

Michael Bansmann

***Systematik zur Gestaltung
digitalisierter Arbeitswelten
in produzierenden Unternehmen***

***Approach for the design of
digitalized working environments
in producing companies***

Geleitwort

Advanced Systems Engineering – neue Methoden und Werkzeuge für die Wertschöpfung von Morgen – ist die verbindende Leitidee unserer Forschungsarbeiten. In der gleichnamigen Fachgruppe am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn sowie am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM arbeiten wir an dieser Leitidee. 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.

Die Digitalisierung durchdringt zunehmend alle Lebensbereiche und führt zu tiefgreifenden Veränderungen in der Art und Weise, wie wir wirtschaften und arbeiten. Damit gehen enorme Potentiale einher – aber auch vielschichtige Herausforderungen. Insbesondere produzierende Unternehmen stehen vor der Aufgabe, diesen fundamentalen Wandel zu gestalten. Auf dem Weg zu digitalisierten Arbeitswelten sind die bedarfsgerechte Auswahl von digitalen Lösungen sowie deren Umsetzung im Spannungsfeld Mensch, Technik und Organisation die wesentlichen Erfolgsfaktoren. Dazu bedarf es einer systematischen Herangehensweise.

Vor diesem Hintergrund hat Herr Bansmann eine Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen erarbeitet. Die Systematik zeigt unternehmensspezifisch auf, welche Potentiale die Digitalisierung für die Arbeitswelt bietet und wie diese erschlossen werden können. Dazu umfasst sie eine Strukturierung von digitalen Lösungen für die Arbeitswelt sowie der unternehmerischen Gestaltungsfelder zu deren Umsetzung. Die Auswahl und Umsetzung nutzenstiftender Lösungen werden durch Vorgehensmodelle und Hilfsmittel unterstützt. Resultat der Systematik ist eine Roadmap, die alle ausgewählten digitalen Lösungen sowie die erforderlichen Maßnahmen zu deren Einführung umfasst. Die Systematik wurde in einem Projekt mit drei produzierenden Unternehmen angewendet. Die Ergebnisse werden in der vorliegenden Arbeit auszugsweise und anonymisiert dargestellt.

Mit seiner Dissertation bewegt sich Herr Bansmann auf einem hochaktuellen und sehr herausfordernden Gebiet. Er leistet einen grundlegenden Beitrag zur Gestaltung von Arbeitswelten im Kontext der Digitalisierung. Die Systematik zeichnet sich u.a. durch ihre hohe Praxisrelevanz aus und wird in der Wissenschaft sowie in der industriellen Praxis hohe Anerkennung finden. Ich wünsche Herrn Bansmann auf seinem weiteren beruflichen Weg viel Erfolg.

Paderborn, im August 2021

Prof. Dr.-Ing. R. Dumitrescu

Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen

zur Erlangung des akademischen Grades eines
DOKTORS DER INGENIEURWISSENSCHAFTEN (Dr.-Ing.)
der Fakultät Maschinenbau
der Universität Paderborn

genehmigte
DISSERTATION

von
M.Sc. Michael Bansmann
aus Bielefeld

Tag des Kolloquiums:	26. Mai 2021
Referent:	Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier
Korreferent:	Prof. Dr.-Ing. Dr. phil. Dr. rer. Soc. Carsten Röcker

Vorwort

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

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Professor Dr.-Ing. Roman Dumitrescu für die stets fordernde und fördernde Zusammenarbeit. Ich danke ihm besonders für das große Vertrauen in meine Arbeit und meine Person, dass er mir auch in herausfordernden Zeiten stets entgegengebracht hat. Ein großer Dank gilt Herrn Professor Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier. Er und das von Ihm geschaffene Umfeld haben meine fachliche sowie persönliche Weiterentwicklung maßgeblich geprägt. Für die Übernahme des Korefferats danke ich Herrn Professor Dr.-Ing. Dr. phil. Dr. rer. soc. Carsten Röcker, stellvertretender Leiter des Institutes für industrielle Informationstechnik (inIT) der TH OWL in Lemgo sowie Leiter der Arbeitsgruppe für Assistenzsysteme am Fraunhofer IOSB-INA.

Allen heutigen und ehemaligen Kollegen und Kolleginnen danke ich für die kollegiale Zusammenarbeit und das inspirierende Arbeitsklima. Hervorheben möchte ich an dieser Stelle Tommy Falkowski, Daniela Hobscheidt, Ricarda Huyeng, Dr.-Ing. Arno Kühn, Dr.-Ing. André Lipsmeier, William Neufeld, Nadine Niewöhner, Daniel Röltgen, Dr.-Ing. Christian Tschirner und Dr.-Ing. Thorsten Westermann. Den vielen Studierenden, die ich namentlich nicht alle nennen kann, danke ich für ihre Unterstützung als studentische Hilfskräfte oder durch ihre studentischen Arbeiten. Hervorheben möchte ich dennoch Stefan Gabriel. Ein großer Dank gilt auch Sabine Illigen, die mit ihrer guten Seele stets der Fels in der Brandung ist.

Meinen Freunden Lucas, Lukas, Max und Tobias danke ich für die konstruktive Begleitung, Geduld und das Zurückstecken während meiner Promotionszeit.

Mein größter Dank gebührt meiner Familie. Meinen Eltern Birgit und Dietmar danke ich für die stetige und bedingungslose Unterstützung. Ihr Rat und die Werte, die sie mir mit auf den Weg gegeben haben, sind Wegweiser weit über meine Promotionszeit hinaus. Meine Geschwister Lisa-Marie und David waren und sind immer für mich da und stehen uneingeschränkt hinter mir – danke dafür. Besonders hervorzuheben ist der Dank an meine Verlobte Lena. Dein Rückhalt und deine Unterstützung sind unersetzbar. Danke, dass du mich immer wieder an den passenden Stellen daran erinnerst, was wirklich zählt. Danke, dass ich dich an meiner Seite wissen darf.

Bielefeld, August 2021

Michael Bansmann

Liste der veröffentlichten Teilergebnisse

- [BFA+18] BANSMANN, M.; FECHTELPETER, C.; ANACKER, H.; DUMITRESCU, R.: Transferring technology-induced Scenarios of Digitized Work. In: Proceedings of the 29th ISPIM Innovation Conference, Stockholm, Schweden, 2018
- [BFR+19] BANSMANN, M.; FOULLOIS, M.; RÖLTGEN, D.; WÖSTE, L.; DUMITRESCU, R.: Reference Architecture and Classification of technology-induced Scenarios of Digitized Work. In: 28th IAMOT International Conference of the International Association for Management of Technology, Mumbai, Indien, 2019 *Best Paper Award*
- [BFW+19] BANSMANN, M.; FOULLOIS, M.; WÖSTE, L.; BENTLER, D.; PARUZEL, A.; MLEKUS, L.; JENDERNY, S.; DUMITRESCU, R.; MAIER, G. W.: Arbeitsplatzgestaltung mit Augmented Reality und ein Dienstleistungssystem im Konformitätsmanagement als Anwendungsszenarien in der industriellen Praxis. In: Bosse, C. K.; Zink, K. J. (Hrsg.): Arbeit 4.0 im Mittelstand. Chancen und Herausforderungen des digitalen Wandels für KMU. Springer Gabler, Berlin, 2019, S. 197-217
- [BGK+19] BANSMANN, M.; GABRIEL, S.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Maturity model-based Implementation of Scenarios of Digitized Work. In: Proceedings of the 30th ISPIM Innovation Conference, Florenz, Italien, 2019
- [BH18] BANSMANN, M.; HARTING, K.: Arbeitsplatz-Planung mit Augmented Reality: Vom Papp-Prototypen zum Mixed Mock-Up. In: elektrotechnik, Frühjahr 2018
- [BMP+19] BENTLER, D.; MLEKUS, L.; PARUZEL, A.; BANSMANN, M.; FOULLOIS, M.; JENDERNY, S.; WOESTE, L.; DUMITRESCU, R.; RÖCKER, C.; MAIER, G. W.: Einführung von Augmented Reality in der Produktentstehung. Technische Realisierung und Change-Management als Erfolgsfaktor für den Veränderungsprozess. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft e.V. (Hrsg.): Arbeit interdisziplinär analysieren – bewerten – gestalten, 2019
- [DTB20] DUMITRESCU, R.; TSCHIRNER, C.; BANSMANN, M.: Systems Engineering als Grundlage der Gestaltung digitaler Arbeitswelten in der Produktentstehung. In: Meyer, G. W.; Engels, G.; Steffen, E. (Hrsg.): Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten. Springer, Berlin, Heidelberg, 2020, S. 405-432
- [FBA+17] FECHTELPETER, C.; BANSMANN, M.; DUMITRESCU, R.: Implementation Planning and Transfer of technology-induced Scenarios of Digitized Work. In: Proceedings of the 2017 Annual Meeting of Technology Transfer Society, Arlington, 2017
- [FBM+20] FOULLOIS, M.; BANSMANN, M.; MLEKUS, L.; PARUZEL, A.; BENTLER, D.; KATO-BEIDERWIEDEN, A.; JENDERNY, S.; SEIFERT, L.: Arbeit 4.0 in der Produktentstehung. Instrumentarium zur Gestaltung individualisierter virtueller Produktentstehungsprozesse in der Industrie 4.0. In: Jeske, T.; Lennings, F. (Hrsg.): Produktivitätsmanagement 4.0. Praxiserprobte Vorgehensweisen zur Nutzung der Digitalisierung in der Industrie. Springer Vieweg, Berlin, 2020, S. 81-113
- [JBF+18] JENDERNY, S.; BANSMANN, M.; FOULLOIS, M.; KATO-BEIDERWIEDEN, A.; WÖSTE, L.; LAMB, J.; MAIER, G.; RÖCKER, C.: Development of an Instrument for the Assessment of Scenarios of Work 4.0 based on socio-technical Criteria. In: Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, Corfu, 2018
- [LBR+18] LIPSMEIER, A.; BANSMANN, M.; RÖLTGEN, D.; KUERPICK, C.: Framework for the Identification and demand-orientated Classification of Digital Technologies. In: Proceedings of IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions Conference, Marrakech, Morocco, 2018
- [MPB+18] MLEKUS, L.; PARUZEL, A.; BENTLER, D.; JENDERNY, S.; FOULLOIS, M.; BANSMANN, M.; WOESTE, L.; RÖCKER, C.; MAIER, G. W.: Development of a Change Management Instrument for the Implementation of Technologies. In: Technologies, 6(4), 2018

- [RBN+18] RÖLTGEN, D.; BANSMANN, M.; NICKCHEN, D.; WORTMANN, F.; DUMITRESCU, R.: Datenbrillen als Arbeitshilfe in der Industrie 4.0 – Bewertung von Anwendungsszenarien von Augmented Reality auf Basis einer Technologie-Roadmap. In: Gausemeier, J. (Hrsg.): 14. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung. 8.-9. November 2018, HNI-Verlagschriftenreihe, Band 374, Paderborn, 2018
- [SBB+18] STÖCKLEIN, J.; BANSMANN, M.; BERSSENBRÜGGE, J.; FOULLOIS, M.: AR-basierte Arbeitsplatzgestaltung für manuelle Montageabläufe. In: Proceedings of GI VR/AR Workshop 2018

Zusammenfassung

Technologien der Digitalisierung bergen großes Potential, die Art und Weise, wie gewirtschaftet und gearbeitet wird, grundlegend zu verändern. Der Begriff Arbeit 4.0 bringt dies zum Ausdruck. Der Einzug von digitalen Technologien in die Arbeitswelt produzierender Unternehmen lässt sich zunehmend in der Praxis beobachten: Der Einsatz von Datenbrillen in der Produktion oder intelligente Algorithmen zur Entscheidungsunterstützung sind prominente Beispiele dafür. Aufgrund der hohen Vielfalt solcher Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien ist jedoch nicht unmittelbar klar, welche Lösungen vor dem Hintergrund unternehmensspezifischer Rahmenbedingungen Nutzen stiften. Zudem gehen derartige Lösungen mit soziotechnischen Umsetzungsbarrieren einher. Dabei ist oft unklar, wie im Spannungsfeld Mensch, Technik und Organisation zu agieren ist.

Ziel der Arbeit ist daher eine Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen. Die Systematik besteht aus einer Wissensbasis und zwei Vorgehensmodellen. Die Wissensbasis setzt sich aus einer Strukturierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien und den damit einhergehenden Nutzenpotentialen sowie einem Arbeit 4.0-Reifegradmodell zusammen. Die Vorgehensmodelle umfassen eine Auswahl- und eine Planungssystematik. Diese ermöglichen die Identifikation, Bewertung und Auswahl sowie die nachhaltige Einführung von digitalen Lösungen in der Arbeitswelt. Dazu greifen die Vorgehensmodelle auf die Wissensbasis zurück. Die Anwendung der Systematik erfolgt im Rahmen eines Industriekreises mit drei produzierenden Unternehmen.

Summary

Digital technologies have great potential to fundamentally change the way business and work is done. The introduction of digital technologies into working environments of manufacturing companies can increasingly be observed in practice: The use of data glasses in production or intelligent algorithms for decision support are prominent examples. Due to the high variety of applications, it is not immediately clear which solutions are useful against the background of company-specific conditions. Moreover, such solutions are accompanied by socio-technical implementation barriers. It is often unclear how to act in the area of conflict between people, technology and organization.

The aim of the thesis is therefore a systematic approach to the design of digitalized working environments in manufacturing companies. The approach consists of a knowledge base and two process models. The knowledge base is composed of a structuring of digital solutions and the associated potential benefits as well as a maturity model. The process models include a selection and planning system. These enable the identification, evaluation, selection and sustainable introduction of digital solutions in the working environment. For this purpose, the process models utilize the knowledge base. The approach is applied in the context of an industry circle with three producing companies.

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung	1
1.1 Problematik.....	1
1.2 Zielsetzung	3
1.3 Vorgehensweise	4
2 Problemanalyse	5
2.1 Einordnung der Arbeit.....	5
2.2 Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen.....	7
2.2.1 Grundstruktur von Arbeitswelten	7
2.2.2 Arbeitssystem	9
2.2.3 Geschäftsprozesse und Organisationsstrukturen	13
2.2.4 Wertschöpfungssystem und Unternehmensumfeld	16
2.2.5 Arbeitswelten im Kontext der Unternehmensgestaltung	18
2.3 Digitalisierung industrieller Arbeitswelten	20
2.3.1 Grundstruktur der Digitalisierung industrieller Arbeitswelten	21
2.3.2 Technologiefelder der Digitalisierung	22
2.3.3 Treiber des digitalen Wandels industrieller Arbeitswelten	24
2.3.4 Anwendung von digitalen Lösungen in der Arbeitswelt	26
2.4 Soziotechnische Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten.....	30
2.4.1 Arbeitswelten als soziotechnische Systeme	31
2.4.2 Mensch-Technik-Kooperation.....	34
2.4.3 Flexibilisierung der Arbeitsorganisation	36
2.4.4 Kompetenzentwicklung und Qualifizierung	38
2.5 Chancen und Hemmnisse digitalisierter Arbeitswelten	42
2.5.1 Chancen digitalisierter Arbeitswelten.....	42
2.5.2 Hemmnisse bei der Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten	44
2.5.3 Verbreitung von digitalen Lösungen in der Arbeitswelt.....	45
2.6 Problemabgrenzung	48
2.7 Anforderungen an die Systematik.....	50
3 Stand der Technik	53
3.1 Ansätze zur Strukturierung von Digitalisierungslösungen.....	54
3.1.1 Industrie 4.0-Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0	54
3.1.2 Leitfaden Industrie 4.0 des VDMA	57

3.1.3	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 des VDI/VDE	60
3.2	Ansätze zur Gestaltung von Arbeit im Kontext der Digitalisierung.....	62
3.2.1	Ansätze zur Beschreibung und Analyse von Arbeit	63
3.2.1.1	Der Work Design Questionnaire nach MORGESON und HUMPHREY.....	63
3.2.1.2	MTO-Analyse nach ULICH.....	64
3.2.1.3	Ordnungsrahmen „Arbeitsumfeld in der digitalen Transformation“ nach VON SEE und KERSTEN.....	65
3.2.1.4	Beschreibungsmodell „Arbeitswelt Industrie 4.0“ nach BAUER ET AL.....	67
3.2.2	Ansätze zur Bestimmung der digitalen Reife eines Unternehmens.....	69
3.2.2.1	Industrie 4.0 Maturity Index nach SCHUH ET AL.	70
3.2.2.2	Industrie 4.0-Readiness-Modell nach LICHTBLAU ET AL.	72
3.2.2.3	Reifegradmodell Industrie 4.0 nach JODLBAUER ET AL.....	73
3.2.2.4	Einführung interaktiver Assistenzsysteme über Reifegradmodelle nach WILLEKE und KASSELMANN	75
3.2.2.5	Praxisleitfaden Arbeiten 4.0 nach BALZEREIT	76
3.3	Ansätze zur Bewertung und Auswahl von Digitalisierungslösungen.....	78
3.3.1	Prozessorientierte Potentialanalyse von Industrie 4.0- Technologien nach DOMBROWSKI ET AL.	78
3.3.2	Potentialanalyse Ressourceneffizienz der digitalen Transformation nach VDI.....	80
3.3.3	Technologiebewertung nach SCHUH ET AL.	82
3.4	Transformationsmodelle	83
3.4.1	Agile Transformation Framework nach KROLL ET AL.	84
3.4.2	Digital Transformation Framework nach WESTERMAN ET AL.	86
3.4.3	Industrie 4.0 Framework nach BECHTOLD ET AL.....	88
3.4.4	Organisationsstruktur nach PORTER und HEPPELMANN	91
3.4.5	Industrie 4.0-Organisation nach BINNER	93
3.5	Handlungsbedarf	94
4	Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten.....	97
4.1	Die Systematik im Überblick.....	97
4.2	Strukturierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien.....	99
4.2.1	Referenzarchitektur für Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien	99
4.2.2	Klassifizierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien	103
4.2.3	Klassifizierung der Nutzenpotentiale von Arbeit 4.0- Anwendungsszenarien	107

4.3	Arbeit 4.0-Reifegradmodell	112
4.3.1	Arbeit 4.0-Gestaltungsfelder	112
4.3.2	Arbeit 4.0-Bewertungskriterien und Reifegrade	121
4.3.3	Validierung der Gestaltungsfelder und der Kriterien	143
4.4	Auswahlssystematik	145
4.4.1	Das Vorgehensmodell und die Hilfsmittel in der Übersicht	145
4.4.2	Phase 1: Identifikation von Herausforderungen	147
4.4.3	Phase 2: Vorauswahl	148
4.4.4	Phase 3: Bewertung und Auswahl	149
4.4.5	Phase 4: Identifikation neuer Arbeit 4.0- Anwendungsszenarien	155
4.5	Planungssystematik	158
4.5.1	Das Vorgehensmodell und die Hilfsmittel in der Übersicht	158
4.5.2	Phasen 1 & 2: Bewertung des Unternehmens und Ermittlung der Zielreifegrade	159
4.5.3	Phase 3: Definition von Maßnahmen	164
4.5.4	Phase 4: Erstellung einer Arbeit 4.0-Roadmap	165
5	Anwendung und Bewertung der Systematik	171
5.1	Anwendungsbeispiel: Industriekreis Arbeit 4.0	171
5.1.1	Anwendung der Auswahlssystematik	171
5.1.2	Anwendung der Planungssystematik	176
5.2	Bewertung der Systematik anhand der Anforderungen	181
6	Zusammenfassung und Ausblick	185
7	Abkürzungsverzeichnis	189
8	Literaturverzeichnis	191

Anhang

A1	Übersicht der analysierten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien	A-1
A2	Hilfsmittel der Auswahlssystematik	A-7
A2.1	Leitfragen-Katalog zur Identifikation von Herausforderungen in der Arbeitswelt.....	A-7
A2.2	Steckbrief-Katalog Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien	A-10
A2.3	Kriterien-Katalog zur soziotechnischen Bewertung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien	A-30
A2.4	Leitfragen zur Identifikation geeigneter Arbeit 4.0-Klassen	A-61
A2.5	Steckbrief-Katalog Digitale Technologien	A-65
A3	Leitfragen zur Identifikation der Auswirkungen von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien	A-76

1 Einleitung¹

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen der anwendungsorientierten Forschung am FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR ENTWURFSTECHNIK MECHATRONIK IEM. Die Ergebnisse resultieren aus verschiedenen Forschungs- und Industrieprojekten. Stellvertretend sei an dieser Stelle das vom BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF) geförderte Verbundprojekt „IviPep² – Instrumentarium zur Gestaltung individualisierter virtueller Produktentstehungsprozesse in der Industrie 4.0“ genannt. Ziel des Projekts ist ein Instrumentarium, das Unternehmen bei der Einführung von Arbeit 4.0 in der Produktentstehung unterstützt. Die vorliegende Arbeit ist Bestandteil des Instrumentariums und beschreibt eine Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen. Die Anwendung der Systematik erfolgte im Rahmen eines Industriekreises³ mit drei produzierenden Unternehmen verschiedener Branchen.

1.1 Problematik

Sämtliche Lebensbereiche sind derzeit von technologieinduzierten Transformationsprozessen gekennzeichnet: Eine umfassende Vernetzung aller Bereiche von Wirtschaft und Gesellschaft sowie die Anpassung der Akteure an die neuen Rahmenbedingungen bereiten den Weg für eine digitale Ökonomie. Insbesondere auf das produzierende Gewerbe hat die Digitalisierung einen hohen Einfluss. Der Begriff Industrie 4.0 bringt dies zum Ausdruck [KWH13, S. 17ff.]. Er bezieht sich auf die bisherigen vier Revolutionen der industriellen Wertschöpfung. Dabei lassen sich neben den Revolutionen in der Industrie auch Weiterentwicklungen in den jeweiligen Arbeitswelten beobachten. Bei Betrachtung der historischen Entwicklung von Industrie- und Arbeitswelten wird deren enge Verzahnung deutlich: Die erste industrielle Revolution ist geprägt durch die Erfindung von wasser- und dampfkraftbetriebenen Maschinen – einhergehend mit dem Beginn der Arbeit in Fabriken. Die folgende zweite industrielle Revolution ist durch die Einführung der Elektrizität als Antriebskraft gekennzeichnet. Der Beginn der Massenarbeit war nur durch die Systematisierung der Arbeit am Fließband zu organisieren. Mit Beginn der Automatisierung startete die dritte industrielle Revolution, seitdem werden IT-Systeme als Arbeits-

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird bei personenbezogenen Substantiven und Pronomen das generische Maskulinum verwendet. Diese Regelung impliziert jedoch keine Benachteiligung nicht-maskuliner Geschlechteridentitäten, sondern dient ausschließlich der sprachlichen Vereinfachung.

² Ziel des BMBF-Verbundprojekts IviPep ist ein intelligentes Instrumentarium zur menschengerechten Gestaltung der digitalen Arbeitswelt bei gleichzeitiger Effizienzsteigerung der Produktentstehung.

