu überführen. Dies erfolgt in Phase 4 – Die individuelle Spezifikation der Musterumsetzung.

6.2.4 Phase 4: Individuelle Spezifikation der Musterumsetzung

Die Spezifikation der Musterumsetzung dient der Formulierung konkreter Maßnahmen zur schrittweisen Einführung des erarbeiteten Umsetzungspfads. Um eine realistische Einschätzung hinsichtlich der erforderlichen Industrie 4.0 Maßnahmen treffen zu können, hat das Anwenderunternehmen in einem ersten Schritt eine Industrie 4.0 Leistungsbewertung durchgeführt. Hierfür wurde der in dem Verbundprojekt INLUMIA entwickelte soziotechnische „Quick-Check Industrie 4.0“ genutzt. Mittels verschiedener Kriterien in den Dimensionen Technik, Business (Bedeutung im Projekt: Organisation + Geld verdienen) sowie Mensch wurde in einem interdisziplinären Workshop die heutige sowie zukünftig wünschenswerte Position des Unternehmens identifiziert. Bild 6.14 zeigt einen Auszug der Leistungsbewertungsergebnisse.

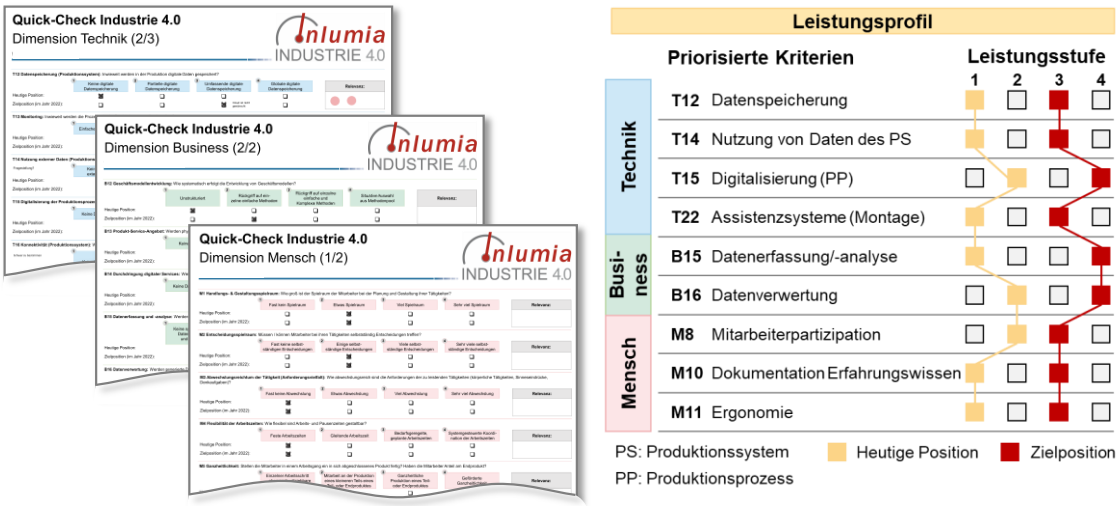


Bild 6.14: Auszug der Leistungsbewertungsergebnisse des Anwenderunternehmens aus dem Projekt INLUMIA

Das Leistungsprofil des Anwenderunternehmens zeigt, dass die derzeitige Industrie 4.0 Position durchschnittlich auf Stufe 1-2 eingeordnet wird. Die zu definierenden Maßnahmen zur Ausprägung der einzelnen Lösungsmuster sind an der vorliegenden Ausgangssituation zu orientieren. Hierdurch wird gewährleistet, dass eine machbare und schrittweise Transformation des Unternehmens berücksichtigt wird.

Zur Beschreibung der einzelnen Maßnahmen wird im Rahmen eines Workshops eine individuelle Umsetzungsroadmap entwickelt. Entlang des finalen Umsetzungspfads werden in einem Zeithorizont von fünf Jahren Tätigkeiten sowie Verantwortlichkeiten zur Einführung der in den Lösungsmustern enthaltenen Industrie 4.0 Lösungen erarbeitet. Als Hilfsmittel dienen zum einen die jeweiligen Musterkarten der Lösungsmuster. Zum anderen, unter Berücksichtigung der Leistungsbewertung, die bereitgestellten Aufgaben-Morphologien mit typischen Industrie 4.0 Aufgaben und dazugehörigen Lösungsalternativen. Weiterhin sind interne Dokumente wie Prozessmodellierungen oder Wertschöpfungsmodelle sinnvolle Informationsquellen zur Ableitung individueller Maßnahmen. Die Ausgestaltung der Umsetzungsroadmap erfolgt schrittweise je Muster und Jahr.

Zur Entwicklung der Spezifikation werden zunächst die ersten sechs Lösungsmuster des finalen Umsetzungspfads berücksichtigt. Demnach werden von dem Anwenderunternehmen Maßnahmen für die Lösungsmuster „Durchgängige IT-Infrastruktur“, „Retro-Fitting“, Condition Monitoring“, „Tracking und Tracing“, „Wissensmanagement-Systeme“ sowie „Digitale Lernplattformen“ definiert. Die möglichen Umsetzungsphasen aus dem Mustersystem sind dabei stets zu berücksichtigen. So ist es möglich, Maßnahmen für die Lösungsmuster „Condition Monitoring“, „Tracking und Tracing“ sowie „Wissensmanagement-Systeme“ parallel zu verfolgen. Die weiteren Lösungsmuster sind jedoch sequenziell zu betrachten.

In einem interdisziplinären Workshop, erneut mit Vertretern aus den Bereichen Geschäftsführung, Forschung und Entwicklung, Produktionsleitung sowie Fertigung, wurden die einzelnen Lösungsmuster, darin enthaltene Lösungsvorschläge und Best Practices sowie die typischen Industrie 4.0 Aufgaben und Tätigkeiten aus der Aufgaben-Morphologie hinsichtlich der Integration in die Umsetzungsroadmap diskutiert.

Für das Lösungsmusterbeispiel „Condition Monitoring“ wird aus dem Kontext der Musterkarte abgelesen, welche Komponenten des soziotechnischen Strukturierungsrahmens von Relevanz sind. Mit Hilfe dieser werden die Industrie 4.0 Aufgaben aus der Aufgaben-Morphologie für die folgenden Komponenten gefiltert:

- Datenmanagement und Automatisierung (Dimension Technologie),
- Wissen sowie Prozesse & Organisation (Dimension Organisation) und
- Zusammenarbeit (Dimension Mensch).

In Abhängigkeit des Leistungsprofils des Anwenderunternehmens werden je Tätigkeit jene Lösungselemente markiert, welche für das Unternehmen übertragbar sind. Weiterhin werden die Lösungsbeschreibung auf der Rückseite der Musterkarte, die erforderliche Hard- und Software, Ausprägungsmöglichkeiten sowie das Praxisbeispiel analysiert.

Im Rahmen des interdisziplinären Workshops werden resultierend mittels Post-It’s konkrete Maßnahmen des Anwenderunternehmens definiert und den einzelnen Lösungsmustern sowie Jahren zugeordnet. Bild 6.15 zeigt die erste Umsetzungsroadmap des Unternehmens in digitaler Form im Überblick.

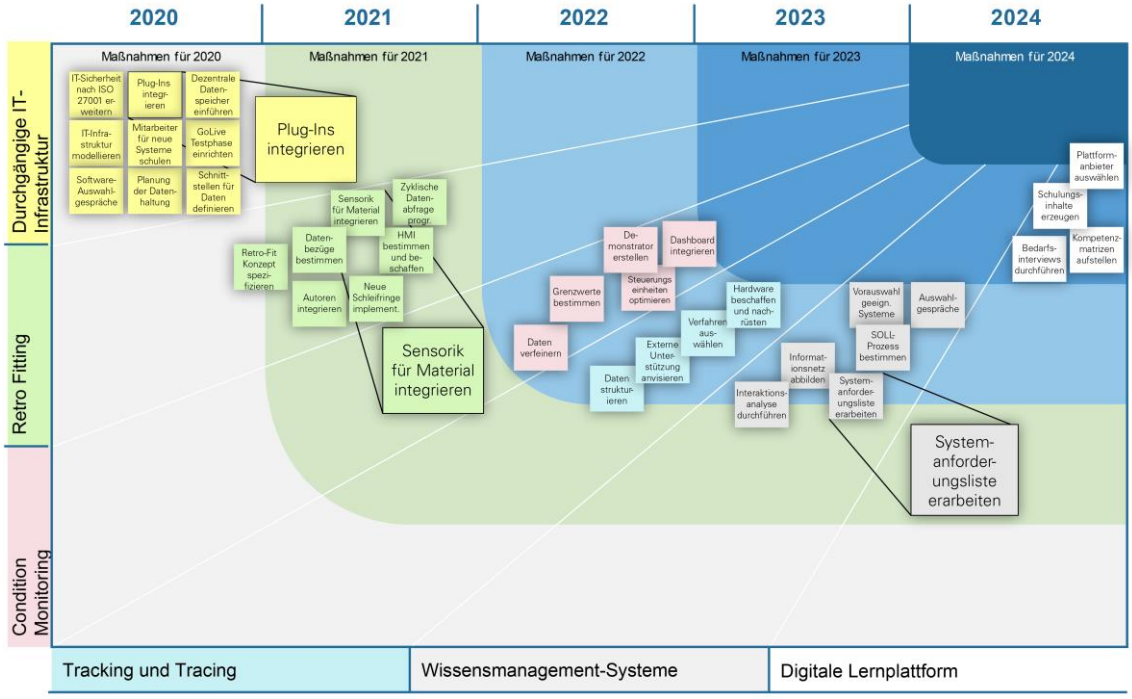


Bild 6.15: Umsetzungsroadmap des Anwenderunternehmens

Nach Definition und Anordnung der Maßnahmen auf der Umsetzungsroadmap werden diese in einem unternehmenseigenen Maßnahmenplan (hier formloses Microsoft Word Dokument) weiter spezifiziert. Hierbei sind insbesondere die Synergien und Wechselwirkungen zu den weiteren Lösungsmustern zu berücksichtigen und zu markieren.

Für das Lösungsmuster „Condition Monitoring“ hat das Unternehmen beispielsweise fünf konkrete Maßnahmen für das Jahr 2022 definiert und in ihrem Maßnahmenplan weiter spezifiziert. Dabei sind die vorangegangenen Maßnahmen der Lösungsmuster „Durchgängige IT-Infrastruktur“ sowie „Retro Fitting“ als auch sinnvolle soziotechnische Wechselwirkungen, bspw. zu „Tracking und Tracing“ oder „Digitale Lernplattformen“ berücksichtigt worden.

1) **Daten verfeinern:** Auf Basis der installierten Sensorik im Rahmen des vorangegangenen Lösungsmusters „Retro Fitting“, sind die Daten hinsichtlich des „Condition Monitorings“ aufzuarbeiten. Zum einen sind die gemessenen und gespeicherten Datenformate zu prüfen und ggf. optische Sensoren nachzurüsten. Zum anderen ist die zyklische Datenabfrage zweckorientiert zu erweitern.

2) **Grenzwerte bestimmen:** Die Diskussion der Ausprägungsmöglichkeiten des „Condition Monitoring“ hat ergeben, dass das Anwenderunternehmen eine Alarmfunktion auf Basis von Zustands-Grenzwerten, insb. der Rohrqualität auf Basis von optischen Messwerten, integrieren möchte. Hierfür sind jeweilige Parameter auszuwählen und Grenzwerte zu definieren. Eine integrierte Markierung der Rohre ist für ein nachfolgendes Tracking und Tracing zu prüfen. Der Umgang mit dem Überschreiten der jeweiligen Grenzwerte ist parallel aufzunehmen und in die zukünftige Schulungsplattform zu integrieren.

3) **Steuerungseinheiten optimieren:** Die Steuerung der einzelnen Maschinen in der Wickelrohrfertigung soll auf Basis der Zustandsdaten angepasst werden. Hierbei werden jedoch lediglich kleinere Veränderungen angestrebt wie eine Integration eines Notstopps bei gravierender Grenzwertüberschreitung. Die Schnittstellen zur speicherprogrammierten Steuerung sind dahingehend zu untersuchen.

4) **Dashboard integrieren:** Die Zustandsdaten der einzelnen Maschinen sollen auf einem zentralen Dashboard in den an der Fertigung angrenzenden Büroräumen überwacht werden. Demnach ist zum einen eine kabellose Übertragung der Daten in die „IT-Infrastruktur“ zu gewährleisten. Zum anderen ist das Dashboard sowie die Benutzeroberfläche zu gestalten.

5) **Demonstrator erstellen:** Das „Condition Monitoring“ soll zunächst prototypisch an einer Maschine umgesetzt werden. Hierfür wird eigens ein Pilotprojekt initiiert und in ein geplantes Forschungsvorhaben integriert.

Zum Abschluss der individuellen Spezifikation der Musterumsetzung werden alle definierten Maßnahmen mit Verantwortlichkeiten sowie Deadlines versehen. Die Umsetzungsroadmap verknüpft mit dem Maßnahmenplan ist dabei als dynamisches Werkzeug zu verstehen und regelmäßig im Projektteam zu überprüfen sowie anzupassen.

6.3 Kritische Bewertung der Arbeit anhand der Anforderungen

Gegenstand dieses Abschnitts ist die Bewertung der *Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand* anhand der Anforderungen aus Abschnitt 3.8. Hierzu wird je Anforderung detailliert erläutert, inwiefern diese durch die Bestandteile des Lösungsmusteransatzes erfüllt wird. Einen Überblick über die Anforderungen und ihren Bezug zum Lösungsansatz zeigt Bild 6.16.

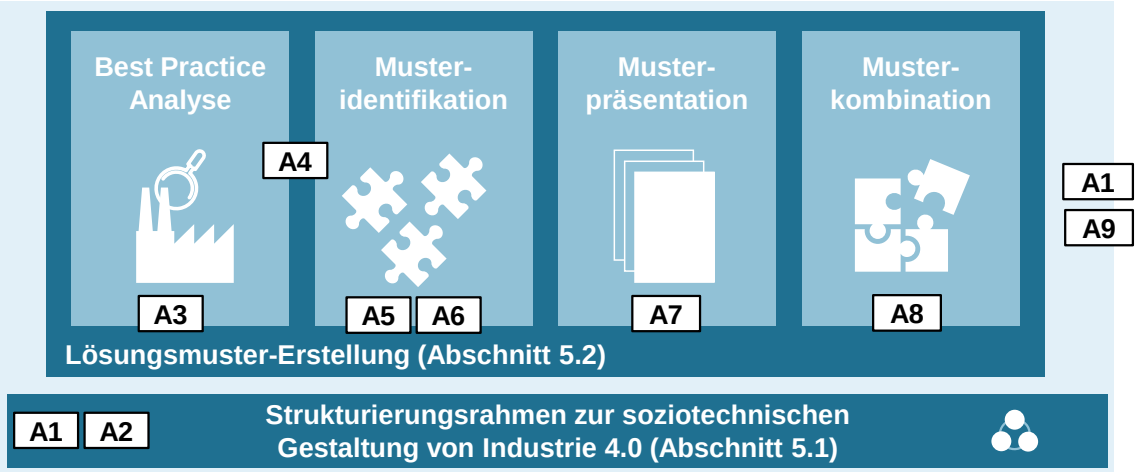


Bild 6.16: Zuordnung der Anforderungen zu den Bestandteilen des musterbasierten Lösungsansatzes

A1: Gleichberechtigte Berücksichtigung der soziotechnischen Dimensionen

Im Rahmen der soziotechnischen Betrachtungsperspektive ergibt sich die Notwendigkeit zur möglichst gleichberechtigten Berücksichtigung von technischen, organisationalen und menschlichen Artefakten. Es sollten jedoch mindestens zwei Dimensionen betrachtet werden, um in die soziotechnische Perspektive eingeordnet zu werden. Mindestens zwei der drei Dimensionen Mensch, Organisation sowie Technologien mit ihren Komponenten finden in allen weiterführenden Schritten zur Generierung der Lösungsmuster Berücksichtigung, sodass diese Anforderung im gesamten Ansatz erfüllt wird.

A2: Definition soziotechnischer Artefakte von Industrie 4.0

Trotz des etablierten MTO-Konzepts existiert keine einheitliche Definition der einzelnen Dimensionen speziell für Industrie 4.0. Um dem entgegen zu wird ein Referenzmodell zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 in Form eines *Strukturierungsrahmens* bereitgestellt (vgl. Abschnitt 5.2). Aus verschiedenen Literaturquellen werden genannte Bestandteile aus den Beschreibungen der Dimensionen Mensch, Organisation und Technik gesammelt und Industrie 4.0 Charakteristika gegenübergestellt. Hieraus resultieren relevante soziotechnische Komponenten im Kontext von Industrie 4.0.

A3: Nutzung wiederverwendbaren Wissens von Industrie 4.0

Die Erschließung des Lösungswissens von Industrie 4.0 zur Ableitung der Lösungsmuster basiert auf der Analyse von erfolgreichen Projektbeispielen im Themenfeld Industrie 4.0.

Insgesamt wurden *87 abgeschlossene Projekte* aus INLUMIA, dem it's OWL Spitzencluster sowie der BMWi Plattform Industrie 4.0 untersucht (vgl. Abschnitt 5.3.1). Die ausgewählten Projektbeispiele liefern dabei wiederverwendbares Wissen bzgl. Problemstellungen und Lösungen von Industrie 4.0, sodass eine Lösungsmustererstellung möglich wird.

A4: Induktive Erschließung des Lösungswissens

Die Nutzung von Projektbeispielen als Wissensquellen wird in die gegenständliche Erschließung von Lösungswissen eingeordnet. Das relevante Lösungswissen ist aus individuellen Problemstellungen und Lösungen der Unternehmen abstrahiert worden. Das Vorgehen ist daher vom Speziellen zum Allgemeinen und somit induktiv durchgeführt worden. Das induktiv und gegenständlich erschlossene *Lösungswissen Industrie 4.0* bildet die Grundlage für alle weiteren Ergebnisse. Mit den 87 Projekten handelt es sich dabei um eine umfangreiche, jedoch keineswegs vollständige Abbildung des Lösungswissens. In der zukünftigen Anwendung des Lösungswissens ist dies, insb. bei der aktuellen Schnelllebigkeit von Lösungen für Industrie 4.0, zu berücksichtigen.

A5: Berücksichtigung soziotechnischer Problemstellungen

Ziel der Arbeit sind Lösungsmuster zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand. Hierfür ist es erforderlich, die soziotechnischen Problemstellungen des Mittelstands zu kennen. Daher wurde im Rahmen der Best Practice Analyse (vgl. Abschnitt 5.3.1.2) eine umfassende Untersuchung der Problemstellungen unter Beachtung der Dimensionen und Komponenten des Strukturierungsrahmens durchgeführt. Resultat sind ein *soziotechnisches Problemradar* sowie, auf Basis eines Clusteringverfahrens erarbeitete, *soziotechnische Problemklassen*.

A6: Generierung tragfähiger Industrie 4.0 Lösungsmuster

Kern der vorliegenden Arbeit ist die Identifikation von Lösungsmustern zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand. Für die Einführung von Industrie 4.0 unter gleichmäßiger Berücksichtigung von Problemstellungen der Dimensionen Mensch, Organisation und Technologien wurden 31 *Lösungsmuster* erarbeitet (vgl. Abschnitt 5.3.2). Hierfür wurde der erweiterte Prozess der Mustererstellung durchlaufen (vgl. Abschnitt 5.3). Die Lösungsmuster orientieren sich an der Musterstruktur nach ALEXANDER und bilden im Rahmen der Komponenten Name, Kontext, Problem und Lösung wiederkehrende Artefakte des Lösungswissens für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 in generalisierter Form ab.

A7: Interdisziplinäres Repräsentationsschema

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sind zur Repräsentation der Lösungsmuster *Musterkarten* erarbeitet worden (vgl. Abschnitt 5.3.3). Die Musterkarten gliedern sich klassisch in die Komponenten Name, Kontext, Problem sowie Lösung, welche über verschiedene

Subkategorien spezifiziert werden. Die generalisierten Informationen werden überwiegend mittels Kurzbeschreibungen und Stichpunkten beschrieben. Auf fachspezifische Informationen wird verzichtet, sodass eine disziplinübergreifende Nutzung möglich ist. Zur Steigerung der Verständlichkeit werden graphische Elemente wie das Mustersystem oder das Problemradar integriert.

A8: Identifikation konsistenter Lösungsmusterkombinationen

Mit den erarbeitetet Lösungsmustern wird angestrebt, die soziotechnischen Problemstellungen der Problemklassen (vgl. Abschnitt 5.3.1.2) möglichst vollumfänglich zu adressieren. Daher werden mittels eines Berechnungsalgorithmus *passende Lösungsmusterkombinationen* gebildet (vgl. Abschnitt 5.3.4). Um dabei die Verträglichkeit der Muster zu berücksichtigen, wird eine *Konsistenzanalyse* durchgeführt und das Ergebnis in die Berechnung integriert. Sich gegenseitig verstärkende Muster werden in die *Kombinationssteckbriefe* aufgenommen Hierdurch wird dem anwendenden Unternehmen ermöglicht, konsistente Lösungsmusterkombinationen auszuwählen.

A9: Eignung für den Mittelstand

Die generierten Lösungsmuster sowie der Anwendungsprozess sind speziell auf die Herausforderungen und Bedürfnisse des Mittelstands ausgerichtet. Die *Filterung der analysierten Best Practices* auf mittelständisch geprägte Unternehmen – primär bis 500 Mitarbeitenden – (vgl. Abschnitt 5.3.1.2) gewährleistet eine Übertragbarkeit dieser auf den Mittelstand. *Soziotechnische Problemstellungen* bezogen auf diese Unternehmensgruppe wurden in der *Best Practice Analyse* (vgl. Abschnitt 5.3.1.2) abgeleitet. Weiterhin konnte die Anwendbarkeit der Lösungsmuster bei einer Vielzahl an mittelständischen Unternehmen validiert werden. Dies wird in der vorliegenden Arbeit *am Beispiel eines KMU-Anwenderunternehmens (vgl. Abschnitt 6.2)* aus dem Verbundprojekt INLUMIA präsentiert.

7 Zusammenfassung und weiterer Forschungsbedarf

Das Handlungsfeld der **Digitalen Transformation der Leistungserstellung** steht im Fokus dieser Arbeit und ist in diesem Kontext mit **Industrie 4.0** gleichzusetzen. Sie bezieht sich auf den Wandel der Produktionssysteme sowie verknüpfter Geschäftsprozesse. Industrie 4.0 bietet dabei in allen Bereichen der Leistungserstellung unzählige Chancen zur Leistungssteigerung für Unternehmen. So werden durch die Vernetzung der physischen und virtuellen Welt bspw. neue echtzeitfähige Kollaborationsformen und transparente Wertschöpfungsnetze entstehen. Ziel der Unternehmen muss es sein, diese Potentiale für sich zu erkennen und die Prozesse effizienter zu gestalten.

Gleichzeitig ist die Umsetzung von Industrie 4.0 jedoch sehr komplex, nicht zuletzt, da Industrie 4.0 **als soziotechnische Aufgabe** zu verstehen ist. Ein soziotechnisches System kann als ein Gesamtsystem verstanden werden, das aus eigenständigen, aber interdependenten technologischen, organisatorischen und personellen Teilsystemen besteht. Mit Industrie 4.0 als ein soziotechnisches Gesamtsystem sind gemäß der Systemgestaltung nach ULICH stets die Dimensionen Mensch, Organisation und Technik zu berücksichtigen [Uli13].

Die Gestaltung von Industrie 4.0 stellt insbesondere **mittelständisch geprägte Unternehmen vor große Herausforderungen**. Mangelndes Wissen und das Überangebot an Technologien tragen dazu bei, dass die Identifikation der zu den Problemstellungen passenden Industrie 4.0 Lösungen zu einer der Kernherausforderungen wird [DER+16, S. 35-36], [Col17, S. 26]. Doch ausschließlich die richtige Auswahl der zum Problem passenden Lösung schafft im Unternehmen nachhaltige Wertschöpfung und Wirksamkeit [VS18, S. 2].

Zur Implementierung von Industrie 4.0 Lösungen fehlt es an Wissen sowie schnell umsetzbaren sowie ganzheitlichen Modellen, insbesondere hinsichtlich einer Identifikation und Auswahl aus den unüberschaubaren Möglichkeiten für unternehmensspezifische Problemstellungen. Wissen ist im Zeitalter von Industrie 4.0 eine an Wert zunehmende Ressource. Um in dem komplexen und dynamischen Wettbewerb bestehen zu können, ist der Rückgriff auf **wiederverwendbares (Lösungs-) Wissen** ein Erfolgsfaktor.

Ein etablierter Ansatz des Wissensmanagements, welcher einen strukturierten Zugriff auf externalisiertes Wissen ermöglicht, stellen **Lösungsmuster** dar. Nach ALEXANDER ET AL. externalisiert ein Lösungsmuster relevantes Wissen und beschreibt ein Problem sowie den Kern der Lösung für dieses Problem [AIS+77, S. 10 (röm.)]. Sie bilden das methodische Grundgerüst der vorliegenden Arbeit, um dem Mittelstand bei der Identifikation der zu ihren Industrie 4.0 Problemen passenden Lösungen sowie dessen Umsetzungsplanung zu unterstützen.

Um diese Unterstützung zu gewährleisten, sind drei **Handlungsfelder** zu adressieren. *Industrie 4.0 ist für eine erfolgreiche Gestaltung als soziotechnische Aufgabe* zu verstehen.

Die Dimensionen Mensch, Technik und Organisation sind stets in einem angemessenen Verhältnis zu betrachten. Dabei stellt die *Wiederverwendung von Lösungswissen* zur Umsetzung komplexer Aufgaben wir Industrie 4.0 einen Erfolgsfaktor dar. Um die Wissenslücken des Mittelstands zu schließen, sollten insb. Vorreiter von Industrie 4.0 betrachtet werden. Einen erfolgsversprechenden Ansatz in diesem Kontext stellt die *Erstellung von Lösungsmustern* dar. Dies erfordert die Analyse des existierenden Lösungswissens hinsichtlich wiederkehrender soziotechnischer Problemstellungen sowie dazugehöriger erfolgreicher Lösungen.

Aus dem Handlungsbedarf werden neun konkrete Anforderungen an Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand abgeleitet. Auf Grundlage dessen erfolgt in Kapitel 4 die Beschreibung und Bewertung etablierter Ansätze aus dem **Stand der Technik**. Es werden zunächst *allgemeine und soziotechnische Ansätze zur Gestaltung von Industrie 4.0* untersucht. Weiterhin werden *Ansätze zur Wiederverwendung von (Lösungs-) Wissen* für Industrie 4.0 vorgestellt. Anschließend werden *existierende Lösungsmuster* im Kontext Industrie 4.0 diskutiert. Eine Erfüllung aller Anforderungen erbringt keiner der untersuchten Ansätze. Vor diesem Hintergrund wird der **Handlungsbedarf** zur Erarbeitung von Lösungsmustern für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand bestärkt.

Kern der vorliegenden Arbeit bildet **Kapitel 5**. Um dem abgeleiteten Handlungsbedarf zu begegnen, werden *die Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand* erarbeitet. Im **Ergebnis** gliedert sich der musterbasierte Ansatz in zwei wesentliche Bestandteile:

1) Die Basis für den gesamten Ansatz stellt der **Strukturierungsrahmen zur soziotechnischen Gestaltung von Industrie 4.0** dar. Er gibt die zu berücksichtigen Bestandteile der drei klassischen soziotechnischen Dimensionen Mensch, Organisation und Technik bzw. Technologien vor. Der soziotechnische Strukturierungsrahmen ist für die weiteren Bestandteile des Ansatzes gültig und dient damit als Leitlinie zur Erarbeitung der Lösungsmuster.

2) Im Rahmen der **Lösungsmuster-Erstellung** werden die Lösungsmuster als wiederkehrende Kombinationen aus soziotechnischen Problemstellungen und zugehörigen Lösungen aus einer Analyse von 87 Best-Practices von Industrie 4.0 identifiziert. Insgesamt resultieren 31 Lösungsmuster, welche in Form von Musterkarten repräsentiert werden. Für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 werden verschiedene konsistente Kombinationsmöglichkeiten der Lösungsmuster für die insgesamt acht ermittelten soziotechnischen Problemklassen erarbeitet.

In **Kapitel 6** wird der Lösungsmusteransatz validiert. Hierfür wird der Durchlauf eines Vorgehensmodells inkl. geeigneter Werkzeuge zur Auswahl und Einführung der Lösungsmuster in einem Unternehmen der Luft-, Klima- und Abgastechnik (KMU) beschrieben. Durch die vorgestellten Resultate können die aufgestellten Anforderungen erfolgreich validiert und die Praxistauglichkeit belegt werden.

Bezogen auf die Lösungsmuster für die soziotechnische Gestaltung von Industrie 4.0 im Mittelstand besteht **weiterer Forschungsbedarf**:

Mit den gewählten 87 Best Practice-Projekten von Industrie 4.0 ist der Betrachtungshorizont zur Ableitung der Lösungsmuster limitiert. Der entstandene **Wissensfundus** ist daher in Zukunft stetig, mit Hilfe des dargelegten Vorgehens, um die Erkenntnisse weiterer Projekte **anzureichern**.

Weiterhin erscheint eine Erweiterung des Anwendungsprozesses der soziotechnischen Lösungsmuster um eine **Risikobetrachtung** als erfolgversprechend. Dieser Forschungsbedarf wird im Rahmen des vom EUROPÄISCHEN FONDS FÜR REGIONALE ENTWICKLUNG NRW (EFRE NRW) geförderten Verbundprojekts „SORISMA – Soziotechnische Risikoabschätzung bei der Einführung von Industrie 4.0“ bereits erschlossen. Der erarbeitete Strukturierungsrahmen und die Lösungsmuster bilden den Ausgangspunkt zur Entwicklung von Methoden zur frühzeitigen soziotechnischen Risikoanalyse, -bewertung, -steuerung sowie dem Risikocontrolling für Industrie 4.0.

Um produzierende Unternehmen bei der **ganzheitlichen Digitalen Transformation** zu unterstützen, sind weiterhin neben Industrie 4.0 die Handlungsfelder der Marktleistung, Geschäftsmodelle und Organisation zu untersuchen. Es empfiehlt sich, zuvor entstandene Lösungsmusteransätze im Kontext der Digitalisierung wie die Smart Service Lösungsmuster nach RABE (GEMINI), die Geschäftsmodellmuster nach AMSHOFF UND ECHTERFELD oder die im Rahmen des Forschungsprojektes IMPRESS[20] entstehenden Muster hybrider Wertschöpfungen unter der soziotechnischen Perspektive zu analysieren und mit den Lösungsmustern der vorliegenden Arbeit zu verknüpfen.

Für den Breitentransfer sind die gesamten Lösungsmuster einer Vielzahl von Unternehmen in digitaler Form zugänglich zu machen. Insbesondere für den Mittelstand ist der Rückgriff auf Erfahrungswissen von Vorreitern essenziell, um eine schnelle und rationelle Weiterentwicklung ihrer Digitalen Transformation zu erreichen. Hierbei ist es denkbar, eine **Wissensplattform**, ähnlich der Plattform Industrie 4.0, für die gesamte Digitale Transformation aufzubauen.

Das Handlungsfeld Organisation, insbesondere mit der Berücksichtigung einer **digital ausgerichteten Unternehmenskultur** ist im Kontext des musterbasierten Problemlösens derzeit weitestgehend unerschlossen. Nicht zuletzt hat das Eintreten der Covid-19 Pandemie gezeigt, wie bedeutend ein digitales Mindset und die Veränderungsbereitschaft aller Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen für den Erfolg eines Unternehmens sein können. Das

[20] IMPRESS steht für „Instrumentarium zur musterbasierten Planung hybrider Wertschöpfungssysteme und Arbeit zur Erbringung von Smart Services“. Das Verbundprojekt wird vom BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF) gefördert.

entwickelte Vorgehen zur Generierung und Anwendung der soziotechnischen Lösungsmuster der Leistungserstellung kann dabei das Rahmenwerk zur Erarbeitung digitaler Kulturmuster in folgenden Forschungsprojekten bilden.

Gleiches gilt für den derzeit relevanten Megatrend der **Nachhaltigkeit**. Die soziotechnische Perspektive lässt sich weitestgehend auf die ökonomische, ökologische und soziale Dimension der Nachhaltigkeit übertragen. Die Bewertung der Lösungsmuster hinsichtlich ihres Beitrags zur Nachhaltigkeit im Unternehmen erscheint ein hilfreiches Werkzeug für die zukünftige Auswahl geeigneter Industrie 4.0 Lösungen im Mittelstand. Hierfür sind Kennzahlen zur strategischen Nachhaltigkeitsbeurteilung erforderlich.

Abkürzungsverzeichnis

bzgl.	bezüglich
bspw.	beispielsweise
bzw.	beziehungsweise
CPS	Cyber-Physical-System
d.h.	das heißt
et al.	et alii
etc.	et cetera
insb.	insbesondere
IT	Informationstechnologie
IoT	Internet of Things
ITS	Intelligentes Technisches System
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
PK	Problemklasse
SE	Systems Engineering
sog.	sogenannte
soziot.	soziotechnisch
u.a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
z.B.	zum Beispiel
z. T.	zum Teil

Literaturverzeichnis

[aca16] ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN: Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0 – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen, München, 2016

[aca17] ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN: Wegweiser Smart Service Welt, 2017

[aca18] ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN: Smart Service Welt 2018 – Wo stehen wir? Wohin gehen wir?, 2018

[Acc16] ACCENTURE: Executive summary – Accenture Technology Vision, 2016

[AIS+77] ALEXANDER, C.; ISHIKAWA, S.; SILVERSTEIN, M.; JACOBSON, M.; FIKSDAHL-KING, I.; ANGEL, S.: A Pattern Language – Towns Buildings Construction. Oxford University Press, New York, 1977

[Ale79] ALEXANDER, C.: The timeless way of building. Oxford University Press, Vol. 1, New York, 1979

[Ams16] AMSHOFF, B.: Systematik zur musterbasierten Entwicklung technologie-induzierter Geschäftsmodelle. Dissertation, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, 2016

[Ana15] ANACKER, H.: Instrumentarium für einen lösungsmusterbasierten Entwurf fortgeschrittener mechatronischer Systeme. Dissertation, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, 2015

[Ban21] BANSMANN, M.: Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen. Dissertation, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, 2021

[BC09] BLESSING, L. T.; CHAKRABARTI, A.: DRM, a Design Research Methodology. Springer Verlag, London, 2009

[Ben21] BENDEL, A.: Arbeits- und prozessorientierte Digitalisierung in Industrieunternehmen: Über die Anwendung eines interventionsorientierten und soziotechnischen Forschungs- und Gestaltungsansatzes. In: HAIPETER, T.; HOOSE, F.; ROSENBOHM, S. (EDS.): Arbeitspolitik in digitalen Zeiten, Nomos Verlagsgesellschaft, 2021

[BEP+18] BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; PLINKE, W.; WEIBER, R.: Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung. Springer Gabler, Berlin, 15. vollständig überarbeitete Auflage, 2018

[BFG+17] BUCHHOLZ, B.; FERDINAND, J.-P.; GIESCHEN, J.-H.; SEIDEL. UWE: Digitalisierung industrieller Wertschöpfung – Transformationsansätze für KMU, 2017

[BFW15] BEIER, M.; FRÜH, S.; WAGNER, K.: Warum alle KMU eine digitale Strategie brauchen. KMU-Magazin, Nr. 4, 2015

[BG13] BENDER, B.; GERICKE, K.: Pahl/Beitz Konstruktionslehre. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2013

[BHH15] BOTTHOF, A.; HARTMANN, E. A.; HARTMANN, E.: Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Springer Verlag, Berlin, 2015

[BHV14] BAUERNHANSL, T.; HOMPEL, M. T.; VOGEL-HEUSER, B.: Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik – Anwendung, Technologien, Migration. Springer Verlag, Wiesbaden, 2014

[BKS20] BENNER WICKNER, M.; KNEUPER, R.; SCHLÖMER, I.: Leitfaden für die Nutzung von Design Science Research in Abschlussarbeiten. IUBH Discussion Papers, Reihe: IT & Engineering, Vol. 2, 2020

[BMR+13] BUSCHMANN, F.; MEUNIER, R.; ROHNERT, H.; SOMMERLAD, P.; STAL, M.: Pattern-Oriented Software Architecture, Volume 1, A System of Patterns. John Wiley & Sons, New York, 1., Auflage, 2013

[BMW14] BMWI; BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE: Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0, Berlin, 2014

[BMW15a] BMWI; BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE: Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland – Eine Studie im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm AUTONOMIK für Industrie 4.0, 2015

[BMW15b] BMWI; BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE: Industrie 4.0 und Digitale Wirtschaft – Impulse für Wachstum, Beschäftigung und Innovation, 2015

[BMW17] BMWI; BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE: Themenheft: Sensor, Tablet, RFID: Digitale Technologien in der Produktion, 2017

[BMW19] BMWI; BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE: Wertschätzung – Stärkung – Entlastung: Eckpunkte der Mittelstandsstrategie, 2019

[BMW20a-ol] BMWI; BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE: Plattform Industrie 4.0 – Ziel, Selbstverständnis und Aktivitäten der Plattform. Unter: https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/DE/Plattform/Hintergrund/hintergrund.html, 14. Juli 2020

[BMW20b-ol] BMWI, BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE: Landkarte der Plattform Industrie 4.0. Unter: https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/In-der-Praxis/Karte/karte.html, 14. Juli 2020

[Bor08] BORCHERS, J. O.: A Pattern Approach to Interaction Design. In: Rossi, G. (Ed.): Webengineering, Springer, London, 2008

[Bot18] BOTZKOWSKI, T.: Digitale Transformation von Geschäftsmodellen im Mittelstand – Theorie, Empirie und Handlungsempfehlungen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2018

[Bro20a-ol] BROCKHAUS: digital (Informatik) – Definition der Brockhaus Enzyklopädie. Unter: https://brockhaus.de/ecs/enzy/article/digital-informatik?fromSearch=true, 06. Februar 2020

[Bro20b-ol] BROCKHAUS: Digitalisierung – Definition der Brockhaus Enzyklopädie. Unter: http://brockhaus.de/ecs/enzy/article/digitalisierung, 06. Februar 2020

[Bro20c-ol] BROCKHAUS: Transformation (allgemein) – Definition der Brockhaus Enzyklopädie. Unter: http://brockhaus.de/ecs/enzy/article/transformation-allgemein (aufgerufen am 2018-02-05), 06. Februar 2020

[BRV+16] BERGER, K.; RÖTTGER, U.; VOGEL, L.; WIENCIERZ, C.; WIESENBERG, M.: Wohin geht die Reise? Wie Megatrends die Unternehmenskommunikation verändern. Communication Insights, Iss. 2, 2016

[BS11] BAXTER, G.; SOMMERVILLE, I.: Socio-technical systems – From design methods to systems engineering. Interacting with Computers, Vol. 23, Iss. 1, 2011, p. 4-17

[BS18] BOGUS, K.; STOCK, P.: REFA-Checkliste Industrie 4.0 – Ganzheitliche Gestaltung als Basis der Industrie 4.0, 2018

[BSI17a] BSI; BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK: BSI-Standard 200.2 – IT-Grundschutz-Methodik, Iss. Version 1.0, 2017

[BSI17b] BSI; BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK: BSI-Standard 200-3 – Risikoanalyse auf Basis von IT-Grundschutz, Iss. Version 1.0, 2017

[BUB17] BECKER, W.; ULRICH, P.; BOTZOWSKI, T.: Management und Controlling im Mittelstand – Industrie 4.0 im Mittelstand – Best Practice und Implikationen für KMU. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2017

[CD07] CLOUTIER, R. J.; DINESH, V.: Applying the concept of patterns to systems architecture. Systems Engineering, Vol. 10, Iss. 2, 2007, p. 138-154

[CM12] Capgemini Consulting; MIT Center for Digital Business and Capgemini Consulting: The Digital Advantage: How digital leaders outperform their peers in every industry. 2012

[CS99] CHECKLAND, P.; SCHOLES, J.: Soft systems methodology in action. Wiley, 1999

[Dei09] DEIGENDESCH, T.: Kreativität in der Produktentwicklung und Muster als methodisches Hilfsmittel. Dissertation, Institut für Produktentwicklung IPEK, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe, 2009

[DER+16] DEMARY, V.; ENGELS, B.; RÖHL, K.-H.; RUSCHE, C.: Digitalisierung und Mittelstand - Eine Metastudie. IW-Analysen, Iss. 109, 2016

[DGK+15] DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.; KÜHN, A.; LUCKEY, M.; PLASS, C.; SCHNEIDER, M.; WESTERMANN, T.: Auf dem Weg zu Industrie 4.0: Erfolgsfaktor Referenzarchitektur. it's OWL – Auf dem Weg zu Industrie 4.0, 2015

[DHT16] DIEDRICH, C.; HADLICH, T.; THRON, M.: Semantik durch Merkmale für Industrie 4.0. In: VOGEL-HEUSER, B.; BAUERNHANSL, T.; HOMPEL, M. T. (EDS.): Handbuch Industrie 4.0, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2016

[DIS+19] DÖRRIES, F.; INDORF, M.; SCHÖPPER, H.; LODEMANN, S.: Arbeit 4.0 – Wie Unternehmen den Wandel aktiv gestalten können, Iss. 1. Auflage, 2019

[DLW+19] DUMITRESCU, R.; LIPSMEIER, A.; WESTERMANN, T.; KÜHN, A.: Digitale Transformation ganzheitlich managen. Industrie 4.0 Management, Vol. 2019, Iss. 4, 2019, p. 55-58

[DMS+05] DIPPOLD, R.; MEIER, A.; SCHNIDER, W.; SCHWINN, K.: Unternehmensweites Datenmanagement – Von der Datenbankadministration bis zum Informationsmanagement. Vieweg+Teubner Verlag, Wiesbaden, 4., überarbeitete und erweiterte Auflage, 2005

[DO98] DUFFY, A. H. B.; O'DONNEL, F. J.: A Design Research Approach, Glasgow, United Kingdom, 1998

[Dör16] DÖRING, H.: Wissensmanagement in Familienunternehmen. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2016

[DSE16] DEFLORIN, P.; SCHERRER, M.; EBERHARDT, N.: Digitale Intensität und Management der Transformation. In: SCHALLMO, D.; RUSNJAK, A.; ANZENGRUBER, J.; WERANI, T.; JÜNGER, M. (EDS.): Digitale Transformation von Geschäftsmodellen: Grundlagen, Instrumente und Best Practices, Springer Science and Business Media; Springer Gabler, Wiesbaden, 2016

[Dud20-ol] DUDENREDAKTION (o. J.): Best Practice. Unter: https://www.duden.de/rechtschreibung/Best_Practice, 05. Januar 2020

[Dum10] DUMITRESCU, R.: Entwicklungssystematik zur Integration kognitiver Funktionen in fortgeschrittene mechatronische Systeme. Dissertation, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, 2010

[EBD+15] EMMRICH, V.; BAUERNHANSL, T.; DÖBELE, M.; PAULUS-ROHMER, D.; SCHATZ, A.; WESKAMP, M.: Geschaeftsmodell-Innovation durch Industrie 4.0 – Chancen und Risiken für den Maschinen- und Anlagenbau, 2015

[Ech20] ECHTERFELD, J.: Systematik zur Digitalisierung von Produktprogrammen. Dissertation, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, 2020

[EL16] ENNEMANN, M.; LINDEN, S.: Survival of the Smartest – Studie zur digitalen Transformation, 2016

[FPM+21] FAKHAR MANESH, M.; PELLEGRINI, M. M.; MARZI, G.; DABIC, M.: Knowledge Management in the Fourth Industrial Revolution: Mapping the Literature and Scoping Future Avenues. IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 68, Iss. 1, 2021, p. 289-300

[Fra17] FRAUCHIGER, D.: Anwendungen von Design Science Research in der Praxis. In: PORTMANN, E. (ED.): Wirtschaftsinformatik in Theorie und Praxis, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2017

[Fuj16] FUJITSU: Der digitale Drahtseilakt. Fujitsu Technology Solutions, 2016

[Gab20] GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON: Definition Benchmarking. Unter: https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/benchmarking-29988, 25. Mai 2021

[Gar19-ol] GARTNER: Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies – Smarter with Gartner. Unter: https://www.gartner.com/smarterwithgartner/5-trends-appear-on-the-gartner-hype-cycle-for-emerging-technologies-2019/, 05. Januar 2021

[Gar20-ol] GARTNER: Digitalization – Gartner Glossary – Information Technology. Unter: https://www.gartner.com/en/information-technology/glossary/digitalization, 20. Dezember 2020

[GDE+18] GAUSEMEIER, J.; DUMITRESCU, R.; EBBESMEYER, P.; FECHTELPETER, C.; HOBSCHEIDT, D.: Auf dem Weg zu Industrie 4.0: Digitale Transformation im Mittelstand. it's OWL – Auf dem Weg zu Industrie 4.0, 2018

[GFC17] GASSMANN, O.; FRANKENBERGER, K.; CSIK, M.: Geschäftsmodelle entwickeln – 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator. Hanser Verlag, München, 2. Auflage, 2017

[GH18] GÄRTNER, C.; HEINRICH, C.: Fallstudien zur Digitalen Transformation. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2018

[GHJ+94] GAMMA, E.; HELM, R.; JOHNSON, R. E.; VLISSIDES, J.: Design patterns – Elements of reusable object-oriented software. Addison-Wesley, 1994

[GK16] GAUSEMEIER, J.; KLOCKE, F.: Industrie 4.0 – Internationaler Benchmark, Zukunftsoptionen und Handlungsempfehlungen für die Produktionsforschung, 2016

[GP14] GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. Hanser Verlag, München, 2. Aufl., 2014

[GTS14] GAUSEMEIER, J.; TRÄCHTLER, A.; SCHÄFER, W.: Semantische Technologien im Entwurf mechatronischer Systeme – Effektiver Austausch von Lösungswissen in Branchenwertschöpfungsketten. Hanser Verlag, München, 2014

[GWE+17] GAUSEMEIER, J.; WIESECKE, J.; ECHTERHOFF, B.; ISENBERG, L.; KOLDEWEY, C.; MITTAG, T.; SCHNEIDER, M.: Mit Industrie 4.0 zum Unternehmenserfolg – Integrative Planung von Geschäftsmodellen und Wertschöpfungssystemen. Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, 2017

[Har17] HARVARD BUSINESS REVIEW: Operationalizing Digital Transformation – New Insights into making Digital Transformation work. Harvard Business School, 2017

[Hev07] HEVNER, A. R.: A Three Cycle View of Design Science Research. Scandinavian Journal of Information Systems, Iss. Volume 19, 2007

[HH21] HEINLEIN, M.; HUCHLER, N.: Digitalisierung und die Bearbeitung von Ungewissheit. Gruppe. Interaktion. Organisation. Zeitschrift für Angewandte Organisationspsychologie (GIO), Vol. 52, Iss. 4, 2021, p. 625-637

[HHI+15] HIRSCH-KREINSEN, H.; HOMPEL, M. T.; ITTERMANN, P.; NIEHAUS, J.; DREGGER, J.; MÄTTIG, B.; KIRKS, T.: Digitalisierung von Industriearbeit: Forschungsstand und Entwicklungsperspektiven – Ein Leitbild der technologischen, organisatorischen und sozialen Herausforderungen der Industrie 4.0, Dortmund, 2015

[HN19] HERRMANN, T.; NIERHOFF, J.: Heuristik 4.0 – Heuristiken zur Evaluation digitalisierter Arbeit bei Industrie-4.0 und KI-basierten Systemen aus soziotechnischer Perspektive – Forschungsbericht. FGW-Studie Digitalisierung von Arbeit, Iss. 16, 2019

[HW14] HIRSCH-KREINSEN, H.; WEYER, J.: Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“, Soziologisches Arbeitspapier Nr. 38/2014, Dortmund, 2014

[IRS+09] IHL, C.; REICHWALD, R.; SEIFERT, S.; PILLER, F.: Interaktive Wertschöpfung – Open Innovation, Individualisierung und neue Formen der Arbeitsteilung. Gabler Verlag, 2009

[KC97] KERTH, N. L.; CUNNINGHAM, W.: Using patterns to improve our architectural vision. IEEE Software, Vol. 14, Iss. 1, 1997, p. 53-59

[KHV+13] KEUPER, F.; HAMIDIAN, K.; VERWAAYEN, E.; KALINOWSKI, T.: Digitalisierung und Innovation – Planung - Entstehung - Entwicklungsperspektiven. Springer Gabler, Wiesbaden, 2013

[KI18] KOPP, R.; ITTERMANN, P.: Konzeptionelle Perspektiven von Arbeit in der digitalisierten Logistik – Veröffentlichung des Forschungsprojektes Innovationslabor »Hybride Dienstleistungen in der Logistik«, 55/2018

[KNP17] KREUTZER, R. T.; NEUGEBAUER, T.; PATTLOCH, A.: Digital Business Leadership – Digitale Transformation – Geschäftsmodell-Innovation – agile Organisation – Change-Management. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2017

[KS08] KOHLS, C.; SCHEITER, K.: The relation between design patterns and schema theory. In: AGUIAR, A.; YODER, J. (EDS.): Proceedings of the 15th Conference on Pattern Languages of Programs - PLoP '08. The 15th Conference, 18.10.2008 - 20.10.2008, Nashville, Tennessee, ACM Press, New York, USA, 2008

[KS16a] KOLLMANN, T.; SCHMIDT, H.: Deutschland 4.0 -– Wie die Digitale Transformation gelingt. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2016

[KS16b] KRALLMANN, H.; SIVRI, S. D.: Soziotechnische Betrachtung der Digitalisierung – Auswirkungen der Industrie 4.0. Technologie & Management, Fokus Industrie 4.0, Iss. 03, 2016, p. 12-15

[KSS+17] KRAUSE, T.; STRAUß, O.; SCHEFFLER, G.; KETT, H.; LEHMANN, K.; RENNER, T.: IT-Plattformen für das Internet der Dinge (IoT) – Basis intelligenter Produkte und Services. Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 2017

[Kus18] KUSAY-MERKLE, U.: Agiles Projektmanagement im Berufsalltag. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2018

[KW08] KOHLS, C.; WEDEKIND, J.: Die Dokumentation erfolgreicher E-Learning-Lehr-/ Lernarrangements mit didaktischen Patterns. In: ZAUCHNER, S.; BAUMGARTNER, P.; BLASCHITZ, E.; WEISSENBÄCK, A. (EDS.): Offener Bildungsraum Hochschule – Freiheiten und Notwendigkeiten; 13. Europäische Jahrestagung der Gesellschaft für Medien in der Wissenschaft (GMW08), Münster, 2008

[KWH12] KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J.: Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 – Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern, 2012

[LKD+19] LIPSMEIER, A.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.; FLACH, O.: Erfolgsfaktor Digitalisierungsstrategie – Strategisches Management der digitalen Transformation. In: GAUSEMEIER, J.; BAUER, W.; DUMITRESCU, R. (EDS.): Vorausschau und Technologieplanung. 15. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 2019

[LKS+16] LUDWIG, T.; KOTTHAUS, C.; STEIN, M.; DURT, H.; KURZ, C.; WENZ, J.; DOUBLET, T.; BECKER, M.; PIPEK, V.; WULF, V.: Arbeiten im Mittelstand 4.0 – KMU im Spannungsfeld des digitalen Wandels. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, Vol. 53, Iss. 1, 2016, p. 71-86

[LP16] LUDWIG, T.; PIPEK, V.: Cyber-Physische Produktionssysteme im Mittelstand: Herausforderungen zu Industrie 4.0 aus Sicht von KMU. In: LISZT, F.; SCHMIDT, E. (EDS.): MKWI 2016 – Cyber-Physische Systeme und digitale Wertschöpfungsnetzwerke, DE GRUYTER, Berlin, Boston, 2016

[McK19] MCKINSEY & COMPANY: Industry 4.0: Capturing value at scale in discrete manufacturing. Vol. 2019

[MGO20] MÖLLER, F.; GUGGENBERGER, T. M.; OTTO, B.: Towards a Method for Design Principle Development in Information Systems. In: HOFMANN, S.; MÜLLER, O.; ROSSI, M. (EDS.): Designing for Digital Transformation. Co-Creating Services with Citizens and Industry, Springer International Publishing, Cham, 2020

[Mik17] MIKFELD, B.: Digitale Transformation und die Arbeitswelt der Zukunft, Düsseldorf, 2017

[MPR02] MAUCHER, I.; PAUL, H.; RUDOLF, C.: Modellierung in Soziotechnischen Systemen. In: DESEL, J.; WESKE, M. (EDS.): Prozessorientierte Methoden und Werkzeuge für die Entwicklung von Informationssystemen, Köllen Druck+Verlag GmbH, Bonn, 2002

[NM18] NORTH, K.; MAIER, R.: Wissen 4.0 – Wissensmanagement im digitalen Wandel. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, Vol. 55, Iss. 4, 2018, p. 665-681

[Nor16] NORTH, K.: Wissensorientierte Unternehmensführung. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2016

[NT97] NONAKA, I.; TAKEUCHI, H.: Die Organisation des Wissens – Wie japanische Unternehmen eine brachliegende Ressource nutzbar machen, 1997

[NWD18] NÖHRING, F.; WÖSTMANN, R.; DEUSE, J.: Auswahlhilfe für Industrie 4.0-Lösungen. In: WAGNER, R. M. (ED.): Industrie 4.0 für die Praxis, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2018

[NWW+16] NÖHRING, F.; WIENZEK, T.; WÖSTMANN, R.; DEUSE, J.: Industrie 4.0 in nicht F&E-intensiven Unternehmensentwicklung einer sozio-technischen Gestaltungs- und Einführungssystematik. Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Iss. Band 111, Heft 6, 2016

[ÖBF+10] ÖSTERLE, H.; BECKER, J.; FRANK, U.; HESS, T.; KARAGIANNIS, D.; KRCMAR, H.; LOOS, P.; MERTENS, P.; OBERWEIS, A.; SINZ, E. J.: Memorandum zur gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik. Business and Information Systems Engineering the international journal of Wirtschaftsinformatik, 2010

[ÖO10] ÖSTERLE, H.; OTTO, B.: Konsortialforschung. WIRTSCHAFTSINFORMATIK, Vol. 52, Iss. 5, 2010, p. 273-285

[PAC16-ol] PAC: Pierre Audoin Consultants (PAC) SITSI Market research service, Innovation Register – Use Cases. Unter: https://www.sitsi.com/user/login?destination=innovation-register-landing/use-case, 08. März 2020

[Pol85] POLANYI, M.: Implizites Wissen. Suhrkamp, Vol. 543, Frankfurt am Main, 1. Auflage, 1985

[PRŁ22] PATALAS-MALISZEWSKA, J.; REHM, M.; ŁOSYK, H.: Manufacturing knowledge map for sustainable Manufacturing: A case study. IFAC-PapersOnLine, Vol. 55, Iss. 2, 2022, p. 217-222

[PRR12] PROBST, G.; RAUB, S.; ROMHARDT, K.: Wissen managen – Wie Unternehmen ihre wertvollste Ressource optimal nutzen. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2012

[PYK15] PFOHL, H.-C.; YAHSI, B.; KURNAZ, T.: The impact of Industry 4.0 on the Supply Chain. Innovations and Strategies for Logistics and Supply Chains, 2015

[Rau13] RAUTER, R.: Interorganisationaler Wissenstransfer. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2013

[RB15] ROLAND BERGER STRATEGY CONSULTANTS GMBH; BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN INDUSTRIE E.V.: Die digitale Transformation der Industrie – Was sie bedeutet. Wer gewinnt. Was jetzt zu tun ist., 2015

[Ric63] RICE, A.: The enterprise and its environment, London, 1963

[Rie16] RIEMENSPERGER, F.: Industrie 4.0 – wie Sensoren, Big Data und 3D-Druck die Produktion und die Arbeit in der Fabrik verändern, 2016

[Sac92] SACKMANN, S. A.: Culture and Subcultures: An Analysis of Organizational Knowledge, Vol. 37, No. 1, 1992, p. 140-161

[SAG+17] SCHUH, G.; ANDERL, R.; GAUSEMEIER, J.; HOMPEL, M. T.; WAHLSTER, W.: Industrie 4.0 Maturity Index – Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten. Herbert Utz Verlag GmbH, München, 2017

[Sal01] SALUSTRI, F. A.: Using Design Patterns to Promote Multidisciplinary Design. In: Proceedings of the CSME International Conference on Multi-displinary Design Engineering, Montreal, Canada, 2001

[SB12] SCHAWEL, C.; BILLING, F.: Morphologischer Kasten. In: SCHAWEL, C.; BILLING, F. (EDS.): Top 100 Management Tools, Springer Gabler Verlag, Wiesbaden, 2012

[SBK+18] SCHUH, G.; BOOS, W.; KELZENBERG, C.; LANGE, J. de; STRACKE, F.; HELBIG, J.; BOSHOF, J.; EBBECKE, C.: Industrie 4.0: Implement it! – Ein Leitfaden zur erfolgreichen Implementierung von Industrie 4.0-Lösungen. Werkzeugmaschinenlabor der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, Aachen, 1. Edition, 2018

[Sch03] SCHUMACHER, M.: Security Engineering with Patterns – Origins, Theoretical Model and New Applications. Springer Verlag, Vol. 2754, Berlin, Heidelberg, 2003

[Sch14] SCHENKL, S.: Wissensorientierte Entwicklung von Produkt-Service-Systemen. Dissertation, Lehrstuhl für Produktentstehung, Technische Universität München, München, 2014

[Sch16a] SCHRÖDER, C.: Herausforderungen von Industrie 4.0 für den Mittelstand. Friedrich-Ebert-Stiftung, Abteilung Wirtschafts- und Sozialpolitik, Bonn, 2016

[Sch16b] SCHALLMO, D. R.: Jetzt digital transformieren. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2016

[Son17] SONOTOW, K.: Business Transformation – Der Weg zu Industrie 4.0. In: Trovarit AG (Ed.): Industrie 4.0, 2017

[Spe15] SPELSIEK, J.: Motivationsorientierte Steuerung des Wissenstransferverhaltens – Modellierung, empirische Analyse und Anreizsystemgestaltung. Deutscher Universitätsverlag, 2015

[TPS+16] TÜLLMANN, C.; PRASSE, C.; SAGNER, D.; PIASTOWSKI, H.: Prozesse durch Digitalisierung nachhaltig optimieren, 2016

[Tri81] TRIST, E.: The evolution of socio-technical systems - a conceptual framework and an action research program. Ontorio Ministry of Labour, Vol. 2, Ontario, 1981

[Uli11] ULICH, E.: Arbeitspsychologie. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich; Schöffer-Poeschel Verlag, Zürich, Stuttgart, 7. neu überarbeitete und erweiterte Auflage, 2011

[Uli13] ULICH, E.: Arbeitssysteme als Soziotechnische Systeme – eine Erinnerung. Psychologie des Alltagshandelns, Vol. 6, Iss. 1, 2013, p. 4-12

[VDM15] VDMA: Leitfaden Industrie 4.0 – Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand. VDMA-Verlag, Frankfurt am Main, 2015

[VS18] VOGEL, R.; SCHLOSSBERGER, E.: Welle der Wirksamkeit – Das Modell für nachhaltig erfolgreiche Organisationen im digitalen Zeitalter. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2018

[Web17] WEBER, A.: Digitalisierung - Machen! Machen! Machen! – Wie Sie Ihre Wertschöpfung steigern und Ihr Unternehmen retten. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2017

[Wes17] WESTERMANN, T.: Systematik zur Reifegradmodell-basierten Planung von Cyber-Physical Systems des Maschinen- und Anlagenbaus. Dissertation, Heinz Nixdorf Institut, Universität Paderborn, Paderborn, 2017

[WH18] WISCHMANN, S.; HARTMANN, E. A.: Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2018

[WM18] WINBY, S.; MOHRMAN, S. A.: Digital Sociotechnical System Design. The Journal of Applied Behavioral Science, Vol. 54, Iss. 4, 2018, p. 399-423

[WP15] WENTURA, D.; POSPESCHILL, M.: Multivariate Datenanalyse. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2015

[WW08] WÖRDENWEBER, B.; WICKORD, W.: Technologie- und Innovationsmanagement im Unternehmen – Lean Innovation. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 3. bearbeitete und erweiterte Auflage, 2008

[Zim08] ZIMMERMANN, B.: Pattern-basierte Prozessbeschreibung und -unterstützung – Ein Werkzeug zur Unterstützung von Prozessen zur Anpassung von E-Learning Materialien. Dissertation, Fachbereich Elektrotechnik und Informationstechnik, Technische Universität Darmstadt, 2008

[ZL16] ZOLLKAMP, M.; LÄSSIG, R.: Digitaliserung im Industriegütergeschäft. In: SCHALLMO, D.; RUSNJAK, A.; ANZENGRUBER, J.; WERANI, T.; JÜNGER, M. (EDS.): Digitale Transformation von Geschäftsmodellen: Grundlagen, Instrumente und Best Practices, Springer Science and Business Media; Springer Gabler, Wiesbaden, 2016

Studentische Arbeiten

Die nachstehend aufgeführten studentischen Arbeiten wurden im Kontext der vorliegenden Dissertation am Lehrstuhl Advanced Systems Engineering / Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn angefertigt. Die Definition der Zielsetzung, die Bearbeitung sowie die Auswertung, Interpretation und Visualisierung von Ergebnissen erfolgten unter wissenschaftlicher Anleitung der Betreuenden Daniela Hobscheidt, Michael Bansmann sowie Tobias Mittag. Die erzielten Ergebnisse sind zum Teil in die Dissertation eingeflossen.