³ Ziel des Industriekreises Arbeit 4.0 ist ein Masterplan of Action zur Gestaltung des digitalen Wandels der Arbeitswelt. Dieser wird in 12 unternehmensübergreifenden Workshops mit drei produzierenden Unternehmen verschiedener Branchen erarbeitet.

werkzeuge eingesetzt. Die vierte industrielle Revolution legt den Fokus auf die zunehmende Digitalisierung und die Integration von cyber-physischen Systemen. Damit geht die vierte Revolution der Arbeitswelt einher. Begriffe wie **Arbeit 4.0** oder digitalisierte Arbeitswelten bringen dies zum Ausdruck [HKL18, S. 12] (vgl. [NA17]).

Der digitale Wandel der Arbeitswelt in produzierenden Unternehmen basiert auf einer schnellen und breiten Adaption von Technologien aus dem Kontext der Digitalisierung. Diese haben jeweils für sich und erst recht in Wechselwirkung miteinander ein großes Potential, die Art und Weise, wie gewirtschaftet und gearbeitet wird, grundlegend zu beeinflussen [BM14], [BMW16a], [BMA16a]. Dazu bieten verschiedene Autoren Ansätze zur Strukturierung von Technologien aus dem Kontext der Digitalisierung (vgl. Abschnitt 2.3.2). Exemplarisch kann die Unternehmensberatung Roland Berger aufgegriffen werden. In Anlehnung daran lassen sich **die technologischen Grundlagen des digitalen Wandels** der Arbeitswelt in vier Technologiefelder unterscheiden [Ber15, S. 19ff.]:

- 1) **Digitale Daten:** Dieses Feld umfasst Technologien, welche sich auf die Erfassung, Verarbeitung und Analyse digitalisierter Massendaten beziehen (z.B. Big Data-Ansätze) und dadurch Vorhersagen und bessere Entscheidungsfindungen ermöglichen.
- 2) **Automatisierung:** Das zweite Technologiefeld ist charakterisiert durch eine Kombination klassischer Automatisierungstechnologien mit Ansätzen der künstlichen Intelligenz (z.B. Ansätze der Robotik). Dadurch entstehen autonome und selbstorganisierte Systeme im Kontext von Wertschöpfungsnetzwerken und Marktleistungen.
- 3) **Vernetzung:** Die dritte Gruppe bezieht sich auf Technologien, welche die Vernetzung von Systemen (z.B. Cloud-Computing) ermöglichen. Im Kontext von Wertschöpfungsketten entstehen dadurch z.B. synchronisierte Lieferketten und verkürzte Produktionszeiten.
- 4) **Virtualisierung:** Das letzte Feld bezieht sich auf Technologien zur Virtualisierung, wie Augmented und Virtual Reality (AR/VR).

Diese digitalen Technologien ermöglichen innovative und vielfältige Anwendungen in der Arbeitswelt. In diesem Zusammenhang lässt sich die Anwendung einer digitalen Technologie in der Arbeitswelt als **technologie-induziertes Anwendungsszenario von Arbeit 4.0** bezeichnen. Diese weisen sehr unterschiedliche Nutzenpotentiale und Auswirkungen auf. Aufgrund der Vielzahl, der Heterogenität sowie der unzähligen Kombinationsmöglichkeiten der digitalen Technologien ergibt sich aber eine unüberschaubare Vielfalt an Anwendungen in der Arbeitswelt.

Der digitale Wandel der Industrie wurde bisher maßgeblich aus der Perspektive des technisch Machbaren betrachtet. Zunehmend wird die Frage gestellt, wie sich die digitalen Lösungen für die Arbeitswelten humanzentriert und daher nutzenstiftend einführen und nachhaltig umsetzen lassen – hier herrscht bei Entscheidern und Anwendern große Unsicherheit. Die digitale Transformation wird so zum „Drahtseilakt“ [Fuj16]. Denn Fakt ist:

Mit dem Einsatz entsprechender Technologien gehen tiefgreifende Veränderungen in der Arbeitswelt einher. Prozesse und Strukturen sowie die Tätigkeiten, Aufgaben und Kompetenzen von Arbeitnehmern sind an die neuen Anforderungen anzupassen [PH15], [GJK+17]. Vor diesem Hintergrund entwickelt sich bei Entscheidern in den Unternehmen das Bewusstsein, dass nicht die rein technische Perspektive, sondern vielmehr die organisatorische und soziale Perspektive die zentralen Stellhebel für die erfolgreiche Digitalisierung der Arbeitswelten sind und in den Mittelpunkt der digitalen Transformation gerückt werden müssen [Gau10], [HW14]. In diesem Zusammenhang liegt der Schlüssel zum Erfolg in der ganzheitlichen Betrachtung des Themas Arbeit 4.0 im Spannungsfeld **Mensch-Technik-Organisation** [Uli11]. Dabei haben Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien jeweils eigene Charakteristika und spezifische Eigenschaften. Vor diesem Hintergrund wird schnell deutlich, dass die Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten eine komplexe Herausforderung ist.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die zunehmende Digitalisierung die Arbeitswelten produzierender Unternehmen verändern wird. Daraus ergeben sich erfolgsversprechende Potentiale. Für produzierende Unternehmen ist die ganzheitliche und nutzenstiftende Gestaltung dieser Veränderung eine Herausforderung, da oft Unklarheit über konkrete Bedarfe, Nutzen und Auswirkungen von digitalisierten Arbeitswelten herrscht. Es besteht daher **Bedarf** für eine passgenaue methodische Unterstützung, die Unternehmen bei der evolutionären Verbesserung ihrer Strukturen, Prozesse und Arbeitsabläufe unterstützt.

1.2 Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine *Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen*. Sie soll Unternehmen befähigen, die Potentiale des digitalen Wandels für die Arbeitswelten zu nutzen und nachhaltig umzusetzen.

Die Systematik soll aus einer Wissensbasis und daraus abgeleiteten Vorgehensmodellen zur Auswahl und Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien bestehen. Die Wissensbasis umfasst zum einen die **Strukturierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien**. Diese ermöglicht die Klassifizierung aller Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Die damit einhergehende Charakterisierung der Anwendungsszenarien ist die Grundlage der weiteren Bestandteile der Systematik. Zum anderen umfasst die Wissensbasis ein **Arbeit 4.0-Reifegradmodell**, welches die Handlungsfelder zur Einführung ausgewählter Anwendungsszenarien beinhaltet. Deren zielgerichtete Auswahl erfolgt mit Hilfe einer **Auswahlssystematik** auf Basis unternehmensspezifischer Rahmenbedingungen. Die **Planungssystematik** gibt strukturierte Handlungsempfehlungen zur nachhaltigen Einführung aller ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien.

Um die Anwendbarkeit und Übertragbarkeit der Systematik nachzuweisen, soll diese bei drei produzierenden Unternehmen verschiedener Branchen angewendet werden. Ziel ist eine Roadmap zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten.

1.3 Vorgehensweise

Kapitel 2 konkretisiert die einleitende Problematik. Hierzu werden relevante Begriffe definiert und das Forschungsfeld der Arbeit abgesteckt. Betrachtungsgegenstand der vorliegenden Arbeit sind Arbeitswelten produzierender Unternehmen. Es werden deren Grundstruktur und die einzelnen Bestandteile beschrieben. Zudem erfolgt eine Einordnung des Betrachtungsgegenstandes in das Themenfeld Unternehmensgestaltung. Darauf aufbauend wird die Digitalisierung industrieller Arbeitswelten beschrieben. Hauptaspekte sind dabei Anwendungen von digitalen Lösungen in der Arbeitswelt und deren Eigenschaften. Auf dieser Grundlage werden die Notwendigkeit zur soziotechnischen Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten dargestellt und entsprechende Dimensionen aufgezeigt. Zudem werden Chancen und Hemmnisse digitalisierter Arbeitswelten beschrieben. In einer zusammenfassenden Problemabgrenzung werden die Handlungsfelder herausgearbeitet. Abschließend werden Anforderungen an die zu entwickelnde Systematik abgeleitet.

In **Kapitel 3** wird der Stand der Technik analysiert. Dabei werden Ansätze vorgestellt, die sich auf die definierten Anforderungen beziehen. Zu Beginn werden Ansätze untersucht, die sich auf die Strukturierung Digitalisierungslösungen beziehen. Darüber hinaus werden Ansätze zur Beschreibung und Analyse von Arbeit aufgezeigt. Des Weiteren werden Ansätze zur Bestimmung der digitalen Reifen produzierender Unternehmen analysiert. Zudem werden Ansätze zur Bewertung und Auswahl von Digitalisierungslösungen vorgestellt. Zuletzt werden Ansätze untersucht, die Unternehmen bei der Gestaltung der digitalen Transformation unterstützen. Die analysierten Ansätze werden hinsichtlich der definierten Anforderungen bewertet. Der daraus resultierende Handlungsbedarf wird abschließend erläutert.

Den Kern der vorliegenden Arbeit bildet **Kapitel 4**, in welchem die Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen vorgestellt wird. Zu Beginn wird ein Überblick über die Systematik und ihre Bestandteile gegeben. Anschließend werden die einzelnen Bestandteile der Systematik vorgestellt. Dies umfasst eine Strukturierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien und den damit einhergehenden Nutzenpotentialen. Zudem wird ein Arbeit 4.0-Reifegradmodell vorgestellt. Diese beiden Bestandteile sind die Grundlage für zwei Vorgehensmodelle mit entsprechenden Hilfsmitteln zur Auswahl sowie zur Planung der Einführung der ausgewählten Anwendungsszenarien.

Kapitel 5 umfasst die Validierung der Arbeit. Als Beispiel dient der Industriekreis Arbeit 4.0 mit drei produzierenden Unternehmen verschiedener Branchen. Ziel dieses unternehmensübergreifenden Projekts war eine Roadmap zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten. Dabei wurde die entwickelte Systematik eingesetzt, sodass sowohl die Erfüllung der Anforderungen als auch die Industrierelevanz der Systematik aufgezeigt wurden.

In **Kapitel 6** wird die Arbeit zusammengefasst und ein Ausblick auf zukünftigen Forschungsbedarf gegeben. Der **Anhang** umfasst ergänzende Informationen zur Systematik, insbesondere zu den entwickelten Hilfsmitteln.

2 Problemanalyse

Ziel der Problemanalyse sind Anforderungen an eine *Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen*. In Abschnitt 2.1 werden zunächst wesentliche Begriffe definiert und die Einordnung der Arbeit beschrieben. Abschnitt 2.2 erläutert Arbeitswelten in der produzierenden Industrie. Der Einfluss der Digitalisierung auf den Wandel industrieller Arbeitswelten wird in Abschnitt 2.3 herausgearbeitet. Abschnitt 2.4 zeigt die soziotechnischen Auswirkungen digitalisierter Arbeitswelten auf. In Abschnitt 2.5 werden entsprechende Chancen und Hemmnisse dargestellt. Auf dieser Basis werden in Abschnitt 2.6 die Herausforderungen und Handlungsfelder der zu erarbeitenden Systematik herausgearbeitet. Dies ermöglicht die Ableitung von Anforderungen an die Systematik und deren Beschreibung in Abschnitt 2.7.

2.1 Einordnung der Arbeit

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist eine *Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen*. Unter dem Begriff **Systematik** wird in der vorliegenden Arbeit ein Rahmenwerk verstanden, welches Vorgehensmodelle sowie Hilfsmittel zur Gestaltung von digitalisierten Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen bereitstellt. Dieses Verständnis ist angelehnt an die Definition der Brockhaus Enzyklopädie, wonach eine Systematik eine einheitliche Darstellung und Gliederung nach sachlichen und logischen Gesichtspunkten ist [Bro03, S. 1942]. Die Vorgehensmodelle strukturieren den Gestaltungsprozess nach aufgabenspezifischen Gesichtspunkten. **Gestaltung** wird hier als kreativer Schaffensprozess verstanden, bei dem eine Struktur, ein Prozess oder eine Situation erstellt, verändert oder modifiziert wird (vgl. [Ref91, S. 20]). Hilfsmittel umfassen u.a. Methoden, Richtlinien oder Workshop-Vorlagen. In der Systematik sind nach Möglichkeit bestehende Hilfsmittel zu integrieren. Sofern es keine geeigneten Hilfsmittel gibt, sind bestehende anzupassen bzw. neue zu entwickeln [Dum10, S. 6].

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird unter dem Begriff **Digitalisierung** die zunehmende Durchdringung sämtlicher Lebensbereiche von digitalen Technologien verstanden. Nach BINDER und KANTOWSKY beinhaltet eine Technologie Wissen, Kenntnisse und Fertigkeiten zur Lösung technischer Probleme sowie Anlagen und Verfahren zur Umsetzung von naturwissenschaftlichen Erkenntnissen [BK96, S. 91]. Die technische Problemlösung von digitalen Technologien bezieht sich dabei nach LOEBBEKE auf die Erfassung, Verarbeitung, Übertragung und Nutzung digitaler Daten [Loe06, S. 360]. Vor diesem Hintergrund umfassen digitale Technologien das Wissen und die Fertigkeiten zur Erstellung, Verarbeitung, Übertragung und Nutzung digitaler Daten sowie Systeme und Verfahren für die praktische Umsetzung (vgl. [LBR+18]). In der vorliegenden Arbeit wird daher der Begriff digitale Lösungen verwendet. Solche Lösungen können sowohl in

der Marktleistung als auch in der Wertschöpfung produzierender Unternehmen eingesetzt werden.

Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen beziehen sich in Anlehnung an NERDINGER ET AL. auf drei Betrachtungsebenen [NBS19, S. 8]. Gegenstand der ersten Ebene ist das Arbeitssystem. Die zweite Ebene fokussiert in Anlehnung an das St. Galler Management Modell Geschäftsprozesse und Organisationsstrukturen [RS04, S. 65ff.] (vgl. [RG17]). Die dritte Ebene bezieht sich auf die Beziehung der Organisation zu ihrer Umwelt. Dies konkretisiert sich in der Einbettung der Organisation in das entsprechende Wertschöpfungssystem. Im Rahmen dieser Arbeit wird im Zusammenhang mit digitalisierten Arbeitswelten auch der Begriff Arbeit 4.0 verwendet.

Betrachtungsgegenstand der vorliegenden Arbeit sind Arbeitswelten in **produzierenden Unternehmen**. Dazu gehören alle Unternehmen, die durch die Verarbeitung von Rohstoffen und Halbzeugen ein physisches Produkt in einem Produktionssystem produzieren oder produzieren lassen. Dies bezieht sich sowohl auf die fertigungs- als auch auf die verfahrenstechnische Verarbeitung [KWH13, S. 36]. Produzierende Unternehmen lassen sich dem verarbeitenden Gewerbe zuordnen (vgl. [SB08, S. 78ff.]). Dies umfasst den Bereich der gewerblichen Wirtschaft für die Gewinnung von Rohstoffen, die Bearbeitung und Verarbeitung von Rohstoffen und Halbfabrikaten, die Herstellung von Endprodukten sowie Montage- und Reparaturarbeiten. Unternehmen in diesem Bereich sind insbesondere durch maschinelle Produktion, weitgehende Arbeitsteilung und Massenfertigung, meist in größeren Betriebsstätten, gekennzeichnet [SB16]. Lediglich die Gewinnung von Rohstoffen wird nicht den produzierenden Unternehmen zugeordnet. Die Bruttowertschöpfung des verarbeitenden Gewerbes mit seinen insgesamt 21 zusammengefassten Wirtschaftsbereichen betrug 2014 581 Milliarden Euro [SB15, S. 1]. Diese wurde mit 7,5 Millionen Erwerbstätigen erarbeitet [Pro16, S. 10]. Der Anteil des verarbeitenden Gewerbes an der Bruttowertschöpfung aller Wirtschaftsbereiche in Deutschland lag 2014 bei 22,3%. Der Anteil des verarbeitenden Gewerbes an den Erwerbstätigen lag 2013 bei 18% [Pro16, S. 10]. Vor diesem Hintergrund wird die Bedeutung des verarbeitenden Gewerbes für die deutsche Volkswirtschaft und die Beschäftigungssituation verdeutlicht. Die vorliegende Arbeit richtet sich an produzierende Unternehmen, insbesondere an solche aus den Schlüsselbranchen Kraftwagenbau, Maschinenbau, Metall, elektrische Ausrüstungen, Chemie, Pharma, DV-Geräte, Elektronik, Optik sowie sonstiger Fahrzeugbau [Pro16, S. 12ff.].

In einer aktuellen Unternehmensbefragung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie wurde der Digitalisierungsgrad verschiedener Branchen erfasst und in Form des sog. Wirtschaftsindex Digital wiedergegeben [BMW17]. Dieser setzt sich aus drei Indikatoren zusammen: Einfluss der Digitalisierung auf den Geschäftserfolg, Ausrichtung der unternehmensinternen Prozesse und Arbeitsabläufe auf die Digitalisierung sowie die Nutzungsintensität digitaler Geräte, Dienste und Technologien. Er gibt in einem Wert zwischen 0 (keine Digitalisierung) und 100 (vollständige Digitalisierung) den Digitalisie-

ungsgrad der gewerblichen Wirtschaft und ihrer Branchen wieder [BMW17, S. 9]. Insgesamt liegt der Digitalisierungsgrad der deutschen Wirtschaft bei 54 Indexpunkten. Der Dienstleistungsbereich ist mit einem Wert von 56 überdurchschnittlich digitalisiert. Im Vergleich dazu erzielten die Wirtschaftsbereiche des verarbeitenden Gewerbes einen Wert von nur 42 Punkten. Zudem gibt es noch viele Skeptiker. Insgesamt halten 34% der Befragten eine Digitalisierung ihres Unternehmens für nicht notwendig [BMW17, S. 13]. Während der Wert im Dienstleistungsbereich zuletzt leicht gesunken ist, lässt sich im verarbeitenden Gewerbe eine hohe Dynamik feststellen. Während hier 2017 erst 14% der Unternehmen hoch digitalisiert sind, werden für 2022 bereits 20% prognostiziert [BMW17, S. 12f.].

Fazit: Das verarbeitende Gewerbe hat für die Wirtschaft und die Beschäftigungssituation in Deutschland einen enorm hohen Stellenwert. Der technische Fortschritt ist und bleibt dabei der zentrale Wachstumsfaktor. In diesem Zusammenhang gilt es, die Chancen der Digitalisierung für die Arbeitswelt zu nutzen. Dabei **bedarf** es an **Ansätzen**, welche produzierende Unternehmen bei der **Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten** unterstützen.

2.2 Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen

Zur Herausarbeitung dieses Unterstützungsbedarfs werden zunächst Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen näher erläutert. Vor diesem Hintergrund werden ausgehend von der grundlegenden Begriffseinordnung in Kapitel 2.1 die Grundstrukturen von Arbeitswelten in Abschnitt 2.2.1 diskutiert, welche aus drei Betrachtungsebenen bestehen. Diese werden in den drei folgenden Abschnitten vorgestellt. So bezieht sich Abschnitt 2.2.2 auf die Betrachtungsebene des Arbeitssystems. Abschnitt 2.2.3 fokussiert Geschäftsprozesse und Organisationsstrukturen, während Abschnitt 2.2.4 das Wertschöpfungssystem sowie das Unternehmensumfeld betrachtet. In Abschnitt 2.2.5 erfolgt eine Zuordnung des Betrachtungsgegenstands Arbeitswelt in die etablierte Managementliteratur anhand des 4-Ebenen-Modells der zukunftsorientierten Unternehmensgestaltung.

2.2.1 Grundstruktur von Arbeitswelten

Menschliche Arbeitstätigkeiten finden überwiegend in sog. Arbeitssystemen statt. Der Begriff Arbeitswelten wird dazu in der vorliegenden Arbeit synonym verwendet. Da der Begriff Arbeitswelten sehr umfassend und mehrdeutig ist [Bin14, S. 231], wird im Folgenden eine Grundstruktur von Arbeitswelten erarbeitet. Vor diesem Hintergrund sind Arbeitssysteme nach Ulich dadurch gekennzeichnet, dass sie aus sozialen und technischen Teilsystemen bestehen [Uli13, S. 4]. Diese sind jeweils für sich und in ihrer Beziehung zueinander zu analysieren, aber gemeinsam zu gestalten. Das soziale Teilsystem beinhaltet die Handlungspersonen des betrachteten Arbeitssystems, das technische Teilsystem bezieht sich auf Betriebsmittel sowie die technischen und räumlichen Arbeitsbedingungen [Uli13, S. 4]. Diese Wechselwirkungen werden im Konzept des sog. sozio-technischen Systems aufgegriffen (vgl. Kapitel 2.4). Dabei ist das MTO-Konzept

(Mensch, Technik, Organisation) ein etablierter Vertreter [Uli97], [Uli11, S. 85ff.]. Es beruht auf der grundlegenden Annahme, dass die Perspektiven Mensch, Technik und Organisation in ihren Abhängigkeiten und ihrem Zusammenwirken betrachtet werden müssen [Uli13, S. 5]. In diesem Zusammenhang definiert TRIST drei Ebenen von soziotechnischen Systemen [Tri81, S. 11]:

Primäre Arbeitssysteme: Gegenstand dieser Ebene sind eindeutig identifizierbare und abgegrenzte Subsysteme einer Organisation. Ein solches Subsystem kann von einer Gruppe bis hin zu mehreren Gruppen inkl. der entsprechenden Betriebsmittel reichen. Betrachtet werden die dort ausgeführten Aktivitäten. Die Handlungspersonen und die Aktivitäten sind durch den eindeutigen Zweck des Systems verbunden [Tri81, S. 11].

Gesamtorganisationssysteme: Betrachtungsgegenstand sind zum einen Organisationseinheiten oder unabhängige Arbeitsplatzsysteme. Zum anderen sind es Unternehmen oder öffentliche Einrichtungen. Diese Systeme sind dadurch gekennzeichnet, dass sie in einem stabilen Zustand in ihrer Umwelt aufrechterhalten werden können [Tri81, S. 11].

Makrosoziale Systeme: Diese Ebene bezieht sich auf Systeme in Kommunen oder Industriezweigen sowie auf Institutionen, die auf der Gesamtebene einer Gesellschaft agieren [Tri81, S. 11].

Während diese Ebenen sich allgemein auf soziotechnische Systeme beziehen, definieren NERDINGER ET AL. drei Betrachtungs- bzw. Bearbeitungsebenen für Arbeitssysteme [NBS19, S. 8]:

Ebene des Individuums: Diese Ebene bezieht sich auf die Verhaltens- und Leistungsbedingungen von Individuen in Organisationen, Diagnose und deren Förderung.

Ebene von Gruppen und Interaktionsbeziehungen: Innerhalb dieser Ebene werden Formen, Bedingungen und Prozesse von Arbeitsgruppen und Führungsbeziehungen sowie Interaktionsbeziehungen betrachtet.

Ebene der Organisation: Diese Ebene fokussiert Formen (z.B. funktionale Organisationen) und Charakteristika der Organisation (z.B. Organisationsklima bzw. -kultur) und Beziehungen der Organisation zur Umwelt.

Nach ULICH können Arbeitswelten als soziotechnisches System verstanden werden [Uli13, S. 4] (vgl. Kapitel 2.4.1). Dabei fungiert die Arbeitsaufgabe als zentrales Element, welches das soziale mit dem technischen Teilsystem verbindet. Zum anderen wird der Mensch über die Arbeitsaufgabe in die organisationalen Strukturen eingebettet [Uli13, S. 6]. Daher bildet die Arbeitsaufgabe den Kern der Grundstruktur von Arbeitswelten. ULICH unterscheidet im Rahmen seiner MTO-Analyse die Ebenen Unternehmen, Organisationseinheiten, Gruppen sowie Individuen [Uli13, S. 7].