[UHB18] UNGEWISS, A. L.; HOBSCHEIDT, D. (Betreuerin); BANSMANN, M. (Betreuer): Identifikation und Strukturierung von Lösungen der Digitalen Transformation unter soziotechnischen Gesichtspunkten. Universität Paderborn, Lehrstuhl Advanced Systems Engineering / Heinz Nixdorf Institut, unveröffentlichte Masterarbeit, 2018

[LMH16] LÜKEN, F.; MITTAG, T. (Betreuer); HOBSCHEIDT, D. (Betreuerin): Methode zur Leistungsbewertung von Unternehmen im Kontext Industrie 4.0 unter soziotechnischen Gesichtspunkten. Universität Paderborn, Lehrstuhl Advanced Systems Engineering / Heinz Nixdorf Institut, unveröffentlichte Studienarbeit, 2016

Anhang

Inhaltsverzeichnis Seite

A1 Literaturanalyse zur Ableitung des Strukturierungsrahmens A-1
A1.1 Analyse der Dimension Technik A-1
A1.2 Analyse der Dimension Organisation A-4
A1.3 Analyse der Dimension Mensch A-8

A2 Beispielhafte Projektsteckbriefe und Merkmalsmorphologien A-13

A3 Soziotechnische Problemklassen A-19

A4 Lösungsmusterkarten A-21

A5 Lösungsmusterkombinationen je Problemklasse A-52
A5.1 Auflistung A-52
A5.2 Steckbriefe A-57

A6 Herleitung der Mustersysteme A-69

A1 Literaturanalyse zur Ableitung des Strukturierungsrahmens

A1.1 Analyse der Dimension Technik

Autoren, Erscheinungsjahr	Kategorie: Technologie		Kategorie: Automatisierung der Produktion	
	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte
Appelbaum, 1997	X	*Technologische Entwicklungen *Technologies	X	*equipment and methods to transform material into products or services
Bochum, 2015	X	*Technologien		
Dembrowski et al., 2018	X	*Eignung einer Technologie	X	*Digitalisierungslösungen *Produktionsequipment und Maschinen
Dembrowski et al., 2014	X	*Cloud Computing	X	*Automatisierung
Hirsch-Kreinsen, 2014/2015			X	*Echtzeit-Informationen *Simulation
Hirsch-Kreinsen, 2018	X	*Organisationstechnologie	X	*Automatisierung *Automatisierungstechnik
Löhrer et al., 2018			X	*mechatronische Systeme *neue Produktionstechniken *Automatisierungskomponenten
Sivri, Krallmann, 2016	X	*Internet der Dinge		
Steinhüser et al.,2017	X	*Technologien *Internet der Dinge	X	*Automatisierung von Produktionsprozessen *Connected Factory *Serlbstlernende Produktion
Stopper et al., 2017	X	*Technologie	X	*Betriebsmittel *technologische und räumliche Bedingungen
Ulich, 2013			X	*Einsatz von Technik *Produktionsbedingungen *Grad der Automatisierung
Summe der Nennungen	**8**		**9**	
Prozentualer Anteil	**73%**		**82%**	

Autoren, Erscheinungsjahr	Kategorie: Mensch-Maschine-Interaktion		Kategorie: Datenmanagement	
	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte
Appelbaum, 1997				
Bochum, 2015				
Dembrowski et al., 2018				
Dembrowski et al., 2014	X	*Interoperabilität *Geteilte Kontrolle	X	*Vernetzung *Virtualität *CPS
Hirsch-Kreinsen, 2014/2015			X	*CPS *CPPS
Hirsch-Kreinsen, 2018			X	*Bereitstellung von Daten und Informationen
Löhrer et al., 2018			X	*CPS *Datennutzung *Darstellung von Informationen
Sivri, Krallmann, 2016			X	*Sensorik *Datenübertragung *Datenvolumen
Steinhüser et al.,2017			X	*Vernetzung von Maschinen *Sensoren *Advanced oder Industrializes Analytics
Stopper et al., 2017				
Ulich, 2013	X	*MMI *Funktionsteilung		
Summe der Nennungen	**2**		**6**	
Prozentualer Anteil	**18%**		**55%**	

Autoren, Erscheinungsjahr	Kategorie: IT-Systeme		Kategorie: Sonstiges	
	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte
Appelbaum, 1997	X	*information systems		
Bochum, 2015				
Dembrowski et al., 2018	X	*IT- Software und Infrastruktur *IT-Sicherheit		
Dembrowski et al., 2014				
Hirsch-Kreinsen, 2014/2015			X	*Logistik
Hirsch-Kreinsen, 2018	X	*IT-Systeme		
Löhrer et al., 2018	X	*IT Komponenten *IT Systeme		
Sivri, Krallmann, 2016	X	*IT-Dienste		
Steinhüser et al.,2017	X	*IT -Unterstützung		
Stopper et al., 2017				
Ulich, 2013			X	*Produkt
Summe der Nennungen	**5**		**2**	
Prozentualer Anteil	**55%**		**18%**	

A1.2 Analyse der Dimension Organisation

Autoren, Erscheinungsjahr	Kategorie: Kultur		Kategorie: Aufbauorganisation	
	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte
Appelbaum, 1997	X	*Change Modelle *Management philosophy *commitment *culture, norms, roles and communication		
Bochum, 2015	X	*Organisationsphilosophie und Rollen	X	*Organisationsmodelle
Dembrowski et al., 2018	X	*Sensibilisierung *Unternehmenskultur *Change-Management *Datenschutz		
Dembrowski et al., 2014	X	*Kooperation *Kommunikation		
Hirsch-Kreinsen, 2014/2015	X	*Kooperation *Kommunikation	X	*Arbeitsteilung *Leitungsstruktur *Hierarchie
Hirsch-Kreinsen, 2018	X	*Handlungsspielräume *Selbstorganisation *Kommunikation und Koop.	X	*Neuorganisation von Managementfunktionen
Löhrer et al., 2018	X	*Menschenzentrierung und Verantwortungsfreiraum *Selbstverantwortung	X	*Personaleinsatz
Sivri, Krallmann, 2016	X	*Datenschutz		
Steinhüser et al.,2017				
Stopper et al., 2017	X	*Selbstregulations-möglichkeiten *Mitarbeiterpartizipation		
Ulich, 2013	X	*Mitwirkungsrechte *Gestaltung der Organisation	X	*Aufbauorganisation *Personalstruktur
Summe der Nennungen	**10**		**5**	
Prozentualer Anteil	**91%**		**45%**	

Autoren, Erscheinungsjahr	Kategorie: Prozesse		Kategorie: Wissen	
	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte
Appelbaum, 1997	X	*Leadership procedure *change process	X	*skills and knowledge
Bochum, 2015	X	*Prozessmanagement *Produktionsprozesse		
Dembrowski et al., 2018	X	*Prozessgestaltung *Prozessbeschreibung *Prozessorientierung	X	*Qualifizierung
Dembrowski et al., 2014	X	*aufbau- und ablauforg. Maßnahmen *Prozesssteuerung *Arbeitsorganisation *Wertschöpfungsprozesse	X	*Kommunikation
Hirsch-Kreinsen, 2014/2015			X	*Kommunikation
Hirsch-Kreinsen, 2018	X	*Prozesse	X	*Lernen und Qualifizieren *Lernförderung *Kommunikation
Löhrer et al., 2018	X	*menschenzentrierte und verantwortungsfreiräumliche Prozesse	X	*informelles Lernen *Schulungen *Ausbildungsformen
Sivri, Krallmann, 2016	X	*ad hoc Prozesse *virtuelle Prozesse *Internet der Dienste	X	*Verwertung von Daten
Steinhüser et al.,2017	X	*Strukturen und Prozesse	X	*Mitarbeiterzentrierter Wissensaustausch
Stopper et al., 2017				
Ulich, 2013	X	*Prozesse		
Summe der Nennungen	**9**		**8**	
Prozentualer Anteil	**82%**		**73%**	

Autoren, Erscheinungsjahr	Kategorie: Strategie		Kategorie: Innovationsmanagement	
	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte
Appelbaum, 1997	X	*Goal/Tasks		
Bochum, 2015				
Dembrowski et al., 2018				
Dembrowski et al., 2014				
Hirsch-Kreinsen, 2014/2015				
Hirsch-Kreinsen, 2018				
Löhrer et al., 2018				
Sivri, Krallmann, 2016			X	*Geschäftsmodelle
Steinhüser et al.,2017	X	*Strategien zur Zielerreichung *Geschäfts- und IT Strategien	X	*Potential für neue Innovationen
Stopper et al., 2017				
Ulich, 2013	X	*Unternehmensziels und Strategien	X	*Innovationsverhalten
Summe der Nennungen	**3**		**3**	
Prozentualer Anteil	**27%**		**27%**	

Autoren, Erscheinungsjahr	Kategorie: Sonstiges	
	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte
Appelbaum, 1997	X	*Environment
Bochum, 2015		
Dembrowski et al., 2018	X	*Reifegrad *Projektorganisation
Dembrowski et al., 2014		
Hirsch-Kreinsen, 2014/2015		
Hirsch-Kreinsen, 2018		
Löhrer et al., 2018		
Sivri, Krallmann, 2016		
Steinhüser et al.,2017		
Stopper et al., 2017		
Ulich, 2013	X	*Lohnsysteme
Summe der Nennungen	**3**	
Prozentualer Anteil	**27%**	

A1.3 Analyse der Dimension Mensch

Autoren, Erscheinungsjahr	Kategorie: Qualifizierung		Kategorie: Arbeitsaufgaben	
	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte
Appelbaum, 1997	X	*additional training	X	*job design *work structure *Self-management
Bochum, 2015	X	*Qualifizierungs- und Weiterbildungs-maßnahmen *Kompetenzen *Lernen		
Dembrowski et al., 2018	X	*Qualifikation		
Dembrowski et al., 2014	X	*Qualifikationsniveau *Neue Berufe	X	*Aufgabenstruktur *Arbeitsweise
Hirsch-Kreinsen, 2014/2015	X	*Qualifikation	X	*Aufgaben *Spielräume
Hirsch-Kreinsen, 2018	X	*Lern- und Qualifikations-prozesse	X	*Arbeitsfluss *Tätigkeitsgestaltung
Löhrer et al., 2018	X	*Kompetenz-entwicklung	X	*Arbeitsinhalte *Arbeitsaufgaben
Sivri, Krallmann, 2016	X	*notwendige Qualifikationen *fachliche und akademische Ausbildungsformen		
Steinhüser et al.,2017	X	*individuelle Fähigkeiten *Problemlösungs- und Fachkompetenzen	X	*Arbeitspraktiken *Arbeitskontext *Autonomie
Stopper et al., 2017	X	*individuelle Qualifikationen	X	*Arbeitsaufgaben-gestaltung *Autonomie *Anforderungsvielfalt
Ulich, 2013	X	*Nutzung und Entwicklung von Mitarbeiter-qualifikationen *Qualifizierung	X	*Arbeitsaufgaben *Tätigkeitsabläufe
Summe der Nennungen	**11**		**8**	
Prozentualer Anteil	**100%**		**73%**	

Autoren, Erscheinungsjahr	Kategorie: Arbeitsplatz/ Arbeitsstrukturen		Kategorie: Zusammenarbeit	
	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte
Appelbaum, 1997	X	*work structure		
Bochum, 2015				
Dembrowski et al., 2018			X	*Entscheidungs-kompetenz
Dembrowski et al., 2014	X	*Ergonomie	X	*Interoperabilität *Mensch-Maschine-Interaktion *Formen der Zusammenarbeit
Hirsch-Kreinsen, 2014/2015			X	*Erfahrungswissen
Hirsch-Kreinsen, 2018	X	*Ergonomie *Arbeitsbedingungen	X	*Zusammenarbeit *Mensch-Maschine-Inetraktion
Löhrer et al., 2018	X	*Arbeitsstrukturen *Individualisierung		
Sivri, Krallmann, 2016				
Steinhüser et al.,2017	X	*Personalisierung	X	*Soziale Eingebundenheit
Stopper et al., 2017			X	*Bedürfnisse organisationaler Gruppen *Bedeutsamkeit und Anerkennung
Ulich, 2013	X	*Arbeitsgestaltung *Arbeitszeitmodelle	X	*Kommunikation
Summe der Nennungen	**6**		**7**	
Prozentualer Anteil	**55%**		**64%**	

Autoren, Erscheinungsjahr	Kategorie: Wahrnehmung		Kategorie: Rollen	
	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte
Appelbaum, 1997	X	*psychological needs		
Bochum, 2015			X	*Laufbahnmodelle
Dembrowski et al., 2018	X	*Akzeptanz		
Dembrowski et al., 2014			X	*Tätigkeitsprofile *Rolle des Menschen
Hirsch-Kreinsen, 2014/2015				
Hirsch-Kreinsen, 2018				
Löhrer et al., 2018				
Sivri, Krallmann, 2016				
Steinhüser et al.,2017	X	*Ängste		
Stopper et al., 2017	X	*Bedürfnisse *Bedeutsamkeit und Anerkennung	X	*Organisationsmitglieder
Ulich, 2013	X	*Erwartungen und Wahrnehmungen		
Summe der Nennungen	**5**		**3**	
Prozentualer Anteil	**45%**		**27%**	

Autoren, Erscheinungsjahr	Kategorie: Sonstiges	
	Beschrieben in Quelle	Relevante Aspekte
Appelbaum, 1997		
Bochum, 2015		
Dembrowski et al., 2018	X	*Datenschutz
Dembrowski et al., 2014		
Hirsch-Kreinsen, 2014/2015		
Hirsch-Kreinsen, 2018	X	*Sicherheit
Löhrer et al., 2018		
Sivri, Krallmann, 2016		
Steinhüser et al.,2017		
Stopper et al., 2017		
Ulich, 2013		
Summe der Nennungen	**2**	
Prozentualer Anteil	**18%**	

A2 Beispielhafte Projektsteckbriefe und Merkmalsmorphologien

INTELLIGENTES ASSISTENZ-SYSTEM ZUR ANLAGENANALYSE

Einordnung

☒ it's OWL Projekt ☐ Plattform Projekt

Kontext

- **Unternehmen:** Jowat SE (1.215 MA Stand 2021)
- **Bereich:** Fertigung
- **Themenschwerpunkt:** Prozessüberwachung

Problembeschreibung

- Wachsende Komplexität und Vernetzung der Anlagen
- Späte Erkennung von Verschleißerscheinungen
- Unausgeschöpftes Potential der optimalen Energieverbrauche

Lösungsbeschreibung

- Automatische Anlagenüberwachung mit Hilfe eines Assistenz-Systems
- Analyse des Anlagennormalverhaltens und frühzeitige Fehlererkennung

	Merkmale	Merkmal 1	Merkmal 2	Merkmal 3	Merkmal 4	Merkmal 5	Merkmal 6	Merkmal 7	Merkmal 8	Merkmal 9	Merkmal 10
Name	Titel des Projekts	Intelligentes Assistenz-System zur Anlagenanalyse									
Kontext	Unternehmens-klasse	klein (1-100)	mittel (100-250)	groß (250-1.000)	sehr groß (>1.000)						
	Ausgangs-situation	Digitaler Novize	Technischer Pionier	Strategischer Experte	Digitaler Champion						
	Branche	Maschinen- & Anlagenbau	Elektronik / Elektrotechnik	Automobil	Automatisierungs-technik	Chemie	Agrarwirtschaft	Konsumgüter-industrie	Sonstiges		
	Relevanter Unternehmens-bereich	Arbeitsvorbereitung	Fertigung	Fertigungssteuerung	Montage	Prüfen / Testen	Wareneingang / Lager	Intralogistik	Instandhaltung	Versand / Logistik	Vertrieb
Problem	Heraus-forderungen Industrie 4.0	Veraltete Produktions-technologien	Fehlende Prozesse/ Organisation	Mangelndes Know-How	Fehlende Ressourcen	Mangelnde IT Infrastruktur	Hoher Qualifizierungsbedarf	Fehlende Nutzentransparenz	Auswahl geeigneter Lösung	Unklare Kosten / Investitionsbedarf	Sicherheitsbedenken
	Problemfeld	Sensibilisierung	Konzipierung	Umsetzung							
	Problemfokus	Prozessthema	Produkt- / Anlagenthema								
	Betroffene Verantwortlich-keiten	Unternehmens-Management	Produktions-management	Werker	Techniker / Service	Logistiker	Versandmitarbeiter	Entwickler	Vertriebler		
	Relevante externe Stakeholder	Lieferant	Kunde	Externe Dienstleister	Keine						
Lösung	Technologie-feld	Automatisierungs-technologien	Datenerfassungs-technologien	Datenspeicherungs-technologien	Datenübertragungs-technologien	Datenvisualisierungs-technologien	Datenanalyse-technologien				
	Technologie	Methoden	Softwaretools	Hardware							
	Technologie-reife	Kernkompetenz-technologie	Elementar-technologie	Rand-technologie							
	Erforderliche Partner in der Wertschöpf-ungskette	Lieferant	Kunde	Externe Dienstleister							
	Anwender	Management	Produktionsleitung	Werker	Kunde	Techniker / Service	Logistiker	Versandmitarbeiter	Vertriebler		
	Erforderliche Qualifikations-level	ungelernt	angelernt	Fachkraft	Experte						

SCHWEIßEN VON MISCHWELLEN MITTELS HYBRIDKINEMATISCHER ROBOTER

Einordnung

☒ it's OWL Projekt ☐ Plattform Projekt

Kontext

- **Unternehmen**: Ruberg Mischtechnik GmbH & Co. KG (110 MA Stand 2021)
- **Bereich:** Montage
- **Themenschwerpunkt:** Automatisierung

Problembeschreibung

- Manueller Schweißvorgang ist ressourcen- und zeitintensiv
- Schweißvorgang verursacht extreme körperliche Belastungen
- Ergebnisse sind nicht reproduzierbar

Lösungsbeschreibung

- Identifikation relevanter Prozessparameter
- Auswahl geeigneter Sensoren zur Prüfung der Oberflächen
- Entwicklung eines Algorithmus für die Prozessregelung
- Erzeugen einer Benutzeroberfläche zur einfachen Systembedienung

	Merkmale	Merkmal 1	Merkmal 2	Merkmal 3	Merkmal 4	Merkmal 5	Merkmal 6	Merkmal 7	Merkmal 8	Merkmal 9	Merkmal 10
Name	Titel des Projekts	Schweißen von Mischwellen mittels hybridkinematischer Roboter									
Kontext	Unternehmens-klasse	klein (1-100)	mittel (100-250)	groß (250-1.000)	sehr groß (>1.000)						
	Ausgangs-situation	Digitaler Novize	Technischer Pionier	Strategischer Experte	Digitaler Champion						
	Branche	Maschinen- & Anlagenbau	Elektronik / Elektrotechnik	Automobil	Automatisierungs-technik	Chemie	Agrarwirtschaft	Konsumgüter-industrie	Sonstiges		
	Relevanter Unternehmens-bereich	Arbeitsvorbereitung	Fertigung	Fertigungssteuerung	Montage	Prüfen / Testen	Wareneingang / Lager	Intralogistik	Instandhaltung	Versand / Logistik	Vertrieb
Problem	Heraus-forderungen Industrie 4.0	Veraltete Produktions-technologien	Fehlende Prozesse/ Organisation	Mangelndes Know-How	Fehlende Ressourcen	Mangelnde IT Infrastruktur	Hoher Qualifizierungsbedarf	Fehlende Nutzentransparenz	Auswahl geeigneter Lösung	Unklare Kosten / Investitionsbedarf	Sicherheitsbedenken
	Problemfeld	Sensibilisierung	Konzipierung	Umsetzung							
	Problemfokus	Prozessthema	Produkt- / Anlagenthema								
	Betroffene Verantwortlich-keiten	Unternehmens-Management	Produktions-management	Werker	Techniker / Service	Logistiker	Versandmitarbeiter	Entwickler	Vertriebler		
	Relevante externe Stakeholder	Lieferant	Kunde	Externe Dienstleister	Keine						
Lösung	Technologie-feld	Automatisierungs-technologien	Datenerfassungs-technologien	Datenspeicherungs-technologien	Datenübertragungs-technologien	Datenvisualisierungs-technologien	Datenanalyse-technologien				
	Technologie	Methoden	Softwaretools	Hardware							
	Technologie-reife	Kernkompetenz-technologie	Elementar-technologie	Rand-technologie							
	Erforderliche Partner in der Wertschöpf-ungskette	Lieferant	Kunde	Externe Dienstleister							
	Anwender	Management	Produktionsleitung	Werker	Kunde	Techniker / Service	Logistiker	Versandmitarbeiter	Vertriebler		
	Erforderliche Qualifikations-level	ungelernt	angelernt	Fachkraft	Experte						

INTERAKTIVE OPTIMIERUNGSVERFAHREN AM BEISPIEL DER LOGISTIK-PLANUNG

Einordnung

☒ it's OWL Projekt ☐ Plattform Projekt

Kontext

- **Unternehmen**: BE Bauelemente GmbH (420 MA Stand 2018)
- **Bereich:** Versand/Logistik
- **Themenschwerpunkt:** Intelligente Systeme

Problembeschreibung

- Unzureichende Softwareunterstützung beim Logistikplanungsprozess
- Starke Abhängigkeit von Expertenwissen
- Ungenutzte Kapazitäten auf Transportfahrzeugen

Lösungsbeschreibung

- Intelligentes System zur interaktiven Logistikplanung
- Integration der Lösung in die interaktiven Arbeitsabläufe
- Softwarelösung mit explorierbaren 2D/3D-Visualisierungen der Versandwaren
- Zugrundeliegender Algorithmus gestattet eine interaktive Anpassung der generierten Lösungen

	Merkmale	Merkmal 1	Merkmal 2	Merkmal 3	Merkmal 4	Merkmal 5	Merkmal 6	Merkmal 7	Merkmal 8	Merkmal 9	Merkmal 10
Name	Titel des Projekts	Interaktive Optimierungsverfahren am Beispiel der Logistik-Planung									
Kontext	Unternehmens-klasse	klein (1-100)	mittel (100-250)	groß (250-1.000)	sehr groß (>1.000)						
	Ausgangs-situation	Digitaler Novize	Technischer Pionier	Strategischer Experte	Digitaler Champion						
	Branche	Maschinen- & Anlagenbau	Elektronik / Elektrotechnik	Automobil	Automatisierungs-technik	Chemie	Agrarwirtschaft	Konsumgüter-industrie	Sonstiges		
	Relevanter Unternehmens-bereich	Arbeitsvorbereitung	Fertigung	Fertigungssteuerung	Montage	Prüfen / Testen	Wareneingang / Lager	Intralogistik	Instandhaltung	Versand / Logistik	Vertrieb
Problem	Heraus-forderungen Industrie 4.0	Veraltete Produktions-technologien	Fehlende Prozesse/ Organisation	Mangelndes Know-How	Fehlende Ressourcen	Mangelnde IT Infrastruktur	Hoher Qualifizierungsbedarf	Fehlende Nutzentransparenz	Auswahl geeigneter Lösung	Unklare Kosten / Investitionsbedarf	Sicherheitsbedenken
	Problemfeld	Sensibilisierung	Konzipierung	Umsetzung							
	Problemfokus	Prozessthema	Produkt- / Anlagenthema								
	Betroffene Verantwortlich-keiten	Unternehmens-Management	Produktions-management	Werker	Techniker / Service	Logistiker	Versandmitarbeiter	Entwickler	Vertriebler		
	Relevante externe Stakeholder	Lieferant	Kunde	Externe Dienstleister	Keine						
Lösung	Technologie-feld	Automatisierungs-technologien	Datenerfassungs-technologien	Datenspeicherungs-technologien	Datenübertragungs-technologien	Datenvisualisierungs-technologien	Datenanalyse-technologien				
	Technologie	Methoden	Softwaretools	Hardware							
	Technologie-reife	Kernkompetenz-technologie	Elementar-technologie	Rand-technologie							
	Erforderliche Partner in der Wertschöpf-ungskette	Lieferant	Kunde	Externe Dienstleister							
	Anwender	Management	Produktionsleitung	Werker	Kunde	Techniker / Service	Logistiker	Versandmitarbeiter	Vertriebler		
	Erforderliche Qualifikations-level	ungelernt	angelernt	Fachkraft	Experte						

5G ERICSSON INDUSTRIAL COMMUNICATIONS DEMONSTRATOR

Einordnung

☐ **it's OWL Projekt** ☒ **Plattform Projekt**

Kontext

- **Unternehmen**: FIR e.V. an der RWTH Aachen (92 MA Stand 2021)
- **Bereich:** Fertigung und Logistik
- **Themenschwerpunkt:** Internet of Things

Problembeschreibung / Herausforderung

Drahtlose und sichere Kommunikation von Maschinen im Internet, damit der Grad der Automatisierung erhöht werden kann

Lösungsbeschreibung

- Umsetzung einer transparenten Abbildung der Produktions- und Logistikprozesse in der Demonstrationsfabrik in Aachen mit Hilfe von 5G
- Sensordaten können medienbruchfrei und latenzarm, sogar über ein Produktionsstandort hinaus, übertragen werden
- Sensorknoten erzeugen das digitale Abbild
- Hierdurch wird eine einheitliche Transparenz über die Vorgänge in der Versorgungskette geschaffen

	Merkmale	Merkmal 1	Merkmal 2	Merkmal 3	Merkmal 4	Merkmal 5	Merkmal 6	Merkmal 7	Merkmal 8	Merkmal 9	Merkmal 10
Name	Titel des Projekts	5G Ericsson Industrial Communications Demonstrator									
Kontext	Unternehmens-klasse	klein (1-100)	mittel (100-250)	groß (250-1.000)	sehr groß (>1.000)						
	Ausgangs-situation	Digitaler Novize	Technischer Pionier	Strategischer Experte	Digitaler Champion						
	Branche	Maschinen- & Anlagenbau	Elektronik / Elektrotechnik	Automobil	Automatisierungs-technik	Chemie	Agrarwirtschaft	Konsumgüter-industrie	Sonstiges		
	Relevanter Unternehmens-bereich	Arbeitsvorbereitung	Fertigung	Fertigungssteuerung	Montage	Prüfen / Testen	Wareneingang / Lager	Intralogistik	Instandhaltung	Versand / Logistik	Vertrieb
Problem	Heraus-forderungen Industrie 4.0	Veraltete Produktions-technologien	Fehlende Prozesse/ Organisation	Mangelndes Know-How	Fehlende Ressourcen	Mangelnde IT Infrastruktur	Hoher Qualifizierungsbedarf	Fehlende Nutzentransparenz	Auswahl geeigneter Lösung	Unklare Kosten / Investitionsbedarf	Sicherheitsbedenken
	Problemfeld	Sensibilisierung	Konzipierung	Umsetzung							
	Problemfokus	Prozessthema	Produkt- / Anlagenthema								
	Betroffene Verantwortlich-keiten	Unternehmens-Management	Produktions-management	Werker	Techniker / Service	Logistiker	Versandmitarbeiter	Entwickler	Vertriebler		
	Relevante externe Stakeholder	Lieferant	Kunde	Externe Dienstleister	Keine						
Lösung	Technologie-feld	Automatisierungs-technologien	Datenerfassungs-technologien	Datenspeicherungs-technologien	Datenübertragungs-technologien	Datenvisualisierungs-technologien	Datenanalyse-technologien				
	Technologie	Methoden	Softwaretools	Hardware							
	Technologie-reife	Kernkompetenz-technologie	Elementar-technologie	Rand-technologie							
	Erforderliche Partner in der Wertschöpf-ungskette	Lieferant	Kunde	Externe Dienstleister							
	Anwender	Management	Produktionsleitung	Werker	Kunde	Techniker / Service	Logistiker	Versandmitarbeiter	Vertriebler		
	Erforderliche Qualifikations-level	ungelernt	angelernt	Fachkraft	Experte						

FLEXIBLE MONTAGE IN DER FAHRZEUGPRODUKTION

Einordnung

☐ it's OWL Projekt ☒ Plattform Projekt

Kontext

- **Unternehmen**: BÄR Automation GmbH (140 MA Stand 2021)
- **Bereich:** Montage
- **Themenschwerpunkt:** Fahrerlose Transportsyst.

Problembeschreibung / Herausforderung

- Entwicklung eines Fahrerlosen Transportfahrzeugs (FTF)
- Die kurzfristige und flexible Anpassung der Fahrrouten soll durch eine autonome Navigation gewährt werden

Lösungsbeschreibung

- Entwicklung einer neuen Navigationsart, welche hochflexibel auf sich verändernde Umgebungen reagiert
- Verwendung des vorhandenen Sensorsystems (Personenschutzscanner)
- Kontinuierliche Erzeugung einer Live-Umgebungskarte
- Entwicklung einer parametrierbaren Fördermittelsteuerung, die mit der Kunden-Produktionssteuerung kommuniziert

	Merkmale	Merkmal 1	Merkmal 2	Merkmal 3	Merkmal 4	Merkmal 5	Merkmal 6	Merkmal 7	Merkmal 8	Merkmal 9	Merkmal 10
Name	Titel des Projekts	Flexible Montage in der Fahrzeugproduktion									
Kontext	Unternehmens-klasse	klein (1-100)	mittel (100-250)	groß (250-1.000)	sehr groß (>1.000)						
	Ausgangs-situation	Digitaler Novize	Technischer Pionier	Strategischer Experte	Digitaler Champion						
	Branche	Maschinen- & Anlagenbau	Elektronik / Elektrotechnik	Automobil	Automatisierungs-technik	Chemie	Agrarwirtschaft	Konsumgüter-industrie	Sonstiges		
	Relevanter Unternehmens-bereich	Arbeitsvorbereitung	Fertigung	Fertigungssteuerung	Montage	Prüfen / Testen	Wareneingang / Lager	Intralogistik	Instandhaltung	Versand / Logistik	Vertrieb
Problem	Heraus-forderungen Industrie 4.0	Veraltete Produktions-technologien	Fehlende Prozesse/ Organisation	Mangelndes Know-How	Fehlende Ressourcen	Mangelnde IT Infrastruktur	Hoher Qualifizierungsbedarf	Fehlende Nutzentransparenz	Auswahl geeigneter Lösung	Unklare Kosten / Investitionsbedarf	Sicherheitsbedenken
	Problemfeld	Sensibilisierung	Konzipierung	Umsetzung							
	Problemfokus	Prozessthema	Produkt- / Anlagenthema								
	Betroffene Verantwortlich-keiten	Unternehmens-Management	Produktions-management	Werker	Techniker / Service	Logistiker	Versandmitarbeiter	Entwickler	Vertriebler		
	Relevante externe Stakeholder	Lieferant	Kunde	Externe Dienstleister	Keine						
Lösung	Technologie-feld	Automatisierungs-technologien	Datenerfassungs-technologien	Datenspeicherungs-technologien	Datenübertragungs-technologien	Datenvisualisierungs-technologien	Datenanalyse-technologien				
	Technologie	Methoden	Softwaretools	Hardware							
	Technologie-reife	Kernkompetenz-technologie	Elementar-technologie	Rand-technologie							
	Erforderliche Partner in der Wertschöpf-ungskette	Lieferant	Kunde	Externe Dienstleister							
	Anwender	Management	Produktionsleitung	Werker	Kunde	Techniker / Service	Logistiker	Versandmitarbeiter	Vertriebler		
	Erforderliche Qualifikations-level	ungelernt	angelernt	Fachkraft	Experte						

ASSEMBLE-BY-LIGHT: BELEGLOSER MONTAGEARBEITSPLATZ

Einordnung

☐ **it's OWL Projekt** ☒ **Plattform Projekt**

Kontext

- **Unternehmen**: GPIO Solutions GmbH (? MA Stand 2021)
- **Bereich:** Montage
- **Themenschwerpunkt:** Kognitive Assistenzsyst.

Problembeschreibung / Herausforderung

- Pick-by-Light-Systeme werden bisher nur für ein statisches Umfeld (z.B. Kommissionierung) konzipiert
- Die Herausforderung umfasste die Entwicklung eines Systems, welches für ein dynamisches Umfeld (z.B. Montagearbeitsplätze) verwendet werden kann

Lösungsbeschreibung

- „Realtime Assembling" wird durch den Einsatz von elektronischen Komponenten und einer innovativen Software umgesetzt
- Unter Verwendung von vorhandenen Standardlösungen und der entwickelten Software kann eine intuitive Bedienung durch MMI geschaffen werden

	Merkmale	Merkmal 1	Merkmal 2	Merkmal 3	Merkmal 4	Merkmal 5	Merkmal 6	Merkmal 7	Merkmal 8	Merkmal 9	Merkmal 10
Name	Titel des Projekts	Assemble-by-Light: Belegloser Montagearbeitsplatz									
Kontext	Unternehmens-klasse	klein (1-100)	mittel (100-250)	groß (250-1.000)	sehr groß (>1.000)						
	Ausgangs-situation	Digitaler Novize	Technischer Pionier	Strategischer Experte	Digitaler Champion						
	Branche	Maschinen- & Anlagenbau	Elektronik / Elektrotechnik	Automobil	Automatisierungs-technik	Chemie	Agrarwirtschaft	Konsumgüter-industrie	Sonstiges		
	Relevanter Unternehmens-bereich	Arbeitsvorbereitung	Fertigung	Fertigungssteuerung	Montage	Prüfen / Testen	Wareneingang / Lager	Intralogistik	Instandhaltung	Versand / Logistik	Vertrieb
Problem	Heraus-forderungen Industrie 4.0	Veraltete Produktions-technologien	Fehlende Prozesse/ Organisation	Mangelndes Know-How	Fehlende Ressourcen	Mangelnde IT Infrastruktur	Hoher Qualifizierungsbedarf	Fehlende Nutzentransparenz	Auswahl geeigneter Lösung	Unklare Kosten / Investitionsbedarf	Sicherheitsbedenken
	Problemfeld	Sensibilisierung	Konzipierung	Umsetzung							
	Problemfokus	Prozessthema	Product- / Anlagenthema								
	Betroffene Verantwortlich-keiten	Unternehmens-Management	Produktions-management	Werker	Techniker / Service	Logistiker	Versandmitarbeiter	Entwickler	Vertriebler		
	Relevante externe Stakeholder	Lieferant	Kunde	Externe Dienstleister	Keine						
Lösung	Technologie-feld	Automatisierungs-technologien	Datenerfassungs-technologien	Datenspeicherungs-technologien	Datenübertragungs-technologien	Datenvisualisierungs-technologien	Datenanalyse-technologien				
	Technologie	Methoden	Softwaretools	Hardware							
	Technologie-reife	Kernkompetenz-technologie	Elementar-technologie	Rand-technologie							
	Erforderliche Partner in der Wertschöpf-ungskette	Lieferant	Kunde	Externe Dienstleister							
	Anwender	Management	Produktionsleitung	Werker	Kunde	Techniker / Service	Logistiker	Versandmitarbeiter	Vertriebler		
	Erforderliche Qualifikations-level	ungelernt	angelernt	Fachkraft	Experte						

A3 Soziotechnische Problemklassen

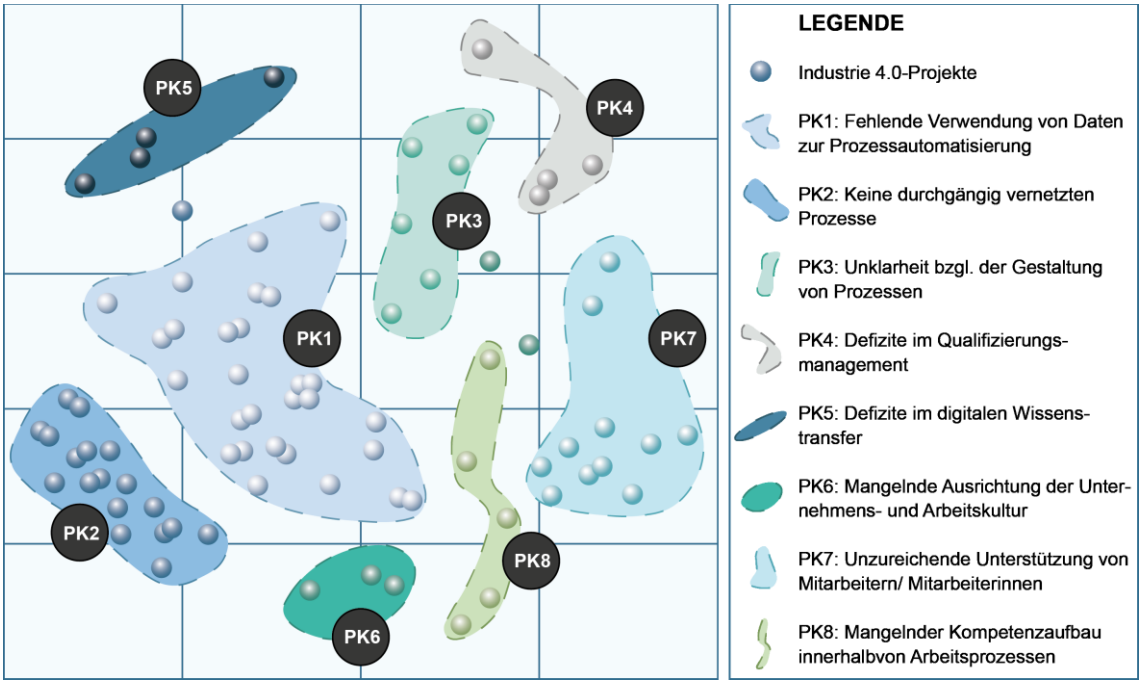


Bild A3.1 Problemklassen Industrie 4.0

PK 1 (hellblau): Fehlende Verwendung von Daten zur Prozessautomatisierung

Das größte Cluster stellt mit 32 Projekten die Problemklasse 1 dar. Der Fokus dieser Problemklasse liegt auf der Dimension Technologien. Insbesondere die Problemstellungen im Bereich der *Automatisierung* sowie *Datenmanagement* sind von großer Bedeutung. Weiterhin ist die Komponente *Prozesse & Organisation* der Dimension Organisation stark ausgeprägt. Die Dimension Mensch wird in dieser Problemklasse mit vereinzelten Problemstellungen aus allen Komponenten eher geringfügig berücksichtigt.

PK 2 (dunkelblau): Keine durchgängig vernetzten Prozesse

Die zweite Problemklasse setzt sich aus 18 Projekten zusammen. Sie fokussiert alle Komponenten der Dimension Technologien (*Datenmanagement, IT-Systeme und Automatisierung*). Die Dimension Organisation wird erneut durch die Komponente *Prozesse & Organisation* integriert. In dieser Problemklasse spielt die Dimension Mensch eine ähnliche Rolle wie die Organisation. Es werden insbesondere Problemstellungen der Komponente *Arbeitsaufgabe* berücksichtigt.

PK 3 (mittelgrün): Unklarheit bzgl. der Gestaltung von Prozessen

Der Fokus der dritten Problemklasse (6 Projekte) liegt auf der Dimension Organisation. Hierbei sind die Problemstellungen der Komponenten *Wissen* sowie *Prozesse & Organisation* von größter Relevanz. In der Dimension Mensch werden Problemstellungen bzgl.

der *Zusammenarbeit* adressiert. Die Dimension Technologien wird in dieser Problemklasse nicht berücksichtigt.

PK4 (grau): Defizite im Qualifizierungsmanagement

Wie der Titel bereits verdeutlicht, ist die Komponente *Qualifizierung* der Dimension Mensch in der vierten Problemklasse (4 Projekte) von großer Bedeutung. Weiterhin werden Problemstellungen der Komponenten *Kultur und Wissen* der Dimension Organisation vollumfänglich in dieser Klasse adressiert. *Prozesse & Organisation* sowie die Komponente *Automatisierung* der Dimension Technologien werden ebenfalls in der vierten Problemklasse berücksichtigt.

PK 5 (dunkeltürkis): Defizite im digitalen Wissenstransfer

Die Problemklasse 5 (4 Projekte) zeigt eine starke Ausprägung der Dimension Technologien. Alle Komponenten dieser Dimension werden im Rahmen der fünften Problemklasse integriert. Im Rahmen der Dimension Organisation liegt der Fokus auf der Komponente Wissen. Die Dimension Mensch wird unter Berücksichtigung der Komponente *Arbeitsaufgabe* als relevant eingestuft.

PK 6 (dunkelgrün): Mangelnde Ausrichtung der Unternehmens- und Arbeitskultur

Die Dimension Organisation steht im Fokus der sechsten Problemklasse (6 Projekte), insb. die Komponenten *Prozesse & Organisation* sowie *Kultur*. Die *Arbeitsaufgabe* sowie in Teilen die *Zusammenarbeit* sind in dieser Problemklasse ebenfalls von Bedeutung. Die Dimension Technologien wird in der Problemklasse 6 eher vernachlässigt. Primär die Komponente *Automatisierung* ist hier teilweise ausgeprägt.

PK 7 (helltürkis): Unzureichende Unterstützung von Mitarbeitenden

Im Rahmen der siebten Problemklasse (11 Projekte) steht die Dimension Mensch im Vordergrund. Alle vier Komponenten, *Arbeitsaufgabe, Arbeitsstrukturen, Qualifizierung* sowie *Zusammenarbeit*, werden adressiert. Dabei wird die Komponente *Zusammenarbeit* von allen 10 Projekte berücksichtigt und ist somit von größter Relevanz. Volle Ausprägung zeigt in dieser Problemklasse ebenfalls die Komponente *Prozesse & Organisation* der Dimension Organisation. Die Dimension Technologien wird kaum berücksichtigt. Lediglich 50% der Projekte adressieren die Komponente *Automatisierung*.

PK 8 (hellgrün): Mangelnder Kompetenzaufbau innerhalb von Arbeitsprozessen

Problemstellungen der Dimension Mensch werden in der Problemklasse 8 (5 Projekte) fokussiert. Dabei werden insbesondere die Komponenten *Arbeitsaufgaben* sowie *Qualifizierung* einbezogen. Innerhalb der Dimension Organisation ist die Komponente *Prozesse & Organisation* von Bedeutung. Die Dimension Technologien wird über die Komponente *Automatisierung* adressiert.

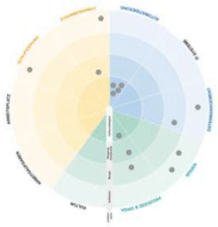
A4 Lösungsmusterkarten

ZÜ **Zustandsüberwachung**

ZÜ1 **Condition Monitoring**

Kontext

Lösungsklasse: Zustandsüberwachung
Stoßrichtung: Technologien
Relevante soziotechnische Kategorien:
- Datenmanagement
- Qualifizierung
- Automatisierung
- Zusammenarbeit
- Wissen
- Prozesse & Organisation



Problembeschreibung

Während der Nutzung einer Produktionsanalage wird der Zustand dieser meist nicht sichtbar. Ob das System richtig arbeitet, wird erst nach der Fertigstellung der Produktionsaufträge und der anschließenden Überprüfung der Qualitätsanforderungen festgestellt. Dabei werden Abweichungen von den Anforderungen erst spät detektiert und im schlechtesten Fall kommt es zu Maschinenausfällen, die zeit- und kostenintensiv sind.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien
- Manuelle Fähigkeiten sind nicht ausreichend genau
- Nicht prognostizierbare Produktionsfehler
- Unvorhersehbare Ausfälle
- Fehlerhafte Werkstücke / viel Ausschuss

Organisation
- Fehlende Standards am Markt
- Hohe Fehleranfälligkeit bei Fertigungsprozessen
- Steigende Qualitätsanforderungen
- Abhängigkeit von Expertenwissen
- Mangelnde Kenntnis über eigene Prozesse

Mensch
- Ungeübtes Personal
- Unterschiedlicher Erfahrungsstand
- Keine intuitive Bedienung von Maschinen

ZÜ **Zustandsüberwachung**

ZÜ1 **Condition Monitoring**

Lösungsbeschreibung

Die Visualisierung von Anlagenzuständen sowie KPIs erfolgt auf einer übersichtlichen Benutzeroberfläche, bspw. auf mobilen Endgeräten oder direkt an der Maschine. Zudem können weitere Funktionen integriert werden, wie das Aufrufen automatisch generierter Optimierungsvorschläge. Das Condition Monitoring erfolgt mittels Erfassung und Auswertung geeigneter Indikatoren, die die Zuverlässigkeit und die Verfügbarkeit der Anlage bewerten. Dies erlaubt eine optimale Maschinennutzung.

Mögliche Teillösungen

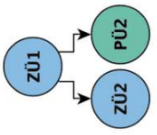
Hardware:
- Sensoren zur Datenerfassung von physikalischen Größen
- Display zur Visualisierung der Maschinenzustände
- Datenbank

Software:
- Edge Computing-Anwendungen
- Ggf. Regel-Algorithmus für Grenzerkennung in den Daten
- Notification-Service

Vorteile
- Erhöhung der Transparenz
- Maximierte Nutzungsdauer der Maschinen
- Mitarbeiterentlastung
- Vermeidung von Maschinenausfällen

Nachteile
- Aufwand für Hardware und Sensorik
- Technische Risiken / Datenschutz
- Unzureichendes Systemwissen
- Notwendigkeit einer Datenbasis

Mustersystem



Projektausprägungen
- Optische Zustandskontrolle
- Verteilte Sensorik
- Inspektionssysteme
- Drahtloses Condition Monitoring

Best Practice

Energieautarke Sensorik und Interaktion mit Mobilen Anwendern,
mehr Informationen

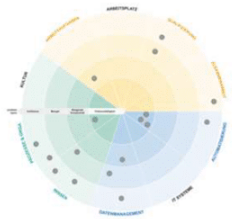
ZÜ Zustandsüberwachung

ZÜ2 Prädiktive Analysen

Kontext

Lösungsklasse: Zustandsüberwachung
Stoßrichtung: Technologien
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- Automatisierung
- Wissen
- Prozesse & Organisation
- Arbeitsaufgaben
- Qualifizierung
- Zusammenarbeit



Problembeschreibung

Trotz des traditionellen Einsatzes von bspw. standardisierten (Wartungs-) Plänen kommt es oft zu Verschleißerscheinungen bis hin zu unvorhersehbaren Ausfällen von Produktionsanlagen und -linien. Dies ist sowohl für den Kunden als auch für den Anbieter des Systems mit hohen Aufwänden verbunden.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlende Transparenz zum Anlagenzustand
- Unausgeschöpftes Potential der Datennutzung
- Unvorhersehbare Ausfälle
- Fehlender Umgang mit großen Datenmengen

Organisation

- Ineffiziente Nutzung von Ressourcen
- Potential neuer Geschäftsmodelle
- Fehlen von fachüber-greifenden Wissen
- Abhängigkeit von Expertenwissen
- Mangelnde Kenntnis über eigene Prozesse

Mensch

- Steigende Anforderungen an die Tätigkeiten
- Ungeübtes Personal
- Fehlende Personal-kapazität
- Unterschiedlicher Erfahrungsstand

ZÜ Zustandsüberwachung

ZÜ2 Prädiktive Analysen

Lösungsbeschreibung

Im Gegensatz zu festen Untersuchungsintervallen berufen sich Prädiktive Analysen auf Daten aus Zustandsüberwachungssystemen. Mit diesen können Parameter der Maschinen kontinuierlich detektiert werden. Aufgenommen werden diese Daten durch Sensorik am System. Mit Hilfe einer Software wird der Zustand der Maschine, bspw. mittels Machine Learning Algorithmen, interpretiert und auf Basis dessen werden bedarfsgerecht bspw. Wartungszeitpunkte bestimmt.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Sensoren zur kontinuierlichen Datenerfassung
- User Interface
- Datenbank & Edge Computing

Software:

- Datenvorverarbeitung& Extraktion (Edge Computing)
- Auswertungs- und Interpretations-Algorithmen
- Supervised Learning / Machine Learning

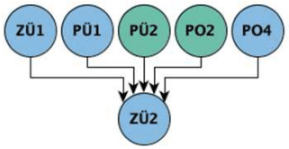
Vorteile

- Verlängerte Lebensdauer
- Vermeidung von Geräteausfällen
- Maximierung der Betriebszeit
- Kundenbindung

Nachteile

- Kostenintensiv
- Spezifisches Know-How erforderlich
- Aufwendige Studien zur korrekten Auswertung der Daten notwendig
- Risikoübernahme

Mustersystem



Projektausprägungen

- Predictive Maintenance
- Intelligente, algorithmengestützte Datenauswertung

Best Practice

FILTOWER 4.0-Reihe von ESTA, mehr Informationen

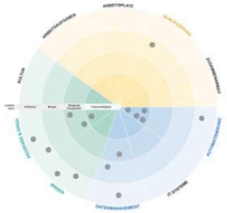
PÜ Prozessüberwachung

PÜ1 Anomalieerkennung

Kontext

Lösungsklasse: Prozessüberwachung
Stoßrichtung: Technologien
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- Automatisierung
- Wissen
- Prozesse & Organisation
- Qualifizierung



Problembeschreibung

Die Vernetzung von Maschinen, insb. unterschiedlicher Hersteller, zu einer funktionalen Produktionslinie birgt verschiedene potentielle Fehlerquellen. Aufgrund von Prozessstörungen können bspw. die Ausschussmengen und die Anzahl der Produkte verminderter Qualität steigen. Zudem ist die Abnutzung bzw. der Verschleiß der Produktionslinie nur in einem bestimmten Ausmaß abbildbar. Weitere Abhängigkeiten für einen zuverlässigen Produktionsprozess bilden die reibungslosen Abläufe der Transportsysteme oder Wiegesysteme. Diese weisen oftmals Schwachstellen auf.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Unausgeschöpftes Potential der Datennutzung
- Unvorhersehbare Ausfälle
- Manuelle Fähigkeiten sind nicht ausreichend genau
- Ungenaue Parametereinstellungen
- Viel Ausschuss

Organisation

- Abhängigkeit von Expertenwissen
- Zunehmend komplexe Geschäftsprozesse
- Ineffiziente Nutzung von Ressourcen
- Steigende Qualitätsanforderungen
- Mangelnde Kenntnis über eigene Prozesse

Mensch

- Fehlende Personalkapazität

PÜ Prozessüberwachung

PÜ1 Anomalieerkennung

Lösungsbeschreibung

Das Aufnehmen von Daten von aller am Prozess beteiligten Systeme und die Überprüfung derer auf Anomalien wird mit Hilfe eines sog. Expertensystems ermöglicht. Hierfür werden alle Systeme um eine Schnittstelle, wie z.B. einem Slice-Modul, erweitert. Indem das Normalverhalten der Linie auf Basis von Prozessinformationen und Kenndaten und mit Hilfe von maschinellem Lernen identifiziert wird, kann eine Anomalie-Erkennung betrieben werden.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Sensoren zur kontinuierlichen Datenerfassung
- Datenbank
- Display für die Visualisierung von Ausreißern

Software:

- Modelbasierte Trend- und Anomalieerkennung
- Supervised Learning
- Modelbasierte Clusterbildung

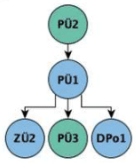
Vorteile

- Fehlervermeidung
- Dynamische Prozessoptimierung
- Intelligenzimplementierung durch Lernverfahren

Nachteile

- Nicht alle Produktionssysteme sind kompatibel
- Hoher Implementierungsaufwand
- Mangelndes Know-How

Mustersystem



Projektausprägungen

- Diagnoseplattform
- Adaptives Lernen mit Modellen
- Maschinelle Lernalgorithmen
- Schwellwertbasierte Anomalieerkennung
- Selbstoptimierungssysteme

Best Practice

Intelligentes Assistenz-System zur Anlagenanalyse, mehr Informationen

PÜ Prozessüberwachung

PÜ2 Kontinuierliches Prozessmonitoring

Kontext

Lösungsklasse: Prozessüberwachung
Stoßrichtung: Organisation
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- IT-Systeme
- Automatisierung
- Prozesse & Organisation
- Wissen
- Arbeitsaufgaben
- Zusammenarbeit

Problembeschreibung

Durch Individualisierungen oder Kundeneinbindungen werden Prozessabläufe im Zuge der Digitalen Transformation immer dynamischer und komplexer. Hierdurch wächst zum einen der Aufwand für die Produktionsplanung und -steuerung. Zum anderen ist die Überarbeitung der Planung im Hinblick auf Änderungen und Verzögerungen in den Prozessen oftmals nur mit einem erhöhten manuellen Arbeitsaufwand durchzuführen. Folglich kann bspw. nicht ausreichend schnell auf dynamische Änderungen reagiert werden.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlende Transparenz zum Anlagenzustand
- Unausgeschöpftes Potential der Datennutzung
- Fehlende Integration von IKT in Prozessen und Anlagen
- Keine automatische Dokumentation

Organisation

- Lange Durchlaufzeiten
- Ineffiziente Dokumentation der Prozessschritte
- Steigende Qualitätsanforderungen
- Keine gelebte Know-How-Weitergabe
- Mangelnde Kenntnis über eigene Prozesse

Mensch

- Keine ausreichende Dokumentation
- Erschwerte Zusammenarbeit durch Interdisziplinarität

PÜ Prozessüberwachung

PÜ2 Kontinuierliches Prozessmonitoring

Lösungsbeschreibung

Artikel, Status, Fortschritt, Liefertermin, etc. aller Arbeitsgänge werden auf digitalen Medien übersichtlich dargestellt und nachverfolgt. Hierdurch kann eine dynamische Feinplanung integriert werden, welche die Abhängigkeit zwischen den Arbeitsgängen und Aufträgen berücksichtigt. Alle Auswirkungen einer Verzögerung sind sofort sichtbar. So kann auf Verspätungen bedarfsgerecht reagiert werden. Aus den Systemdaten kann bspw. eine Priorisierung von dringlichen Aufträgen vorgenommen werden.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Sensoren zur kontinuierlichen Datenerfassung
- Ggf. Machine Vision
- Wiedergabe des Fortschritts auf einem Infoscreen

Software:

- Process Mining
- Datenvorverarbeitung (und ggfs. – umwandlung)
- Verfahren zur Informationsfusion
- Auswertungssoftware

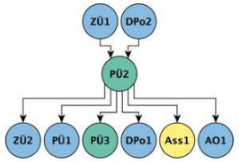
Vorteile

- Mehrstufige Planung mit Berücksichtigung der Abhängigkeiten
- Automatische Planung mit optimierten Durchlaufzeiten
- Transparenz über alle Prozesse in Echtzeit

Nachteile

- Systemabhängigkeit
- Stammdatenpflege ist Voraussetzung
- Gefahr der mangelnden Akzeptanz bei Mitarbeitern
- Bedenken vor Überwachung

Mustersystem



Projektausprägungen

- Digitales Echtzeit Prozessabbild
- Dashboards
- Softwarelösung EYES
- Prozessmonitoring mittels QR-Codes
- Prozessmonitoring über FTS

Best Practice

Grundig Business Systems GmbH: Traceability, mehr Informationen

PÜ Prozessüberwachung

PÜ3 Kontinuierliche Qualitätsprüfung

Kontext

Lösungsklasse: Prozessüberwachung
Stoßrichtung: Organisation
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- IT-Systeme
- Automatisierung
- Prozesse & Organisation
- Wissen
- Kultur
- Zusammenarbeit
- Qualifizierung

Problembeschreibung

Fehlerhaft ausgelieferte Produkte an die Kunden verursachen hohe Reklamations- und Gewährleistungskosten. Gründe für den auftretenden Qualitätsmangel können das fehlende Know-How zur Datenanalyse oder die fehlende Adaptivität des Prüfsystems an die Variantenvielfalt des Erzeugnisses sein. Zudem sind dem Unternehmen oftmals nicht alle Eingangsgrößen des Fertigungsprozesses durch externe Zulieferungen hinreichend bekannt, sodass die Ursache für Qualitätsmängel ggf. nicht aufgedeckt werden kann.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Keine automatische Dokumentation
- Viel Ausschuss
- komplexe Variantenvielfalt
- Verwendung überholter Prozess- und Anlagentechnik
- Fehlende IT-Schnittstellen

Organisation

- Hohe Fehleranfälligkeit bei Fertigungsprozessen
- Steigende Ökologieanforderungen
- Manuelle Ausführung der Tätigkeiten
- Fehlende Feedbackkultur
- Keine gelebte Know-How-Weitergabe

Mensch

- Ungeübtes Personal
- Unterschiedlicher Erfahrungsstand

PÜ Prozessüberwachung

PÜ3 Kontinuierliche Qualitätsprüfung

Lösungsbeschreibung

Eine kontinuierliche Qualitätsprüfung kann mittels Simulation oder Anomalie- / Trend- / Mustererkennung in den Produktionsdaten fehlerhafte Erzeugnisse erkennen und passende Gegenmaßnahmen einleiten. So kann ein autarkes, adaptives Prüfsystem unterschiedliche Varianten untersuchen und fehlerhafte Teile aussortieren. Zudem besitzen die Erzeugnisse eine Fertigungshistorie, die eine Zurückverfolgung gestattet.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- (kinematische) Sensoren zur Datenerfassung
- Machine Vision
- Prüf- und Messsysteme
- Display zur Visualisierung der Ergebnisse

Software:

- Modelle zur Prüfplanung & Trenderkennung
- Messsimulationen
- Auswertungs- und Interpretationsalgorithmen
- Verfahren zur Informationsfusion

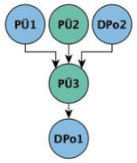
Vorteile

- Zerstörungsfreie Prüfung
- Frühzeitige Erkennung von Schwankungen in der Fertigung / Montage
- Genaue Dokumentation der Fehler

Nachteile

- Spezifisches Know-How erforderlich
- Aufwendige Studien zur korrekten Auswertung der Daten erforderlich

Mustersystem



Projektausprägungen

- Offline Qualitätsprüfungen
- Adaptive Qualitätsprüfung
- Webbasiertes Messsystem
- Echtzeit-Überwachung der Produktqualität

Best Practice

Adaptive Qualitätsprüfung in der Lackdrahtproduktion, mehr Informationen

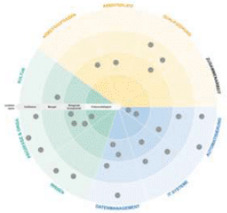
DPO Datengetriebene Prozessoptimierung

DPO1 Selbstoptimierende Prozesssteuerung

Kontext

Lösungsklasse: Dateng. Prozessoptimierung
Stoßrichtung: Technologien
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- IT-Systeme
- Automatisierung
- Prozesse & Organisation
- Wissen
- Kultur
- Arbeitsaufgaben
- Arbeitsstrukt.
- Qualifizierung



Problembeschreibung

Viele Fertigungsprozesse im Unternehmen können als eine Blackbox betrachtet werden. Die Einflussgrößen und ihre Auswirkungen auf den Prozess sind dem Unternehmen nicht vollständig bekannt. Zudem unterliegt der Fertigungsprozess unbekannten Störgrößen. Dadurch treten Schwankungen auf, die die Prozess- und Produktqualität beeinträchtigen. Die Einstellung der Parameter wird meist von erfahrenen Mitarbeitern übernommen, die im Regelfall intuitiv konfigurieren. Hierdurch wird die Fehleranfälligkeit erhöht.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Verwendung überholter Prozess- und Anlagentechnik
- Ungenaue Parameter-einstellungen
- Fehlender Umgang mit großen Datenmengen
- Unzureichende Softwareunter-stützung

Organisation

- Manuelle Ausführung der Tätigkeiten
- Ineffiziente Nutzung von Ressourcen
- Lange Durchlaufzeiten
- Steigende Ökologie-anforderungen
- Fehlende Flexibilität bei Änderungen der Marktanforderungen

Mensch

- Hohes Maß an Fachwissen wird vorausgesetzt
- Mangelnde Kompetenz bzgl. neuer Technologien
- Fehlende Personalkapazität
- Hohes Arbeits-sicherheitsrisiko

DPO Datengetriebene Prozessoptimierung

DPO1 Selbstoptimierende Prozesssteuerung

Lösungsbeschreibung

Bei der selbstoptimierenden Prozesssteuerung erkennt eine Datenanalyse Schwankungen im Prozess und führt eine Simulation mit der schwankenden Störgröße durch. Anschließend werden die Parameter im aktuellen oder nachgelagerten Prozess angepasst, sodass die Zielgröße wieder erreicht und den Schwankungen entgegengewirkt werden kann. Dabei ist es notwendig, die Prozessdaten entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu sammeln.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Sensoren und ggfs. Machine Vision zur Datenerfassung
- Aktoren zur Umsetzung von Korrekturmaßnahmen
- Datenspeicher

Software:

- Datenvorverarbeitung (und ggfs. – umwandlung)
- Verfahren zur Informationsfusion
- Korrelationsanalyse und Modellierung von Wechselwirkungen

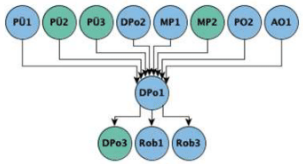
Vorteile

- Keine manuellen und intuitiven Anpassungen der Parameter notwendig
- Weniger Dynamische Prozessoptimierung
- Steigerung Systemverlässlichkeit

Nachteile

- Spezifisches Know-How erforderlich
- Regelmäßige Anpassungen der Modellierungen und Simulationen notwendig
- Hoher Implementierungsaufwand

Mustersystem



Projektausprägungen

- Expertensystem zur Prozesskonfiguration
- Zentrales Steuerungssystem
- Anwendung von Machine Learning
- Vernetzte Sensorik

Best Practice

Expertensystem für das Konfigurieren von Prozessen für die Wickeldrahtfertigung, mehr Informationen

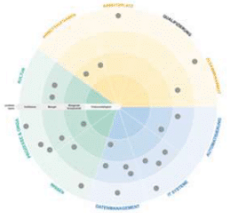
DPO Datengetriebene Prozessoptimierung

DPO2 Durchgängige IT-Infrastruktur

Kontext

Lösungsklasse: Dateng. Prozessoptimierung
Stoßrichtung: Technologien
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- IT-Systeme
- Automatisierung
- Prozesse & Organisation
- Wissen
- Kultur
- Arbeitsaufgaben
- Arbeitsstrukt.
- Zusammenarbeit



Problembeschreibung

Immer größere Datenmengen erhalten im Zuge der Digitalisierung Einzug in die Unternehmen. Die Komplexität der Geschäftsprozesse steigt durch die zunehmende horizontale und vertikale Integration von Wertschöpfungs-aktivitäten bis über Unternehmensgrenzen hinweg. Folglich wächst auch die Zahl der Informationssysteme, die diese Komplexität beherrschbar machen sollen. Dabei sind diese Informationssysteme derzeit meistens Insellösungen. Erforderliche Schnittstellen sowie ein einheitliches Datenmanagement zur Erhöhung der Effizienz existieren nicht oder nur unzureichend.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlende IT-Schnittstellen
- Mangelnde IT-Infrastruktur
- Starre Benutzer-schnittstellen
- Unzureichende Software-unterstützung
- Fehlende Anbindung an übergeordnete IT-Systeme

Organisation

- Medienbrüche
- Fehlende Rückverfolgbarkeit
- Ineffiziente Nutzung von Ressourcen
- Komplexe Geschäftsprozesse
- Fehlende Unternehmens-ausrichtung
- Potential neuer Geschäftsmodelle

Mensch

- Steigende Anforderungen an die Tätigkeiten
- Inadäquate Arbeitsumstände
- Fehlende Bündelung von Kompetenzen
- Erschwerte Zusammenarbeit durch Inter-disziplinarität