Auf der Basis der grundlegenden Arbeiten von ULICH und TRIST sowie den Ausführungen von NERDINGER ET AL. werden in der vorliegenden Arbeit **Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen** als dreigliedriges System verstanden. Dies zeigt Bild 2-1.

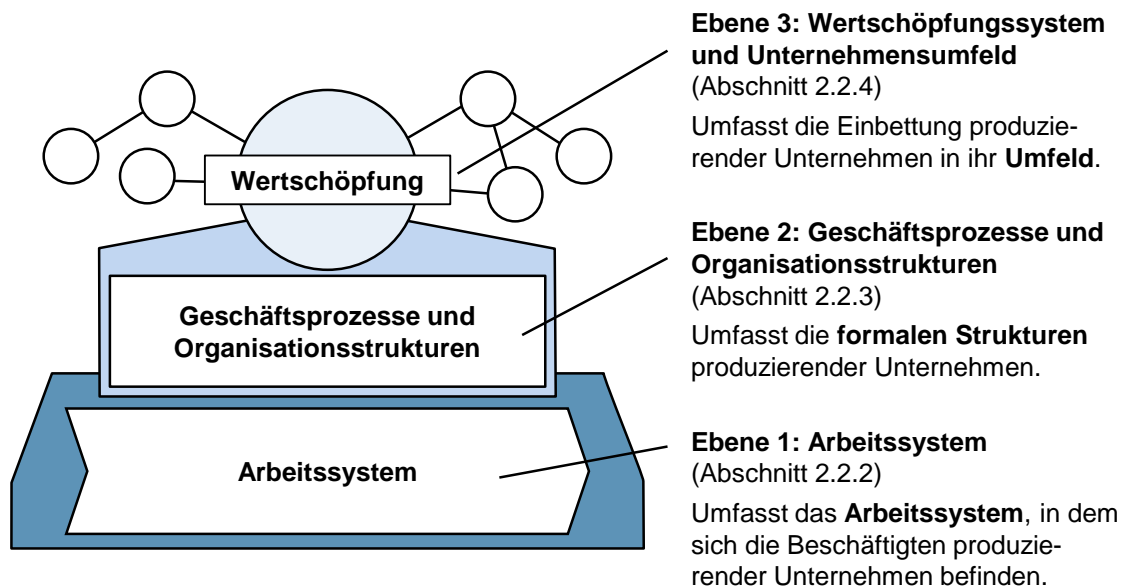


Bild 2-1: Arbeitswelten produzierender Unternehmen in Anlehnung an [NBS19, S. 8]

Gegenstand der **ersten Ebene** ist das **Arbeitssystem**. Dessen zentrale Komponenten sind das arbeitende Subjekt sowie eine Arbeitsaufgabe. Diese wird durch die Arbeitstätigkeit unter Verwendung von Arbeitsmitteln verwirklicht und unterliegt Ausführungsbedingungen [Hac10, S. 3f.]. Die **zweite Ebene** aggregiert den Arbeitsprozess zu Interaktionsbeziehungen, Formen und Bedingungen von Arbeitsgruppen. Dies bildet die Grundlage von Geschäftsprozessen. Gegenstand der zweiten Ebene sind daher in Anlehnung an das St. Galler Management Modell die **Geschäftsprozesse** und **Organisationsstrukturen** des Unternehmens [RS04, S. 65ff.]. Die **dritte Ebene** bezieht sich auf Formen und Charakteristika der Organisation. Des Weiteren wird in dieser Ebene die Beziehung der Organisation zu ihrer Umwelt betrachtet. Dies konkretisiert sich in der Einbettung der Organisation in das entsprechende **Wertschöpfungssystem**. Nach PAHL/BEITZ erfolgt dabei ein Wandel von hierarchischen Beziehungen hin zu dynamischen Netzwerken, die durch einen Broker⁴ orchestriert werden [FG13, S. 7]. Im Folgenden werden die drei Betrachtungsebenen detailliert beschrieben.

2.2.2 Arbeitssystem

Den Kern der ersten Betrachtungsebene bildet die Arbeitssituation bzw. die Ebene des Arbeitsplatzes. In diesem Zusammenhang hat sich in der arbeitswissenschaftlichen Literatur der Begriff Arbeitssystem durchgesetzt [SBL10, S. 35]. Dieser beschreibt die grundlegende Situation, in der sich ein Individuum befindet. Nach SCHLICK ET AL. bildet das

⁴ Der sog. Broker ist ein Extremfall eines Unternehmens und wird häufig sogar nur von einer Person gebildet. Diese sucht sich für die Umsetzung ihrer Produktidee entsprechende Partner, sodass der Broker kein Unternehmen im klassischen Sinn ist [FG13, S. 8].

Arbeitssystem ein Ordnungsschema zur systematischen Beschreibung beliebiger Arbeitsplätze. Es beinhaltet die Elemente 1) Arbeitsaufgabe, 2) Arbeitsobjekt, 3) Arbeitsmittel, 4) Arbeitsperson(en), 5) Arbeitsauftrag, 6) Ein- und Ausgabe sowie 7) Umwelteinflüsse [SBL+10, S. 35]. Dies ist in Bild 2-2 dargestellt.

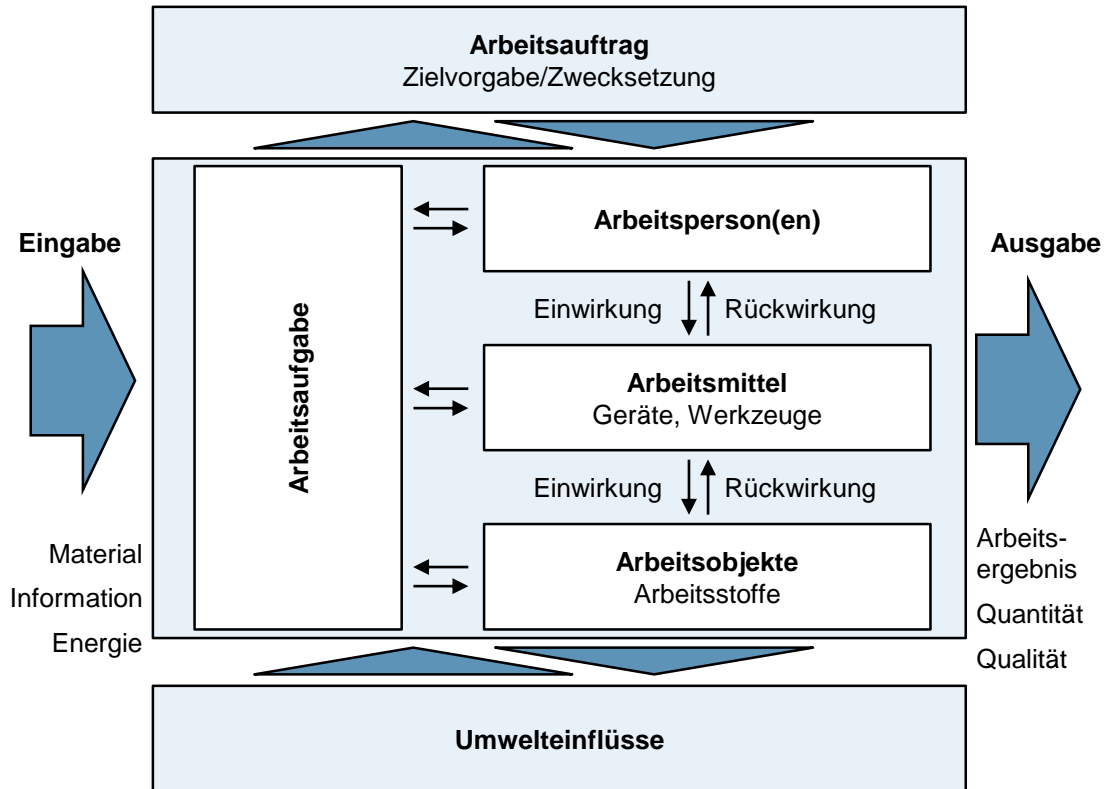


Bild 2-2: Das Arbeitssystem nach SCHLICK ET AL. [SBL10, S. 36]

Weiterführend lässt sich das Arbeitssystem in eine Grundstruktur und eine Anforderungsstruktur unterteilen [MPD+11, S. 110]. Die Grundstruktur besteht dabei aus den fünf Elementen Arbeitsaufgabe, Tätigkeiten, Arbeitsobjekt, Arbeitsmittel sowie den weiteren Rahmenbedingungen [MPD+11, S. 111ff.]. Die Anforderungsstruktur setzt sich aus den Anforderungen der Umgebungseinflüsse, den physischen Anforderungen sowie den Anforderungen an Wissen und Können zusammen [MPD+11, S. 117f.]. Dies deckt sich weitestgehend mit der Darstellung nach SCHLICK ET AL.

Das wesentliche Element der Grundstruktur ist die **Arbeitsaufgabe**. Diese stellt einen Handlungsauftrag an die jeweiligen Handlungspersonen bzgl. bestimmter auszuführender Tätigkeiten dar. HACKMANN definiert die Arbeitsaufgabe wie folgt:

„Eine Arbeitsaufgabe kann einer Person (oder einer Gruppe) von einem Außenstehenden oder durch sich selbst gestellt sein. Eine Aufgabe besteht aus einem Reizkomplex und einer Reihe von Anweisungen, was gegenüber diesem Reizkomplex zu tun ist. Die Instruktionen geben an, welche Operationen durch den Handelnden (oder die Handelnden) im

Hinblick auf die Reize durchgeführt werden müssen und/oder welche Ziele zu erreichen sind“ [Hac69, S. 113].

Die in der Arbeitsaufgabe enthaltenen Anweisungen und Vorgaben beziehen sich auf die weiteren Merkmale der Grundstruktur. Der Begriff Tätigkeit bezieht sich auf den zielgerichteten Vollzug von Arbeit [MPD +11, S. 111]. AUTOR ET AL. unterscheiden Arbeitstätigkeiten in zwei Dimensionen. Zum einen kann in Routine- und Nichttroutinetätigkeiten, zum anderen in kognitive und manuelle Tätigkeiten unterschieden werden [ALM03, S. 1286]. Daraus ergibt sich die in Bild 2-3 dargestellte Klassifikation von Arbeitstätigkeiten.

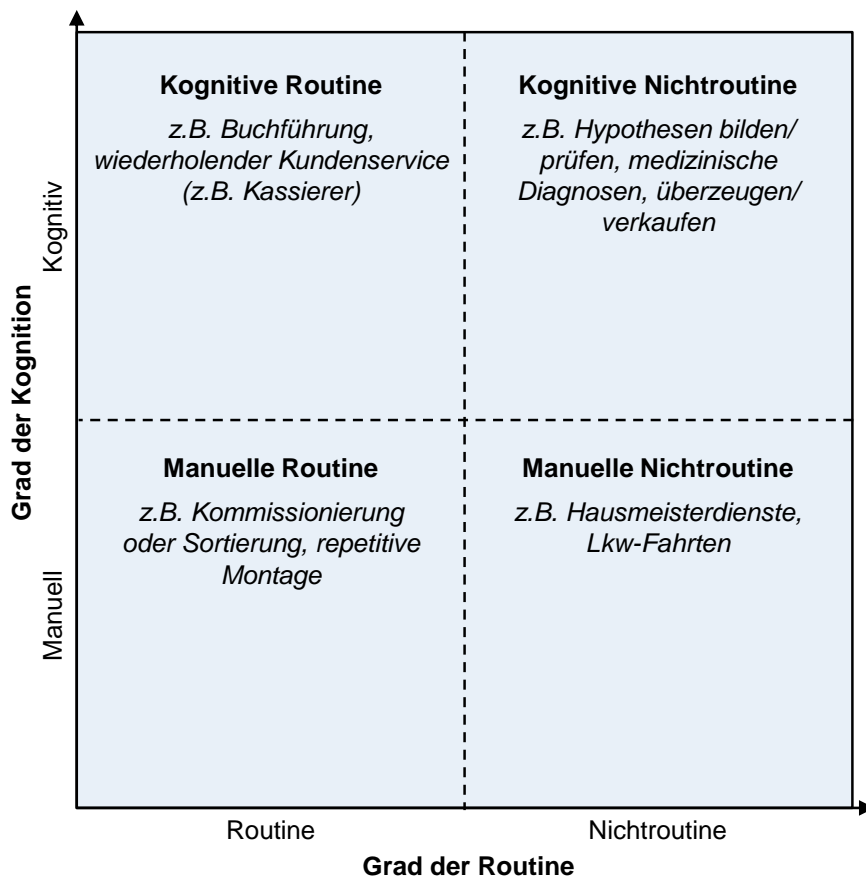


Bild 2-3: Klassifikation von Arbeitstätigkeiten nach AUTOR ET AL. [ALM03, S. 1286]

Manuelle Tätigkeiten sind dadurch charakterisiert, dass das Arbeitsergebnis bereits im Vorfeld eindeutig feststeht. Zudem werden manuelle Tätigkeiten körperlich ausgeführt. Bei kognitiven Aufgaben hingegen steht das Arbeitsergebnis nicht eindeutig fest, zudem werden sie wissensbasiert ausgeführt [ALM03, S. 1282ff.]. Routinetätigkeiten sind dadurch gekennzeichnet, dass sie leicht zu kodifizieren sind und nach definierten Regeln ablaufen [ALM03, S. 1283]. Diese werden z.B. von Sachbearbeitern ausgeübt. Nichttroutinetätigkeiten umfassen zum einen manuelle Tätigkeiten, die auf einem komplexen, situationsangepassten Verhalten basieren. Zum anderen fallen kognitive Tätigkeiten in diese Kategorie, die Flexibilität, Kreativität oder Problemlösungskompetenz erfordern [AGZ18, S. 6].

Des Weiteren ist das **Arbeitsobjekt** Bestandteil der Grundstruktur des Arbeitssystems. Damit wird ein physisches Objekt bezeichnet, welches durch die Tätigkeit eine Zustandsänderung erfährt [MPD+11, S. 112]. Im Kontext der manuellen Tätigkeiten bezieht sich diese auf Aggregatzustände, Gefährlichkeit, stoffliche Beschaffenheit, Oberflächenbeschaffenheit sowie die Hantierungsempfindlichkeit [RL79, S. 66]. Bei kognitiven Aufgaben gibt es kein Arbeitsobjekt im physischen Sinne.

Als weiteres Merkmal wird das **Arbeitsmittel** definiert. Darunter werden alle Werkzeuge, Maschinen und technischen Einrichtungen verstanden, die zur Verrichtung der Arbeitsaufgabe dienen. Darunter fallen z.B. manuell handhabbare Werkzeuge, mechanisierte Kleinmaschinen, Mess- und Prüfgeräte oder datenverarbeitende Geräte [MPD+11, S. 113].

Die **Arbeitsperson(en)**, die in einem Arbeitsraum agieren, überführen den **Arbeitsauftrag** aufgrund ihrer Fähigkeiten und Fertigkeiten unter Verwendung der Arbeitsmittel und weiterer **Eingabegrößen** in ein Arbeitsergebnis, die sog. **Ausgabe** [SBL10, S. 37f.].

Zuletzt wird das Arbeitssystem durch die **Umwelteinflüsse** bestimmt. Diese beziehen sich auf physikalische, chemische, organisatorische oder soziale Störungen [SBL10, S. 36]. Darunter lassen sich auch die aufgaben- und umgebungsspezifischen Einflussfaktoren sowie die allgemeinen betrieblichen Regelungen der Arbeitszeit und der Entlohnungsart fassen [MPD+11, S. 115].

Die Anforderungsstruktur des Arbeitssystems setzt sich aus den Anforderungen der Umgebungseinflüsse (z.B. Klima, Lärm, Beleuchtung, Strahlung), den physischen Anforderungen (Muskelarbeit, Körperhaltung) sowie den Anforderungen an Wissen und Können zusammen [MPD+11, S. 117f.]. Darunter fallen die individuellen Fertigkeiten, Kenntnisse und Fähigkeiten der Handlungspersonen. MICKLER ET AL. definieren drei Arten von Qualifikationsanforderungen, die für das Agieren innerhalb des Arbeitssystems relevant sind: sensomotorische Fertigkeiten, kognitive Qualifikationsanforderungen sowie Anforderungen an die Arbeitsmotivation [MDN75, S. 354ff.].

Besondere Bedeutung kommt den Kompetenzen der Handlungspersonen zu. In der Literatur wird der Kompetenzbegriff sehr heterogen und vage verwendet. Als besonders wirkmächtig hat sich dabei die Definition von WEINERT herauskristallisiert. Demnach sind Kompetenzen

„die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen, sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften und Fähigkeiten, um die Problemlösungen in variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll nutzen zu können“
[Wei01, S. 27f.].

RÜBBELKE setzt den Kompetenzbegriff in den Kontext produzierender Unternehmen. Demnach sind Kompetenzen ein Bündel von Fähigkeiten und Ressourcen, welche Unternehmen Wettbewerbsvorteile verschaffen können. Fähigkeiten sind dabei das erfolgreiche Verarbeiten und Anwenden von Wissen [Rüb16, S. 15]. Er definiert:

„Kompetenzen beschreiben das zielgerichtete Anwenden von implizitem und explizitem Wissen (Fähigkeiten) unter Verwendung der dafür erforderlichen materiellen und immateriellen Ressourcen. Führen Kompetenzen zu Wettbewerbsvorteilen, werden sie als Kernkompetenzen des betrachteten Unternehmens angesehen“ [Rüb16, S. 18].

GRUNDKE ET AL. betrachten Fähigkeiten als Kontinuum, welches sich von kognitiven Fähigkeiten über Persönlichkeitsmerkmale bis hin zu körperlichen Fähigkeiten erstreckt [GJK+17, S. 13]. Kognitive Fähigkeiten basieren auf bewussten intellektuellen Anstrengungen. Diese beinhalten das Lang- und Kurzzeitgedächtnis, die auditive und visuelle Verarbeitung, die Verarbeitungsgeschwindigkeit sowie Logik und Vernunft [GJK+17, S. 9]. Unter die Persönlichkeitsmerkmale fallen u.a. Temperament, Einstellung, Integrität und zwischenmenschliche Interaktion [GJK+17, S. 9]. In diesem Zusammenhang zeigen GRUNDKE ET AL. [GJK+17, S. 9] Studien auf, die zum einen die Bedeutung von kognitiven Fähigkeiten für die Arbeitsleistung hervorheben (vgl. [Sch02], [SH04], [HW08]). Zum anderen nennen sie Studien, die auf die Bedeutung von nicht-kognitiven Fähigkeiten eingehen (vgl. [HR01]) bzw. die Wichtigkeit beider Arten von Fähigkeiten unterstreichen (vgl. [HSU06], [KHD+14]).

2.2.3 Geschäftsprozesse und Organisationsstrukturen

In Abschnitt 2.2.2 wurde aufgezeigt, dass das zentrale Element des Arbeitssystems die Arbeitsaufgabe mit den dazugehörigen Arbeitstätigkeiten ist. PORTER definiert in diesem Zusammenhang ein Unternehmen als eine Ansammlung von Tätigkeiten, durch die eine Marktleistung entworfen, hergestellt, vertrieben, ausgeliefert und unterstützt wird [Por14, S. 65]. Derartige Tätigkeiten lassen sich in einer Wertschöpfungskette darstellen. Vor diesem Hintergrund wird in dieser Betrachtungsebene die unternehmensinterne Wertschöpfung fokussiert. Damit diese zielgerichtet gelingen kann, gilt es die Arbeitstätigkeiten auf ein gemeinsames Ziel zu kanalisieren. Dies leistet die Organisation des Unternehmens. Betrachtungsgegenstand der zweiten Ebene von Arbeitswelten produzierender Unternehmen sind daher Geschäftsprozesse und Organisationsstrukturen. Unternehmensgrenzen sind dabei nicht zwingend relevant [VDI15, S. 21]. PORTER unterscheidet in diesem Zusammenhang die Wertschöpfungskette eines Unternehmens in Unterstützungs- und Primäraktivitäten [Por14, S. 64]. Dies zeigt Bild 2-4.

Zu den Primäraktivitäten werden Eingangslogistik, Produktion, Ausgangslogistik, Marketing und Vertrieb sowie der Kundenservice gezählt. Deren Ausführung wird durch die Unterstützungsaktivitäten der Unternehmensinfrastruktur, Personalwirtschaft, Technologieentwicklung sowie Beschaffung gewährleistet.

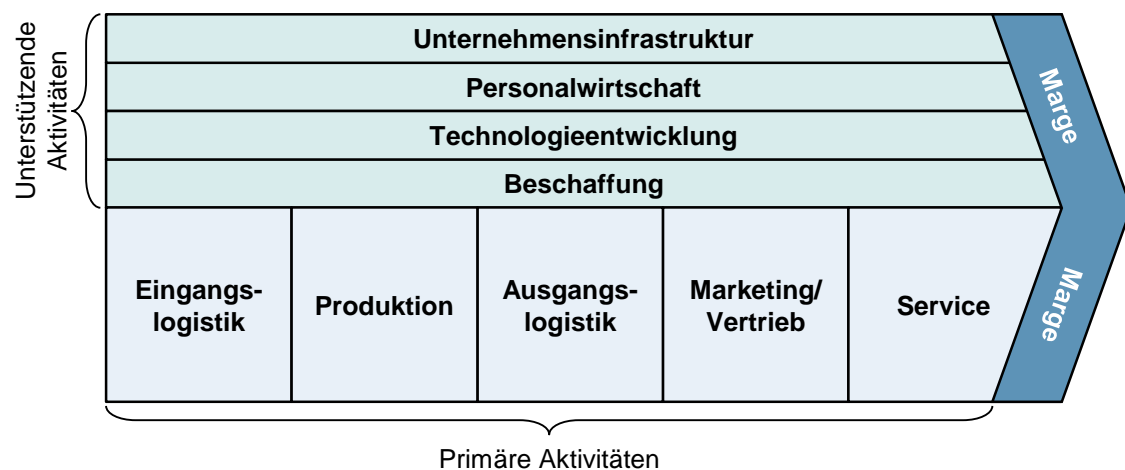


Bild 2-4: Wertschöpfungskette nach PORTER [Por14, S. 64]

Auf Grundlage der Primär- und Unterstützungsaktivitäten werden Wettbewerbsvorteile erzeugt und Margen generiert [Por14, S. 61]. Die Primär- und Unterstützungsaktivitäten werden auch als Geschäftsprozesse bezeichnet.

In diesem Zusammenhang sprechen KIESER und WALGENBACH bei einer Organisation von einem Gebilde, das dauerhaft ein Ziel verfolgt und eine formale Struktur aufweist, mit deren Hilfe die Aktivität der Mitglieder auf das verfolgte Ziel ausgerichtet werden soll [KW10, S. 6]. In der Literatur wird der Begriff Organisation in instrumentaler, funktionaler bzw. prozessorientierter und institutioneller Form verwendet [BG10, S. 2ff.]. Nach dem instrumentalen Begriffsverständnis wird die Organisation als die Gesamtheit aller Regelungen gesehen, die sich auf die Verteilung von Aufgaben und Kompetenzen sowie auf die Abwicklung von Arbeitsprozessen beziehen [NBS19, S. 48]. Unter dem funktionalen Organisationsbegriff werden Aspekte der Arbeitsteilung, der Koordination von Arbeiten sowie der Ausrichtung auf übergeordnete Ziele zusammengefasst [NBS19, S. 48]. Der institutionelle Organisationsbegriff beschreibt Systeme, die strukturiert, zeitlich relativ stabil, der Umwelt gegenüber offen, aus Individuen und Gruppen zusammengesetzt und zielgerichtet handelnd sind [NBS19, S. 48]. Auf Grundlage dieser Definitionen lässt sich die Organisation eines Unternehmens in eine Aufbau- und Ablauforganisation unterteilen.