DPO Datengetriebene Prozessoptimierung

DPO2 Durchgängige IT-Infrastruktur

Lösungsbeschreibung

Eine durchgängige IT-Infrastruktur stellt eine Systemlandschaft dar, bei der die mobilen Endgeräte, Maschinen und Anlagen, die Server und das Internet in einer strukturellen Form miteinander verbunden sind. Dazu zählen auch Betriebliche Informationssysteme (BIS), welche Systeme zur Erfassung, Übertragung, Verarbeitung, Speicherung und Bereitstellung von Informationen in Organisationen (z.B. Unternehmen) sind. Ziel ist die Vermeidung von Medienbrüchen und Datenverlust.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Datenbank
- Sicherheitszertifiziertes Rechenzentrum (extern möglich)

Software:

- Datenvorverarbeitung und ggf. -umwandlung
- Cloud-Computing
- Software / Plattform zur Integration von Insellösungen

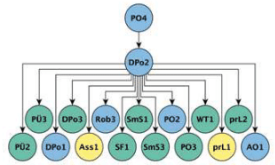
Vorteile

- Förderung der horizontalen und vertikalen (Daten-) Integration
- Geringere Durchlaufzeiten
- Höhere Datenqualität
- Vermeidung von Redundanzen und Inkonsistenzen

Nachteile

- Hoher Einführungsaufwand verbunden mit hohen Kosten
- Hoher Aufwand für Customizing, Schulung und Wartung
- Herstellerabhängigkeit

Mustersystem



Projektausprägungen

- Vernetzung von Einzel- zu Gesamtsystemen
- Durchgängige EMS Software
- Komplette BaseSuite als zentrales System

Best Practice

EVO Informationssysteme GmbH bietet Industrie 4.0 von A bis Z, mehr Informationen

DPO Datengetriebene Prozessoptimierung

DPO3 Automatische Auftragsabwicklung

Kontext

Lösungsklasse: Dateng. Prozessoptimierung
Stoßrichtung: Organisation
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- IT-Systeme
- Automatisierung
- Prozesse & Organisation
- Wissen
- Kultur
- Arbeitsaufgaben
- Qualifizierung
- Zusammenarbeit

Problembeschreibung

Im Zuge der zunehmenden Individualisierung von Kundenaufträgen steigt die Komplexität der Auftragsbearbeitung. Oftmals resultieren daraus ineffiziente Produktionsplanungen und -auslastung. Dies hat zur Folge, dass wichtige Aufträge ggf. nicht rechtzeitig gefertigt und die Lager mit niedrig-priorisierten Aufträgen und Ressourcen gefüllt werden. Zudem ist eine Verfolgung des Auftragsstatus bspw. durch Medienbrüche nur erschwert möglich, sodass Störungen nicht frühzeitig erkannt werden.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Keine Konsolidierung von Daten
- Unausgeschöpftes Potential der Datennutzung
- Komplexe Variantenvielfalt
- Fehlende IT-Schnittstellen
- Fehlerhafte Kommissionierung

Organisation

- Zunehmend komplexe Geschäftsprozesse
- Medienbrüche
- Lange Durchlaufzeiten
- Mangelnde Kundenorientierung
- Keine gelebte Know-How-Weitergabe
- Fehlende Kooperations-bereitschaft

Mensch

- Keine ausreichende Dokumentation
- Steigende Aufgaben-komplexität durch Losgröße 1
- Fehlende Personal-kapazität
- Erschwerte Zusammenarbeit durch Inter-disziplinarität

DPO Datenbasierte Prozessoptimierung

DPO3 Automatische Auftragsabwicklung

Lösungsbeschreibung

Mit Hilfe einer automatisierten Bearbeitung der Auftragseingänge wird eine Digitalisierung und Priorisierung der Aufträge vorgenommen. Diese gestattet es, eine effiziente Auftragsreihenfolge unter Berücksichtigung der Maschinenauslastung festzulegen. Dadurch kann eine bedarfsgerechte Ressourcenplanung ermöglicht werden. Des Weiteren können Störungen früher erfasst und beseitigt werden, indem die Mitarbeiter/Innen den derzeitigen Status der Aufträge in Echtzeit abrufen können.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Datenbank
- High-End-Kameras
- Barcodelesegerät
- Display zur Visualisierung eines Dashboards

Software:

- Process Mining
- Automatisierte Workflow-Systeme
- Customer Input
- Steuerungs- und Regelungsalgorithmen

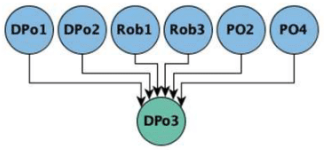
Vorteile

- Optimierte Bedarfsplanung
- Erhöhte Transparenz für Unternehmen und Kunden
- Mitarbeiterentlastung

Nachteile

- Bedenken vor Jobverlusten
- Stammdatenpflege ist Voraussetzung

Mustersystem



Projektausprägungen

- Automatischer Maschinenauftrag
- Automatisierte Prozess-dokumentation
- Kundenmodellbasierte Steuerung

Best Practice

Schaumstoffeinlagen-Editor mit direkter Integration in ERP-Systeme und Fertigungsmaschinen, mehr Informationen

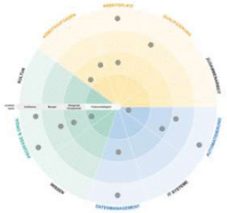
ROB Robotik

ROB1 Roboter zur Prozessautomatisierung

Kontext

Lösungsklasse: Robotik
Stoßrichtung: Technologien
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- Automatisierung
- Prozesse & Organisation
- Arbeitsstrukturen
- Arbeitsaufgaben
- Qualifizierung



Problembeschreibung

Die Flexibilisierung der Fertigung gewinnt u.a. auf Grund des steigenden Kostendrucks an Bedeutung. Dazu steigen die Anforderungen im Hinblick auf Bearbeitungsgeschwindigkeit, -genauigkeit und Produktqualität. Herausforderungen wie der Fachkräftemangel, steigende Lohnkosten und strikte Gesundheits- und Sicherheitsanforderungen führen zu einer erhöhten Belastung der produzierenden Unternehmen.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlende Integration von IKT in Prozessen und Anlagen
- Manuelle Fähigkeiten sind nicht ausreichend genau
- Verwendung überholter Prozess- und Anlagentechnik
- Komplexe Variantenvielfalt

Organisation

- Hohe Fehleranfälligkeit bei Fertigungsprozessen
- Steigende Qualitätsanforderungen
- Lange Durchlaufzeiten
- Manuelle Ausführung der Tätigkeit
- Fehlende Standards am Markt

Mensch

- Physische Belastung
- Steigende Aufgabenkomplexität durch Losgröße 1
- Hohes Arbeitssicherheitsrisiko
- Inadäquate Arbeitsumstände
- Fehlende Personalkapazität

ROB Robotik

ROB1 Roboter zur Prozessautomatisierung

Lösungsbeschreibung

Die Optimierung eines Produktionsprozesses wird durch den Einsatz von Maschinen und modernen Technologien in Form von Robotern umgesetzt. Dabei werden Prozesssteuerungen oder -regelungen automatisiert, indem der Roboter bspw. die Umgebung des Produktionssystems mittels Sensoren wahrnimmt und auf Abweichungen von Prozessdaten mit Hilfe einer Aktorik autark reagiert. Darüber hinaus können die erfassten Daten des Roboters zur langfristigen Analyse genutzt werden.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Roboter und Werkzeugmaschinen
- Sensoren zur Datenerfassung
- Machine Vision

Software:

- Cloud Computing
- Steuerungs- und Regelungsalgorithmen
- Kommunikationssoftware zwischen Roboter und Werkzeugmaschinen

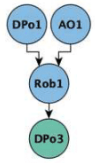
Vorteile

- Ausfallreduktion
- Prozessbeschleunigung
- Mitarbeiterentlastung

Nachteile

- Hohe Investitionskosten
- Bedenken vor Jobverlusten

Mustersystem



Projektausprägungen

- Prozessautomatisierung mittels hybridkinematischen Robotern
- Automatisches Schleifen
- Einsatz von Gelenkarmroboter
- Automatisiertes Labeling von palettierten Produkten

Best Practice

Automatisiertes Schleifen von Schraubenbändern mittels eines intelligent geregelten Schleifkopfes, mehr Informationen

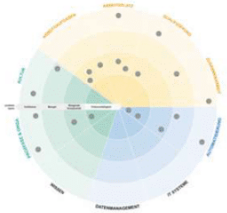
ROB Robotik

ROB2 Kollaborative Robotik

Kontext

Lösungsklasse: Robotik
Stoßrichtung: Mensch
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Automatisierung
- Kultur
- Prozesse & Organisation
- Zusammenarbeit
- Arbeitsstrukt.
- Qualifizierung
- Arbeitsaufgaben



Problembeschreibung

Zahlreiche Produktionsprozesse, insb. Montagetätigkeiten, bestehen oftmals aus komplexen und körperlich schweren Arbeitsschritten. Auf lange Sicht können die Mitarbeiter/innen die von ihnen geforderten Aufgaben nicht mehr erfüllen, ohne gesundheitliche Einschränkungen zu erleiden. Zudem birgt der Einsatz von klassischen Roboterzellen oftmals ein erhöhtes Sicherheitsrisiko, sodass ein Einschreiten des Menschen in diesen Prozess nicht gefahrlos möglich ist.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Manuelle Fähigkeiten sind nicht ausreichend genau
- Verwendung überholter Prozess- und Anlagentechnik
- Komplexe Variantenvielfalt
- Viel Ausschuss
- Fehlende Integration von IKT in Prozesse und Anlagen

Organisation

- Unmotivierte und fehlgeleitete Mitarbeiter
- Mangelnde Mitarbeiter-partizipation
- Manuelle Ausführung der Tätigkeiten
- Steigende Qualitäts-anforderungen
- Lange Durchlaufzeiten

Mensch

- Ergonomische Anforderungen
- Inadäquate Arbeitsumstände
- Hohes Arbeits-sicherheitsrisiko
- Steigende Anforderungen an die Tätigkeiten
- Aufwändige Einarbeitung

ROB Robotik

ROB2 Kollaborative Robotik

Lösungsbeschreibung

Eine direkte Zusammenarbeit von Menschen und Robotern wird von kollaborierenden Robotern, sog. Cobots, ermöglicht. Dabei ist keine zusätzliche Sicherheitstechnik notwendig. Mittels Sensorik wird eine Gefährdung der Menschen verhindert. Die Bewegungen des Roboters werden bis zu einem gewissen Grad von Menschen navigiert. Dabei ist die Dynamik und Kraft des Roboters stark eingeschränkt. Die Cobots können kritische oder gesundheits-schädliche Prozessschritte automatisiert übernehmen.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Cobots
- Laserscanner, Lichtschranken, Trittmatten, Machine Vision, Ultraschall oder Radar zur Umgebungserfassung

Software:

- Steuerungs- und Regelungs-algorithmen zur Überwachung der Zusammenarbeit
- Modellierung von Sicherheits-funktionen

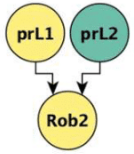
Vorteile

- Prozessoptimierung
- Gefahrenreduktion
- Verbesserte Ergonomie der Arbeitsprozesse
- Hohe Wiederholgenauigkeit und Kreativität in der Problemlösung

Nachteile

- Technische Herausforderung in der Sicherheitstechnik
- Hohe Investitionskosten
- Fehlende Potentialausschöpfung von Roboterfunktionalitäten

Mustersystem



Projektausprägungen

- interaktiv konfigurierbarer Roboterarm (Ein- oder Zweiarm Cobots)
- Humanoider Worker Bot

Best Practice

Robotergestützte Qualitätskontrolle von Druckgussteilen, mehr Informationen

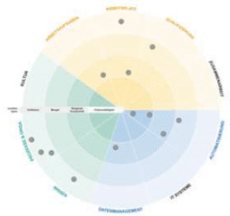
ROB Robotik

ROB3 Fahrerlose Transportsysteme

Kontext

Lösungsklasse: Robotik
Stoßrichtung: Technologien
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- Automatisierung
- Wissen
- Prozesse & Organisation
- Arbeitsaufgaben
- Arbeitsstrukt.
- Qualifizierung



Problembeschreibung

Durch die zunehmenden Forderungen nach Losgröße 1 und die steigende Variantenvielfalt ist eine permanente Bereitstellung von bedarfsgerechten Ressourcen und Waren im Produktionsprozess erforderlich. Eine flexible Materialverteilung ist nur schwer von Hand zu gestalten, da die Prozesse hochdynamisch sind und die Auslastung stets angepasst werden muss. Dies stellt zum einen eine mentale Belastung für die Mitarbeiter/innen der Intralogistik dar. Zum anderen können viele manuelle Tätigkeiten den Prozessdurchlauf verlangsamen.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlende Integration von IKT in Prozessen und Anlagen
- Fehlerhafte Kommissionierung
- Manuelle Fähigkeiten sind nicht ausreichend genau
- Keine Konsolidierung von Daten
- Komplexe Varianten-vielfalt

Organisation

- Potential neuer Geschäftsmodelle
- Ineffiziente Nutzung von Ressourcen
- Lange Durchlaufzeiten
- Mangelnde Kenntnis über eigene Prozesse

Mensch

- Mentale Belastung der Mitarbeiter
- Inadäquate Arbeitsumstände
- Ergonomische Anforderungen
- Fehlende Personal-kapazität

ROB Robotik

ROB3 Fahrerlose Transportsysteme

Lösungsbeschreibung

Der Transport von Material zwischen Maschinen, Lagern und Hallen ist ohne menschlichen Einfluss durch autonome Flurfördergeräte der Intralogistik realisierbar. Die Systeme sind mit Sensorik zur Umgebungserfassung ausgestattet und stellen hierdurch einen unfallfreien Transport der Güter sicher. Eine übergeordnete Optimierung basierend auf Simulationen, bspw. integriert in einer Plattformlösung, ermöglicht die permanente Verbesserung von komplexen Materialflüssen und die Adaptierbarkeit des Produktionssystems.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Sensoren zur Daten- und Umgebungserfassung
- Machine Vision
- GPS- / Funk-Technologien

Software:

- Steuerungs- und Regelungsalgorithmen
- SLAM Algorithmen
- Software zur Erzeugung von Karten und virtuellen Routen

Vorteile

- Bedarfsgerechte Bedienung komplexer Materialflüsse
- Hohe Reproduzierbarkeit der Materialflüsse
- Hoher Auslastungsgrad der Systeme

Nachteile

- Mangelndes Vertrauen zu autonomen Systemen auf Mitarbeiterseite
- Neue Anforderungen an Logistik-Gestalter
- Bedenken vor Jobverlusten

Mustersystem

Projektausprägungen

- Zentral gesteuertes fahrerloses Transportsystem
- Autonom navigierendes Transportsystem mit Hubfunktion

Best Practice

Die flexible Audi R8-Manufaktur mit fahrerlosen Transportfahrzeugen, mehr Informationen

MP Modernisierung der Produktion

MP1 Retro Fitting

Kontext

Lösungsklasse: Modernisierung der Produktion
Stoßrichtung: Technologien
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- IT-Systeme
- Automatisierung
- Kultur
- Prozesse & Organisation
- Arbeitsstrukt.
- Zusammenarbeit

Problembeschreibung

Die Verwendung von veralteten Maschinen und Anlagen führt im Zeitalter der Digitalen Transformation zum Versäumnis von Optimierungspotentialen in der Leistungserstellung. Auf Grund fehlender Daten für Analysen, können bspw. die Maschinenzustände und Nutzungsgrade nicht ermittelt werden. Diese fehlende Transparenz beeinträchtigt gleichzeitig eine effiziente Planung und Steuerung der Produktion. Diese unzureichenden Zustände spiegeln sich oftmals in Einbußen der Prozess- und Produktqualität wider.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlende Integration von IKT in Prozessen und Anlagen
- Hohe mechanische Belastung der Maschinen
- Verwendung überholter Prozess- und Anlagentechnik
- Keine Kompatibilität der Datenformate

Organisation

- Mangelnde Entscheidungskultur
- Risikoscheues Management
- Starre Unternehmens-strukturen
- Fehlende Standards am Markt
- Ineffiziente Nutzung von Ressourcen

Mensch

- Keine intuitive Bedienung von Maschinen
- Inadäquate Arbeitsumstände

MP Modernisierung der Produktion

MP1 Retro Fitting

Lösungsbeschreibung

Retro Fitting steht für das Aufrüsten veralteter Anlagen mit neuen Technologien und intelligenten Sensoren, welche bspw. die Prozessparameter und physikalischen Größen erfassen. Durch die Sammlung dieser Daten über ein IoT-Gateway wird u.a. eine softwaregestützte Visualisierung und Analyse der Prozessdaten ermöglicht. Dadurch sind Maschinenzustände und präventive Analysen integrierbar. Zudem bilden diese Daten die Basis für diverse Produktionskennziffern und somit auch für strategische Entscheidungen.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Sensoren zur Datenerfassung
- User Interfaces
- Mess- und Prüfsysteme

Software:

- Datenvorverarbeitung und -umwandlung
- Algorithmen zur Erkennung von Trends und Anomalien
- Cloud-Computing

Vorteile

- Geringe Investitionskosten
- Maximierung der Nutzungsdauer der Maschinen
- Verbesserung der Effizienz und Produktqualität

Nachteile

- Gefahr der mangelnden Akzeptanz bei Mitarbeitern
- Gefahr, dass Kosten größer sind als der gewonnene Nutzen

Mustersystem

Projektausprägungen

- Retrofitting von Produktions-anlagen
- Retrofitbasiertes Messsystem

Best Practice

Bedarfsgerechte Mechatronisierung einer Ziehmaschine für Präzisions-stahlrohre, mehr Informationen

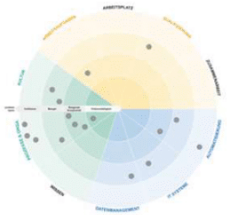
MP Modernisierung der Produktion

MP2 Neue Fertigungssysteme

Kontext

Lösungsklasse: Modernisierung der Produktion
Stoßrichtung: Organisation
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- IT-Systeme
- Automatisierung
- Kultur
- Prozesse & Organisation
- Arbeitsaufgaben
- Qualifizierung



Problembeschreibung

Überholte Fertigungssysteme sind oftmals anfälliger für Störungen und die Ursache dieser lässt sich meist nur sehr mühevoll auffinden. Als Folge dessen muss das Unternehmen stets mit langen Ausfallzeiten rechnen, die wiederum hohe Kosten verursachen. Zudem sind die Systeme in der Regel wenig bedienerfreundlich und erfordern eine lange Einarbeitungszeit. Die Anlagen müssen stets bedient und überwacht werden, sodass diese Fertigungssysteme unnötig viel Personalkapazität binden. Ein weiteres Problem ist die fehlende Adaptivität der Systeme für die Herstellung von Varianten.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlende Integration von IKT in Prozessen und Anlagen
- Komplexe Varianten-vielfalt
- Verwendung überholter Prozess- und Anlagentechnik
- Fehlende Anbindung an übergeordnete IT-Systeme

Organisation

- Hohe Fehler-anfälligkeit bei Fertigungsprozessen
- Steigende Ökologie-anforderungen
- Steigende Qualitäts-anforderungen
- Medienbrüche
- Fehlende Flexibilität bei Änderung der Marktanforderungen

Mensch

- Fehlende Personal-kapazität
- Steigende Anforderung an die Tätigkeiten

MP Modernisierung der Produktion

MP2 Neue Fertigungssysteme

Lösungsbeschreibung

Neue Cyber Physische Systeme gewähren eine störungsärmere Fertigung, indem durch Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) die Prozessdaten analysiert und bspw. Auffälligkeiten rechtzeitig geprüft werden. Durch die Integration von IKT wird die Bedienung der Maschinen und Anlagen digital unterstützt und durch Visualisierungen vereinfacht. Bisher aufwändige Fertigungsschritte können teilweise durch neue Fertigungssysteme wie additive Verfahren wesentlich effizienter gestaltet werden.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Einsatz von Technologien und Methoden mit einem hohen Innovationsgrad (z.B. 3D-Technologienn)

Software:

- Process Mining /Simulation
- Software zur Abbildung eines Digitalen Zwillings
- Internet of Things Anwendungen

Vorteile

- Weniger Produktionsausfälle
- Frei gewordene Kapazitäten können anderweitig eingesetzt werden
- Produktivitätssteigerung
- Gefahrenreduktion

Nachteile

- Hohe Investitionskosten
- Spezifisches Know-How erforderlich
- Hoher Implementierungsaufwand

Mustersystem

Projektausprägungen

- Cyber-Physische-Systeme
- Flexible Fertigungssysteme
- Umstellung auf neue Verfahren wie additive Fertigung

Best Practice

Additive Fertigung von Großteilen, mehr Informationen

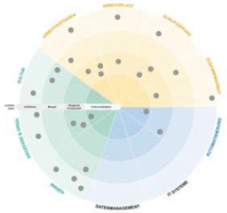
ASS Assistenzsysteme

ASS1 Kognitive Assistenzsysteme

Kontext

Lösungsklasse: Assistenzsysteme
Stoßrichtung: Mensch
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Automatisierung
- Wissen
- Kultur
- Prozesse & Organisation
- Arbeitsaufgaben
- Arbeitsstrukt.
- Qualifizierung
- Zusammenarbeit



Problembeschreibung

Kognitive Fähigkeiten, wie etwa die visuelle Aufmerksamkeit und das Arbeitsgedächtnis, des Mitarbeiters/der Mitarbeiterin sind in der Produktion, z.B. in der Montage, essentiell für den Prozess. Insbesondere neue, ungelernte Mitarbeiter/innen verfügen jedoch oftmals als Konsequenz von bspw. zu kurzer Einarbeitungszeit nur in geringem Maße über diese Fähigkeiten. Hierdurch wird der Prozess fehleranfällig und demotivierend. Zusätzlich werden durch eine steigende Variantenvielfalt die vorherigen Routinetätigkeiten abgelöst und die Vorgänge damit immer komplexer.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlerhafte Kommissionierung
- Komplexe Variantenvielfalt

Organisation

- Unmotivierte und fehlgeleitete Mitarbeiter
- Mangelnde Mitarbeiter-partizipation
- Keine gelebte Know-How-Weitergabe
- Abhängigkeit von Expertenwissen
- Ineffiziente Dokumentation von Prozessschritten

Mensch

- Fehlende Inklusion von Mitarbeitern mit Einschränkungen
- Unterschiedlicher Erfahrungsstand
- Keine intuitive Bedienung von Maschinen
- Ungeübtes Personal
- Aufwändige Einarbeitung
- Monotone Arbeit

ASS Assistenzsysteme

ASS1 Kognitive Assistenzsysteme

Lösungsbeschreibung

Mittels Softwarelösungen werden Werker bei ihren kognitiven Tätigkeiten unterstützt. Beispiele für Anwendungen sind die farbige Beleuchtung von Bauteilen z.B. bei Pick-by-Light Systemen, eine Strukturierung episodischer Erinnerungen sowie die Unterstützung bei Lernvorgängen durch tutorielle Systeme. Die Umsetzung von kognitiven Assistenzsystemen erfolgt immer häufiger mit intelligenten Algorithmen für eine personalisierte Unterstützungs-leistung.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Mobile Endgeräte
- Sensoren und ggf. Machine Vision zur Erfassung der Umgebung und des Nutzers
- Interaktive Visualisierungssysteme

Software:

- Software zur Wiedergabe von Bild- und Videomaterial
- Regelungsalgorithmen zur indi-viduellen Unterstützungsleistung
- Software für Bewegungserkennung (z.B. Eye-Tracking)

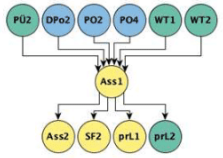
Vorteile

- Entlastung von Mitarbeitern
- Qualifizierungsmöglichkeit
- Fehlervermeidung
- Ablaufoptimierung

Nachteile

- Akzeptanzhürden
- Bedenken vor Bevormundung/ Überwachung
- Häufig kostenintensiv

Mustersystem



Projektausprägungen

- Graphisches Montage-Assistenzsystem
- Kontextsensitive Informations-bereitstellung
- Assemble-by-Light
- Mobiles Assistenzsystem

Best Practice

Prozessintegrierte Mitarbeiter-Unterstützung in der Montage,
mehr Informationen

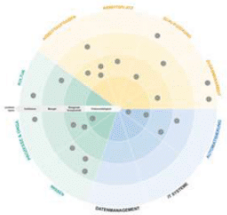
ASS Assistenzsysteme

ASS2 Virtuelle/Augmentierte Assistenzsysteme

Kontext

Lösungsklasse: Assistenzsysteme
Stoßrichtung: Mensch
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Automatisierung
- Wissen
- Kultur
- Prozesse & Organisation
- Arbeitsaufgaben
- Arbeitsstrukt.
- Qualifizierung
- Zusammenarbeit



Problembeschreibung

Die zunehmende Aufgabenkomplexität, bspw. auf Grund der steigenden Variantenvielfalt und dem Einzug neuer Technologien in der Fertigung, stellt die Mitarbeiter/innen vor neue Herausforderungen. Dabei wird von ihnen erwartet, dass sie sich schnell in neue Produktionssysteme einarbeiten können und anpassungsfähig gegenüber einem flexiblen und kundenindividuellen Produktionsprogramm sind. Dabei geraten die Mitarbeiter/innen im Zuge der Informationsflut und eng getakteter Bearbeitungszeiten oftmals an ihre Belastungsgrenzen.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlende Integration von IKT in Prozesse und Anlagen
- Fehlerhafte Kommissionierung
- Manuelle Fähigkeiten sind nicht ausreichend genau
- Komplexe Varianten-vielfalt

Organisation

- Steigende Qualitäts-anforderungen
- Manuelle Ausführung der Tätigkeiten
- Hohe Fehleranfälligkeit bei Fertigungsprozessen
- Zunehmend komplexe Geschäfts-prozesse
- Unmotivierte und fehlgeleitete Mitarbeiter

Mensch

- Mentale Belastung der Mitarbeiter
- Hohes Arbeits-sicherheitsrisiko
- Steigende Anforderungen an die Tätigkeiten
- Mangel an Individualisierung
- Aufwändige Einarbeitung
- Ineffektive Arbeits-atmosphäre

ASS Assistenzsysteme

ASS2 Virtuelle/Augmentierte Assistenzsysteme

Lösungsbeschreibung

Mit Hilfe der Verknüpfung der analogen und digitalen Welt können komplexe Fertigungsabläufe in Echtzeit und am Arbeitsplatz audiovisuell erklärt werden. Unter Verwendung von bspw. Smart Glasses können virtuelle Räume betreten oder reale Güter erfasst und digitale Informationen eingeblendet (Augmented Reality) werden. Ein virtuelles oder augmentiertes Assistenzsystem unterstützt zudem eine ungefährdete Einarbeitung in sicherheitskritische Arbeitsschritte.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Smart Glasses oder mobile Endgeräte
- High End Kameras für die Erfassung der Umgebung
- Server und Datenbanken
- Sensoren zur Datenerfassung

Software:

- Simulation
- App-Programmierung
- Software für die Wiedergabe von Bild-, Ton- und Videomaterial

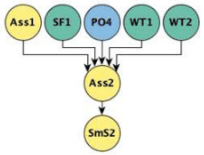
Vorteile

- Schnelle und kostengünstige Umsetzung
- Verkürzte Einarbeitungszeiten
- Intuitive Bedienung
- Ortsunabhängigkeit bei vielen Tätigkeiten

Nachteile

- Gefahr der mangelnden Akzeptanz
- Hygienebedenken
- Oftmals schlechte körperliche Verträglichkeit

Mustersystem



Projektausprägungen

- Einsatz von Augmented Reality zur Montageunterstützung
- Vision Picking Lösung mit Datenbrillen

Best Practice

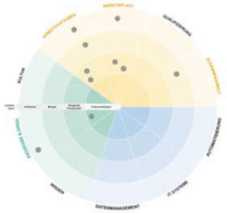
Einsatz von Datenbrillen-gestützter Werkerführung beim Automobilzulieferer WS System GmbH, mehr Informationen

ASS Assistenzsysteme

ASS3 Physische Assistenzsysteme

Kontext

Lösungsklasse: Assistenzsysteme
Stoßrichtung: Mensch
Relevante soziotechnische Kategorien:
- Prozesse & Organisation
- Arbeitsaufgaben
- Arbeitsstrukturen
- Zusammenarbeit



Problembeschreibung

In der Fertigung sind Mitarbeiter/innen in viele Prozesse eingebunden, in denen sie körperlichen Anstrengungen ausgesetzt sind. Beispielweise wird die Montage auf dem Shopfloor für den Mitarbeiter/die Mitarbeiterin durch Bauraumverkleinerungen, Gewichtszunahme der Systeme und Zunahme von Produkt- und Prozessvarianten stetig aufwändiger. Diese physischen Belastungen verursachen bei fehlender Unterstützung oftmals eine erhöhte Fehleranfälligkeit, verlängerte Durchlaufzeiten bis hin zu Gesundheitsschädigungen und Ausfällen.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien
- -

Organisation
- Hohe Fehleranfälligkeit bei Fertigungsprozessen
- Lange Durchlaufzeiten

Mensch
- Mangel an Individualisierung
- Physische Belastung
- Steigende Anforderungen an die Tätigkeiten
- Monotone Arbeit
- Hohes Arbeitssicherheitsrisiko
- Ergonomische Anforderungen
- Monotone Arbeit

ASS Assistenzsysteme

ASS3 Physische Assistenzsysteme

Lösungsbeschreibung

Physische Assistenzsystemen sind technische Systeme, welche den Werker bei körperlichen Beanspruchungen auf dem Shopfloor unterstützen. Dabei können dem Werker z.B. bei dem Bewegen von besonders schweren Bauteilen Hebeassistenten bis hin zu sogenannten Exoskeletten zur Verfügung stehen.