Die **Aufbauorganisation** beschreibt die Gliederung einer Organisation als ein System arbeitsteiliger Organisationseinheiten und deren Beziehungen untereinander [SBL10, S. 436]. Das organisatorische Gerüst eines Unternehmens entsteht durch die Über- und Unterordnung der Organisationseinheiten. Dies umfasst Stellenhierarchien, Verantwortungen, Aufgaben sowie Weisungs- und Entscheidungsbefugnisse [SBL10, S. 436]. Basis für dieses organisatorische Grundgerüst ist die sog. Aufgabenanalyse und -synthese. Dies umfasst die Definition von Organisationseinheiten auf Grundlage von Arbeitsaufgaben und bildet somit das Verbindungselement zwischen der ersten und zweiten Betrachtungsebene. Ziel der Aufgabenanalyse ist es, Arbeitsaufgaben systematisch zu definieren. Dazu

hat KOSIOL mit der Verrichtungs-, Objekt-, Rang-, Phasen- und Zweckbeziehungsanalyse fünf Dimensionen der Analyse definiert [Kos76, S. 49ff.]. Auf dieser Basis kann die Aufgabensynthese erfolgen. Dabei werden die in der Aufgabenanalyse definierten Arbeitsaufgaben zu aufgaben- und arbeitsteiligen Systemen zusammengefasst. Dazu lassen sich fünf Prinzipien definieren [Koi76, S. 77ff.], [SBL10, S. 437f.]:

Verteilungszusammenhang: Die Arbeitsaufgaben werden auf personenunabhängige Stellen verteilt, die aufgrund der durchschnittlichen Leistungsfähigkeit eines Aufgabenträgers gebildet werden. Die Stellen werden mit den zur Aufgabenerfüllung notwendigen Kompetenzen ausgestattet [Koi76, S. 77], [SBL10, S. 437f.].

Leitungszusammenhang: Dieses Prinzip definiert das Abteilungs- und Leitungssystem der Organisation. Es wird festgelegt, welche Stellen Entscheidungs- sowie Weisungs- bzw. fachliche Leitungsbefugnisse besitzen [Koi76, S. 77], [SBL10, S. 438].

Stabszusammenhang: Ergänzend zum Leitungszusammenhang werden Stabsstellen gebildet, die die Linienstellen durch Beratung und Unterstützung entlasten [Koi76, S. 77f.], [SBL10, S. 438].

Arbeitszusammenhang: Weiter werden Informations- und Kommunikationswege zwischen den Stellen definiert, sodass ein zusammenhängender Arbeitsprozess entsteht [Koi76, S. 78], [SBL10, S. 438].

Kollegienzusammenhang: Darüber hinaus werden die Beziehungen zwischen Organisationseinheiten aus unterschiedlichen Stellen und Bereichen festgelegt [Koi76, S. 77], [SBL10, S. 438].

Die Prinzipien ermöglichen die Stellenbildung (Verteilungszusammenhang), die Bildung von Organisationseinheiten (Leitungs- und Stabszusammenhang) sowie von Arbeitsprozessen (Arbeits- und Kollegienzusammenhang) [SBL10, S. 437f.]. Diese fünf Zusammenhänge bilden so den Gesamtzusammenhang der statischen organisatorischen Infrastruktur, die als die Aufbauorganisation bezeichnet wird [SBL10, S. 438].

Die **Ablauforganisation** regelt das räumliche, zeitliche und inhaltliche Zusammenwirken von Arbeitsaufgaben, Tätigkeiten, Arbeitsobjekten, Arbeitsmitteln, Arbeitspersonen sowie den weiteren Rahmenbedingungen des Arbeitssystems (vgl. Abschnitt 2.2.2). Gemeinsam mit der Aufbauorganisation umfasst sie die Planung, Gestaltung und Steuerung von Arbeitssystemen mit dem Ziel der Schaffung eines wirtschaftlichen und humanen Betriebsgeschehens [Ref91, S. 12]. Wirtschaftliche Ziele sind u.a. die Steigerung der Kapazitätsauslastung, Verbesserung der Termintreue, Verringerung von Durchlauf-, Warte-, Liege- und Transportzeiten sowie die Reduktion der Kosten der Vorgangsbearbeitung [SBL10, S. 456]. Die humanorientierten Ziele umfassen beispielsweise die Verbesserung der Arbeitsumgebung oder die ergonomische Gestaltung der Arbeitsmittel und -plätze [SBL10, S. 456]. Diese Ziele sind teilweise abhängig voneinander. Es lassen sich Zielkonflikte identifizieren, wie z.B. zwischen der Verringerung der Durchlaufzeit eines Arbeitsobjekts und der Erhöhung der Auslastung des Arbeitssystems [SBL10, S. 456].

Die Ablauforganisation definiert, wie einzelne Arbeitsschritte zu Prozessen und Ablaufketten in zeitlicher und räumlicher Hinsicht zusammengefasst werden können. Folglich steht die Regelung von Aktivitäten (i.S.v. menschlichen Handlungen) zur Aufgabenerfüllung im Fokus [Fro04, S. 49]. Bisher war in der Regel die Ablauforganisation der Aufbauorganisation untergeordnet, jedoch ist eine Wandlung dieser Priorisierung erkennbar. Das bedeutet, dass in der Regel zunächst die Abläufe definiert werden, sodass die Aufbauorganisation die Ablauforganisation fortsetzt [Gai04, S. 1209f.].

2.2.4 Wertschöpfungssystem und Unternehmensumfeld

Die dritte Ebene industrieller Arbeitswelten bezieht sich auf das Wertschöpfungssystem und das Unternehmensumfeld, in welches eine Organisation eingebettet ist. Unter einem Wertschöpfungssystem wird dabei ein Netzwerk aus Wertschöpfungsketten verstanden, welches sowohl Querverbindungen als auch Abhängigkeiten zwischen diesen beinhalten kann [VDI15, S. 21]. Die dritte Ebene bildet folglich die Klammer um die zweite Betrachtungsebene, deren Bestandteil die interne Wertschöpfung ist. Das Wertsystem nach PORTER ordnet die Wertschöpfungskette des Unternehmens in sein Umfeld ein. Dabei werden die Wertschöpfungsketten der Lieferanten, die Vertriebskanäle sowie die Wertschöpfungsketten der Abnehmer betrachtet. Die Unternehmen können sich dabei durch Interaktionen entlang dieser Kette Wettbewerbsvorteile verschaffen [Por14, S. 61ff.].

Ein weiteres prominentes Modell zur Beschreibung der Einbettung von Unternehmen in seine Umwelt ist das neue St. Galler Management-Modell. Es stellt einen Bezugsrahmen und eine Orientierungshilfe für Fragestellungen, Herausforderungen, Entscheidungs- und Handlungsfeldern im Management-Kontext dar [RS04, S. 65]. Ein Unternehmen wird dabei als komplexes System begriffen; d.h. als eine Ganzheit von Elementen, die in dynamischer Beziehung zueinanderstehen und vielschichtig miteinander interagieren [RS04, S. 65]. Basierend auf diesem Grundverständnis definiert das neue St. Galler Management-Modell sechs zentrale Begriffskategorien (Umweltsphären, Anspruchsgruppen, Interaktionsthemen, Ordnungsmomente, Prozesse, Entwicklungsmodi), die als zentrale Dimensionen des Managements verstanden werden [RS04, S. 69f.]. Unter Management wird dabei eine Funktion verstanden, deren Aufgaben das Gestalten und Lenken sowie die Weiterentwicklung von soziotechnischen Organisationen sind (nach [Ulr84]) [RS04, S. 70]. Die Dimensionen bilden die Grundstruktur des Modells, welches in Bild 2-5 in der Übersicht dargestellt ist.

In jeweils drei Grundkategorien ist sowohl eine unternehmensinterne Sicht (Ordnungsmomente, Prozesse, Entwicklungsmodi) als auch eine Betrachtung des Unternehmensumfelds (Umweltsphären, Anspruchsgruppen, Interaktionsthemen) vorgesehen.

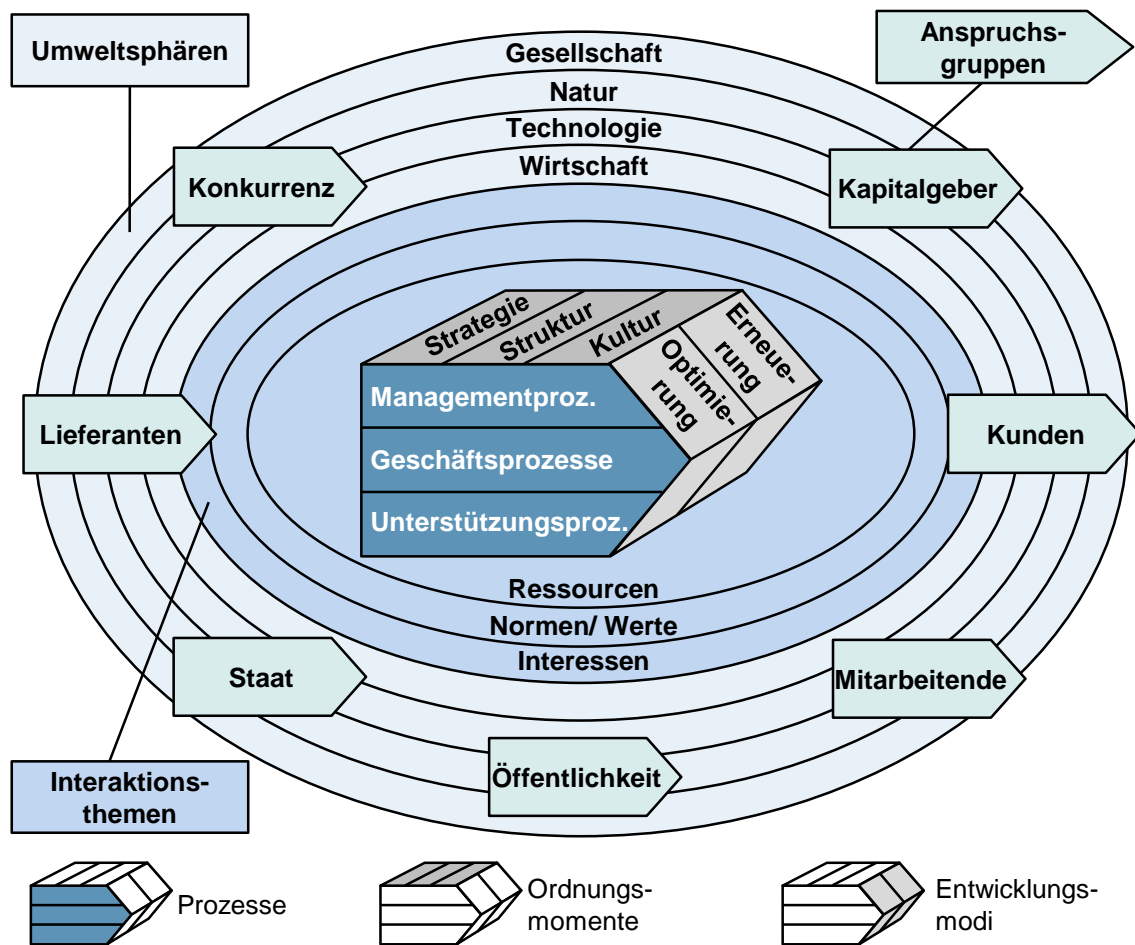


Bild 2-5: Das neue St. Galler Management-Modell [RS04, S. 70]

Die Grundkategorien des Unternehmensumfelds lassen sich der Ebene des Wertschöpfungssystems zuordnen und sind damit charakteristisch für die dritte Ebene industrieller Arbeitswelten. Darunter fallen die folgenden Dimensionen:

Umweltsphären: Diese Kategorie fokussiert die Kontexte der unternehmerischen Tätigkeit, die es in Abhängigkeit von Branchen und Tätigkeitsschwerpunkten auf Veränderungstrends zu analysieren gilt. Dabei werden vier Umweltsphären unterschieden. Die umfassendste Sphäre Gesellschaft befasst sich mit gesellschaftlichen Diskursen, die z.B. über den Verlauf technologischer Entwicklung entscheiden. Die zweite Umweltsphäre bezieht sich auf die Natur, es wird z.B. der Ressourcenreichtum des Standorts des Unternehmens betrachtet. Die dritte Umweltsphäre fokussiert Technologien, wobei Unternehmen nicht nur die Technologieentwicklung an sich betrachten sollten, sondern z.B. auch die Bildung standortbezogener Technologiecluster verfolgen sollten. Die letzte Umweltsphäre Wirtschaft beinhaltet Beschaffungs-, Absatz-, Arbeits- und Finanzmärkte [RS04, S. 72ff.].

Anspruchsgruppen: Diese Dimension bezieht sich auf Anspruchsgruppen bzw. Stakeholder des Unternehmens, d.h. auf organisierte oder nicht organisierte Gruppen von Menschen oder Organisationen, welche an den Aktivitäten des Unternehmens beteiligt sind. Dabei wird zum einen in solche Anspruchsgruppen unterschieden, die Ressourcen bereitstellen oder Rahmenbedingungen definieren. Dies sind die Gruppen Konkurrenz, Lieferanten sowie der Staat. Zum anderen gibt es solche Anspruchsgruppen, die direkt von der unternehmerischen Wertschöpfung betroffen sind. Dazu zählen Kapitalgeber, Kunden sowie Mitarbeitende. Die Öffentlichkeit wird als weitere Anspruchsgruppe keiner der beiden Kategorien zugeordnet. Die Darstellung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit [RS04, S. 74ff.].

Interaktionsthemen: Diese Kategorie betrachtet die Themenfelder, die Gegenstand der Austauschbeziehung zwischen dem Unternehmen und seinen Anspruchsgruppen sind. Dabei werden einerseits personen- und kulturgebundene Elemente unterschieden. Darunter fallen Anliegen und Interessen sowie Normen und Werte. Andererseits werden objektgebundene Elemente im Sinne von Ressourcen unterschieden [RS04, S. 77ff.].

2.2.5 Arbeitswelten im Kontext der Unternehmensgestaltung

Die drei Betrachtungsebenen verdeutlichen, dass sich die Gestaltung von Arbeitswelten in den Kontext der Unternehmensgestaltung einordnen lässt. Dies erlaubt eine Verortung des Betrachtungsgegenstandes in die etablierte Managementliteratur. Das 4-Ebenen-Modell zur zukunftsorientierten Unternehmensgestaltung zeigt ein Grundmuster für die nachhaltig erfolgreiche Gestaltung eines Unternehmens [GP14, S. 37]. Dabei handelt es sich um die Betrachtungsebenen Vorausschau, Strategien, Prozesse sowie Systeme. Das Modell stellt damit ein elementares Grundwissen der Unternehmensgestaltung dar. Es hat allgemeingültigen Charakter und weist keinen expliziten Bezug zur Digitalisierung auf. Aufgrund dieser Allgemeingültigkeit müssen auch spezifische Ansätze aus dem Kontext der Digitalisierung dem Grundgedanken dieses Modells gerecht werden. Die vier Aspekte sowie der Bezug zur Arbeitswelt sind in Bild 2-6 dargestellt.

Im Folgenden werden die Aspekte des 4-Ebenen-Modells vorgestellt:

Vorausschau: Diese Ebene der Unternehmensführung bezieht sich auf die systematische Identifikation von Chancen im Sinne von Erfolgs- bzw. Nutzenpotentialen sowie von Bedrohungen für das etablierte Geschäft von heute. Dazu kann insbesondere die Szenario-Technik angewendet werden (vgl. [Rei91]). Alternative Methoden der Vorausschau sind die Delphi-Methode sowie die Trendanalyse. Der damit verbundene Blick auf die Zukunft ist neben der gängigen Analyse der Ausgangssituation (z.B. Stärken-Schwächen-Analyse, Wettbewerbsanalyse, etc.) ein wesentliches Fundament der Strategieentwicklung [GP14, S. 38].

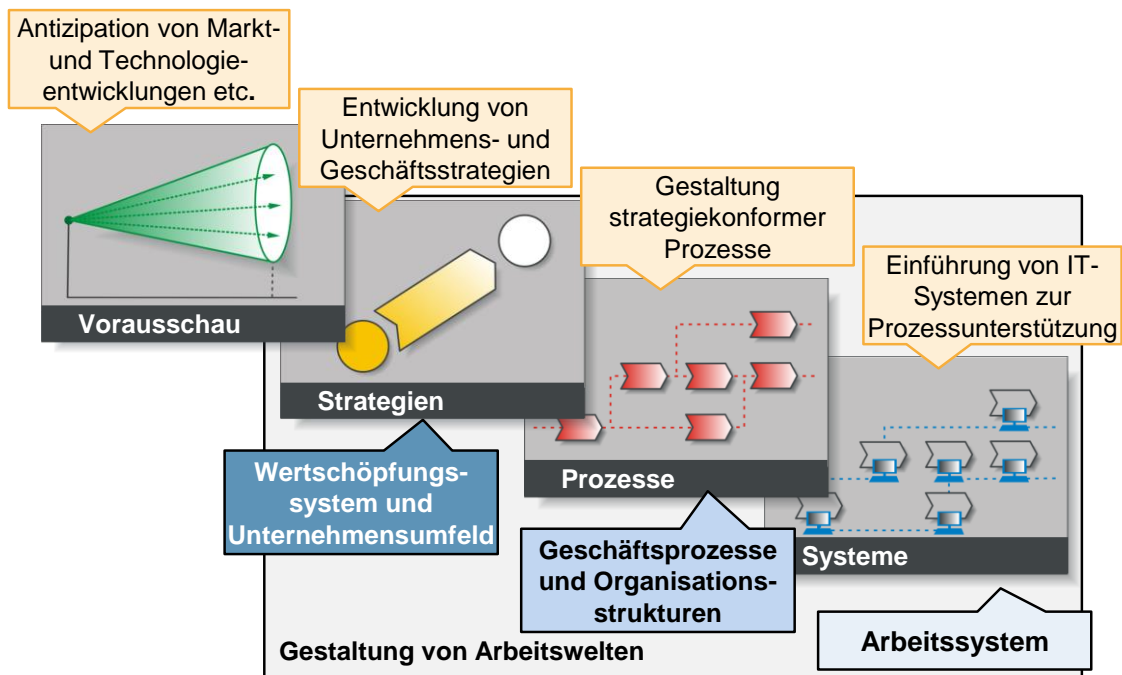


Bild 2-6: Arbeitswelten produzierender Unternehmen im Kontext des 4-Ebenen-Modells zur zukunftsorientierten Unternehmensgestaltung nach GAUSEMEIER [GP14, S. 38]

Strategien: Auf Grundlage der in der Vorausschau-Ebene gewonnen Erkenntnisse werden innerhalb dieser Ebene Unternehmens- und Geschäftsstrategien entwickelt. Diese bestimmen den Kurs des Unternehmens und beinhalten dazu Leitbilder, Schlüsselfähigkeiten, Marktleistungs- und Geschäftsziele sowie Konsequenzen und Maßnahmen für die verschiedenen Handlungsbereiche des Unternehmens. Wesentlicher Erfolgsfaktor bei der Umsetzung der Maßnahmen ist es, die Kräfte des Unternehmens zu bündeln und auf die Verwirklichung der Vision zu konzentrieren [GP14, S. 38].

Prozesse: Gegenstand dieser Ebene sind die Geschäftsprozesse. Deren gut strukturierte Gestaltung ist die Voraussetzung für eine effiziente Leistungserstellung und basiert auf den Vorgaben der Strategie-Ebene. Dazu bedarf es zum einen der intensiven Einbeziehung der Mitarbeiter, um deren Verständnis und Akzeptanz zu gewährleisten. Zum anderen wird die Überprüfung der Aufbauorganisation im Rahmen dieser Ebene empfohlen, sodass durch die Abbildung der Prozesse auf eine durchdachte Aufbauorganisation eine effiziente Ablauforganisation entstehen kann [GP14, S. 39].

Systeme: Diese Ebene bezieht sich auf die Planung und Einführung von IT-Systemen zur Unterstützung der Aufgaben der Geschäftsprozesse. Dazu zählen u.a. Hardwaresysteme, Kommunikationssysteme sowie Anwenderssoftwaresysteme. Ein besonderer Fokus wird in dieser Ebene auf die enge Verzahnung von Geschäftserfordernissen und IT-Möglichkeiten gelegt [GP14, S. 39].

Die Gestaltungselemente innerhalb der Betrachtungsebenen der Arbeitswelten lassen sich wie folgt dem 4-Ebenen-Modell zuordnen:

Arbeitssystem: Innerhalb dieser Betrachtungsebene gilt es, das Zusammenspiel zwischen Arbeitsaufgabe, arbeitendem Subjekt sowie den Arbeitsmitteln zu gestalten. Hier ist ein Bezug zu der System-Ebene des 4-Ebenen-Modells zu erkennen, in der IT-basierte Arbeitsmittel zu gestalten sind.

Geschäftsprozesse und Organisationsstrukturen: Diese Betrachtungsebene lässt sich der Prozess-Ebene des 4-Ebenen-Modells zuordnen. Dabei steht jeweils die Gestaltung der Ablauf- und Aufbauorganisation im Fokus.

Wertschöpfungssystem und Unternehmensumfeld: Die dritte Betrachtungsebene hat Schnittstellen zur Strategie-Ebene des 4-Ebenen-Modells. Unternehmens- und Geschäftsstrategien beinhalten Leitbilder, Schlüsselfähigkeiten, Marktleistungs- und Geschäftsziele sowie Konsequenzen und Maßnahmen für die verschiedenen Handlungsbereiche des Unternehmens. Bestandteil davon ist auch die Einbettung der Organisation in das Wertschöpfungssystem und die Betrachtung des Unternehmensumfelds. Der Aspekt Vorausschau ist kein direkter Bestandteil der Gestaltung von Arbeitswelten.

Fazit: Die drei vorgestellten Ebenen **Arbeitssystem** (vgl. Abschnitt 2.2.2), **Geschäftsprozesse und Organisationsstrukturen** (vgl. Abschnitt 2.2.3) sowie das **Wertschöpfungssystem** und das **Unternehmensumfeld** (vgl. Abschnitt 2.2.4) bilden in der vorliegenden Arbeit den **Handlungsrahmen** bei der Betrachtung von **Arbeitswelten**. Sie lassen sich dem 4-Ebenen-Modell der zukunftsorientierten Unternehmensgestaltung zuordnen, wodurch eine Verortung des Betrachtungsgegenstandes in die etablierte Managementliteratur ermöglicht wird (vgl. Abschnitt 2.2.5). Dabei sind die **Eigenschaften** der drei Ebenen industrieller Arbeitswelten und die damit verbundenen **Herausforderungen** sehr **heterogen**. Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden die Ebenen auch separat betrachtet. Die im Rahmen dieser Arbeit vorgenommene Betrachtungsweise von Arbeitswelten rückt die **Unternehmensorganisation** bewusst in den **Fokus**. Dieser Ansatz grenzt sich damit deutlich von anderen Autoren ab, die Rahmenbedingungen von Arbeit definieren. So identifiziert z.B. die BAuA vier zentrale Themenfelder als Rahmenbedingungen der Arbeitswelt: Arbeitsaufgabe (z.B. Arbeitsintensität), Führung und Organisation (z.B. organisationale Gerechtigkeit), Arbeitszeit (z.B. atypische Arbeitszeiten) sowie technische Faktoren (z.B. Mensch-Maschine-Interaktion) [Bau17, S. 12].