Mögliche Teillösungen

Hardware:
- Physical Robots
- User Interface
- Sensoren zur Datenerfassung

Software:
- Steuerungs- und Regelungsalgorithmen

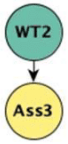
Vorteile

- Schonung der Gesundheit von Mitarbeitern/Mitarbeiterinnen
- Mitarbeitermotivation

Nachteile

- Gefahr der mangelnden Akzeptanz
- Ggf. Muskelabbau
- Hygienehürden

Mustersystem



Projektausprägungen

- Personalisierter ergonomischer Arbeitsplatz
- Humanoider Worker Bot für Kräfteüberwachung und Kollaboration
- Lastkräne

Best Practice

Personalisierter Arbeitsplatz in flexiblen Produktionsumgebungen,
mehr Informationen

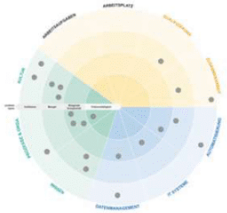
SF Technologien Sensibilisierung

SF1 Technologien-Evaluierung

Kontext

Lösungsklasse: Smart Factory
Stoßrichtung: Organisation
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- IT-Systeme
- Automatisierung
- Prozesse & Organisation
- Wissen
- Kultur
- Qualifizierung
- Zusammenarbeit



Problembeschreibung

Das Aufdecken von Optimierungspotentialen in einem Unternehmen stellt sich als eine große Herausforderung dar. Die zur Auswertung benötigten Kennzahlen und Wertstromanalysen werden oftmals von Hand ermittelt und berücksichtigen längst nicht alle Informationen, um korrekte Maßnahmen abzuleiten. Dabei steht sehr häufig die Produktivitätssteigerung im Fokus und Motive wie Flexibilität und Wandlungsfähigkeit geraten in den Hintergrund. Als Folge dessen werden falsche strategische Entscheidungen getroffen, die wenig Mehrwert für das Unternehmen bieten und hohe Kosten verursachen.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlende Integration von IKT in Prozessen und Anlagen
- Komplexe Variantenvielfalt
- Verwendung überholter Prozess- und Analgentechnik
- Unzureichende Software-unterstützung

Organisation

- Mangelnde Entscheidungskultur
- Fehlende Unternehmens-ausrichtung
- Fehlende Flexibilität bei Änderung der Marktanforderungen
- Steigende Ökologie-anforderungen
- Potential neuer Geschäftsmodelle

Mensch

- Fehlende Bündelung von Kompetenzen
- Unterschiedlicher Erfahrungsstand
- Mangelnde Kompetenz bzgl. neuer Technologien

SF Technologien Sensibilisierung

SF1 Technologien-Evaluierung

Lösungsbeschreibung

Die Evaluierung von digitalen Technologien in einer Smart Factory bietet den Vorteil, erwartete Effizienz-, Effektivitäts- und Flexibilitätssteigerungen zu prüfen, ohne die laufenden Prozesse zu gefährden. Fehlinvestitionen durch einen unklaren Nutzen werden so vermieden. Mit Hilfe der Smart Factory können somit adäquate strategische Entscheidungen bzgl. des Einsatzpotentials der Technologien getroffen werden.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Hardware zum Betreiben der Technologien
- Server und Datenbanken
- User Interface

Software:

- Internet of Things Anwendungen
- Cloud-Computing
- Ggf. Vorhersagungsalgorithmen
- Ggf. Simulationen

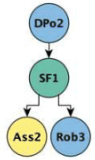
Vorteile

- Vermeidung von Fehlinvestitionen
- Entscheidungsunterstützung
- Weiterhin störungsfreie Prozesse

Nachteile

- Platz für Labore/Smart Factory erforderlich
- Hohe Investitionskosten

Mustersystem



Projektausprägungen

- Evaluierungsumgebung zur Erprobung neuer Technologien
- Modellfabrik 4.0
- Elektromobilitätslabor
- Smart Factory Bereich mit FTS

Best Practice

Digital Capability Center – ITA Academy GmbH, mehr Informationen

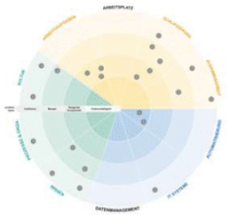
SF Technologien Sensibilisierung

SF2 Technologienorientierter Kompetenzaufbau

Kontext

Lösungsklasse: Smart Factory
Stoßrichtung: Mensch
Relevante soziotechnische Kategorien:

- IT-Systeme
- Automatisierung
- Wissen
- Prozesse & Organisation
- Kultur
- Arbeitsaufgaben
- Qualifizierung
- Zusammenarbeit



Problembeschreibung

Die Mitarbeiter/innen eines Unternehmens mit einem hohem Automatisierungsgrad übernehmen im Zeitalter der Digitalisierung eine verantwortungsvollere Rolle. Sie benötigen ein breiteres und tieferes Verständnis der Funktion und Steuerung von vernetzten Fertigungssystemen. Traditionsgemäß sind insb. die langjährigen Mitarbeiter/innen jedoch sehr fachspezifisch ausgebildet. Hierdurch mangelt es ihnen an Kenntnissen im Umgang mit neuen Technologien und vernetzten Systemen.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Starre Benutzer-schnittstellen
- Unvorhersehbare Ausfälle
- Nicht prognostizierbare Produktionsfehler

Organisation

- Fehlendes Wissen bzgl. Technologien-lösungen
- Fehlen von fachüber-greifenden Wissen
- Keine gelebte Know-How-Weitergabe
- Mangelnde Mitarbeiter-partizipation
- Risikoscheues Management

Mensch

- Mangelnde Kompetenzen bzgl. neuer Technologien
- Ungeübtes Personal
- Hohes Maß an Fachwissen wird vorausgesetzt
- Aufwändige Einarbeitung
- Fehlende Bündelung von Kompetenzen
- Unterschiedlicher Erfahrungsstand

SF Technologien Sensibilisierung

SF2 Technologienorientierter Kompetenzaufbau

Lösungsbeschreibung

Mit Hilfe der Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien in die Systeme wird versucht, die Anwenderschnittstelle für die Mitarbeiter/innen zu simplifizieren. Mangelnde Kenntnisse bspw. in der Steuerung von vernetzten Systemen, sollen durch die prototypische Anwendung der Technologien selbst und das intuitive Abrufen von Informationen ausgeglichen werden. Dabei können integrierte Schritt-für-Schritt-Anleitungen oder Erklärvideos zur Wirkungsweise der Technologien einen Kompetenz- und Wissensaufbau fördern, ohne die Prozesse für Schulungen zu unterbrechen.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Sensorik zur Datenerfassung
- Medium zur Datenspeicherung
- Displays zur Datenanzeige

Software:

- Datenverarbeitung
- Software für die Wiedergabe von Bild-, Ton- und Videomaterial

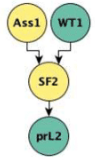
Vorteile

- Kein Schulungspersonal notwendig
- Zeitersparnis durch Training on the job
- Mitarbeiterentlastung

Nachteile

- Aufwand zur Erstellung und Aktualisierung der Daten

Mustersystem



Projektausprägungen

- Industrie 4.0 Trainingsumgebung
- Erlebbare Anwendungsszenarien
- Training von Plug-and-Produce-Techniken

Best Practice

Demonstrator für ein wandlungsfähiges Montagesystem, mehr Informationen

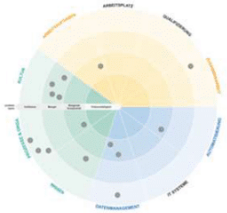
SMS Prozessbezogene Smart Services

SMS1 Customization Services

Kontext

Lösungsklasse: Smart Services
Stoßrichtung: Organisation
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- Automatisierung
- Wissen
- Prozesse & Organisation
- Kultur
- Arbeitsaufgabe
- Zusammenarbeit



Problembeschreibung

Die steigende Forderung nach Losgröße 1 und die Realisierung der daraus entstehenden Variantenvielfalt erfordert einen intensiven Austausch mit den Kunden. Zu diesem Zweck mangelt es oft an Flexibilität im Arbeitsalltag und Personalkapazitäten. Dies hat zur Folge, dass die Kundenanforderungen an die Produkte und Dienstleistungen nicht im ausreichenden Maße festgestellt werden können. Außerdem liegt gelegentlich ein unterschiedliches Verständnis der Produktspezifikationen zwischen Kunden und Unternehmen vor, was bei fehlender Kooperation zu kostenintensiven späten Änderungen führen kann.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Keine Konsolidierung von Daten
- Fehlender Umgang mit großen Datenmengen
- Unausgeschöpftes Potential der Datennutzung
- Komplexe Varianten-vielfalt

Organisation

- Potential neuer Geschäftsmodelle
- Ineffiziente Nutzung von Ressourcen
- Mangelnde Kundenorientierung
- Fehlende Flexibilität bei Änderung der Marktanforderungen
- Fehlende Kooperations-bereitschaft

Mensch

- Erschwerte Zusammenarbeit durch Inter-disziplinarität

SMS Prozessbezogene Smart Services

SMS1 Customization Services

Lösungsbeschreibung

Mit Hilfe von bspw. Online-Konfiguratoren können Kunden dem Unternehmen exakt ihre Anforderungen an das Produkt bis hin zu direkten Fertigungsdaten übermitteln. Durch die frühzeitige Einbindung des Kunden in die Produktplanung, können individuelle Lösungen und Unikate gefertigt und die Anzahl der Reklamationen gesenkt werden. Darüber hinaus steigt mit den individuell konfigurierten Produkten die Kundenzufriedenheit, welche das Fortbestehen des Unternehmens sichert.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Datenbank / Server
- Ggf. Technologien zur Umsetzung von individuellen Kundenwünschen (Bspw. mit Hilfe additiver Fertigung)

Software:

- Software für Planung und Bewertung von Aufträgen
- Digitale Plattform zur Abfrage von Kundenwünschen
- Modellierung von 3D-Produktansichten, Simulation

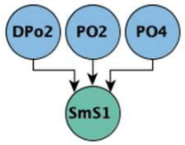
Vorteile

- Reduzierung von Kunden-reklamationen
- Steigerung der Kunden-zufriedenheit
- Reduzierung von Missverständnissen

Nachteile

- Unsicherheit bzgl. Datenschutz
- Prozess-Abhängigkeit vom Kunden
- Ggf. unklare Risikoübernahme

Mustersystem



Projektausprägungen

- Online-Konfigurator
- Preiskalkulation in Echtzeit

Best Practice

PROTIQ Online Plattform, mehr Informationen

SMS Prozessbezogene Smart Services

SMS2 Remote Experten

Kontext

Lösungsklasse: Smart Services
Stoßrichtung: Mensch
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- IT-Systeme
- Automatisierung
- Prozesse & Organisation
- Wissen
- Kultur
- Arbeitsaufgaben
- Qualifizierung
- Zusammenarbeit

Problembeschreibung

Für die Instandhaltung, Reparatur und Weiterentwicklung von Produktionsanalgen, welche mitunter komplexe Systeme sind, wird oftmals das fundierte Wissen eines Servicetechnikers benötigt. Dabei kommt es vor, dass zwischen dem Servicetechniker und dem Anwender eine große räumliche Distanz vorliegt. Dies kann im schlimmsten Fall zu längeren Systemausfällen in der Produktion führen, die mit hohen Kosten verbunden sind.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Viel Ausschuss
- Komplexe Variantenvielfalt
- Ungenaue Parameter-einstellungen
- Unausgeschöpftes Potential der Datennutzung
- Fehlende Anbindung an übergeordnete IT-Systemen

Organisation

- Abhängigkeit von Expertenwissen
- Mangelnde Kenntnis über eigene Prozesse
- Fehlen von fachüber-greifenden Wissen
- Fehlende Feedback-kultur
- Manuelle Ausführung der Tätigkeiten
- Steigende Qualitäts-anforderungen

Mensch

- Keine ausreichende Dokumentation
- Steigende Aufgaben-komplexität durch Losgröße 1
- Steigende Anforderungen an die Tätigkeiten
- Unterschiedlicher Erfahrungsstand
- Keine intuitive Bedienung von Maschinen

SMS Prozessbezogene Smart Services

SMS2 Remote Experten

Lösungsbeschreibung

Über Videotelefonie kann ein Experte ortsunabhängig einbezogen werden, um bei Störungen oder Wartungstätigkeiten an den Systemen zu unterstützen. Dabei nutzt der Mitarbeiter/die Mitarbeiterin vor Ort eine Kamera, um die aktuelle Situation an den Experten zu übertragen. Dieser kann nun aus der Ferne passende Anweisungen erteilen oder direkt auf das System zugreifen. Während der Übertragung können vom Experten Dokumente oder Hinweise eingefügt werden, welche in dem Interface angezeigt werden.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Sensoren zur Datenerfassung
- mobile Endgeräte mit Videofunktion

Software:

- VPN-Verbindung
- Software zum Zugriff auf Maschinen und Anlagen
- Kommunikationssoftware für Nutzer (z.B. Videotelefonie)
- Ggf. AR-Unterstützung

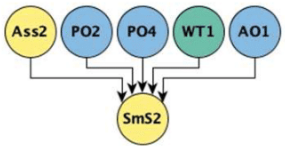
Vorteile

- Ortsunabhängiger Zugriff auf Expertenwissen
- Ersparnis von Reisekosten
- Fehlerdokumentation
- Schnelle Fehlerbehebung

Nachteile

- Technische Infrastruktur notwendig
- Risiko von Missverständnissen
- Unpersönliche Kommunikationsform
- Unsicherheit bzgl. der Daten

Mustersystem



Projektausprägungen

- Remote Konfiguration
- Remote Support

Best Practice

PlazaBase by Kops&Konsorten UG, mehr Informationen

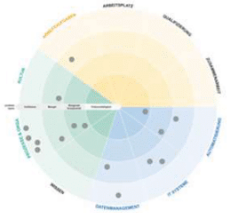
SMS Prozessbezogene Smart Services

SMS3 Tracking und Tracing in der Fertigung

Kontext

Lösungsklasse: Smart Services
Stoßrichtung: Organisation
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- IT-Systeme
- Automatisierung
- Prozesse & Organisation
- Kultur
- Arbeitsaufgaben



Problembeschreibung

Unternehmen stehen im Zeitalter von Losgröße 1 vor der Herausforderung, dass sie nicht für jede mögliche Variante eines Produktes alle Materialien provisorisch auf Lager halten können. Gleichzeitig fällt es durch die Individualisierung schwer, den Überblick über die verfügbaren Maschinen und erforderlichen Materialien behalten zu können. Durch bspw. Materialengpässe verzögert sich resultierend der Produktionsprozess.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlende Anbindung an übergeordnete IT-Systeme
- Mangelnde IT-Infrastruktur
- Fehlerhafte Kommissionierung
- Fehlende Integration von IKT in Prozessen und Anlagen
- Komplexe Variantenvielfalt

Organisation

- Fehlende Rückverfolgbarkeit
- Zunehmend komplexe Geschäftsprozesse
- Medienbrüche
- Ineffiziente Nutzung von Ressourcen
- Lange Durchlaufzeiten
- Ineffiziente Dokumentation von Prozessschritten

Mensch

- Keine ausreichende Dokumentation

SMS Prozessbezogene Smart Services

SMS3 Tracking und Tracing in der Fertigung

Lösungsbeschreibung

Das Tracking und Tracing von Fertigungsmaterialen birgt Möglichkeiten zur Prozessoptimierung. Hierbei wird das Fertigungsmaterial mit einem „Tracker“ versehen, der selbständig Informationen senden und empfangen kann. Dadurch werden Gegenstände automatisch und ohne Berührung während des gesamten Fertigungsprozesses identifiziert und lokalisiert. Der Zugriff auf diese Daten aus dem Back Office erhöht die Transparenz und Rückverfolgbarkeit. Dies führt zu einer effizienteren Planung der Fertigungsprozesse.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Sensoren zur Umgebungserfassung
- Barcode- / RFID-Scanner (Smart Label)
- Machine Vision
- GPS-/ Funktechnologien

Software:

- Workflow-Systeme
- Steuerungs- und Regelungsalgorithmen
- Ortungssoftware

Vorteile

- Überblick über den gesamten Warenfluss
- Prozessoptimierung
- Schlanke Lagerhaltung
- Einfache Lokalisierung von Ware

Nachteile

- Aufwändige technische Nachrüstung
- Komplexe Abhängigkeiten
- Bedenken vor Jobverlusten (Kommissionierer etc.)

Mustersystem

Ausprägungen

- RFID Systeme
- Barcode Systeme
- QR Code Systeme
- Data Matrix Systeme

Best Practice

Nexeed Track and Trace für Material, Bosch, mehr Informationen

PO Prozessorganisation

PO1 Agile interdisziplinäre Methoden

Kontext

Lösungsklasse: Prozessorganisation
Stoßrichtung: Organisation
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- IT-Systeme
- Automatisierung
- Prozesse & Organisation
- Kultur
- Wissen
- Arbeitsaufgaben
- Zusammenarbeit / MMI

Problembeschreibung

Sowohl bei der Software- als auch bei der Hardwareentwicklung wird oft der Produkt-Markt-Fit nicht ausreichend und nur aus einem Blickwinkel einer einzelnen Fachdisziplin betrachtet. Kunden fordern heute allerdings immer individuellere Produkte, die zu ihren Bedürfnissen passen. Auf diese Dynamik kann mit starren Prozessstrukturen und mit etablierten fachdisziplinorientierten Methoden nur schwer reagiert werden.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlender Umgang mit großen Datenmengen
- Mangelnde IT-Infrastruktur
- Fehlende Integration von IKT in Prozessen und Anlagen

Organisation

- Fehlen von fachübergreifenden Wissen
- Keine gelebte Know-How-Weitergabe
- Mangelnde Kundenorientierung
- Starre Unternehmensstrukturen
- Fehlende Feedbackkultur
- Steigende Qualitätsanforderungen

Mensch

- Fehlende Bündelung von Kompetenzen
- Erschwerte Zusammenarbeit durch Interdisziplinarität
- Ineffektive Arbeitsatmosphäre
- Steigende Anforderungen an die Tätigkeiten

PO Prozessorganisation

PO1 Agile interdisziplinäre Methoden

Lösungsbeschreibung

Die agile interdisziplinäre Entwicklung führt sowohl in der Software-Entwicklung als auch in der Hardware-Entwicklung zur flexibleren Gestaltungs- und Produktentscheidungen durch den Einsatz von interdisziplinären Projektteams und kurzen, intensiven Sprintphasen in der Entwicklung. Die agile Produktentwicklung basiert dabei auf den Annahmen des Erfüllens und frühzeitigen Testens der Benutzeranforderungen, um einen Produkt-Markt-Fit zu erzielen.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Teambesprechungsräume
- Workshopmaterialien

Software:

- Kommunikationssoftware (Bspw. Skype, Zoom, usw.)
- Teamorganisationssoftware (Bspw. MS Teams, Evernote, usw.)
- Cloudbasierte Speicherdienste

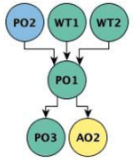
Vorteile

- Kreativitätsförderung
- Schnellere Entwicklungszeiten
- Interdisziplinäre Kommunikation und Kooperation
- Wiederverwendung von Wissen
- Rückverfolgbarkeit & Transparenz

Nachteile

- Akzeptanz bzgl. Veränderungen im Prozessablauf
- Hohe Verantwortungsübertragung an Mitarbeiter
- Hoher Aufwand bzgl. der Systemmodellerstellung

Mustersystem



Ausprägungen

- Scrum
- KANBAN
- Extreme Programming
- Systems Engineering
- Model Based Systems Engineering

Best Practice

Ingenieursarbeit bei KUKA AG, mehr Informationen

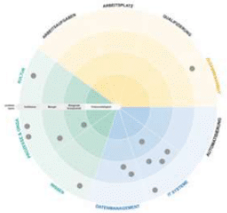
PO Prozessorganisation

PO2 Projektmanagement Werkzeuge

Kontext

Lösungsklasse: Prozessorganisation
Stoßrichtung: Technologien
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- IT-Systeme
- Prozesse & Organisation
- Wissen
- Kultur
- Zusammenarbeit / MMI



Problembeschreibung

Das Angebot an flexiblen Arbeitsplätzen und Homeoffice sowie die Bildung von Projektgruppen mit Mitgliedern aus unterschiedlichen Standorten erfordert neue Möglichkeiten der Durchführung von Projekten. Die notwendigen Werkzeuge müssen jedem einzelnen Mitglied jederzeit in vollem Umfang zur Verfügung stehen und praktisch gestaltet sein, sodass eine problemlose Anwendung erfolgen kann.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Keine Datendurchgängigkeit
- Unzureichende Softwareunterstützung
- Mangelnde IT-Infrastruktur
- Starre Benutzerschnittstellen
- Keine Kompatibilität der Datenformate

Organisation

- Fehlende Rückverfolgbarkeit
- Medienbrüche
- Ineffiziente Nutzung von Ressourcen
- Keine gelebte Know-How-Weitergabe
- Zunehmend komplexe Geschäftsprozesse
- Starre Unternehmensstrukturen

Mensch

- Erschwerte Zusammenarbeit durch Interdisziplinarität

PO Prozessorganisation

PO2 Projektmanagement Werkzeuge

Lösungsbeschreibung

Zu der Basisausstattung eines jeden Mitglieds gehören mobile Endgeräte. Über diese können die Mitglieder sich über geeignete und einheitliche Kommunikationssoftware austauschen und ihre Aufgaben und Fortschritte auf Kollaborationsplattformen dokumentieren. Dabei muss auf eine ausreichende IT-Sicherheit und Speicherkapazität geachtet werden.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Mobile Endgeräte
- Telefon
- Kamera
- Server- / Rechenkapazität

Software:

- Kommunikationssoftware (Bspw. Skype, Zoom, usw.)
- Teamorganisationssoftware (MS Teams, Evernote, usw.)
- Cloudbasierte Speicherdienste

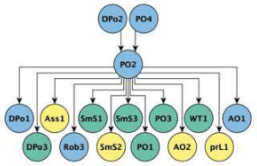
Vorteile

- Bessere und effizientere Zusammenarbeit
- Ortsunabhängigkeit

Nachteile

- Unzureichende IT-Sicherheit
- Kompatibilität der Softwarelösungen mit Arbeitsweisen der Mitarbeiter

Mustersystem



Ausprägungen

- Skype
- Zoom
- MS Teams
- Evernote
- Owncloud

Best Practice

…

PO Prozessorganisation

PO3 Externe Kooperationen

Kontext

Lösungsklasse: Prozessorganisation
Stoßrichtung: Organisation
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- IT-Systeme
- Wissen
- Prozesse & Organisation
- Kultur
- Zusammenarbeit
- Arbeitsaufgaben
- Qualifizierung

Problembeschreibung

Im Zeitalter der Digitalisierung ist es kaum möglich, mit den Entwicklungen und steigenden Anforderungen in angemessener Zeit Schritt zu halten, bzw. alle benötigten Kompetenzen für damit verbundene Prozesse intern vorzuhalten. Mögliche Synergiepotentiale können aufgrund von Informationsasymmetrien in verschiedene Richtungen nicht gehoben werden.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlende IT-Schnittstellen
- Keine Konsolidierung von Daten

Organisation

- Ineffiziente Nutzung von Ressourcen
- Fehlendes Wissen bzgl. Technolgie-lösungen
- Mangelnde Kunden-orientierung
- Steigende Qualitäts-anforderungen
- lange Durchlaufzeiten
- Mangelndes externes Wissen

Mensch

- Ungeübtes Personal
- Mangelnde Kompetenz bzgl. neuer Technologien
- Hohes Maß an Fachwissen wird vorausgesetzt
- Erschwerte Zusammenarbeit durch Inter-disziplinarität
- Unterschiedlicher Erfahrungsstand

PO Prozessorganisation

PO3 Externe Kooperationen

Lösungsbeschreibung

Externe Kooperationen bezeichnen den Zusammenschluss von Unternehmen und externen Partnern wie Kunden, Lieferanten oder Hochschulen/ Forschungseinrichtungen zum Zweck des Wissens- und Technologietransfers. Hierdurch werden die Unternehmensprozesse nach außen geöffnet und ein wechselseitiger Informationsfluss mit dem Unternehmensumfeld ermöglicht.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- User Interface
- Kommunikationshardware
- Dienstfahrzeuge

Software:

- Kommunikationssoftware
- Projektmanagementsoftware
- Cloudbasierte Speicherdienste

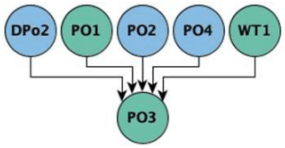
Vorteile

- Kurzfristiger Aufbau und Austausch von Know-how
- Fachinterner und fachübergreifender Austausch
- Ressourcenausgleich

Nachteile

- Eingeschränkte Vertrauensbasis
- Abfluss von Know-How
- Gefahr von Abhängigkeiten

Mustersystem



Ausprägungen

- Partnernetzwerke/ Marktplätze
- Kundenintegration
- Hochschul-/ Forschungs-kooperationen
- Studentenkooperationen

Best Practice

Gemeinschaftsprojekt Schnaithmann, mehr Infos

PO Prozessorganisation

PO4 Schutzkonzepte für Daten und Know-How

Kontext

Lösungsklasse: Prozessorganisation
Stoßrichtung: Technologien
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- IT-Systeme
- Automatisierung
- Prozesse & Organisation
- Wissen
- Kultur

Problembeschreibung

Mit der Digitalisierung von Unternehmen und der damit verbundenen permanenten Anbindung zum Internet steigen die Gefahren des Datenraubs oder eines Hackerangriffs. Unternehmen müssen sich zunehmend mit Datenschutz und Datensicherheit auseinandersetzen und schrecken oft zurück. Dabei müssen klare Richtlinien zur Vermeidung von Infektionen mit Schadsoftware oder Trojanern und Schaden durch Fehlverhalten der Mitarbeiter festgelegt werden, damit die IT-Infrastrukturen und –Komponenten geschützt bleiben.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlende Sicherheit gegen Datenraub
- Fehlender Umgang mit großen Datenmengen
- Fehlende IT-Schnittstellen
- Fehlende Integration von IKT in Prozessen und Anlagen

Organisation

- Fehlender Know-How-Schutz
- Fehlende Rückverfolgbarkeit
- Risikoscheues Management
- Potential neuer Geschäftsmodelle

Mensch

- -

PO Prozessorganisation

PO4 Schutzkonzepte für Daten und Know-How

Lösungsbeschreibung

Im Rahmen eines Risikomanagements müssen potenzielle Gefahren und die geeigneten IT-Sicherheitslösungen abgeschätzt werden. Dabei können Mitarbeiterschulungen zum Datenschutz erhalten und unternehmensweit sicherheitsgewährende Software installiert werden. Fühlt sich ein Unternehmen zum Thema IT-Sicherheit unsicher und nicht gewappnet, so ist es möglich, ein externes Unternehmen um Hilfe zu bitten und auf zertifizierte Dienste zuzugreifen.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Sichtschutz an sicherheitsrelevanten Bereichen
- Sicherheitszertifiziertes Rechenzentrum
- Zuverlässig verschlüsselte Security Laptops

Software:

- Verschlüsselungs- und Entschlüsselungsalgorithmen
- Zertifizierte Anti-Virensoftware
- Algorithmen für die Anomalieerkennung

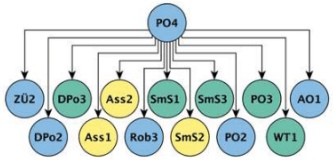
Vorteile

- Schutz des geistigen Eigentums
- Schutz vor Manipulationen und Ausfällen

Nachteile

- Ein hohes Maß an Know-How ist erforderlich
- Verlangt eine fortdauernde Auseinandersetzung, da immer wieder neue potentielle Gefahren auftreten

Mustersystem



Ausprägungen

- Datenschutz-Schulungen für Mitarbeiter
- Zertifizierte Anti-Virensoftware auf allen mobile Devices

Best Practice

plussecurity von plusserver, mehr Informationen

WT Interner Wissenstransfer

WT1 Wissensmanagement-Systeme

Kontext

Lösungsklasse: Interner Wissenstransfer
Stoßrichtung: Organisation
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- IT-Systeme
- Automatisierung
- Prozesse & Organisation
- Wissen
- Kultur
- Arbeitsaufgaben
- Qualifizierung
- Zusammenarbeit

Problembeschreibung

Das Wissen in Unternehmen konzentriert sich in der Regel auf einzelne Mitarbeiter, Teams, Abteilungen oder Standorte und steht nicht dem kollektiven bzw. organisationalen Wissen zur Verfügung. Sobald Mitarbeiter das Unternehmen verlassen, geht dieses Wissen gänzlich verloren, wenn es nicht frühzeitig gespeichert wird.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlende Transparenz zum Anlagenzustand
- Keine Daten-durchgängigkeit
- Keine automatische Dokumentation
- Fehlende Integration von IKT in Prozessen und Anlagen

Organisation

- Starre Unternehmens-strukturen
- Fehlende Unternehmens-ausrichtung
- Ineffiziente Dokumentation von Prozessschritten
- Medienbrüche
- Fehlende Übersicht über Kompetenzen

Mensch

- Aufwändige Einarbeitung
- Mangelnde Kompetenz bzgl. neuer Technologien
- Steigende Anforderungen an die Tätigkeiten
- Steigende Aufgaben-komplexität durch Losgröße 1
- Keine ausreichende Dokumentation

WT Interner Wissenstransfer

WT1 Wissensmanagement-Systeme

Lösungsbeschreibung

Der gesamte Prozess zur systematischen Gewinnung, Strukturierung, Darstellung, Verteilung, Suche und (dezentrale) Speicherung von Wissen wird als Wissensmanagement bezeichnet. Die bestmögliche Bewahrung von innovationsrelevantem Wissen im Unternehmen sowie die Verteilung und Nutzung dieses Wissens sind Ziele des Wissensmanagements. Mit Hilfe von Wissensmanagement wird die Kreativität und Ideenfindung im Unternehmen gefördert.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Datenbanken / Server
- Dokumentenarchive
- Mobile Endgeräte zur Abfrage und Dokumentation von Wissen

Software:

- Software für E-Learning
- Content-/ Big Data –Analysen
- Collaboration Software
- Simulationen

Vorteile

- Verbesserte Verfügbarkeit und systematische Bereitstellung von Wissen
- Individuelles Wissen wird zu kollektivem Wissen

Nachteile

- Kosten in der Implementierung des Systems
- Hoher Erfassungs- und Pflegeaufwand
- Aufwändige Sicherstellung der Wissensqualität

Mustersystem

Ausprägungen

- Lessons Learned
- Wissenszirkel
- Online-Wikis
- Wissensbilanzen

Best Practice

Wissensmanagement-Plattform References+, Siemens AG, mehr Informationen

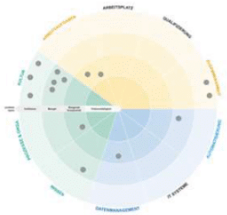
WT Interner Wissenstransfer

WT2 Industrie 4.0-Sensibilisierung

Kontext

Lösungsklasse: Interner Wissenstransfer
Stoßrichtung: Organisation
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- Automatisierung
- Prozesse & Organisation
- Wissen
- Kultur
- Arbeitsaufgaben
- Zusammenarbeit / MMI



Problembeschreibung

Viele Mitarbeiter in einem Unternehmen verstehen wenig unter dem Begriff „Industrie 4.0“. Sie haben oft Vorurteile gegenüber technischen Neuerungen und lehnen sie kategorisch ab. Zudem befürchten viele Mitarbeiter den Verlust ihres Arbeitsplatzes, sobald Änderungen im Sinne der Industrie 4.0 umgesetzt werden. Die Folge sind verpasste Chancen und Potentiale, welche negative Auswirkungen für das Unternehmen und den Verlust der Wettbewerbsfähigkeit zur Folge haben können.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlender Umgang mit großen Datenmengen
- Fehlende Integration von IKT in Prozessen und Anlagen

Organisation

- Fehlende Unternehmens-ausrichtung
- Mangelnde Mitarbeiter-partizipation
- Risikoscheues Management
- Fehlende Kooperations-bereitschaft
- Fehlende Feedbackkultur

Mensch

- Unterschiedlicher Erfahrungsstand
- Ineffektive Arbeitsatmosphäre
- Steigende Anforderungen an die Tätigkeiten
- Mentale Belastung

WT Interner Wissenstransfer

WT2 Industrie 4.0-Sensibilisierung

Lösungsbeschreibung

Mit Hilfe der Sensibilisierung wird die Aufmerksamkeit der Mitarbeiter auf die Themen der Industrie 4.0 gelenkt. Die systematische Auseinandersetzung mit diesem Thema führt zur Realisation von unternehmensspezifischen Chancen. Durch die Einbindung aller Akteure werden die Potentiale der verschiedenen Unternehmensbereiche offengelegt und initialisiert und bilden so das Fundament für das Leitbild des Unternehmens.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Infoboard
- Demonstratoren

Software:

- Intranet
- Digitale Schulungsinhalte

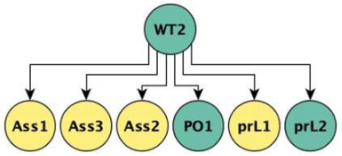
Vorteile

- Industrie 4.0-Awareness bei den Mitarbeitern
- Analyse der Ausgangssituation
- Potentialerkennung
- Kunden- und Mitarbeitereinbindung

Nachteile

- Aversion gegen Veränderung

Mustersystem



Ausprägungen

- Schulungen/ Workshops
- Newsletter/ Intranet
- Schwarzes Brett
- Informationsveranstaltungen

Best Practice

Auskunft über IG Metall, mehr Informationen

prL Praxisorientiertes Lernen

prL1 Digitale Lernplattform

Kontext

Lösungsklasse: Praxisorientiertes Lernen
Stoßrichtung: Mensch
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- Automatisierung
- Wissen
- Prozesse & Organisation
- Kultur
- Arbeitsaufgaben
- Qualifizierung
- Zusammenarbeit / MMI

Problembeschreibung

Die Optimierung von Qualifizierungs- und Lernprozessen gewinnt im Rahmen der Digitalisierung immer mehr an Bedeutung. Kompetenzen bzgl. Daten und Technologien sowie der Umgang mit digitalen Medien sind möglichst individuell und je nach Bedarf zu schulen. Klassische Lehr- und Lernmaterialien sind hierfür nicht ausreichend transparent und flexibel gestaltet.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlender Umgang mit großen Datenmengen
- Fehlende Integration von IKT in Prozessen und Anlagen
- Komplexe Variantenvielfalt

Organisation

- Fehlendes Wissen bzgl. Technologienlösungen
- Keine gelebte Know-How Weitergabe
- Mangelndes externes Wissen
- Abhängigkeit von Expertenwissen
- Mangelnde Kenntnis über eigene Prozesse

Mensch

- Mangelnde Kompetenz bzgl. neuer Technologien
- Ungeübtes Personal
- Aufwändige Einarbeitung
- Unterschiedlicher Erfahrungsstand
- Mangel an Individualisierung

prL Praxisorientiertes Lernen

prL1 Digitale Lernplattform

Lösungsbeschreibung

Unter digitalen Lernplattformen versteht man ein Angebot von Schulungen und Weiterbildungen, welche online angeboten und absolviert werden. Videos von Experten können abgerufen, Schulungsunterlagen gelesen und E-Learning-Kurse durchgeführt werden. Mit cloudbasierten Lösungen (Software-as-a-Service) können ohne großen Aufwand und mit geringem Investitionsrisiko Online-Trainings für Mitarbeiter, Partner und Kunden realisiert werden.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- User Interface bzw. Endgerät
- Datenspeicher

Software:

- Webbasierte Schulungssoftware
- Digitale Schulungsinhalte

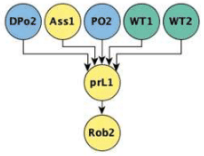
Vorteile

- Flexible, individuelle Selbstförderung möglich
- Transparenz
- Nachhaltig erweiterbar

Nachteile

- Datensicherheit
- Umgang mit digitalen Medien wird vorausgesetzt
- Erstellungs- und Verwaltungsaufwand

Mustersystem



Ausprägungen

- Tutorial-Plattform
- Wikis/ Blogs
- E-Learning-Angebote
- Integrative Softwarelösungen

Best Practice

SAP Sucess Map Learning, mehr Informationen

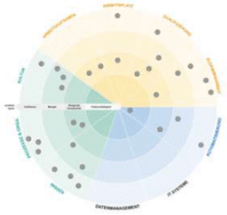
prL Praxisorientiertes Lernen

prL2 Lernfabrik

Kontext

Lösungsklasse: Praxisorientiertes Lernen
Stoßrichtung: Organisation
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Automatisierung
- Wissen
- Kultur
- Prozesse & Organisation
- Arbeitsaufgaben
- Arbeitsplatz
- Qualifizierung
- Zusammenarbeit / MMI



Problembeschreibung

Im industriellen Umfeld fehlt es insbesondere Berufseinsteigern an praktischen Bezug, da in den klassischen Ausbildungs- und Studienprozessen oftmals nur theoretische Lerninhalte vermittelt werden. Zudem fehlen den eigenen Mitarbeitern das Verständnis für die Funktionsweise und das Zusammenspiel komplexer Systeme, sobald neue Maschinen und Fertigungsprozesse implementiert werden. Die Folge sind aufwändige Einarbeitungsphasen, die den effizienten Arbeitseinsatz verzögern.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlende Integration von IKT in Prozessen und Anlagen
- Manuelle Fähigkeiten sind nicht ausreichend genau
- Verwendung überholter Prozess- und Anlagentechnik
- Komplexe Variantenvielfalt

Organisation

- Fehlendes Wissen bzgl. Technologienlösungen
- Fehlen von fachübergreifenden Wissen
- Ineffiziente Dokumentation von Prozessschritten
- Mangelnde Entscheidungskultur
- Fehlende Kooperationsbereitschaft

Mensch

- Steigende Anforderungen an die Tätigkeiten
- Mangelnde Kompetenz bzgl. neuer Technologien
- Ungeübtes Personal
- Aufwändige Einarbeitung
- Unterschiedlicher Erfahrungsstand
- Ineffektive Arbeitsatmosphäre

prL Praxisorientiertes Lernen

prL2 Lernfabrik

Lösungsbeschreibung

Mit Hilfe einer Lernfabrik können in einem festgelegten Raum flexible Versuchsaufbauten angeschlossen werden. An den einzelnen Lernständen wird mit Originalkomponenten und –software, z.B. aus der Produktion gearbeitet. Die Mitarbeiter, z.B. Auszubildende, vermitteln eigenständig die Inhalte an den Lernständen. Das Aufbauen eines standardisierten, aber fortlaufend aktualisierten Trainingskatalogs ist das Ziel einer Lernfabrik. Die Mitarbeiter erzielen nachweislich bessere Bildungserfolge durch den schnellen und unmittelbaren Wechsel zwischen Theorie und Praxis.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Innovative Prozess- und Automatisierungstechnologien
- User Interfaces / Mobile Endgeräte
- Steuerungshardware

Software:

- Webbasierte Schulungssoftware
- Digitale Schulungsinhalte
- Digitale Testumgebung und –systeme (z.B. MES)

Vorteile

- Praxisnahe Wissensvermittlung
- Reduktion von Einarbeitungszeiten
- Mitarbeiterpartizipation durch Lehraufträge

Nachteile

- Verlangt Mitarbeitern viel Vertrauen ab
- Hohe Investitionskosten
- Hoher organisatorischer Aufwand

Mustersystem

Ausprägungen

- Schulungen
- Augmented Reality (AR)
- Arbeitsplatznachbau

Best Practice

Lernfabrik für vernetzte Produktion, Fraunhofer IGCV, mehr Informationen

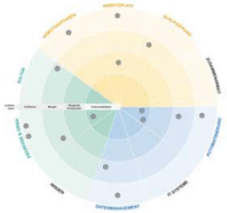
AO Arbeitsorganisation

AO1 Fernüberwachung / -steuerung

Kontext

Lösungsklasse: Arbeitsorganisation
Stoßrichtung: Technologien
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Automatisierung
- Datenmanagement
- Kultur
- Prozesse & Organisation
- Arbeitsaufgaben
- Arbeitsplatz
- Qualifizierung



Problembeschreibung

Viele Werker müssen in unmittelbarer Nähe von Maschinen und Anlagen bleiben und die Prozesse permanent verfolgen. Diese Überwachung der Maschinen und Anlagen erfordert einen hohen Zeitaufwand.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlende Integration von IKT in Prozessen und Anlagen
- Unvorhersehbare Ausfälle
- Nicht prognostizierbare Produktionsfehler
- Ungenaue Parameter-einstellungen

Organisation

- Fehlende Rückverfolgbarkeit
- Hohe Fehleranfälligkeit in Fertigungsprozessen
- Ineffiziente Nutzung von Ressourcen
- Medienbrüche
- Mangelnde Mitarbeiter-partizipation

Mensch

- Hohes Arbeits-sicherheitsrisiko
- Inadäquate Arbeitsumstände
- Fehlende Personalkapazität
- Monotone Arbeit

AO Arbeitsorganisation

AO1 Fernüberwachung / -steuerung

Lösungsbeschreibung

Alle wichtigen Zustände können digital repräsentiert und an einer zentralen Überwachungssoftware gesammelt werden, indem umfassende Sensorik an den Maschinen und eine intelligente Software eingesetzt werden. Dadurch ist es für Beschäftigte möglich, diese Informationen von einer zentralen Leitwarte oder mobil über ein Tablet abzurufen, die Maschinen aus der Ferne zu überwachen und zu steuern. Auf diese Weise müssen sie sich nur noch bei Bedarf vor Ort aufhalten.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Sensoren zur Datenerfassung
- Mobile Endgeräte

Software:

- Internet of Things-Plattform
- Software zum Zugriff auf Maschinen (Bspw. Teamviewer)
- Notification-Service zum Erhalt von Alarmierungsmeldungen

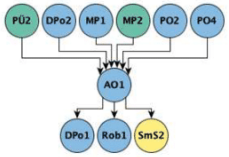
Vorteile

- Erhöhung der Flexibilität der Mitarbeiter
- Zeitgewinn

Nachteile

- Gefahr der mangelnden Akzeptanz bei Mitarbeitern
- Anforderungsveränderungen

Mustersystem



Ausprägungen

- Funklösungen
- Mobilfunknetz-Lösungen
- WLAN-Lösungen
- Cloud-Lösungen

Best Practice

Fernüberwachung für die Wasserwirtschaft, Cell GmbH, mehr Informationen

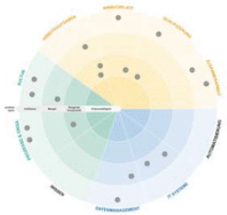
AO Arbeitsorganisation

AO2 Flexibler Arbeitsplatz

Kontext

Lösungsklasse: Arbeitsorganisation
Stoßrichtung: Mensch
Relevante soziotechnische Kategorien:

- Datenmanagement
- IT-Systeme
- Kultur
- Prozesse & Organisation
- Zusammenarbeit / MMI
- Arbeitsaufgaben
- Arbeitsplatz
- Qualifizierung



Problembeschreibung

Die Entwicklungen der Industrie 4.0 fordern eine erhöhte Flexibilität und Adaptivität, sowohl was die eigentlichen Tätigkeiten der Mitarbeiter als auch die Arbeitsform in Teams betrifft. Die bestehenden Arbeitsräume sind oft nicht für Teamarbeit oder konzentriertes Arbeiten ausgelegt und schaffen eine ineffektive Arbeitsatmosphäre.

Dimensionsspezifische Probleme

Technologien

- Fehlende IT-Schnittstellen
- Fehlende Anbindung an übergeordnete IT-Systeme
- Unausgeschöpftes Potential der Datennutzung
- Keine Daten-durchgängigkeit

Organisation

- Ineffiziente Nutzung von Ressourcen
- Unmotivierte und fehlgeleitete Mitarbeiter
- Starre Unternehmens-strukturen
- Steigende Qualitäts-anforderungen
- Medienbrüche

Mensch

- Ineffektive Arbeits-atmosphäre
- Mentale Belastung der Mitarbeiter
- Mangel an Individualisierung
- Erschwerte Zusammenarbeit durch Inter-disziplinarität
- Mentale Belastung

AO Arbeitsorganisation

AO2 Flexibler Arbeitsplatz

Lösungsbeschreibung

Zur Förderung von Bedingungen für ein konzentriertes Arbeiten der einzelnen Mitarbeiter und effektiven Teamarbeiten werden verschiedene, anpassbare Arbeitsplätze und wahlweise offene Arbeitsräume für die Zusammenarbeit oder separierte Arbeitsplätze für konzentriertes Arbeiten angeboten. Dieses Konzept lässt sich auch für einige Produktionsarbeitsplätze nutzen, um eine Office-Umgebung zu schaffen.

Mögliche Teillösungen

Hardware:

- Open Space
- Mobile Endgeräte
- ergonomisch adaptive Büroausstattung

Software:

- VPN-Verbindung für den Zugriff auf das Firmennetz
- Effiziente Informations- und Kommunikationssoftware
- Software zur Raumreservierung
- Cloud Computing

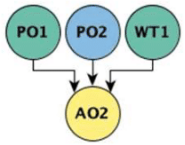
Vorteile

- Raum für Kreativität und Flexibilität
- Gesteigerte Arbeitsmotivation
- Verbesserte Arbeitsatmosphäre
- Innovationsförderung

Nachteile

- Akzeptanz der Mitarbeiter
- Hoher Platzbedarf
- Kein persönlicher Arbeitsplatz

Mustersystem



Ausprägungen

- Open Space/ Desk Sharing
- Business Center
- Coworking Spaces
- Home Office

Best Practice

Desk-Sharing, Brose-Gruppe, mehr Informationen

A5 Lösungsmusterkombinationen je Problemklasse

A5.1 Auflistung

Problem-klasse	ID	Titel der Kombi-nation	Enthaltene Lösungsmuster	Problem-abdeckung
Problemklasse 1: Fehlende Verwendung von Daten zur Prozessautomatisierung	M 1.1	Daten- und Wissensbasierte Neuausrichtung der Produktion	Anomalieerkennung	100%
			Selbstoptimierende Prozesssteuerung	
			Retrofitting	
			Schutzkonzepte	
			Externe Kooperationen	
			Technologie-Evaluierung	
			Wissensmanagement	
			Lernfabrik	
			Kollaborative Robotik	
			Virtuelle/Augmentierte Assistenzsysteme	
	M 1.2	Steigerung der Prozessgenauigkeiten	Roboter zur Prozessautomatisierung	82%
			Kontinuierliche Qualitätsprüfung	
			Neue Fertigungssysteme	
			Kognitive Assistenzsysteme	
			Remote Experten	
			Digitale Lernplattform	
	M1.3	Digitale Überwachung	Condition Monitoring	82%
			Prädiktive Analysen	
			Durchgängige IT-Infrastruktur	
			Kontinuierliches Prozessmonitoring	
			Customization Services	
			Tracking und Tracing in der Fertigung	
			Technologieorientierter Kompetenzaufbau	
			Flexibler Arbeitsplatz	

Problem-klasse	ID	Titel der Kombi-nation	Enthaltene Lösungsmuster	Problem-abdeckung
Problemklasse 2: Keine durchgängig vernetzten Prozesse	M 2.1	Datenbasierte autonome Prozesssteuerung- und -kontrolle	Anomalieerkennung	100%
			Selbstoptimierende Prozesssteuerung	
			Durchgängige IT-Infrastruktur	
			Tracking und Tracing in der Fertigung	
			Wissensmanagement	
	M 2.2	Schnittstellenopti-mierung von Mensch und Maschine	Projektmanagement-Software	81%
			Kontinuierliches Prozessmonitoring	
			Neue Fertigungssysteme	
			Kognitive Assistenzsysteme	
			Virtuelle/Augmentierte Assistenzsysteme	
	M 2.3	Kundenindividuelle und automatische Prozessabwicklung	Prädiktive Analysen	81%
			Kontinuierliche Qualitätsprüfung	
			Automatische Auftragsabwicklung	
			Externe Kooperationen	
			Kollaborative Robotik	
			Remote Experten	
			Flexibler Arbeitsplatz	

Problem-klasse	ID	Titel der Kombi-nation	Enthaltene Lösungsmuster	Problem-abdeckung
Problemklasse 3: Unklarheit bzgl. der Gestaltung von Prozessen	M3.1	Strategische Zusammenarbeit	Agile interdisziplinäre Methoden	100%
			Externe Kooperationen	
			Wissensmanagement-Systeme	
			Lernfabrik	
	M3.2	Durchgängige Digitale Infrastruktur	Durchgängige IT-Infrastruktur	91%
			Technologie-Evaluierung	
			Digitale Lernplattform	
	M3.3	kundenorientierte und schlanke Prozessausrichtung	Kontinuierliches Prozessmonitoring	82%
			Neue Fertigungssysteme	
			Customization Services	
			Kognitive Assistenzsysteme	
			Technologieorientierter Kompetenzaufbau	

Problem-klasse	ID	Titel der Kombi-nation	Enthaltene Lösungsmuster	Problem-abdeckung
Problemklasse 4: Defizite im Qualifizierungsmanagement	M4.1	Praxisorientierter Aufbau von Digitalisierungs-kompetenzen	Agile interdisziplinäre Methoden	100%
			Wissensmanagement-Systeme	
			Lernfabrik	
			Technologieorientierter Kompetenzaufbau	
	M4.2	Qualifizierung bzgl. Digitali-sierungs-technologien	Selbstoptimierende Prozesssteuerung	91%
			Technologie-Evaluierung	
			Digitale Lernplattform	
	M4.3	Deskriptiver Aufbau von Digitalisierungs-kompetenzen	Durchgängige IT-Infrastruktur	83%
			Kontinuierliches Prozessmonitoring	
			Kontinuierliche Qualitätsprüfung	
			Neue Fertigungssysteme	
			Kognitive Assistenzsysteme	

Problem-klasse	ID	Titel der Kombi-nation	Enthaltene Lösungsmuster	Problem-abdeckung
Problemklasse 5: Defizite im digitalen Wissenstransfer	M5.1	Digitale Verteilung von Prozess-wissen	Selbstoptimierende Prozesssteuerung	100%
			Wissensmanagement-Systeme	
			Digitale Lernplattform	
	M5.2	Digitale Wissens-dokumen-tation	Kontinuierliches Prozessmonitoring	89%
			Wissensmanagement-Systeme	
			Digitale Lernplattform	
	M5.3	Konti-nuierlicher Informa-tionsabruf	Kontinuierliche Qualitätsprüfung	89%
			Tracking und Tracing in der Fertigung	
			Industrie 4.0 Sensibilisierung	
			Flexibler Arbeitsplatz	

Problem-klasse	ID	Titel der Kombi-nation	Enthaltene Lösungsmuster	Problem-abdeckung
Problemklasse 6: Mangelnde Ausrichtung der Unternehmens- und Arbeitskultur	M 6.1	Schaffung digitaler Kommunikationsbedingungen	Durchgängige IT-Infrastruktur	100%
			Agile interdisziplinäre Methoden	
			Wissensmanagement-Systeme	
			Lernfabrik	
			Kognitive Assistenzsysteme	
			Virtuelle/Augmentierte Assistenzsysteme	
	M 6.2	Integrat-ion externer Stake-holder	Selbstoptimierende Prozesssteuerung	94%
			Externe Kooperationen	
	M 6.3	Modernisierung der Arbeitsbedingungen	Fernüberwachung &-steuerung	91%
			Kontinuierliches Prozessmonitoring	
			Neue Fertigungssysteme	
			Technologie-Evaluierung	
			Flexibler Arbeitsplatz	
			Digitale Lernplattform	

Problem-klasse	ID	Titel der Kombi-nation	Enthaltene Lösungsmuster	Problem-abdeckung
Problemklasse 7: Unzureichende Unterstützung von Mitarbeitern	M 7.1	Robotergestützte Assistenz	Kollaborative Robotik	100%
			Kognitive Assistenzsysteme	
			Virtuelle/Augmentierte Assistenzsysteme	
			Lernfabrik	
	M 7.2	Aus- bzw. Umlagern von Kapazitäten	Roboter zur Prozessautomatisierung	80%
			Fahrerlose Transportsysteme	
			Externe Kooperationen	
			Smart Factory zum Kompetenzaufbau	
			Remote Experten	
	M 7.3	Entlastung körperlich beanspruchender Tätigkeiten	Selbstoptimierende Prozesssteuerung	90%
			Fahrerlose Transportsysteme	
			Kollaborative Robotik	
			Physische Assistenzsysteme	
			Flexibler Arbeitsplatz	

Problem-klasse	ID	Titel der Kombi-nation	Enthaltene Lösungsmuster	Problem-abdeckung
Problemklasse 8: Mangelnder Kompetenzaufbau innerhalb von Arbeitsprozessen	M 8.1	Kompetenzaus-gleich durch (Teil-) Automatisierung	Selbstoptimierende Prozesssteuerung	100%
			Roboter zur Prozessautomatisierung	
			Kognitive Assistenzsysteme	
			Virtuelle/Augmentierte Assistenzsysteme	
	M 8.2	Einsatz von MMI	Roboter zur Prozessautomatisierung	87%
			Wissensmanagement-Systeme	
			Lernfabrik	
			Kollaborative Robotik	
	M 8.3	Technologieorientierte Kompetenzverlagerung	Roboter zur Prozessautomatisierung	87%
			Kontinuierliche Qualitätsprüfung	
			Neue Fertigungssysteme	
			Remote Experten	
			Digitale Lernplattform	

A5.2 Steckbriefe

M1.1 Daten- und Wissensbasierte Neuausrichtung der Produktion

Problemklasse

- **Name**: PK1 - Fehlende Verwendung von Daten zur Prozessautomatisierung
- **Soziotechnische Orientierung:**

Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Aufgrund der mangelnden Verwendung von Prozess- und Anlagendaten verpassen Unternehmen die Möglichkeit, ihre Prozesse zu optimieren oder gar neue Geschäftspotentiale aufzudecken.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Die Erzeugung, Sammlung und Verwendung von Daten ermöglicht eine automatisierte Produktion, in welcher Störungen frühzeitig erkannt oder die Zusammenarbeit mit dem Menschen erleichtert wird. 100%

Kombinierte Lösungsmuster

- Anomalieerkennung (PÜ1)
- Selbstoptimierende Prozesssteuerung (DPO1)
- Retro Fitting (MP1)
- Schutzkonzepte für Daten und Know-How (PO4)
- Smart Factory zur Technologie-Evaluierung (SF1)
- Externe Kooperationen (PO3)
- Wissensmanagement -Systeme (WT1)
- Lernfabrik (prL3)
- Kollaborative Robotik (ROB2)
- Virtuelle / augmentierte Assistenzsysteme (ASS3)

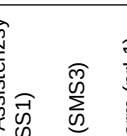
Kombinationsalternativen

M1.2 Steigerungen der Prozessgenauigkeiten
M1.3 Digitale Überwachung

M1.2 Steigerungen der Prozessgenauigkeiten

Problemklasse

- **Name**: PK1 - Fehlende Verwendung von Daten zur Prozessautomatisierung
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Infolge der Verwendung von überholter Prozess- und Anlagentechnik oder dem ungünstigen Einsatz von manueller Arbeitskraft können Qualitätsvorgaben für die Erzeugnisse nicht eingehalten werden.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Mit Hilfe geeigneter Assistenzsysteme oder Expertenwissen können die Prozesse qualitätssteigernd durchgeführt werden. Darüber hinaus lassen sich datenbasierte Kontrollsysteme für die Überprüfung der Genauigkeit integrieren. 82%

Kombinierte Lösungsmuster

- Roboter zur Prozess-automatisierung (ROB1)
- Kontinuierliche Qualitätsprüfung (PÜ3)
- Neue Fertigungs-systeme (MP2)
- Kognitive Assistenzsysteme (ASS1)
- Remote Experten (SMS3)
- Digitale Lernplattform (prL1)

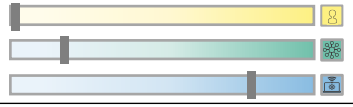
Kombinationsalternativen

M1.1 Fehlende Verwendung von Daten zur Prozessautomatisierung
M1.3 Digitale Überwachung

M1.3 Digitale Überwachung

Problemklasse

- **Name**: PK1 - Fehlende Verwendung von Daten zur Prozessautomatisierung
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Unternehmen, die häufig mit Systemausfällen oder unerwarteten Störungen von Maschinen und Anlagen konfrontiert werden, fehlt der allumfassende Überblick über den Zustand seines Maschinenparks.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Unter Einsatz von Zustandsüberwachungen der Maschinen und Anlagen sowie ihre Vernetzung miteinander kann der Status des gesamten Produktions-prozesses nachverfolgt werden. Dadurch sind bspw. neue Services möglich.

82%

Kombinierte Lösungsmuster

- Condition Monitoring (ZÜ1)
- Prädiktive Analysen (ZÜ2)
- Durchgängige IT-Infrastruktur (DPO2)

- Kontinuierliches Prozessmonitoring (PÜ2)
- Customization Services (SMS2)
- Tracing und Tracking in der Fertigung (SMS4)

- Maschinengestützter Kompetenzaufbau (SF2)
- Flexibler Arbeitsplatz (AO2)

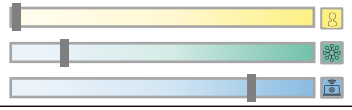
Kombinationsalternativen

M1.1 Fehlende Verwendung von Daten zur Prozessautomatisierung
M1.2 Steigerungen der Prozessgenauigkeiten

M2.1 Datenbasierte autonome Prozesssteuerung und -kontrolle

Problemklasse

- **Name**: PK2 - Keine durchgängig vernetzte Prozesse
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Die Verkettung von Produktionsschritten birgt die Gefahr von nicht identifizierbaren Störungen, solange nicht jedes einzelne Glied dieser Prozesskette permanent überwacht wird.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Mittels der Analyse von Maschinen- und Anlagendaten sowie der Erkennung von Anomalien werden Störungen frühzeitig erkannt. Durch selbstständige Parametereinstellungen wird ein reibungsloser Prozessablauf ermöglicht.

100%

Kombinierte Lösungsmuster

- Anomalieerkennung (PÜ1)
- Selbstoptimierende Prozesssteuerung (DPO1)
- Durchgängige IT-Infrastruktur (DPO2)

- Tracing und Tracking in der Fertigung (SMS4)
- Wissens-management-Systeme (WT1)

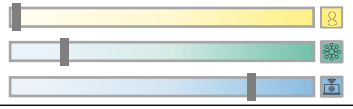
Kombinationsalternativen

M2.2 Schnittstellenoptimierung von Mensch und Maschine
M2.3 Kundenindividuelle und automatische Prozessabwicklung

M2.2 Schnittstellenoptimierung von Mensch und Maschine

Problemklasse

- **Name**: PK2 - Keine durchgängig vernetzte Prozesse
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Fehlende Kenntnisse der Arbeitskräfte führen dazu, dass geänderte Prozess-Situationen nicht rechtzeitig erkannt werden und die Adaption der Arbeitsweise nicht eigenverantwortlich durchgeführt wird. Es kommt vermehrt zu Fehlern.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Die optimierte Planung der Mensch Maschine Interaktion bietet die Möglichkeit, die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen auf geänderte Umstände systematisch vorzubereiten. Zugleich unterstützen intelligente Systeme die Umsetzung.

81%

Kombinierte Lösungsmuster

- Kontinuierliches Prozessmonitoring (PÜ2)
- Neue Fertigungssysteme (MP2)

- Projektmanagement-Werkzeuge (PO2)

- Kognitive Assistenzsysteme (ASS1)
- Virtuelle/ augmentierte Assistenzsysteme (ASS3)

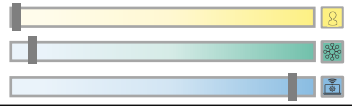
Kombinationsalternativen

M2.1 Datenbasierte autonome Prozesssteuerung und -kontrolle
M2.3 Kundenindividuelle und automatische Prozessabwicklung

M2.3 Kundenindividuelle und automatische Prozessabwicklung

Problemklasse

- **Name**: PK2 - Keine durchgängig vernetzte Prozesse
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Der Wunsch nach kundenindividuellen Produkten stellt Unternehmen vor die Herausforderung, die Einzelfertigung in ihre bereits bestehenden Serienfertigungsprozesse und -systeme effizient zu integrieren und zu kombinieren.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Die Einspeisung von Kunden- und Auftragsdaten in die Fertigung ermöglicht eine automatische Ausführung der Produktionsaufträge und bringt neue Arbeitsmodelle im Unternehmen hervor.

81%

Kombinierte Lösungsmuster

- Prädiktive Analysen (ZÜ2)

- Kontinuierliche Qualitätsprüfung (PÜ3)
- Automatische Auftragsabwicklung (DPO3)
- Externe Kooperationen (PO3)

- Kollaborative Robotik (ROB2)
- Remote Experten (SMS3)
- Flexibler Arbeitsplatz (AO2)

Kombinationsalternativen

M2.1 Datenbasierte autonome Prozesssteuerung und -kontrolle
M2.2 Schnittstellenoptimierung von Mensch und Maschine

M3.1 Strategische Zusammenarbeit

Problemklasse
- **Name**: PK3 - Unklarheit bzgl. der Gestaltung von Prozessen
- **Soziotechnische Orientierung:**

Problemspezifizierung innerhalb der Klasse
Betriebsblindheit und starre Strukturen hemmen die Innovationsfähigkeit des eigenen Unternehmens. Durch ausbleibende kritische Selbstbewertung und Risikoscheue wird ein Unternehmen zukünftig kaum wettbewerbsfähig bleiben.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung
Durch die Zusammenarbeit mit Kunden oder Forschungsinstituten werden die Geschäftsprozesse kontinuierlich weiterentwickelt. So können Synergieeffekte aufgezeigt und neue Innovationspotentiale erschlossen werden

100%

Kombinierte Lösungsmuster
- Agile interdisziplinäre Methoden (PO1)
- Externe Kooperationen (PO3)
- Wissensmanage-ment-Systeme (WT1)
- Lernfabrik (prL3)

Kombinationsalternativen
M3.2 Digitale Know-How-Weitergabe
M3.3 Kundenorientierte und schlanke Prozessausrichtung

M3.2 Digitale Know-How-Weitergabe

Problemklasse
- **Name**: PK3 - Unklarheit bzgl. der Gestaltung von Prozessen
- **Soziotechnische Orientierung:**

Problemspezifizierung innerhalb der Klasse
In Folge von Insellösungen kann das Potential generierter Daten nicht erschlossen werden. Um bspw. den Zustand der Anlagen zu erfassen, müssen Mitarbeiter die Informationen aus mehreren Quellen und Formaten extrahieren.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung
Verschiedene Insellösungen der Systeme werden in eine durchgängige IT-Infrastruktur eingegliedert. Durch diese sowie einheitliche Datenformate wird das Know-How über die Prozesse im gesamten Unternehmen verteilt.

91%

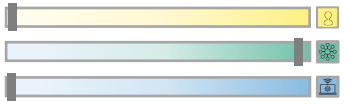
Kombinierte Lösungsmuster
- Durchgängige IT-Infrastruktur (DPO2
- Smart Factory zur Technologie-Evaluierung (SF1)
- Digitale Lernplattform (prL1)

Kombinationsalternativen
M3.1 Strategische Zusammenarbeit
M3.3 Kundenorientierte und schlanke Prozessausrichtung

M3.3 Kundenorientierte und schlanke Prozessausrichtung

Problemklasse

- **Name**: PK3 - Unklarheit bzgl. der Gestaltung von Prozessen
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Der Trend zu einer kundenindividuellen Produktion erfordert eine flexible und schnelle Anpassung aller Maschinen- und Personalkapazitäten. Starre Strukturen und Abläufe eines Unternehmens verhindern diese Flexibilität.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Unterstützende Assistenz- und Monitoringsysteme begleiten den Mitarbeiter durch den kundenindividuellen Arbeitsprozess. Durch diese sowie neue Fertigungssysteme werden Änderungen schnell und fehlerarm vorgenommen.

82%

Kombinierte Lösungsmuster

- Kontinuierliches Prozessmonitoring (PÜ2)
- Neue Fertigungssysteme (MP2)
- Customization Services (SMS2)

- Kognitive Assistenzsysteme (ASS1)
- Maschinengestützter Kompetenzaufbau (SF2)

Kombinationsalternativen

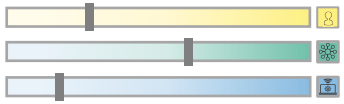
M3.1 Strategische Zusammenarbeit

M3.2 Digitale Know-How-Weitergabe

M4.1 Praxisorientierter Aufbau von Digitalisierungskompetenzen

Problemklasse

- **Name**: PK4 - Defizite im Qualifizierungsmanagement
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Fehlendes Wissen hinsichtlich der Digitalisierung hemmt die Weiterentwicklung eines Unternehmens. Aufgrund dessen können schlimmstenfalls Fehlentscheidungen getroffen werden, die zu finanziellen Einbußen führen.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Unternehmen können mit Hilfe interdisziplinär zusammengestellter Arbeits-gruppen und durch die gezielte Weitergabe des Know-Hows eigene Experten ausbilden. Eigene Lernfabriken halten dabei den Praxisbezug aufrecht.

100%

Kombinierte Lösungsmuster

- Agile interdisziplinäre Methoden (PO1)
- Wissensmanagement-Systeme (WT1)
- Lernfabrik (prL3)

- Maschinengestützter Kompetenzaufbau (SF2)

Kombinationsalternativen

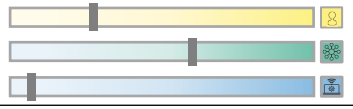
M4.2 Qualifizierung bzgl. Digitalisierungstechnologien

M4.3 Deskriptiver Aufbau von Digitalisierungskompetenzen

M4.2 Qualifizierung bzgl. Digitalisierungstechnologien

Problemklasse

- **Name**: PK4 – Defizite im Qualifizierungsmanagement
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Die Unkenntnis über innovative Technologien und deren Potentiale führen zu einer Weiterführung überholter Prozess- und Anlagentechniken. Dies resultiert u.a. in einer ineffizienten Auslastung von Produktionskapazitäten.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Mit Hilfe einer Evaluierung von neuen Technologien sowie Schulungen der Mitarbeiter werden Technologiepotentiale aufgedeckt. Durch die Qualifizierung bzgl. Datennutzung werden (teil-)autonome Prozesssteuerungen möglich.

91%

Kombinierte Lösungsmuster

- Selbstoptimierende Prozesssteuerung (DPO1)
- Smart Factory zur Technologie-Evaluierung (SF1)
- Digitale Lernplattform (prL1)

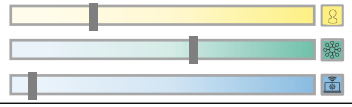
Kombinationsalternativen

M4.1 Praxisorientierter Aufbau von Digitalisierungskompetenzen
M4.3 Deskriptiver Aufbau von Digitalisierungskompetenzen

M4.3 Deskriptiver Aufbau von Digitalisierungskompetenzen

Problemklasse

- **Name**: PK4 - Defizite im Qualifizierungsmanagement
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Der Gebrauch von veralteten Prozess- und Anlagentechniken verhindert oftmals die Auseinandersetzung der Mitarbeiter mit neueren Technologien und senkt die Motivation des kontinuierlichen und selbstständigen Erlernens dieser.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Durch die digitale Unterstützung des Umgangs mit neuen Technologien, bspw. durch kontextspezifische Bedienungsanweisungen, wird die Unsicherheit der Mitarbeiter reduziert und Kompetenzen für Industrie 4.0 werden aufgebaut.

83%

Kombinierte Lösungsmuster

- Durchgängige IT-Infrastruktur (DPO2
- Kontinuierliches Prozessmonitoring (PÜ2)
- Kontinuierliche Qualitätsprüfung (PÜ3)
- Neue Fertigungssysteme (MP2)
- Kognitive Assistenzsysteme (ASS1)

Kombinationsalternativen

M4.1 Praxisorientierter Aufbau von Digitalisierungskompetenzen
M4.2 Qualifizierung bzgl. Digitalisierungstechnologien

M5.1 Digitale Verteilung von Prozesswissen

Problemklasse

- **Name**: PK5 - Defizite im digitalen Wissenstransfer
- **Soziotechnische Orientierung:**

Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Die mangelnde Weitergabe von erworbenen und empirischen Wissens bremst Unternehmen in ihrer Weiterentwicklung, da bereits aufgetretene Aufgaben oder Probleme unreflektiert wiederholt werden können.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung 100%

Die digitale Sammlung und Weitergabe von Wissen und Erfahrungen verringert die Wahrscheinlichkeit, dass Fehler wiederholt werden. Zudem kann durch eine Datenanalyse, Fehler frühzeitig erkannt und autonom behoben werden.

Kombinierte Lösungsmuster

- Selbstoptimierende Prozesssteuerung (DPO1)
- Wissensmanage-ment-Systeme (WT1)
- Digitale Lernplattform (prL1)

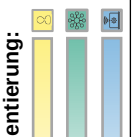
Kombinationsalternativen

M5.2 Digitale Wissens-dokumentation
M5.3 Kontinuierlicher Informationsabruf

M5.2 Digitale Wissensdokumentation

Problemklasse

- **Name**: PK5 - Defizite im digitalen Wissenstransfer
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Die analoge Dokumentation von Fachwissen und Prozessinformationen stößt an ihre Grenzen aufgrund mangelnder Kapazitäten, fehlender Standards, unzureichendem Input und der ineffizienten Distribution.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung 89%

Die kontinuierliche Aufbereitung und Ablage von gefilterten Prozessdaten unterstützen den Mitarbeiter in der Analyse der aktuellen Situation. Durch digitale Trainings wird das Potential der Wissensdatenbank voll ausgeschöpft.

Kombinierte Lösungsmuster

- Kontinuierliches Pro-zessmonitoring (PÜ2)
- Wissensmanage-ment-Systeme (WT1)
- Digitale Lernplattform (prL1)

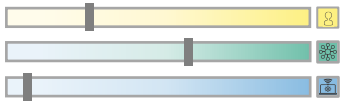
Kombinationsalternativen

M5.1 Digitale Verteilung von Prozesswissen
M5.3 Kontinuierlicher Informationsabruf

M5.3 Kontinuierlicher Informationsabruf

Problemklasse

- **Name**: PK5 - Defizite im digitalen Wissenstransfer
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Eine hohe Dynamik von Gütern innerhalb eines Unternehmens kann logistische Herausforderungen, ineffiziente Durchlaufzeiten sowie komplexe und wenig abgestimmte Prozesse zur Folge haben.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Durch die Kennzeichnung von Gütern oder Maschinen sowie mittels smarter Sensorik können Informationen dieser, bspw. die Position sowie der Produktionsfortschritt, kontinuierlich und ortsunabhängig verfolgt werden.

89%

Kombinierte Lösungsmuster

- Kontinuierliche Qualitätsprüfung (PÜ3)
- Tracing und Tracking in der Fertigung (SMS4)
- Industrie 4.0 Sensibilisierung (WT2)

- Flexibler Arbeitsplatz (AO2)

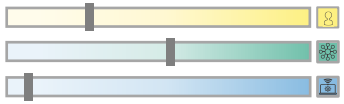
Kombinationsalternativen

M5.1 Digitale Verteilung von Prozesswissen
M5.2 Digitale Wissensdokumentation

M6.1 Schaffung digitaler Kommunikationsbedingungen

Problemklasse

- **Name**: PK6 - Mangelnde Ausrichtung der Unternehmens- und Arbeitskultur
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Aufgrund unzureichender Integration von IKT in die Unternehmensprozesse und fehlender Schnittstellen wird vorhandenes und generiertes Wissen nicht effizient verteilt bzw. eingesetzt.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Über geeignete Assistenzsysteme wird den Mitarbeitern auftragsspezifisches Wissen digital bereitgestellt. Bei Rückfragen kann die adhoc Kommunikation zwischen den Angestellten über verknüpfte Plattformen ermöglicht werden.

100%

Kombinierte Lösungsmuster

- Durchgängige IT-Infrastruktur (DPO2)

- Agile interdisziplinäre Methoden (PO1)
- Wissensmanagement-Systeme (WT1)
- Lernfabrik (prL3)

- Kognitive Assistenzsysteme (ASS1)
- Virtuelle / augmentierte Assistenzsysteme (ASS3)

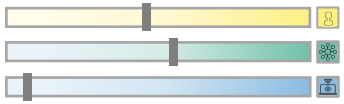
Kombinationsalternativen

M6.2 Integration externer Stakeholder
M6.3 Modernisierung der Arbeitsbedingungen

M6.2 Integration externer Stakeholder

Problemklasse

- **Name**: PK6 - Mangelnde Ausrichtung der Unternehmens- und Arbeitskultur
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Begrenztes Wissen innerhalb eines Unternehmens erschwert die Einführung von Industrie 4.0. Das fehlende Wissen wird nicht durch externe Unterstützung, bspw. Kunden oder Lieferanten, ausgeglichen.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Durch die Zusammenarbeit mit externen Stakeholdern wird ein Zugang zu benötigtem Wissen geschaffen. Durch die frühzeitige Integration von Kunden/ Lieferanten können die Prozesszeit verkürzt und Fehler vermieden werden.

94%

Kombinierte Lösungsmuster

- Selbstoptimierende Prozesssteuerung (DPO1)
- Externe Kooperationen (PO3)

Kombinationsalternativen

M6.1 Schaffung digitaler Kommunikationsbedingungen
M6.3 Modernisierung der Arbeitsbedingungen

M6.3 Modernisierung der Arbeitsbedingungen

Problemklasse

- **Name**: PK6 - Mangelnde Ausrichtung der Unternehmens- und Arbeitskultur
- **Soziotechnische Orientierung:**

Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Die Unternehmenskultur, insb. die Gestaltung der Arbeitsprozesse und -plätze der Mitarbeiter, sind nicht auf die Einführung von Industrie 4.0 ausgerichtet. Medienbrüche, Wissenslücken sowie eine hohe Fehleranfälligkeit entstehen.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Die Arbeitsprozesse und -bedingungen werden durch die Nutzung von Daten modernisiert, sodass Abläufe transparent und ortsunabhängig gestaltet werden. Mitarbeiter werden am Modernisierungsprozess beteiligt.

88%

Kombinierte Lösungsmuster

- Fernüberwachung und Steuerung (AO1)
- Kontinuierliches Prozessmonitoring (PÜ2)
- Neue Fertigungssysteme (MP2)
- Smart Factory zur Technologie Evaluierung (SF1)
- Digitale Lernplattform (prL1)
- Flexibler Arbeitsplatz (AO2)

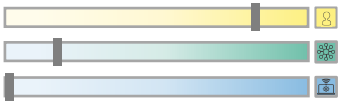
Kombinationsalternativen

M6.1 Schaffung digitaler Kommunikationsbedingungen
M6.2 Integration externer Stakeholder

M7.1 Robotergestützte Assistenz kognitiver Aufgaben

Problemklasse

- **Name**: PK7 - Unzureichende Unterstützung von Mitarbeiter/Mitarbeiterinnen
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Das Streben nach einer kundenindividuellen Fertigung stellt Unternehmen vor organisatorische Herausforderungen bzgl. der internen Arbeitsabläufe und der Unterweisung der Belegschaft. Die mentale Belastung nimmt stetig zu.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Assistenzsysteme entlasten die Mitarbeiter in ihrer ausführenden Tätigkeit und bieten strukturierte Arbeitsprozesse. Das Zusammenspiel von Mensch und System kann dabei in Lernfabriken erprobt und gestärkt werden.

100%

Kombinierte Lösungsmuster

- Lernfabrik (prL3)

- Kollaborative Robotik (ROB2)
- Kognitive Assistenzsysteme (ASS1)
- Virtuelle / augmentierte Assistenzsysteme (ASS3)

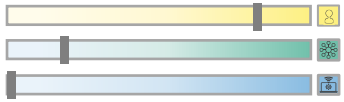
Kombinationsalternativen

M7.2 Aus- bzw. Umlagern von Kapazitäten
M7.3 Entlastung körperlich beanspruchender Tätigkeiten

M7.2 Aus- bzw. Umlagern von Kapazitäten

Problemklasse

- **Name**: PK7 - Unzureichende Unterstützung von Mitarbeiter/Mitarbeiterinnen
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Veraltete Fertigungsprozesse und -anlagen erfordern oftmals viele manuelle Tätigkeiten. Gleichzeitig existiert ein Fachkräftemangel. Dies führt zu Qualitäts-, Zeit- und Kosteneinbußen.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Die Automatisierung von Aufgaben oder Prozessen gestattet Unternehmen, frei gewordene Kapazitäten für manuelle Tätigkeiten einzusetzen. Weiterhin führt die Integration von externem Know-How zu einer Leistungsoptimierung.

90%

Kombinierte Lösungsmuster

- Roboter zur Prozessautomatisierung (ROB1)
- Fahrerlose Transportsysteme (ROB3)

- Externe Kooperationen (PO3)

- Maschinengestützter Kompetenzaufbau (SF2)
- Remote Experten (SMS 3)

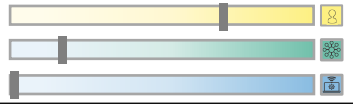
Kombinationsalternativen

M7.1 Robotergestützte Assistenz kognitiver Aufgaben
M7.3 Entlastung körperlich beanspruchender Tätigkeiten

M7.3 Entlastung körperlich beanspruchender Tätigkeiten

Problemklasse

- **Name**: PK7 - Unzureichende Unterstützung von Mitarbeiter/Mitarbeiterinnen
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Monoton wiederkehrende und körperlich belastende Tätigkeiten führen in einem Unternehmen zu einer Verschlechterung der Arbeitsmoral und zur Erhöhung des Krankenstands.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Monotone Aufgaben können von autonom agierenden Produktions- und Logistiksystemen übernommen werden. Des Weiteren erleichtern adaptive Assistenz- und Robotersysteme die körperlichen Tätigkeiten.

80%

Kombinierte Lösungsmuster

- Selbstoptimierende Prozesssteuerung (DPO1)
- Fahrerlose Transportsysteme (ROB3)

- Kollaborative Robotik (ROB2)
- Physische Assistenzsysteme (ASS4)
- Flexibler Arbeitsplatz (AO2)

Kombinationsalternativen

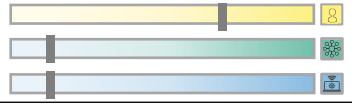
M7.1 Robotergestützte Assistenz kognitiver Aufgaben

M7.2 Aus- bzw. Umlagern von Kapazitäten

M8.1 Kompetenzausgleich durch (Teil-) Automatisierung

Problemklasse

- **Name**:PK8 - Mangelnder Kompetenzaufbau innerhalb von Arbeitsprozessen
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Aufgrund fehlender Personalkapazität, zu kurzer Einarbeitungszeiten und zunehmend komplexen Geschäftsprozessen steigen die Anforderungen an die Tätigkeiten und eine hohe Anpassungsfähigkeit wird erforderlich.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Prozessschritte ohne zwingende Erforderlichkeit von der Mitarbeiteranwesenheit werden automatisiert und die Kapazitäten anderweitig genutzt. Durch Assistenzsysteme wird eine erfolgreiche Kapazitätsumlagerung gefördert.

100%

Kombinierte Lösungsmuster

- Selbstoptimierende Prozess-steuerung (DPO1)
- Roboter zur Prozess-automatisierung (ROB1)

- Kognitive Assistenz-systeme (ASS1)
- Virtuelle / augmentierte Assistenzsysteme (ASS3)

Kombinationsalternativen

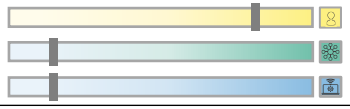
M8.2 Einsatz von MMI

M8.3 Technologieorientierte Kompetenzverlagerung

M8.2 Einsatz von Mensch-Maschine-Interaktionen

Problemklasse

- **Name**:PK8 - Mangelnder Kompetenzaufbau innerhalb von Arbeitsprozessen
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

In einigen Fertigungsprozessen stoßen menschliche Fertigkeiten an ihre Grenzen. Dies kann auf Kosten der Produktqualität bis hin zu einer Gefährdung der Arbeitnehmer gehen.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Durch zunehmende Mensch-Maschine Interaktionen werden Belastungen und Risiken der Mitarbeiter reduziert. Robotik-Systeme können sowohl körperliche als auch kognitiv anspruchsvolle Tätigkeiten ggf. automatisiert übernehmen.

87%

Kombinierte Lösungsmuster

- Roboter zur Prozess-automatisierung (ROB1)
- Wissensmanage-ment-Systeme (WT1)
- Lernfabrik (prL3)
- Kollaborative Robotik (ROB2)

Kombinationsalternativen

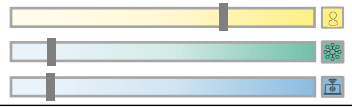
M8.1 Kompetenzausgleich durch (Teil-) Automatisierung

M8.3 Technologieorientierte Kompetenzverlagerung

M8.3 Technologieorientierte Kompetenzverlagerung

Problemklasse

- **Name**:PK8 - Mangelnder Kompetenzaufbau innerhalb von Arbeitsprozessen
- **Soziotechnische Orientierung:**



Problemspezifizierung innerhalb der Klasse

Die Rentabilität der menschlichen Arbeitsleistung ist in vereinzelten Prozessen aufgrund stetig steigender Qualitätsanforderungen oder des begrenzten digitalen Know-Hows nicht ausreichend.

Kombinationsbeschreibung & Problemabdeckung

Die Arbeitsleistung wird vollumfänglich durch den Einsatz neuer Technologien übernommen. Durch die Integration von Remote Experten und den Datenzugriff ist die physische Präsenz von Personal nicht mehr erforderlich.

87%

Kombinierte Lösungsmuster

- Roboter zur Prozess-automatisierung (ROB1)
- Kontinuierliche Quali-tätsprüfung (PÜ3)
- Neue Fertigungs-systeme (MP2)
- Remote Experten (SMS3)
- Digitale Lernplattform (prL1)

Kombinationsalternativen

M8.1 Kompetenzausgleich durch (Teil-) Automatisierung

M8.2 Einsatz von MMI

A6 Herleitung der Mustersysteme

Zur Festlegung der finalen Umsetzungspfade sind die Wechselwirkungen zwischen den Lösungsmustern von großer Relevanz. Hierfür sind ihre Abhängigkeiten untereinander zu analysieren. Angestrebt wird daher ein unterstützendes Mustersystem, welches die Beziehungen zwischen den Lösungsmustern aufzeigt und damit die Planung der Umsetzungspfade vereinfacht. Um das Mustersystem ableiten zu können wurde eine Bedingungsanalyse der Lösungsmuster durchgeführt. Als Hilfsmittel wurde hierfür eine *Bedingungsmatrix* genutzt (vgl. Bild A6.1).

Bedingungsmatrix
Fragestellung:
"Wird Muster i (Zeile) für Muster j (Spalte) vorausgesetzt?"

Bewertungsmaßstab:
0 = nein
1 = ja

Muster	Nr.	1 Condition Monitoring	2 Prädiktive Analysen	3 Anomalieerkennung	4 Kontinuierliches Prozessmonitoring	5 Kontinuierliche Qualitätsprüfung	6 Selbstoptimierende Prozessst.	7 Durchgängige IT-Infrastruktur	8 Automatische Auftragsabwicklung	9 Roboter zur Prozessautomatisierung	10 kollaborative Robotik	11 Fahrerlose Transportsysteme
Condition Monitoring	1		1	0	1	0	0	0	0	0	0	
Prädiktive Analysen	2	0		0	0	0	0	0	0	0	0	
Anomalieerkennung	3	0	1		0	1	1	0	0	0	0	
Kontinuierliches Prozessmonitoring	4	0	1	1		1	1	0	0	0	0	
Kontinuierliche Qualitätsprüfung	5	0	0	0	0		1	0	0	0	0	
Selbstoptimierende Prozessst.	6	0	0	0	0	0		0	1	1	0	
Durchgängige IT-Infrastruktur	7	0	0	0	1	1	1		1	0	0	
Automatische Auftragsabwicklung	8	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0
Roboter zur Prozessautomatisierung	9	0	0	0	0	0	0	0	1		0	0
kollaborative Robotik	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0
Fahrerlose Transportsysteme	11	0	0	0	0	0	0	0	1			

Bild A6.1: Ausschnitt der Bedingungsmatrix zur Analyse der Voraussetzungsbeziehungen zwischen den Lösungsmustern

Innerhalb der Bedingungsmatrix erfolgt die Beantwortung der Frage „Ist das Muster i (Zeile) Voraussetzung für das Muster j (Spalte)?“. Der Bewertungsmaßstab ist binär, d.h. eine 1 steht für „ja“, eine 0 für „nein“. Demnach ist bspw. das Lösungsmuster „Anomalieerkennung“ Voraussetzung für die Umsetzung des Lösungsmusters „Prädiktive Analysen“ (vgl. Bild A6.1). In Abhängigkeit der Bewertungen innerhalb der Matrix wird anschließend ein Algorithmus zur topologischen Sortierung angewendet. Mittels der topologischen Sortierung werden einzelne Knoten (hier: Lösungsmuster) unter Berücksichtigung von vorgegebenen Rahmenbedingungen (hier: Voraussetzungsbeziehungen) in eine gerichtete Reihenfolge gebracht. Die Abbildung dieser topologischen Sortierung in einem Baumdiagramm liefert das *ganzheitliche Mustersystem* der Lösungsmuster. Eine vereinfachte Darstellung des Mustersystems liefert Bild A6.2.

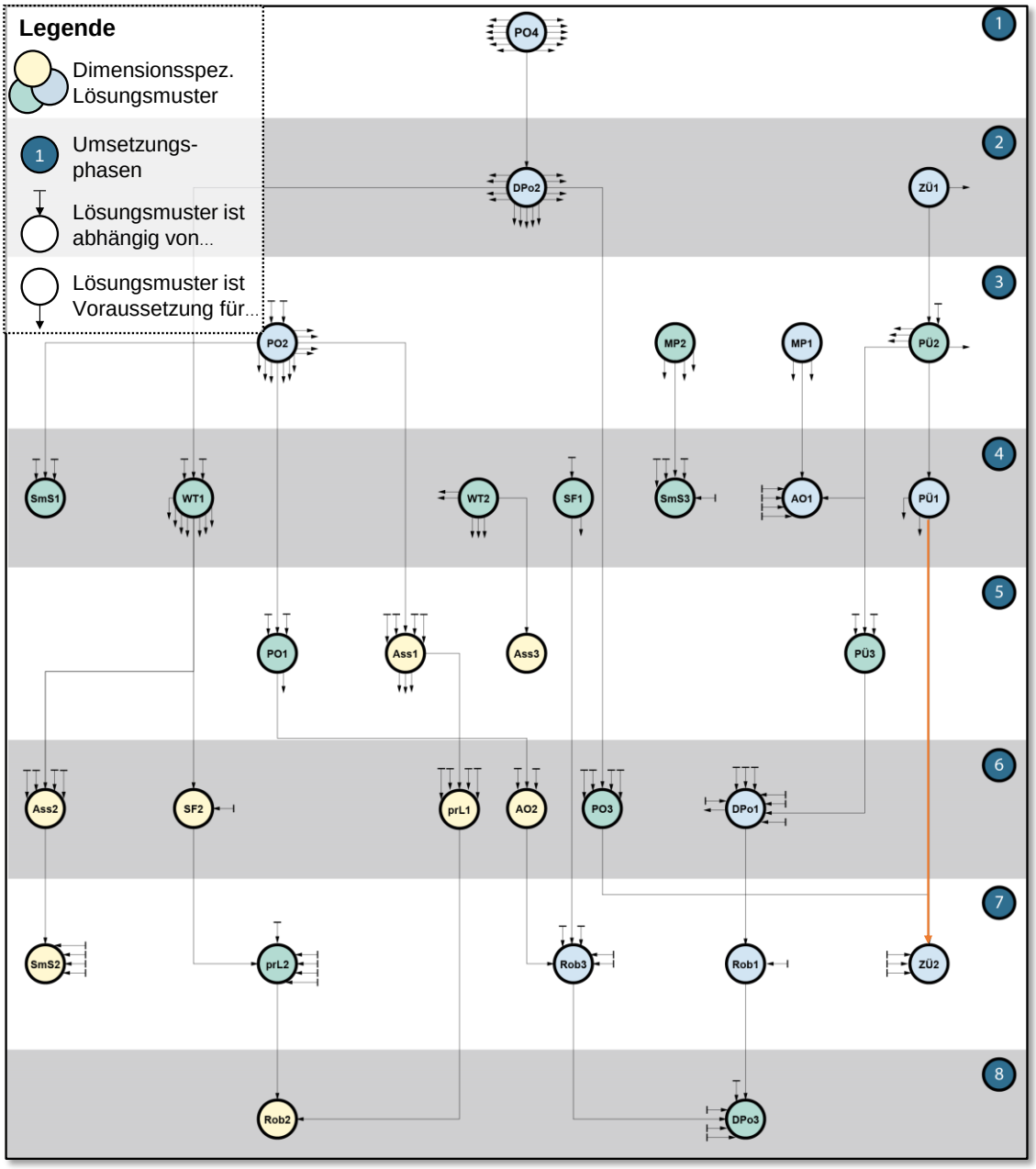


Bild A6.2: Ganzheitliches Mustersystem der Lösungsmuster (vereinfachte Darstellung)

In dem Mustersystem stellt jeder Knoten ein einzelnes Lösungsmuster mit seiner Muster-ID und seiner soziotechnischen Stoßrichtung (Knotenfarbe; blau = Technologie, grün = Organisation, gelb = Mensch) dar. Die Voraussetzungsbeziehungen aus der Bedingungsmatrix (Wert = 1) werden über die Pfeilrichtung abgebildet. Ausgehend vom Knoten „Anomalieerkennung (PÜ1)“ ist demnach ein Pfeil auf den Knoten „Prädiktive Analysen (ZÜ2)“ gerichtet. Auf Basis des topologischen Sortierungsalgorithmus entstehen von oben nach unten verschiedene Umsetzungsphasen für die Lösungsmuster (graue/weiße Kästen sowie blaue Kreise). Demnach können Lösungsmuster einer Umsetzungsphase,

bspw. „ASS2 – Virtuelle/Augmentierte Assistenzsysteme“ und „prL1 – Digitale Lernplattformen“, parallel eingeführt werden.

Zur Handhabung der Komplexität des Mustersystems wird für jedes Lösungsmuster eine *reduzierte Form des Mustersystems* extrahiert. In diesem werden lediglich die unmittelbaren Beziehungen des Lösungsmusters, d.h. die vor- und nachgelagerte Umsetzungsphase dargestellt (vgl. Bild A6.3).

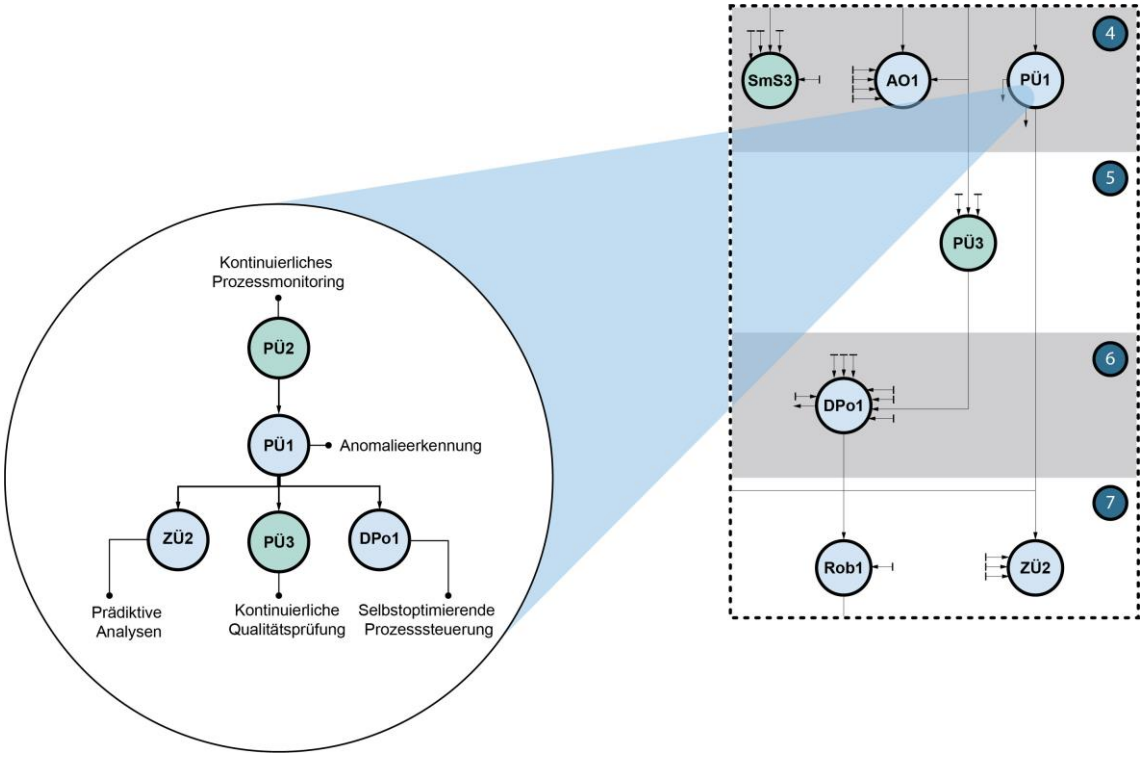


Bild A6.3: Reduzierte Form des Mustersystems für das Lösungsmuster „Anomalieerkennung“

Mit Hilfe des extrahierten individuellen Mustersystems für bspw. das Lösungsmuster „Anomalieerkennung“ mit der Stoßrichtung Technologien ist ersichtlich, dass vor der Einführung des Musters zunächst das Lösungsmuster „Kontinuierliches Prozessmonitoring“ mit der Stoßrichtung Organisation eingeführt werden sollte. Mit der Einführung von „Anomalieerkennung“ sind wiederum die Voraussetzungen zur Einführung der Lösungsmuster „Prädiktive Analysen“ und „Selbstoptimierende Steuerung“ der Stoßrichtung Technologien sowie des Lösungsmusters „Kontinuierliche Qualitätsprüfung“ der Stoßrichtung Organisation geschaffen worden. Das extrahierte Mustersystem je Lösungsmuster ist Bestandteil der jeweiligen Musterkarte (vgl. Abschnitt 5.3.3). Durch die Berücksichtigung der Mustersysteme ist es final möglich, die Lösungsmuster in geeigneter Reihenfolge anzuordnen.

Erklärung zur Zitation von Inhalten aus studentischen Arbeiten

In Ergänzung zu meinem Antrag auf Zulassung zur Promotion in der Fakultät für Maschinenbau der Universität Paderborn erkläre ich gemäß §11 der Promotionsordnung und unter Beachtung der Regelung zur Zitation studentischer Arbeiten:

Die von mir vorgelegte Dissertation habe ich selbstständig verfasst, **und ich habe keine anderen** als die dort angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt. Es sind **Inhalte** studentischen Ursprungs (studentische Arbeiten) in dieser Dissertation enthalten.

Ich habe die verwendeten Arbeiten entsprechend der Regelung „Zitation aus studentischen Arbeiten in Dissertationen“ zitiert.

Paderborn, im Juni 2025 *Daniela Hobscheidt*