2.3 Digitalisierung industrieller Arbeitswelten

Die Digitalisierung ist einer der wesentlichen Treiber des Wandels industrieller Arbeitswelten. Die Ausführungen in der vorliegenden Arbeit werden auf diesen Treiber eingegrenzt. In Abschnitt 2.3.1 wird daher zunächst die Grundstruktur der Digitalisierung industrieller Arbeitswelten definiert. Diese besteht aus drei Ebenen, welche in den folgenden Kapiteln vorgestellt werden. Abschnitt 2.3.2 stellt die identifizierten grundlegenden Technologiefelder der Digitalisierung vor. Anschließend werden in Abschnitt 2.3.3 konkrete Veränderungstreiber identifiziert. Abschnitt 2.3.4 beschreibt die Anwendung von digitalen Lösungen in der Arbeitswelt in Form sog. Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien.

2.3.1 Grundstruktur der Digitalisierung industrieller Arbeitswelten

Der digitale Wandel der Arbeitswelt in produzierenden Unternehmen basiert auf einer schnellen und breiten Adaption von Technologien aus dem Kontext der Digitalisierung. Diese haben jeweils für sich und erst recht in Wechselwirkung miteinander ein großes Potential, die Art und Weise, wie gewirtschaftet und gearbeitet wird, grundlegend zu beeinflussen (vgl. [BMW16a], [BMA16b], [BMA16c]). In der Literatur wird der Begriff Digitalisierung nicht einheitlich verwendet [Pro16, S. 65]. Vor diesem Hintergrund ist Unternehmen oft unklar, welche Bedeutung die Digitalisierung für die Arbeitswelten im eigenen Unternehmen hat. In der Literatur finden sich viele Ansätze, die zur grundsätzlichen Strukturierung zunächst Technologiefelder und Anwendungen bzw. Lösungen unterscheiden. So unterscheidet BERGER technologische Hebel der digitalen Transformation (z.B. Digitale Daten), die durch Enabler (z.B. Big Data) konkretisiert werden und sog. Propositionen (z.B. Prädiktive Wartung) ermöglichen [Ber15, S. 20]. Vor diesem Hintergrund wird die Grundstruktur der Digitalisierung in der vorliegenden Arbeit als ein dreistufiges System betrachtet. Dieses ist in Bild 2-7 dargestellt.

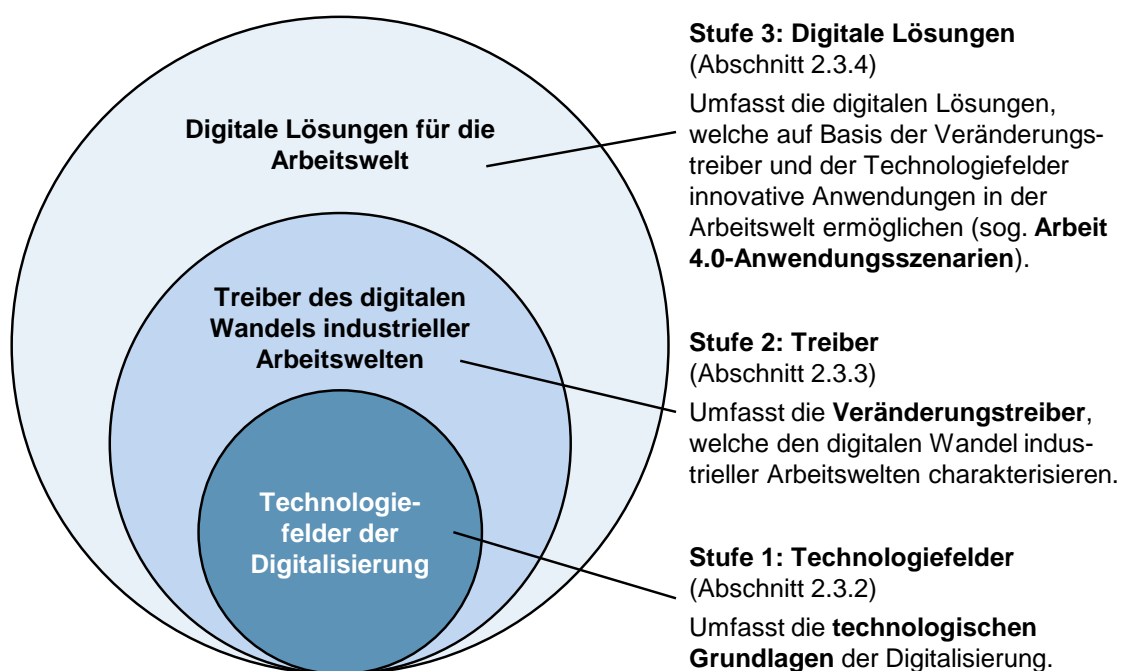


Bild 2-7: Grundstruktur der Digitalisierung im Kontext industrieller Arbeitswelten

Dabei bilden die Technologiefelder der Digitalisierung die Grundlage. Im Rahmen einer umfassenden Literaturrecherche von STOCKHINGER [Sto18, S. 1285ff.] wurden die vier Technologiefelder Social, Mobile, Analytics und Cloud identifiziert. Auf ihrer Basis entstehen sog. Veränderungstreiber, welche den digitalen Wandel industrieller Arbeitswelten maßgeblich charakterisieren. Sie bilden die zweite Stufe der Grundstruktur. Dabei wurden Veränderungstreiber identifiziert, die durch die Technologiefelder zusätzlich befeuert werden und somit mittelbar auf diesen basieren. Diese entstehen unabhängig von

dem Fortschritt in den Technologiefeldern der Digitalisierung, werden allerdings durch diesen Fortschritt maßgeblich verstärkt.

Die Veränderungstreiber konkretisieren sich in digitalen Lösungen für die Arbeitswelt, welche im Folgenden als Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien bezeichnet werden. Diese bilden die dritte Ebene der Grundstruktur.

2.3.2 Technologiefelder der Digitalisierung

Verschiedene Autoren bieten Ansätze zur Strukturierung von Technologien aus dem Kontext der Digitalisierung. Ein Kernmerkmal der Digitalisierung ist, dass es keine typischen Schlüsseltechnologien gibt. Vielmehr basiert der digitale Wandel auf einem Fortschritt in vielen Technologiefeldern [Pro16, S. 42], [Ber15, S.17ff.]. Dies trägt zur Komplexität und zur Unübersichtlichkeit der Nutzenversprechen der Digitalisierung bei.

Die Unternehmensberatung Roland Berger schlägt eine Unterscheidung in vier Technologiefelder vor [Ber15, S. 19]. Zum ersten in Technologien, die sich auf die Erfassung, Verarbeitung und Analyse digitaler Daten beziehen (z.B. Big Data-Ansätze). Zum zweiten in Technologien zur Automatisierung von Wertschöpfungsketten und Produkten, wie z.B. Ansätze der Robotik. Die dritte Gruppe bezieht sich auf Technologien zur Vernetzung von Systemen (z.B. Cloud-Computing). Zuletzt werden Technologien zur Virtualisierung, wie Augmented und Virtual Reality (AR/VR) unterschieden. Weitere Unternehmensberatungen unterscheidet u.a. die Technologiefelder Analytics, Mobile, Social Media, Embedded Devices sowie Advanced Robotics [WCB+11, S. 29ff.], [BLK+14, S. 20ff.]. Es wird deutlich, dass Unternehmensberatungen sich diesem Thema aus der Sicht produzierender Unternehmen nähern und verschiedene Technologiefelder identifizieren.

Vor diesem Hintergrund untersucht STOCKHINGER, welche Technologiefelder von Unternehmensberatungen als relevant bewertet werden [Sto18, S. 1286]. Durch eine Analyse von 73 Artikeln wird deutlich, dass insbesondere die Potentiale der sog. SMAC-Technologien (Social, Mobile, Analytics, Cloud) diskutiert werden [Sto18, S. 1290]. Aufgrund dieser umfassenden Analyse werden diese Technologiefelder in der vorliegenden Arbeit als die technologischen Grundlagen des digitalen Wandels der Arbeitswelt betrachtet:

Social: Soziale Medien beziehen sich auf Technologien, die soziale Strukturen und deren Interaktion unterstützen [EGH16, S. 30]. Sie bieten produzierenden Unternehmen neuartige Möglichkeiten, mit ihren Kunden zu interagieren. BERGER spricht in diesem Zusammenhang vom digitalen Kundenzugang. Neue Intermediäre erzeugen auf Basis des mobilen Internets und den sozialen Medien neuartige Services und vollständige Transparenz für den Kunden [Ber15, S. 19]. Allerdings kommen den sozialen Technologien nach der Untersuchung von STOCKHINGER die geringste Bedeutung der SMAC-Technologien zu [Sto18, S. 1209].

Mobile: Zu den mobilen Technologien zählen mobile Endgeräte (z.B. Smartphone, Tablet, Datenbrille), welche über drahtlose Netzwerke miteinander verbunden sind. Dies ermöglicht einen orts- und zeitunabhängigen Zugriff auf Informationen [Hof16, S. 46]. Damit gehen standortbezogene Dienste einher. Diese stellen dem Anwender kontextsensitive Informationen oder Dienste zur Verfügung. WÖLFLE spricht in diesem Zusammenhang von sog. mobilen Informationssystemen [Woe14, S. 12ff.]. Diese klassifiziert er nach dem Grad der Mobilität sowie nach dem Grad der Einbettung. So bezeichnet z.B. *Mobile Computing* die Fähigkeit eines Rechensystems, aufgrund seiner Netzwerkfähigkeit kabellos benutzt zu werden. Die Mobilität ist dabei hoch, während der Grad der Einbettung vergleichsweise niedrig ist. Ein im Kontext von Arbeitswelten relevanter Vertreter von mobilen Informationssystemen sind *Wearable-Computing Systeme*. Nach MANN sind dies kleine, am Körper getragene Computersysteme, die immer anwendungsbereit sind [Man94, S. 1]. Die technologische Weiterentwicklung und Miniaturisierung von körpernaher und tragbarer Sensorik ermöglichen dabei die Integration von Systemen in die Arbeitskleidung und dadurch z.B. das Arbeiten mit beiden Händen [HR20, S. 207ff.]. In den Bereich der Wearables lassen sich auch sog. Head-Mounted Displays einordnen. Diese können dem Benutzer Informationen über ein Display zur Verfügung stellen, das vor dem Auge getragen wird. Dazu werden Technologien der virtuellen und erweiterten Realität benötigt. Sie ermöglichen die graphische Repräsentation von virtuellen Objekten.

Analytics: Den analytischen Technologien kommen nach STOCKHINGER die größte Bedeutung zu [Sto18, S. 1290]. Sie haben zum Ziel, auf Basis großer Datenmengen intelligente Schlussfolgerungen zu ziehen. Daher fallen in dieses Themenfeld zwei Aspekte: Big Data und Analytics. Big Data bezeichnet nach DUMBIL die Sammlung von Datensätzen, die aufgrund ihrer enormen Komplexität von konventionellen Datenbanksystemen nicht verarbeitet werden können [Dum12, S. 9]. Die Komplexität wird dabei durch vier Merkmale bestimmt [SSS+12, S. 4f.]. Zum ersten durch das Datenvolumen. Dies bezieht sich auf die enormen Datenmengen, die Unternehmen aufnehmen und analysieren müssen. Das zweite Merkmal bezieht sich auf die sehr heterogenen Datentypen (z.B. strukturierte, semi- und unstrukturierte Daten) und -quellen (z.B. interne und externe Informationsquellen). Dies wird als Varietät der Daten bezeichnet. Die Geschwindigkeit, mit der Daten entstehen, verarbeitet und analysiert werden, steigt stetig an. Die damit verbundene Schnelllebigkeit ist das dritte Komplexitätsmerkmal. Das letzte Merkmal bezieht sich auf die Qualität der Daten. Werden datenbasierte Entscheidungen getroffen, so ist die Belastbarkeit der Daten ein kritischer Erfolgsfaktor. Diese wird z.B. durch Inkonsistenzen, Mehrdeutigkeiten und Unvollständigkeiten negativ beeinflusst. Die extensive Nutzung derartiger Daten zur Unterstützung der Entscheidungsfindung wird als Analytic bezeichnet. HANEKE ET AL. sprechen in diesem Zusammenhang von Business Analytics. Darunter verstehen die Autoren einen Prozess, der aus den Phasen fachliches Verständnis, Datenverständnis, Datenvorbereitung, Modellierung, Evaluation und Ergebnisverteilung besteht. Die Ergebnisse stellen eine Entscheidungsgrundlage für unternehmerisches Handeln dar [HTZ+19, S. 2ff.]. Ein an das Themenfeld Analytic angrenzendes Forschungs-

gebiet ist die künstliche Intelligenz. Dieses bezieht sich nach WINSTON auf die Untersuchung von Berechnungsverfahren, die es ermöglichen, wahrzunehmen, zu schlussfolgern und zu handeln [Win92, S. 5].

Cloud: Die Cloud bzw. das Cloud-Computing bezeichnet nach dem National Institute of Standards and Technology des U.S. Department of Commerce ein Modell für den ortsunabhängigen, einfachen und bedarfsgerechten Netzwerkzugriff auf einen gemeinsamen Pool von konfigurierbaren IT-Ressourcen. Das können z.B. Server, Speicher, Anwendungen und Dienste sein [Nis11, S. 2]. Das Cloud-Modell besteht aus fünf Kernmerkmalen. Zum ersten können Anwender nach Bedarf Kapazitäten (Netzwerkspeicher, Serverzeiten) nutzen, ohne mit den Anbietern zu interagieren (*On-demand self-service*). Zum zweiten verfügt die Cloud über einen breiten Netzwerkzugang (*Broad network access*). Die Funktionen sind über Standardmechanismen und -endgeräte verfügbar (Mobiltelefone, Tablets, Laptops, etc.). Des Weiteren werden die Ressourcen wie Speicher oder Netzwerkbandbreite bedarfsgerecht zwischen mehreren Anwendern geteilt (*Resource pooling*). Viertens können die Kapazitäten flexibel an die Bedarfe angepasst werden (*Rapid elasticity*). Zuletzt können Cloud-Systeme die Nutzung der Kapazitäten messen, überwachen und steuern (*Measured service*). Dies dient z.B. der Verbesserung der Ressourcennutzung oder von Abrechnungsverfahren [Nis11, S. 2]. Darüber hinaus werden drei Service-Modelle (*Software as a Service*, *Platform as a Service*, *Infrastructure as a Service*) und vier Bereitstellungsmodelle (*Private Cloud*, *Community Cloud*, *Public Cloud*, *Hybrid Cloud*) als Bestandteile des Cloud-Modells definiert [Nis11, S. 2f.].

2.3.3 Treiber des digitalen Wandels industrieller Arbeitswelten

Die in Kapitel 2.3.2 dargestellten Technologiefelder der Digitalisierung bilden die technologische Grundlage des Wandels der Arbeitswelt. Zudem lassen sich sog. Veränderungstreiber beobachten, welche den digitalen Wandel industrieller Arbeitswelten maßgeblich charakterisieren. Diese entstehen unabhängig von dem Fortschritt in den Technologiefeldern der Digitalisierung, werden allerdings durch diesen Fortschritt maßgeblich verstärkt. Dahinter stehen Triebkräfte der Arbeitsmarktentwicklung wie der gesellschaftliche Wandel, makroökonomische Entwicklungen oder der demographische Wandel [Dül13, S. 14ff.]. Dabei lassen sich durch Betrachtung der einschlägigen Literatur die folgenden Treiber identifizieren: *Agilität*, *Entgrenzung* sowie *Flexibilisierung der Wertschöpfungsorganisation*.

Agilität: Durch den zunehmenden Einzug von Technologien der Digitalisierung in die Produkte und Marktleistungen von Unternehmen der produzierenden Industrie muss die Entwicklung schneller und flexibler werden, da Innovationszyklen immer kürzer werden. Dies erfordert ein agiles Agieren. Denn: Dies zeichnet sich durch flexibles Vorgehen aus, die schnelle Anpassung an sich ändernde Rahmenbedingungen steht im Fokus. Agile Vorgehensmodelle sind durch eine Verschlankung und Flexibilisierung von Projekten gekennzeichnet und stellen den Menschen in den Fokus und nicht das Prozessdenken. Die

agilen Grundsätze wurden 2001 im sog. „Agilen Manifest“ zusammengefasst [WB10, S. 10ff.]. Vor diesem Hintergrund lässt sich ein Paradigmenwechsel im Projektmanagement beobachten. Während im klassischen Projektmanagement ein fest vorgegebenes Ziel mit variablem Aufwand und variabler Zeitschiene verfolgt wird, steht bei agilen Vorgehensmodellen das Ergebnis zu Beginn nicht fest. Dies wird bei festgelegten Aufwänden und Zeitschienen im Projektverlauf variabel angepasst. Dabei wird der Kunde noch stärker in das Projektgeschehen eingebunden als bisher [IHT+12, S. 265]. Agile Vorgehensmodelle definieren keine Prozesse entlang der Wertschöpfung von Unternehmen, vielmehr definieren sie projektspezifische Vorgehen. Sie zielen auf die Arbeitsumgebung eines Teams ab, um diesem ein flexibles und kundenorientiertes Arbeiten zu ermöglichen [Col02, S. 240f.]. Entsprechende Methoden, wie z.B. Scrum, erzielen in der Softwarebranche große Erfolge. Vor diesem Hintergrund versuchen Unternehmen der produzierenden Industrie zunehmend agile Methoden auch in anderen Bereichen zu verwenden.

Entgrenzung: Im Zuge des digitalen Wandels kommt es zu einer Flexibilisierung von Wissensarbeit in den Dimensionen Zeit (Ausprägungen: Fest – Flexibel), Ort (Fest – Mobil) und Struktur (Fest – Dezentral). Die Grenzen der Unternehmung werden dadurch zunehmend undeutlich [BG10, S. 402]. Die Bandbreite startet bei einer festen Ausprägung aller Dimensionen (Arbeiten am festen Ort, zu festen Zeiten, in festen Strukturen). Dies wird als Referenzpunkt für ein „normales“ Unternehmen mit Vollzeitbeschäftigung gesehen. Die Bandbreite reicht bis zu einer maximalen flexiblen/mobilen/dezentralen Ausprägung der Dimensionen. In diesem Fall wird von einem entgrenzten Arbeitskraftunternehmertum gesprochen („Arbeite mit wem, wann und wo du willst“). Innerhalb dieser Bandbreite sind verschiedene Arbeitskonzepte definiert. Entlang der Dimension *Zeit* wird die Menge sowie die zeitliche und personale Allokation von Arbeit flexibilisiert (z.B. Langzeitkonten, Aufgabenintegration). Entlang der Dimension *Struktur* wird das unternehmerische Risiko verlagert (z.B. Outsourcing, Crowdsourcing). Entlang der Dimension *Ort* kommt es zu einer Virtualisierung im Sinne der Ortsunabhängigkeit [Bau10, S. 21ff.]. Diese Entwicklung wird befeuert durch den Fortschritt in den Technologiefeldern *Mobile* und *Cloud*. Ausgestattet mit mobilen und vernetzten Endgeräten wird den Beschäftigten das Arbeiten in hoher zeitlicher, räumlicher und inhaltlicher Flexibilität ermöglicht [BHB+18, S. 182].

Flexibilisierung der Wertschöpfungsorganisation: Durch die zunehmende Integration von Technologien der Digitalisierung in die Marktleistungen steigt deren Komplexität. Zum anderen verkürzen sich die Innovationszyklen. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, optimieren Unternehmen zum einen ihre wertschöpfenden Prozesse, um einen effizienten Ressourceneinsatz zu gewährleisten. Des Weiteren strukturieren sie ihre Wertschöpfung zunehmend in Engineering- und Fertigungsnetzwerken, sodass die Fertigungs- und Entwicklungstiefen sinken [FG13, S. 6]. Dies hat einen Wandel in der Unternehmens- und Wertschöpfungsorganisation zur Folge, was somit auch unmittelbar die Arbeitswelten produzierender Unternehmen betrifft. So findet Wertschöpfung weniger sequentiell und zeitversetzt statt, sondern vielmehr entstehen sog. Broker-Netzwerke

[Ber15, S. 17], [FG13, S. 7]. Diese bestehen aus hoch flexiblen und dynamisch vernetzten unabhängigen Einheiten. Diese zeichnen sich durch eine maximale Fokussierung auf Kernkompetenzen aus [BGG+15, S. 7]. Das frühere Hersteller-Unternehmen, das seine Teile von Lieferanten bezog, wird zunehmend zur Management-Basis, um das Broker-netzwerk zu orchestrieren. Die operative Zusammenarbeit in solchen Netzwerken wird zunehmend über digitale Plattformen gesteuert. Dadurch wird eine unternehmensübergreifende Durchgängigkeit der Prozess- und Systemintegration gewährleistet [BGG+15, S. 7], [EG16, S. 4].

2.3.4 Anwendung von digitalen Lösungen in der Arbeitswelt

Digitale Lösungen ermöglichen innovative Anwendungen in der Arbeitswelt. Dabei adressieren digitale Technologien Herausforderungen aus der Arbeitswelt, mit denen produzierende Unternehmen unabhängig von der Digitalisierung konfrontiert sind. Eine solche Anwendung wird im Folgenden als Arbeit 4.0-Anwendungsszenario bezeichnet. Dies ist in Bild 2-8 dargestellt.

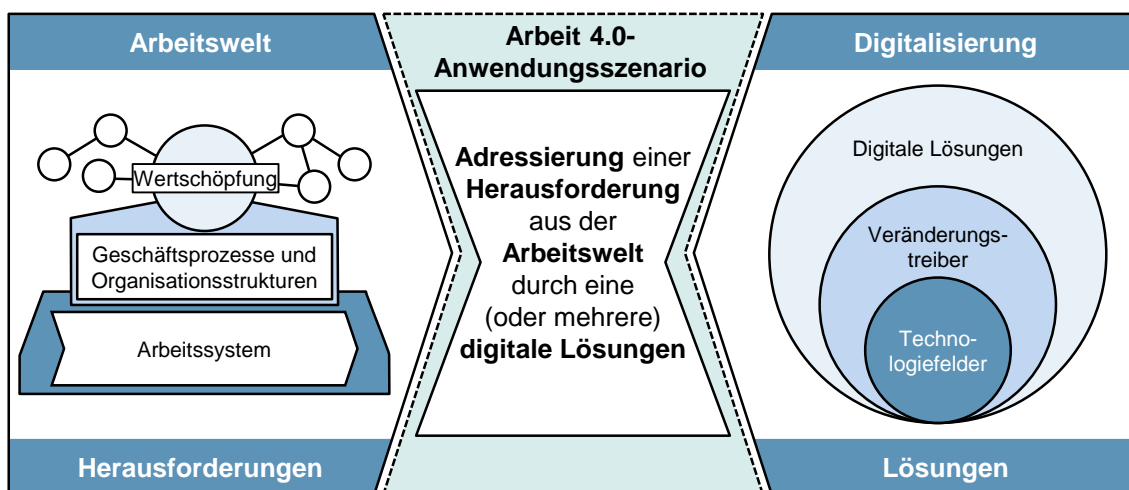


Bild 2-8: Digitale Lösungen versprechen Nutzen für die Arbeitswelt

Aufgrund der Kombinationsmöglichkeiten von digitalen Technologien ergibt sich eine unüberschaubare Vielfalt solcher Anwendungen. Diese ist nur durch die Phantasie begrenzt. Von digitalisierten Arbeitswelten wird dann gesprochen, wenn alle für ein Unternehmen nutzenversprechenden Anwendungsszenarien umgesetzt werden. Zum besseren Verständnis soll das Konstrukt eines Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios anhand von drei Beispielen konkret erläutert werden:

Beispiel 1) AR-basierter Remote Experte: Augmented Reality (AR) ermöglicht eine Erweiterung der Realität um form- und lagerichtige Zusatzinformationen. So können dem Werker visuelle, kontextsensitive Informationen zur Durchführung von Arbeitstätigkeiten in das Sichtfeld projiziert werden [Fel18, S. 31]. Dazu werden entsprechende Endgeräte (z.B. Smartphone, Datenbrille) benötigt. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, einen

sog. Remote Experten einzubinden. Dieser kann über eine akustische Anbindung detailliertes Fachwissen übermitteln. So wird z.B. eine standortübergreifende Fernwartung ermöglicht (vgl. [MFB+17, S. 1297ff.]). Zur nachhaltigen Implementierung dieses Szenarios ist die Handhabung neuer Arbeitsmittel erforderlich, zudem ist die Akzeptanz der beteiligten Akteure zu gewährleisten. Dies ist u.a. vor dem Hintergrund der technischen Möglichkeiten zur Überwachung der Arbeitsleistung eine Herausforderung. Darüber hinaus ist die Gewährleistung der Verfügbarkeit von Remote Experten eine organisatorische Herausforderung. Dies kann z.B. neue Arbeitszeitmodelle erfordern oder ermöglichen. Eine Übersicht über weitere Anwendungsbeispiele von AR-basierten Arbeitsmitteln in der Wartung von Maschinen und Anlagen, Qualitätssicherung im Schiffsbau oder bei wissensintensiven Produktionsaktivitäten geben WILD ET AL. [WPH+14]. Dieses Arbeit 4.0-Anwendungsszenario basiert auf dem Technologiefeld *Mobile* und geht mit dem Veränderungstreiber *Entgrenzung* einher.

Beispiel 2) Digitaler Auftragsdurchlauf: Neben neuen Arbeitswerkzeugen lässt sich auch eine zunehmende Digitalisierung von Prozessen beobachten. So ist es z.B. Ziel des digitalen Auftragsdurchlaufs die Implementierung eines rein IT-basierten und somit effizienteren Auftragsabwicklungsprozesses von der Auftragsannahme über die Produktion bis zur Logistik zu ermöglichen (vgl. [SBR+16, S. 48ff.]). Dieses Szenario setzt die Gestaltung der Mensch-System-Schnittstelle voraus. Zudem können Arbeitstätigkeiten entfallen, sodass eine Reorganisation von Abläufen und Strukturen notwendig wird. Das skizzierte Arbeit 4.0-Anwendungsszenario basiert im weitesten Sinne auf dem Technologiefeld *Cloud*, zudem geht es mit dem Veränderungstreiber *Entgrenzung* einher.

Beispiel 3) Prädiktive Wartung: Ziel der prädiktiven Wartung ist die Vorhersage notwendiger Wartungen einer technischen Anlage. Diese basiert auf einem System, welches den Zustand einer Anlage mittels Sensorik überwacht und so wartungsrelevante Informationen erhält. Diese werden anhand von Datenanalyseverfahren interpretiert und in Wartungsvorhersagen überführt. Diese Vorhersagen werden dem Instandhaltungsmitarbeiter, in Form von Meldungen oder Alarmen, mitgeteilt. Dies führt zu einem Wechsel in der Wartungsterminierung: starre Wartungspläne weichen flexiblen und bedarfsgerechten Wartungen (vgl. [LWW17, S. 377 ff.]). Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien wie diese können zu einer plattformbasierten Orchestrierung der Wertschöpfungssysteme führen. Denn: Derartige Anwendungsszenarien erfordern Humankapital für hoch spezialisierte und neuartige Arbeitstätigkeiten. Diese können unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nur schwierig dauerhaft im Unternehmen vorgehalten werden. Vielmehr bietet es sich an, diese projektbezogen über Plattformen abzurufen. Vor diesem Hintergrund wird zunehmend für bestimmte Fähigkeiten eine bewusste Make-or-Buy-Entscheidung getroffen. Einen umfassenden Überblick über Anwendungsszenarien von künstlicher Intelligenz zur Entscheidungsunterstützung gibt BITKOM [Bit17, S. 41ff.]. Das skizzierte Arbeit 4.0-Anwendungsszenario basiert auf dem Technologiefeld *Analytics*, zudem geht es einher mit dem Veränderungstreiber *Flexibilisierung der Wertschöpfungsorganisation*.

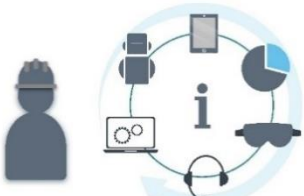


Diese Beispiele verdeutlichen drei wesentliche Eigenschaften von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien: 1) sie lassen sich nach dem technologischen Reifegrad der zu Grunde liegenden Technologie unterscheiden, 2) sie weisen sehr unterschiedliche Nutzenpotentiale auf und 3) sie haben sehr heterogene und vielschichtige Auswirkungen.

Eigenschaft 1) Unterscheidung nach technologischem Reifegrad: Ein zentrales Unterscheidungsmerkmal der Arbeit 4.0- Anwendungsszenarien ist die Technologiereife der zu Grunde liegenden digitalen Technologien. Diese kann anhand von Technologielebenszyklusmodellen beschrieben werden. Derartige Modelle zeigen den Zusammenhang zwischen der Zeit und der Leistungsfähigkeit (oder anderen Parametern) der Technologie auf. Auf dieser Grundlage kann u.a. die Attraktivität einer Technologie abgeschätzt werden [SKS+11, S. 37]. Ein prominenter Vertreter derartiger Modelle ist das S-Kurven-Konzept. Durch die Auftragung der Leistungsfähigkeit einer Technologie (im Sinne des Kundennutzens) über den kumulierten Aufwand für Forschung und Entwicklung ergibt sich nach diesem idealtypischen Modell eine S-Kurve. Demnach durchläuft eine Technologie die Phasen Schrittmacher-, Schlüssel- und Basistechnologie [GP14, S. 132f.]. Aus den Phasen lässt sich ableiten, wie relevant die Technologie für die industrielle Anwendung ist. So sind die potentiellen Einsatzgebiete einer Schrittmachertechnologie weitestgehend unbekannt. Die Unsicherheiten sind hoch und die bisherigen Investitionen vergleichsweise niedrig. Schrittmachertechnologien wird jedoch ein hohes Entwicklungspotential zugeschrieben. Kommt es zu einer schnellen Steigerung der Leistungsfähigkeit, wird von einer Schlüsseltechnologie gesprochen. Dabei steigen die Investitionen auf ein maximales Niveau, die Breite potentieller Anwendungsgebiete ist groß. Diese Technologien bieten große Differenzierungsmöglichkeiten im Wettbewerb, da sie nicht von allen Mitbewerbern beherrscht werden. Basistechnologien hingegen sind etabliert und werden von allen Marktteilnehmern beherrscht. Weitere Investitionen in eine reife Basistechnologie führen nicht zu signifikanten Steigerungen der Leistungsfähigkeit. Ab diesem Punkt gilt es, Substitutionstechnologien zu betrachten. Eine solche Unterscheidung der Szenarien ist deshalb so wichtig, weil je nach Relevanz für die industrielle Anwendung (im Sinne der S-Kurve) bei der Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien unterschiedlich vorgegangen werden muss. So gilt es z.B. bei der Einführung einer digitalen Montageanleitung auf dem Tablet (Reifegrad: Basistechnologie) die operative Umsetzung zu steuern. Dies kann u.a. die Auswahl entsprechender Endgeräte oder die Programmierung entsprechender Apps umfassen. Bei der Einführung prädiktiver Wartung (Reifegrad: Schrittmachertechnologie) stehen hingegen strategische Entscheidungen mit weitreichenden Auswirkungen im Fokus. Dabei kann es z.B. um die Entscheidungen gehen, Data Scientists intern auszubilden oder von externen Dienstleistern zu beziehen.

Eigenschaft 2) Unterschiedliche Nutzenpotentiale: Die drei beispielhaft skizzierten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien machen deutlich, dass die damit einhergehenden Nutzenpotentiale sehr heterogen und vielschichtig sind. Während der *AR-basierte Remote Experte* insbesondere die Handlungspersonen in ihrem Arbeitssystem unterstützt, führt der *Digitale Auftragsdurchlauf* zu einer Effizienzsteigerung in den Geschäftsprozessen.

Die *Prädiktive Wartung* ermöglicht die Einsparungen von Kosten. In Kapitel 2.5.1 werden weitere Chancen von digitalisierten Arbeitswelten beschrieben. Insgesamt mangelt es an einer Strukturierung der Nutzenpotentiale von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Dies stellt für Unternehmen der produzierenden Industrie ein wesentliches Hemmnis bei der Erschließung der Potentiale dar.

Eigenschaft 3) Heterogene und vielschichtige Auswirkungen: Zudem verdeutlichen die Beispiele, dass Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien unterschiedliche Auswirkungen haben. Diese sind in Bild 2-9 dargestellt.

Arbeit 4.0- Anwendungsszenario	Auswirkungen (Auszug)	Relevante Ebene industrieller Arbeitswelten		
		1	2	3
 Remote Experte	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Handhabung neuer Arbeitsmittel erforderlich ▪ Überwachung der Arbeitsleistung möglich ▪ Es gilt die Akzeptanz zu gewährleisten ▪ Neue Arbeitszeitmodelle erforderlich 	X		
 Digitaler Auftragsdurchlauf	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Neue Kompetenzprofile entlang des Prozesses erforderlich ▪ Reorganisation von Prozessen und Strukturen erforderlich 	X		
 Prädiktive Wartung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Es entstehen neue Job Profile (z.B. Data Scientist) ▪ Plattformen für die Personalbeschaffung erforderlich ▪ Möglicher Verlust von technischem Know-how 	X		

1 Arbeitssystem 2 Geschäftsprozesse/Organisation 3 Wertschöpfungssystem/Unternehmensumfeld

Bild 2-9: Undurchsichtige und vielschichtige Auswirkungen von digitalisierten Arbeitswelten anhand beispielhafter Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

Es wird deutlich, dass die Auswirkungen zum einen alle drei Ebenen der Arbeitswelt betreffen. Zudem lassen sich die Auswirkungen den Aspekten Mensch, Technik und Organisation zuordnen. So erfordert z.B. der *AR-basierte Remote Experte* die Handhabung neuer Arbeitsmittel. Des Weiteren werden neue Arbeitszeitmodelle benötigt, um die Verfügbarkeit der Experten sicherzustellen. Darüber hinaus wird eine umfassende Überwachung der Arbeitsleistung möglich, es gilt die Akzeptanz des Arbeitsmittels zu gewähr-

leisten. Der *Digitale Auftragsdurchlauf* verändert die Kompetenzprofile der Handlungspersonen entlang des Prozesses und macht eine Reorganisation des Prozesses des Auftragsdurchlaufs sowie der angrenzenden Prozesse und Strukturen erforderlich. Die *Prädiktive Wartung* erfordert neue Job Profile (z.B. Data Scientist), die sowohl über ein umfassendes Verständnis der Wartungsprozesse als auch über Verständnis der Data Analytics verfügt. Zudem kann eine Personalbeschaffung über Plattformen notwendig werden, da je nach unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen die Vollzeitbeschäftigung entsprechender Spezialisten nicht wirtschaftlich ist. In diesem Fall droht ein möglicher Verlust von technischem Know-how. Vor dem Hintergrund der skizzierten Auswirkungen wird deutlich, dass die Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten eine komplexe Herausforderung ist, zu der es keine Patentlösung gibt.

Fazit: Die Digitalisierung ist einer der wesentlichen Treiber des Wandels industrieller Arbeitswelten. Die technologische Grundlage bilden die vier Technologiefelder Social, Mobile, Analytics sowie Cloud (vgl. Abschnitt 2.3.2). Zudem lassen sich Veränderungstreiber beobachten, welche den digitalen Wandel industrieller Arbeitswelten maßgeblich charakterisieren (vgl. Abschnitt 2.3.3). Digitale Lösungen ermöglichen innovative Anwendungen in Form sog. Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Allerdings gehen diese mit unstrukturierten Nutzenpotentialen und heterogenen sowie soziotechnischen Auswirkungen einher (vgl. Abschnitt 2.3.4). Produzierende Unternehmen stehen vor der Herausforderung, die undurchsichtige Vielfalt an Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien zu strukturieren und die damit einhergehenden Nutzenpotentiale zu erschließen. Folglich bedarf es einer **Strukturierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien** und den damit einhergehenden **Nutzenpotentialen**.

2.4 Soziotechnische Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten

Der digitale Wandel der Industrie wurde bisher maßgeblich aus der Perspektive des technisch Machbaren betrachtet. Zunehmend wird die Frage gestellt, wie sich die digitalen Lösungen für die Arbeitswelt produzierender Unternehmen nutzenstiftend und humanzentriert einführen und nachhaltig umsetzen lassen – hier herrscht bei Entscheidern und Anwendern große Unsicherheit. Die digitale Transformation wird so zum „Drahtseilakt“ [Fuj16, S. 8]. Denn Fakt ist: Mit dem Einsatz entsprechender Technologien gehen tiefgreifende Veränderungen in der Arbeitswelt einher. Prozesse und Strukturen sowie die Tätigkeiten, Aufgaben und Kompetenzen von Arbeitnehmern sind an die neuen Anforderungen anzupassen (vgl. [GJK+17], [PH15]). Dies machen nicht zuletzt die in Kapitel 2.3.4 beschriebenen Beispiele deutlich. Vor diesem Hintergrund entwickelt sich bei Entscheidern in den Unternehmen das Bewusstsein, dass nicht die rein technische Perspektive, sondern vielmehr die organisatorische und soziale Perspektive die zentralen Stellhebel für die erfolgreiche Digitalisierung der Arbeitswelten sind und in den Mittelpunkt der digitalen Transformation gerückt werden müssen [Gau10], [HW14]. In diesem Zusammenhang liegt der Schlüssel zum Erfolg in der ganzheitlichen Betrachtung des Themas Arbeit 4.0 im Spannungsfeld Mensch-Technik-Organisation [DTB20, S. 409f.].

Vor diesem Hintergrund werden in Kapitel 2.4.1 „Arbeitswelten als soziotechnische Systeme“ beschrieben. Dabei werden grundlegende Ansätze der soziotechnischen Systemtheorie beschrieben. Kernelement dabei ist das Spannungsfeld Mensch-Technik-Organisation. An diesen Schnittstellen ergeben sich drei zentrale Handlungsfelder zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten. Diese werden in den folgenden Kapiteln vorgestellt. So adressiert Abschnitt 2.4.2 die Mensch-Technik-Interaktion. Abschnitt 2.4.3 vertieft die Flexibilisierung von Arbeit im Zuge der Digitalisierung. Abschnitt 2.4.4 fokussiert die Kompetenzen und Qualifizierung.

2.4.1 Arbeitswelten als soziotechnische Systeme

Digitalisierte Arbeitswelten können als soziotechnische Systeme verstanden werden. Diese Erkenntnis ist grundlegender und kritischer Erfolgsfaktor zur Gestaltung von digitalisierten Arbeitswelten. Denn: Soziotechnische Systeme verfügen über spezifische Eigenschaften und Charakteristika, die es zu berücksichtigen gilt. Der Begriff hat seinen Ursprung bereits Anfang der 1950er Jahre [TB51], [Tri63] und wird seitdem stetig weiterentwickelt. Im Zuge der Debatte um digitalisierte Arbeitswelten gewinnt er stark an Dynamik und an Bedeutung. Denn er bezieht sich auf das Zusammenspiel von technischen und nicht-technischen Elementen [HW14, S. 10]. Dabei sollten die wechselseitigen Beziehungen zwischen Mensch und Maschine betont werden, um technische und soziale Arbeitsbedingungen so zu fördern, dass sich Effizienz und humane Arbeitsbedingungen nicht mehr widersprechen [Rop99, S. 186]. Bild 2-10 gibt einen Überblick über die Entwicklung der soziotechnischen Systemtheorie mit ausgewählten Meilensteinen.

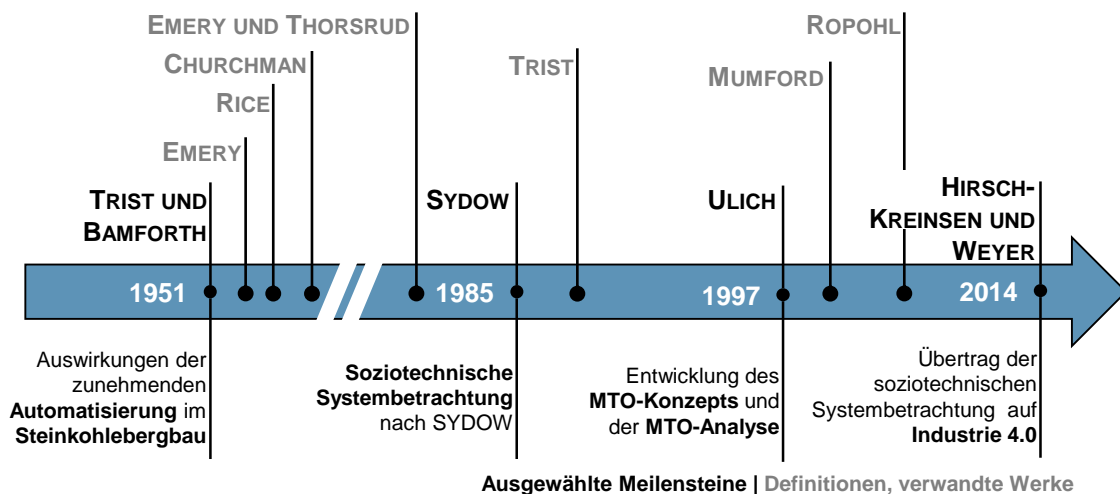


Bild 2-10: Meilensteine der soziotechnischen Systemtheorie

TRIST und BAMFORTH legten mit ihren Untersuchungen der zunehmenden Automatisierung im Steinkohlebergbau den Grundstein der soziotechnischen Systemtheorie [TB51, S. 3ff.]. Da die erstmals automatisierten Produktionsprozesse nicht wie erwartet zu Rationalisierung und besserer Wirtschaftlichkeit führten, wurden zum ersten Mal soziotechnische Betrachtungen vorgenommen. Durch die Einführung neuer Technologien wurden

die etablierten und effizienten Formen der Arbeitsorganisation zerbrochen [Har15, S. 11]. Dieses Beispiel macht deutlich, wie wichtig ein ganzheitliches Verständnis des Zusammenwirkens sozialer, organisatorischer und technischer Teilsysteme bei der Einführung von neuen Technologien in die Arbeitswelt ist.

SYDOW greift diese Gedanken auf und stellt die wesentlichen Aspekte der soziotechnischen Systemtheorie von Arbeitssystemen zusammenfassend dar [Syd85, S. 26ff.]. Demnach wird das Arbeitssystem in ein technisches und ein soziales Subsystem unterteilt. Dem technischen Teilsystem werden Aufgaben und Technologien zugeordnet, dem sozialen Teilsystem die Mitglieder und deren Rollen. Die Teilsysteme stehen dabei in gegenseitiger Abhängigkeit zueinander [HW14, S. 11], [Hir15, S. 90]. MUMFORD ergänzt dazu, dass beim Entwurf von neuen Arbeitssystemen den sozialen und technischen Herausforderungen die gleiche Priorität beizumessen ist [Mum00, S. 125].

ULICH entwickelte aufbauend auf den skizzierten grundlegenden Arbeiten das Mensch-Technik-Organisation-(MTO)-Konzept [Uli97], [Uli11, S. 85ff.]. Dieses Konzept geht davon aus, dass die drei genannten Perspektiven in ihrer gegenseitigen Abhängigkeit und in ihrem Zusammenwirken zu betrachten sind [Uli13, S. 5]. Er betont in seinen Arbeiten das Primat der Arbeitsaufgabe und stellt es in den Mittelpunkt des MTO-Konzepts. Die Aufgabe verbindet den Menschen sowohl mit der Technik als auch mit den organisationalen Strukturen [Uli13, S. 6]. ULICH postuliert drei grundlegende Prinzipien soziotechnischer Systemgestaltung: 1) Bildung relativ unabhängiger Organisationseinheiten, 2) Zusammenhang der Aufgaben in der Organisationseinheit und 3) Einheit von Produkt und Organisation. Auf dieser Basis entwickelte ULICH die MTO-Analyse, mit deren Hilfe eine ganzheitliche Bewertung von Unternehmen möglich ist [Uli13] (vgl. Kapitel 3.2.1.2).

HIRSCH-KREINSEN und WEYER beziehen den soziotechnischen Systemansatz schließlich auf Industrie 4.0. Sie legen den Blick auf die Produktionsarbeit und betrachten in diesem Zusammenhang Industrie 4.0 ebenfalls als soziotechnisches System. Darunter verstehen die Autoren eine Produktionseinheit, welche aus interdependenten technologischen, organisatorischen und personellen Teilsystemen besteht [HW14, S. 11]. Dabei beziehen sie sich auf die Arbeiten von RICE [Ric63]. Dies zeigt Bild 2-11.

Demnach geht vom technologischen Teilsystem eine begrenzende Wirkung auf die anderen beiden Teilsysteme aus. Nichtsdestotrotz weisen diese eigenständige soziale und arbeitspsychologische Eigenschaften auf, welche das technologische Teilsystem beeinflussen. Das soziotechnische Gesamtsystem wird als Element eines übergeordneten Wertschöpfungsprozesses betrachtet und folgt übergeordneten strategischen Variablen.

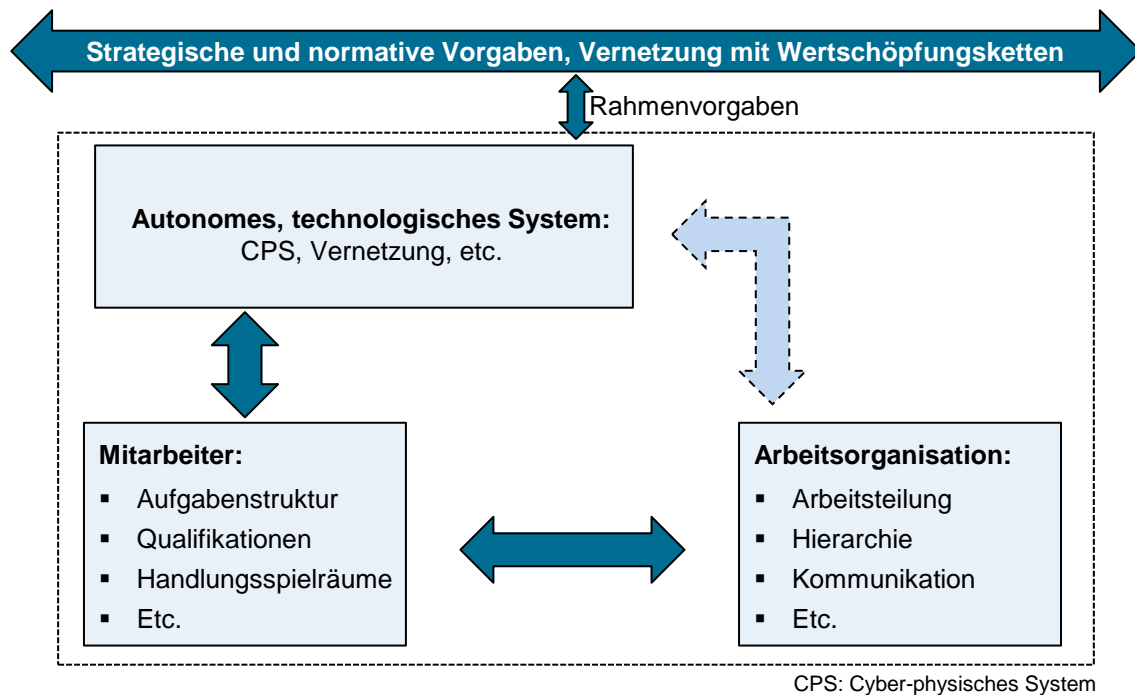


Bild 2-11: Industrie 4.0 als soziotechnisches System nach HIRSCH-KREINSEN und WEYER [HW14, S. 12]

Dieses Konzept bringt zum Ausdruck, dass es bei der Analyse und Gestaltung solcher Systeme unzureichend ist, nur einzelne technische oder nicht-technische Elemente zu betrachten. Die Leistungsfähigkeit soziotechnischer Systeme kann insbesondere dann verbessert werden, wenn die sozialen und technischen Aspekte zusammengebracht und als voneinander abhängige Teilsysteme betrachtet werden [Cle00, S. 464].

Gemeinsames Kernmerkmal der genannten Ansätze ist die integrative Betrachtung der Perspektiven Mensch, Technik und Organisation. Die Perspektive Mensch bezieht sich nach HIRSCH-KREINSEN und WEYER auf Aufgabenstrukturen, Qualifikationen, Handlungsspielräume, etc. [HW14, S. 12]. Dies entspricht im Wesentlichen der ersten Betrachtungsebene der Arbeitswelt (vgl. Abschnitt 2.2.2). Die Organisation umfasst Aspekte wie Arbeitsteilung, Hierarchie, Kommunikation und kann im weitesten Sinne der zweiten und dritten Ebene zugeordnet werden (vgl. Abschnitte 2.2.3 und 2.2.4). Die Technik kann hier gleichgesetzt werden mit den Technologiefeldern der Digitalisierung (vgl. Abschnitt 2.3.2). Diese Zuordnung verdeutlicht, warum digitalisierte Arbeitswelten als soziotechnisches System i.S. des MTO-Konzepts verstanden werden können. Bild 2-12 zeigt das Spannungsfeld Mensch, Technik und Organisation und die zentralen Handlungsfelder zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten, die sich daraus ableiten lassen.

In den Schnittstellen des Spannungsfelds ergeben sich drei zentrale Handlungsfelder, die zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten erfolgsentscheidend sind. Aus der Schnittmenge der Perspektiven Mensch und Technik ergibt sich die Mensch-Technik-Kooperation (vgl. Abschnitt 2.4.2). Dabei werden die Schnittstellen zwischen dem Menschen und technischen Systemen betrachtet.

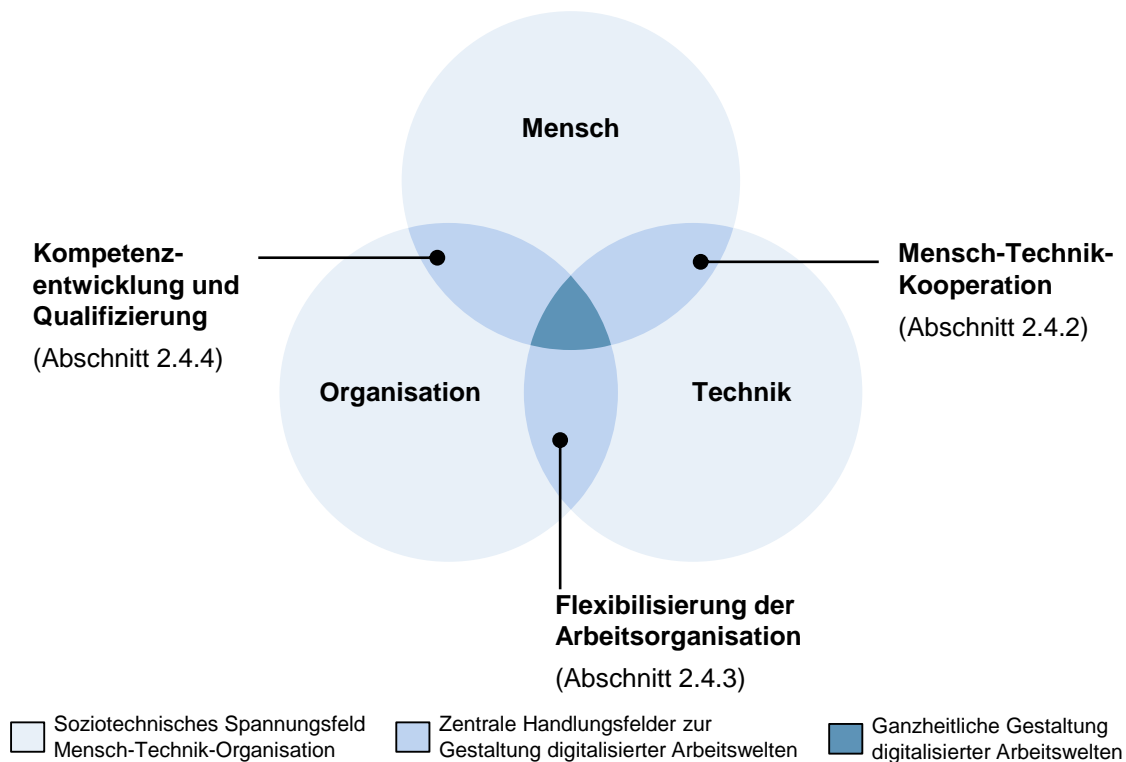


Bild 2-12: Zentrale Handlungsfelder zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in Anlehnung an [Uli11, S. 85ff.], [BHB+18, S. 181ff.]

Die Schnittstelle zwischen Technik und Organisation wirft die Frage auf, wie der technische Fortschritt die Flexibilisierung der Arbeitsorganisation ermöglicht und bewirkt (vgl. Abschnitt 2.4.3). Die Schnittstelle zwischen Mensch und Organisation bezieht sich auf eine dritte Kernherausforderung bei der Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten. Dabei steht die Frage im Fokus, über welche Kompetenzen und Qualifikationen die Beschäftigten verfügen müssen, um in der zukünftigen Organisation agieren zu können (vgl. Abschnitt 2.4.4).

So gilt es die Mensch-Technik-Kooperation, die Flexibilisierung der Arbeit sowie die Kompetenzentwicklung und Qualifizierung zu berücksichtigen [BHB+18, S. 181ff.]. Diese drei Themenfelder werden in den folgenden Kapiteln vorgestellt.

2.4.2 Mensch-Technik-Kooperation

Unter dem Begriff Mensch-Technik-Kooperation werden zwei Aspekte fokussiert. Zum einen die Mensch-Technik-Interaktion, zum anderen die Frage nach der verteilten Handlungsträgerschaft zwischen Mensch und Technik. Der Begriff *Mensch-Technik-Interaktion* umschreibt die Interaktions-, Bedienungs- und Kommunikationsprozesse zwischen menschlichen Handlungspersonen und technischen Systemen. Dies umfasst grundsätzlich alle technischen Systeme, die für den Menschen Aufgaben ausführen. Das können z.B. Kontaktschleifen bei bedarfsgesteuerten Ampeln sein oder Hilfsmittel für Sinnesorgane. Darunter fallen z.B. die Realität erweiternde Endgeräte [Tie16, S. 3].

RAZZAQ ET AL. verstehen unter Mensch-Technik-Interaktion die Kommunikation zwischen Mensch und System als zwei selbstständige Einheiten mittels eines *User Interfaces* (dt.: Benutzerschnittstelle) [RMQ+17, S. 462]. Das technische System setzt sich demnach aus vier Einheiten zusammen: Sensoren, Aktoren, Displays sowie einer verarbeitenden Einheit, die sich aus entsprechender Hard- und Software zusammensetzt. Analog dazu wird der Mensch als dreiteilige Einheit verstanden: Neben den Aktoren und Sensoren (z.B. Hand, Auge) werden seine kognitiven Eigenschaften als weitere relevante Einheit betrachtet. Der Mensch agiert dabei mit dem System mittels des *User Interfaces*. Dieses besteht ebenfalls aus Soft- und Hardware und ermöglicht dem Menschen die Eingabe von Input und die Aufnahme von Output aus dem System. Dabei unterscheiden die Autoren drei Arten von User Interfaces: text-basierte Interfaces (z.B. *Command Line Interface*, *Natural Language Interface*), grafische Interfaces (z.B. *Touch User Interface*, *Attentive User Interface*) sowie sog. Emerging User Interfaces (z.B. *Brain-Computer Interface*, *Motion Tracking Interface*) [RMQ+17, S. 462ff.]. Es wird deutlich, dass im Kontext des digitalen Wandels neuartige digitale Arbeitsmittel entstehen. Daher kommt dem Thema bei der Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten eine hohe Bedeutung zu. Dies wird durch die Einschätzungen von BAUER ET AL. unterstrichen, wonach die Potentiale von Industrie 4.0 nur durch die partnerschaftliche Kooperation von Mensch und Technik umfassend genutzt werden können, sodass u.a. der Mensch-Technik-Interaktion zukünftig zentrale Bedeutung zukommt [BHB+18, S. 182].

Mit diesen werden neue Interaktionsformen und Formen der Funktionsverteilung zwischen Mensch und System möglich [HHI16, S. 12], sodass sich die Frage nach der verteilten Handlungsträgerschaft zwischen Mensch und Technik stellt. Zudem werden die Aufgaben, die durch die digitalen Arbeitsmittel übernommen werden können, immer komplexer. Vor diesem Hintergrund ist es bei der Gestaltung und dem Einsatz solcher Arbeitsmittel eine der wesentlichen Herausforderungen zu klären, inwieweit die beteiligten Handlungspersonen überhaupt in der Lage sind, die Systeme zu bedienen und somit auch die Verantwortung zu übernehmen [Gro09, S. 154ff.]. Zudem können schnell die Grenzen der technischen Beherrschbarkeit dieser neuartigen Systeme erreicht werden [Hir15, S. 90]. Denn: Durch die zunehmende Komplexität der ausgeführten Funktionen wird die funktionale und informelle Distanz zum Systemablauf sehr groß. Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass die beteiligten Handlungspersonen den Gesamtprozess handhaben und im Störfall eingreifen können. Zudem kann es zu fehlerhaften Eingriffen in automatisierten Abläufen kommen [LS09, S. 418ff.]. In diesem Zusammenhang wird in der Automatisierungsforschung von *ironies of automation* gesprochen [Bai82, S. 129ff.]. Demnach können automatisierte Abläufe aufgrund des hohen Routinegrades im Fall von Störungen zu schwer bewältigenden Arbeitssituationen führen [Hir15, S. 90].

Daraus ergeben sich zwei zentrale Herausforderungen im Kontext der Mensch-Technik-Kooperation. Zum einen ist die Gestaltung der verteilten Handlungsträgerschaft zwischen den technischen und menschlichen Teilsystemen eine der Kernherausforderungen. RAM-

MERT fordert in seinem Konzept des verteilten Handelns, dass die funktionale Aufgabenverteilung zwischen Mensch und System durch fünf Merkmale charakterisiert sein sollte: 1) Die Problembearbeitung erfolgt parallel statt sequenziell, 2) die Organisation der Arbeit erfolgt weitestgehend autonom statt durch hierarchische Vorstrukturierung bestimmt zu sein, 3) die integrierten Elemente sind fest gekoppelt statt eng verzahnt, 4) die Aktivitäten werden situativ auf ein technisches System oder den Menschen verteilt sowie 5) die Mensch-Technik-Interaktion erfolgt interaktiv statt durch feste Parameter [Ram03, S. 18f.]. Zum anderen stellt sich die Frage nach neuen Qualifikationsanforderungen der beteiligten Handlungspersonen. Es werden Qualifikationen erforderlich, die nicht im Routinebetrieb automatisierter Abläufe erworben werden können. HIRSCH-KREINSEN fordert für die Mensch-Technik-Interaktion im Umfeld des Shopfloors ein Qualifikationsprofil, was durch eine Kombination von theoretischem und praktischem Erfahrungswissen charakterisiert ist [Hir15, S. 91].

TIEMANN deutet in seinen Ausführungen an, dass es zudem eine Vielzahl sehr heterogener Handlungsfelder bei der Gestaltung von Mensch-Technik-Interaktion zu bedienen gilt. U.a. nennt er die Klärung von Haftungsfragen bei schwerwiegenden Unfällen, Überwachungsmöglichkeiten durch die enge Kopplung mit Sensoren oder die Bevormundung von Menschen durch autonom intervenierende Systeme als Wagnisse [Tie16, S. 9]. Daraus leitet der Autor drei zentrale Handlungsräume ab: Technikverständnis fördern, Abschätzung gesellschaftlicher Auswirkungen sowie die interdisziplinäre Gestaltung neuer Schnittstellen. ACATECH identifiziert vier Handlungsfelder aus dem Kontext sozialer, ethischer und rechtlicher Aspekte zur Gestaltung der Mensch-Technik-Interaktion. Darunter fallen die Handlungsfelder Akzeptanz, rechtliche Rahmenbedingungen, Standardisierung und informelle Erwartungen, Datennutzung und Datenschutz sowie Ausgestaltung guter Arbeit [Aca16a, S. 57ff.].

2.4.3 Flexibilisierung der Arbeitsorganisation

Produzierende Unternehmen sind durch die zunehmende Digitalisierung und Globalisierung mit dynamischen Beschaffungs- und Absatzmärkten konfrontiert. Dies hat schnelle und häufige Änderungen von Rahmenbedingungen und Kundenanforderungen zur Folge. Dies wirkt sich unmittelbar auf die Arbeitsabläufe aus; es entstehen flexible und vernetzte Umfeldler. Die involvierten Handlungspersonen müssen zunehmend unregelmäßig auftretende und zugleich komplexe Arbeiten ausführen [BHB+18, S. 182]. Zudem ist eine Zunahme der bereichsübergreifenden und teamorientierten Zusammenarbeit zu erwarten [Mkc18, S.4]. Es entsteht ein hoher Bedarf an einer Flexibilisierung der Arbeitsorganisation, um den skizzierten Herausforderungen gerecht zu werden. Dieser Bedarf wird durch die in Kapitel 2.3.3 vorgestellten Veränderungstreiber *Agilität*, *Entgrenzung* und *Flexibilisierung der Wertschöpfungsorganisation* untermauert. In der Folge müssen Unternehmen der produzierenden Industrie erhebliche organisationale Veränderungen vornehmen, um weiterhin wettbewerbsfähig zu bleiben [Mkc18, S. 4].

Dabei kristallisiert sich der Trend „Agilität“ in den letzten Jahren zu einem zentralen Managementthema heraus. Im Kern steht ein Paradigmenwechsel von „mechanischen“ zu „organischen“ Organisationen. Die zentrale Idee ist es, Unternehmen zu befähigen flexibel zu agieren und sich schnell zu verändern, um somit auch in zunehmenden dynamischen Unternehmensumfeldern handlungsfähig zu sein [Mkc18, S. 42]. In der Managementliteratur umfasst dies sowohl Organisationsstrukturen (z.B. agile Teams) als auch Arbeitsweisen (z.B. Scrum). Anstelle von hierarchisch gegliederten Abteilungen treten flexible Systeme, in denen sich die einzelnen Beschäftigten zwischen Teams und Projekten bewegen [Mkc18, S. 42]. Diese Grundidee ist in Bild 2-13 dargestellt.

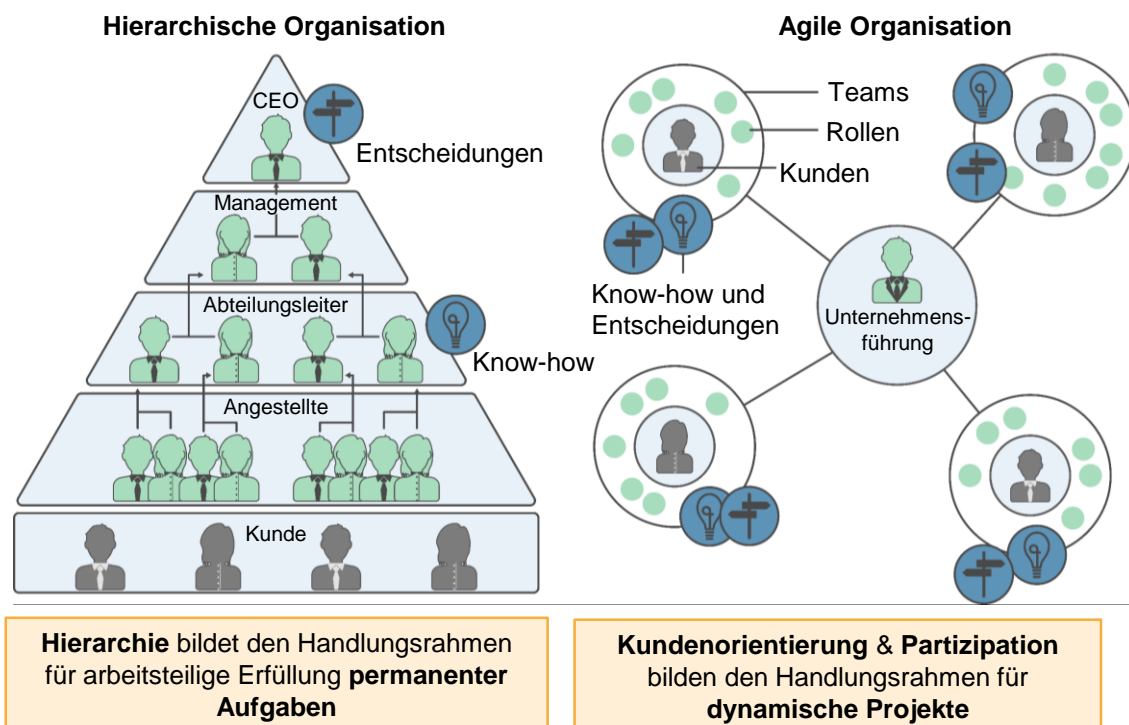


Bild 2-13: Paradigmenwechsel der Unternehmensorganisation in Anlehnung an [Mkc18, S. 42], [AOE19-ol]

In der klassischen Organisation herrschen hierarchische Strukturen und Linienverantwortungen vor. Die Hierarchie bildet dabei den Handlungsrahmen für die arbeitsteilige Erfüllung permanenter Aufgaben. Entscheidungen werden Top-down getroffen, das fachliche Know-how liegt in den Fachbereichen vor und damit nicht bei den Entscheidungsträgern. Der Kunde wird als externe Einheit verstanden.

Bei der agilen Organisation treten flexible Einheiten an die Stelle hierarchischer Strukturen. Diese Teams können weitestgehend autonom agieren und sind interdisziplinär zusammengesetzt. Damit sind Know-how- und Entscheidungsträger deutlich stärker miteinander verknüpft. Der Kunde kann dabei integraler Bestandteil des Teams sein. Diese Kundenorientierung und die hohe Partizipation der Mitarbeiter in den Teams bilden den Handlungsrahmen für dynamische Projekte. Die Teams verwenden agile Methoden wie Scrum und verfolgen agile Werte und Prinzipien (vgl. Abschnitt 2.3.3).

HIRSCH-KREINSEN beschreibt weitere Veränderungen in der Arbeitsorganisation. Dazu stellt er ein breites Spektrum unterschiedlicher Ansätze der Arbeitsorganisation in smarten Produktionssystemen vor [Hir15, S. 94]. Der Grundgedanke lässt sich auf alle Unternehmensbereiche übertragen. Das Spektrum wird durch zwei Extreme begrenzt. Zum einen durch die sog. *polarisierte Organisation*. Diese ist dadurch gekennzeichnet, dass es auf der einen Seite eine geringe Anzahl einfacher Tätigkeiten mit geringfügigem Handlungsspielraum gibt. Derartige Tätigkeiten können durch angelernte Handlungspersonen ausgeführt werden. Auf der anderen Seite entstehen qualifizierte Experten mit sehr hohem Handlungsspielraum. HIRSCH-KREINSEN verweist dabei auf eine widersprüchliche Kombination von Dezentralisierung und Aufgabenerweiterung auf der einen sowie Strukturierung und Standardisierung auf der anderen Seite. Das zweite Extrem des Spektrums wird durch die sog. *Schwarm-Organisation* gebildet. Diese setzt sich aus hoch qualifiziertem Personal mit hohen Handlungsspielräumen zusammen. Einfache Tätigkeiten sind weitestgehend automatisiert. Wesentliches Merkmal ist, dass den Handlungspersonen keine definierten Aufgaben zugewiesen werden. Vielmehr agiert das Arbeitskollektiv selbstorganisiert und je nach Aufgabenstellung höchst flexibel. Dadurch wird eine extrem hohe Flexibilität und Offenheit erreicht, wodurch unerwartete Stör- und Sondersituationen bewältigt werden können [Hir15, S. 94].

2.4.4 Kompetenzentwicklung und Qualifizierung

In der einschlägigen Literatur ist es allgemeiner Konsens, dass die Digitalisierung massive Veränderungen in den Kompetenz- und Qualifizierungsbedarfen nach sich zieht [Aca16b, S. 12ff.]. Der technologische Wandel substituiert, erweitert oder erfordert neue Berufsbilder [NA17, S. 80ff.]. Um die grundlegenden Hintergründe und Zusammenhänge dieser Veränderungen zu verstehen, identifizierten HIRSCH-KREINSEN ET AL. drei mögliche, sich ausschließende Entwicklungsszenarien von Arbeit. Diese beziehen sich auf das Qualifikationsniveau der Beschäftigten und deren Verteilung auf die Gesamtbelegschaft [HHI16, S. 7]:

Substitution von Arbeit: Das erste Szenario bezieht sich auf die Substitution von Arbeit. Zwar wird in der Literatur weitestgehend betont, dass es durch Industrie 4.0 keineswegs zur menschenleeren Fabrik kommt. Nichtsdestotrotz stimmen viele Autoren überein, dass insbesondere in der Produktion und Logistik viele gering qualifizierte und standardisierte Tätigkeiten automatisiert werden können [HHI16, S. 8]. Derartige Tätigkeiten weisen einen regel-orientierten Charakter auf, wodurch sie gut in Algorithmen überführt und damit durch technische Systeme ersetzt werden können [Zub88, S. 10f.]. Allerdings finden sich Autoren, die darüber hinaus davon ausgehen, dass auch qualifizierte Tätigkeiten mit kreativen und sozial-interaktiven Aufgaben Substituierbarkeitspotential aufweisen. Darunter fallen u.a. qualifizierte Fertigungsberufe [DM15, S. 13ff.]. Derartige Aussagen sind allerdings nur bedingt aussagekräftig. Denn: Geeignete Maße für die Substitution von menschlicher Arbeit durch Systeme existieren nicht. Daher werden oft subjektive Annahmen und Bewertungen von Tätigkeitsstrukturen getroffen [AGZ18, S. 6]. Dies beeinflusst

Studien-Ergebnisse stark [RT13, S. 215ff.]. Insgesamt würde sich in diesem Szenario die Belegschaft aus hoch qualifizierten und spezialisierten Handlungspersonen (z.B. Ingenieure, Facharbeiter mit Zusatzqualifikation) zusammensetzen.

Upgrading von Arbeit: Das zweite Szenario geht von einer umfassenden Aufwertung von Tätigkeiten und Qualifikationen bei einer gleichzeitigen Erhöhung der Selbstbestimmung der Handlungspersonen aus. Entsprechende Studien zeigen auf, dass durch die Digitalisierung positive Arbeitsmarkteffekte entstehen und neue Arbeitstätigkeiten die einzelnen Substitutionen bestehender Tätigkeiten überkompensieren [AGZ18, S. 7ff.], [Bcg15, S. 9]. Das Szenario umfasst grundsätzlich alle Berufsgruppen und führt insbesondere in den Wirtschaftszweigen Forschung und Entwicklung, IT-Dienste und Maschinenbau zu einem Beschäftigungsplus [KDV16, S. 107]. Viele Fähigkeiten und Kompetenzen sind in diesem Szenario aus technischer und wirtschaftlicher Sicht nur mit hohem Aufwand oder gar nicht zu substituieren [HHI16, S. 8]. Zudem wird dem Erfahrungswissen eine besondere Bedeutung zugewiesen [PS18, S. 275ff.], [PS15, S. 13ff.]. ARNTZ ET AL. schätzen dieses Szenario insbesondere für den Dienstleistungsbereich als wahrscheinlich ein [AGJ+16, S. 31ff.]. Dieses Szenario geht mit einer Dezentralisierung und Zusammenführung von bisher getrennten Funktionen der Planung, Ausführung und Kontrolle einher [HHI16, S. 8]. Die typische Belegschaft eines produzierenden Unternehmens ist in diesem Szenario als lockeres Netzwerk unterschiedlich qualifizierter Beschäftigter charakterisiert. Diese können weitestgehend autonom und selbstbestimmt agieren [Kur14, S. 109ff.].

Polarisierung von Arbeit: In diesem Szenario ergibt sich eine Schere zwischen komplexen Tätigkeiten mit hohen Qualifikationsanforderungen und einfachen Tätigkeiten mit entsprechend niedrigen Anforderungen an das Qualifikationsprofil der Handlungspersonen. Dabei verliert das mittlere Qualifikationsprofil an Bedeutung. Das Szenario umfasst eine Aufwertung von Qualifikationen, eine Substitution von Tätigkeiten sowie den Erhalt und die Entstehungen von Tätigkeiten mit geringen Qualifikationsanforderungen. Dies entsteht zum einen daraus, dass durch die zunehmende Digitalisierung von Prozessen die verbleibenden Tätigkeiten für die Handlungspersonen stark vereinfacht werden. Zudem werden die Handlungsspielräume aufgrund von Systemvorgaben eingeschränkt. Auf der anderen Seite erfahren systemübergreifende Steuerungs- und Kontrollaufgaben eine extreme Aufwertung [HHI16, S. 9]. Die mittlere Qualifikationsebene reduziert sich deutlich und führt Aufgaben aus, die aus technischen oder wirtschaftlichen Gründen nicht automatisiert werden können. Diesem Szenario wird in der Literatur insgesamt eine hohe Eintrittswahrscheinlichkeit zugesagt [AD13, S. 1573ff.], [PN13, S. 6f.]. Die Belegschaftssituation ist in diesem Szenario durch zwei Pole gekennzeichnet: hochqualifizierte Experten auf der dispositiven Ebene sowie angelernte bzw. abgewertete Fachkräfte auf der ausführenden Ebene. In der operativen Ebene kommt es zu einer Erosion der mittleren Fachqualifikation [HHI16, S. 7]. Dieses Szenario wird von ARNTZ ET AL. besonders im Produktionsumfeld gesehen. Demnach gibt es sowohl einen Trend zur Höherqualifizierung

als auch zur Dequalifizierung. Dabei wird der Mensch in einigen Bereichen zum Assistenten digitaler Arbeitsmittel mit geringem Handlungsspielraum und sinkenden Anforderungen [AGJ+16, S. 31ff.]. ARNTZ ET AL. untersuchten in diesem Zusammenhang das Substituierungsrisiko von Berufen in 21 Ländern. Das wesentliche Ergebnis ist in Bild 2-14 festgehalten.

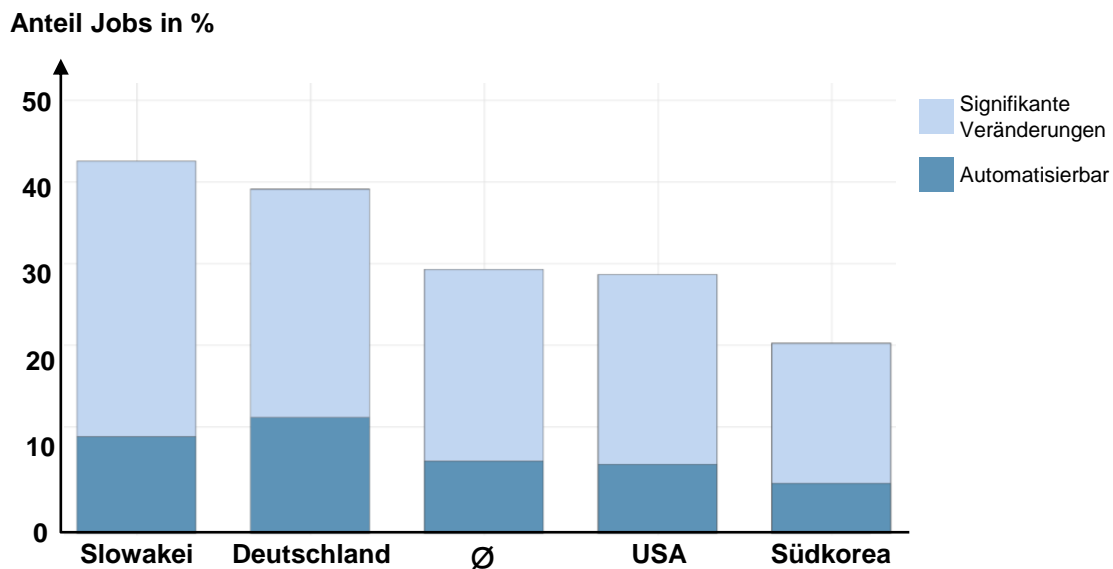


Bild 2-14: Digitalisierung führt zu signifikanten Veränderungen von Berufen in Anlehnung an [AGZ16, S. 16] (Auszug)

Demnach sind 9% aller Jobs potentiell automatisierbar [AGZ16, S. 25]. In Deutschland liegt dieser Wert bei 12%. Als potentiell automatisierbar zählt ein Beruf dann, wenn 70% der Arbeitstätigkeiten automatisierbar sind [AGZ16, S. 12ff.]. Der Anteil derjenigen Berufe, welche zwischen 50% und 70% substituierbare Aufgaben aufweisen, ist dagegen deutlich höher [AGZ16, S. 12ff.]. Diese Werte werden als signifikante Veränderungen interpretiert. In Deutschland sind somit in Summe über 42% der Berufe stark oder signifikant von der Digitalisierung betroffen.

Während die vorgestellten Entwicklungsszenarien das allgemeine Qualifikationsniveau nur generisch betrachten, finden sich in der Literatur unzählige Aussagen, wie sich die Kompetenzbedarfe vor dem Hintergrund der Digitalisierung entwickeln.

LEVY und MURNANE beschreiben, dass die relative Bedeutung sowohl von manuellen als auch von kognitiven Routineaufgaben seit den 1960er Jahren massiv abgenommen hat. Die gleiche Entwicklung beobachteten die Autoren für kognitive Routineaufgaben. Die Arbeit mit neuen Informationen und das Lösen von unstrukturierten Daten nimmt dagegen signifikant zu [LM13, S. 21]. Diese Tätigkeiten lassen sich der kognitiven Nichtroutine zuordnen. Dies ist ein Indiz dafür, dass sich der digitale Wandel der Arbeitswelt maßgeblich in der Wissensarbeit abspielt.

ARNTZ ET AL. untersuchten, wie sich Tätigkeiten im Zuge von Automatisierung und Digitalisierung verändern. Dazu wurden 22 Tätigkeitsfelder in den drei Kategorien *Routine*, *Manuell* und *Abstrakt* untersucht [AGJ+16, S. 21ff.]. Diese Einteilung beruht auf den Forschungen von ROHRBACH-SCHMIDT und TIEMANN [RT13] und entspricht weitestgehend der in Kapitel 2.2.2 vorgenommenen Klassifizierung von Arbeitstätigkeiten. Dabei stellten die Autoren fest, dass Routineaufgaben durch Technologien der Digitalisierung an Bedeutung verlieren. Im Produktionsumfeld gilt dies generell für manuelle Aufgaben. Dagegen gewinnen abstrakte Tätigkeiten stark an Bedeutung. Dabei fällt auf, dass insgesamt alle befragten Unternehmen über alle 22 Tätigkeitsfelder von einer Zunahme der Arbeit ausgehen. Dies lässt sich als Indiz für eine zunehmende Arbeitsverdichtung interpretieren [AGJ+16, S. 23]. Insgesamt werden Arbeitsinhalte in Zukunft anspruchsvoller, vielfältiger und komplexer.

Auch ACEMOGLU und AUTOR gehen vor dem Hintergrund der Digitalisierung von einem Tätigkeitswandel aus. Demnach verliert menschliche Routinetätigkeit im Verhältnis zu menschlicher Nichtrounetätigkeit an Bedeutung. Dies hat zwei mögliche Auswirkungen. Zum einen kann die Beschäftigung in Berufen mit hohem Anteil an Routinetätigkeiten im Verhältnis zu Berufen mit hohem Anteil an Nichtrounetätigkeiten sinken. Dies kann mit einer Lohnpolarisierung einhergehen, da Routinetätigkeiten insbesondere in den mittleren Einkommensgruppen stark ausgeprägt sind. Zum anderen können sich die Tätigkeitsstrukturen innerhalb der Berufe verändern [AA11, S. 1070ff.].

Darüber hinaus zeigen ARNTZ ET AL. auf, dass der skizzierte Tätigkeitswandel auch die benötigten Kompetenzen verändert [AGJ+16, S. 27ff.]. So gewinnen übergreifende Kompetenzen wie Prozess-Know-how oder interdisziplinäre Arbeitsweisen an Bedeutung. Die zunehmende Komplexität in der Arbeitswelt hat auch zur Folge, dass das kontinuierliche Erlernen neuer Fähigkeiten und Kompetenzen deutlich wichtiger wird. Als Folge steigen geistige Belastungen, während physische sinken. So haben sich die Arbeitsunfähigkeitstage aufgrund von psychischen Störungen im Zeitraum zwischen 2004 und 2014 mehr als verdoppelt (+129%) [KP15, S. 13].

Die Unternehmensberatung McKinsey geht davon aus, dass die bereits in den vergangenen 15 Jahren zu beobachtende Verschiebung der Qualifikation der Erwerbstätigen sich durch die Digitalisierung weiter beschleunigt. Den höchsten Nachfrageanstieg verzeichnen dabei die technologischen Fähigkeiten. In dieser Kategorie werden demnach 2030 17% aller geleisteten Arbeitsstunden verzeichnet, während es 2016 lediglich 11% waren. Dementsprechend wird die Nachfrage nach technologischen Fähigkeiten (z.B. Programmieren) steigen. Darüber hinaus wird ein Anstieg der Nachfrage nach sozialen, emotionalen sowie kreativen Fähigkeiten erwartet [Mkc18, S. 4].

Insgesamt lässt sich festhalten, dass Studien zur Abschätzung der Auswirkungen von Digitalisierung auf Beschäftigung zu elementar unterschiedlichen Ergebnissen kommen [VDI16, S.12]. Wesentliche Erkenntnis aus den Ausführungen ist daher, dass sich keine

klaren Entwicklungen abzeichnen lassen. Die Auswirkungen einer umfassenden Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien in Bezug auf das Qualifikationsniveau der Beschäftigten sind unbekannt. Dementsprechend ist Unternehmen unklar, wie sie in Bezug auf die Befähigung ihrer Beschäftigten agieren müssen.

Fazit: Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien haben vielschichtige und weitreichende Auswirkungen. Sie verändern die Mensch-Technik-Kooperation (vgl. Abschnitt 2.4.2), ermöglichen bzw. erfordern neue Arbeitsmethoden, verändern organisationale Strukturen sowie Prozesse (vgl. Abschnitt 2.4.3) und führen zu neuen Anforderungen an Beschäftigte (vgl. Abschnitt 2.4.4). Zudem lässt sich festhalten, dass die Auswirkungen der Anwendungsszenarien heterogen sind und von den spezifischen Szenarien abhängen. Vor diesem Hintergrund sind konkrete Gestaltungsoptionen undurchsichtig und unklar. Daher bedarf es eines **Ordnungsrahmens für die Gestaltungsfelder digitalisierter Arbeitswelten**.

2.5 Chancen und Hemmnisse digitalisierter Arbeitswelten

In den vorangegangenen Kapiteln wurde der digitale Wandel der Arbeitswelt in produzierenden Unternehmen beschrieben und in Form von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien konkretisiert. Zudem wurden digitalisierte Arbeitswelten als soziotechnisches System eingeführt. Vor diesem Hintergrund werden in Abschnitt 2.5.1 die Chancen für die industrielle Anwendung herausgearbeitet. In Abschnitt 2.5.2 werden Herausforderungen und Umsetzungsbarrieren analysiert, mit denen Unternehmen bei der nachhaltigen Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien konfrontiert sind. In Abschnitt 2.5.3 wird der Status von digitalisierten Arbeitswelten in der industriellen Praxis dargestellt.

2.5.1 Chancen digitalisierter Arbeitswelten

Der Nutzen und Wertbeitrag von digitalisierten Arbeitswelten lässt sich den in Kapitel 2.2.1 vorgestellten drei Ebenen von Arbeitswelten zuordnen. Dazu werden im Folgenden für jede der Ebenen Beispiele vorgestellt, welchen Nutzen digitalisierte Arbeitswelten stiften können.

Arbeitssystem: Eine von ARNTZ ET AL. durchgeführte Unternehmensbefragung ergab, dass durch die Anwendung von digitalen Technologien die Chance auf eine Erhöhung der Arbeitsproduktivität gesehen wird [AGZ18, S. 29]. Dazu konkretisieren KRZYWDZINSKI ET AL., dass der Einsatz von mobilen Robotern und von Assistenzsystemen Fließbandarbeiter von repetitiven und monotonen Tätigkeiten entlasten können [KJP15, S. 8]. Auch das INSTITUT FÜR ARBEITSMARKT- UND BERUFSFORSCHUNG geht davon aus, dass die Steigerung der Arbeitsproduktivität eine der Chancen im Kontext von Arbeit 4.0 ist [IAB15, S. 25ff.]. Demnach ersetzen Maschinen zunehmend den Faktor Mensch, was zu einer Optimierung der Entscheidungsfindung, Erhöhung der Arbeitsproduktivität und damit zu einer Kosteneinsparung führt [Pro16, S. 70]. Die ECONOMIST IN-

TELLIGENCE UNIT führte 2013 eine Umfrage unter 241 globalen Führungskräften zur Einschätzung der Nutzung von Big Data durch. Demnach führt die Nutzung von Big Data zu einer schnelleren und besseren Entscheidungsfindung (63%), zu einer Erschließung bisher unbekannter Geschäftsmöglichkeiten (45%) und zu einer schnelleren Identifikation und Nutzung von Chancen (37%) [EIU12, S. 3].

Geschäftsprozesse und Organisationsstrukturen: ARNTZ ET AL. sehen im Bereich der Geschäftsprozesse und Organisationsstrukturen durch die Anwendung von digitalen Technologien die Möglichkeit, individuelle Kundenwünsche besser zu erfüllen. Auch die Möglichkeit, neue Produkte und Dienstleistungen anzubieten, wird als Chance gesehen [AGZ18, S. 29]. BAUER und SCHLUND sehen für die Bereiche Engineering und Produktentwicklung durch die zunehmende Digitalisierung die Chance, Medienbrüche zu senken, Kommunikationskosten zu reduzieren, Dokumentationen zu vereinfachen und Entscheidungen transparenter zu gestalten [BS18, S. 90f.]. Das INSTITUT FÜR ARBEITSMARKT- UND BERUFSFORSCHUNG geht zudem von einer minimierten Lagerhaltung aus. Dies ergibt sich durch die erhöhte Flexibilität, welche durch eine höhere Vernetzung der beteiligten Einheiten entsteht. Dies ermöglicht z.B. eine flexible Anpassung an Marktschwankungen [IAB15, S. 25ff.]. FALCK ET AL. sehen darüber hinaus das Potential, durch den Einsatz von digitalen Lösungen die Ressourcenproduktivität und -effizienz zu erhöhen. So können z.B. stromintensive Produktionsabläufe zeitweise verschoben werden, wenn kurzfristig stark gestiegene Strompreise dies erfordern. Voraussetzung dafür sind vernetzte Systeme, denen Informationen über die Strompreise in Echtzeit übermittelt werden können [Ifo15, S. 17]. DELOITTE verdeutlicht das Potential von digitalisierten Prozessen am Beispiel des Einkaufs. In einer Befragung von Einkaufsleitern sehen derzeit 50% einen Einfluss von Automatisierung bei der Effizienzsteigerung von Einkaufsprozessen. Für die nächsten zehn Jahren steigt dieser Wert auf 93% [Del17, S. 27].

Wertschöpfungssystem und Unternehmensumfeld: LEIMEISTER ET AL. untersuchen die Potentiale des Crowdsourcing. Dieser Begriff beschreibt die Vergabe von Unternehmensaufgaben an eine breite Masse von Menschen über digitale Plattformen [How06, S. 1]. Dabei werden insbesondere die erhöhte Flexibilität durch die bedarfsorientierte Nutzung der Crowd, der Erwerb innovativer Lösungsansätze für interne Aufgaben sowie die schnellere Aufgabenabwicklung als Chancen identifiziert [LZD+15, S. 156]. Die zunehmende Digitalisierung ermöglicht eine bisher unbekannte horizontale Vernetzung der Produktion. Grundlage dafür sind sog. cyber-physische Systeme (CPS). Darunter werden vernetzte Systeme verstanden, welche Daten erfassen, verarbeiten und interpretieren sowie auf weltweit verfügbare Dienste zurückgreifen können. Zudem wirken solche Systeme auf physikalische Vorgänge ein und verfügen über multimodale Mensch-Maschine-Schnittstellen [Lee08, S. 1]. Auf dieser Grundlage können Fertigungseinheiten über Betriebs- und Unternehmensgrenzen hinweg gebildet werden. Darüber hinaus ermöglicht die Integration vertikaler und horizontaler Wertschöpfungsketten die Optimierung von Waren- und Informationsflüssen sowohl innerhalb des Unternehmens als auch entlang

der Wertschöpfungskette. So können z.B. intelligente Maschinen autonom ihren Materialbedarf ermitteln und entsprechende Bestellungen auslösen [Pro16, S. 71], [IAB15, S. 14].

2.5.2 Hemmnisse bei der Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten

Trotz der herausragenden Chancen von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien gibt es bei der nachhaltigen Einführung massive Hemmnisse und Barrieren. Dabei gibt es zum einen solche Hemmnisse und Barrieren, die sich den drei Ebenen von Arbeitswelten zuordnen lassen und zum anderen solche, die allgemeiner Natur sind. Diese werden im Folgenden beispielhaft dargestellt.

Arbeitssystem: ARNTZ ET AL. ermitteln in einer Unternehmensbefragung, dass sich durch digitale Technologien die Aus- und Weiterbildungsinhalte im Betrieb verändern. Zudem steigt der Weiterbildungsbedarf der Beschäftigten. Ein Mangel an geeigneten Fachkräften und eine Erhöhung der psychischen Arbeitsbelastung für die Beschäftigten werden als ein eher geringes Hemmnis gesehen [AGZ18, S. 29]. Im Gegensatz dazu betonen WETZEL sowie GEORG und HELLINGER, dass durch den digitalen Wandel der Arbeitswelt neue physische und psychische Belastungen für Beschäftigte produzierender Unternehmen entstehen. Als mögliche Auslöser werden zunehmende flexibilisierende Arbeitszeitregelungen, gleichzeitige Verrichtung mehrerer Tätigkeiten und zunehmende Erreichbarkeiten identifiziert [Wet15, S. 117ff.], [GH15, S. 59].

Geschäftsprozesse und Organisationsstrukturen: In einer Unternehmensbefragung der KfW Bankengruppe wurde als größtes Digitalisierungshemmnis (33%) die Anpassung der Unternehmens- und Arbeitsorganisation an digitalisierte Arbeitsweisen genannt. Die hohen Anforderungen an Datensicherheit und Datenschutz (31%) sowie die mangelnde IT-Kompetenzen und Verfügbarkeit von IT-Fachkräften auf dem Arbeitsmarkt (28%) wurden an zweiter und dritter Stelle genannt [Zim17, S. 8]. Auch ARNTZ ET AL. identifizieren höhere Aufwendungen für Datenschutz und Cybersecurity als ein Hemmnis digitaler Technologien [AGZ18, S. 29]. Darüber hinaus weist WETZEL auf die Unklarheiten im Bereich der IT-Sicherheit und im Datenschutz hin [Wet15, S. 17]. LUCKS sieht in diesem Zusammenhang die Datensicherheit als Begrenzungsfaktor der technologischen Weiterentwicklung im Kontext der Digitalisierung [Luc17, S. 16].

Wertschöpfungssystem und Unternehmensumfeld: ARNTZ ET AL. identifizieren die Erhöhung der Abhängigkeit von Fremdleistungen als Hemmnis bei der Einführung digitaler Technologien [AGZ18, S. 29]. KAGERMANN ET AL. betonen, dass es an Leitlinien für den erfolgreichen Wandel der alten Organisationsstrukturen zu Wertschöpfungsnetzwerken mangelt [KWH13, S. 28]. Auch der konstruktive und faire Umgang der Netzwerkpartner ist ein potentiell Hemmnis in Bezug auf die Entwicklung von starren Lieferketten hin zu Broker-Netzwerken (vgl. Abschnitt 2.3.3) [Luc17, S. 16].

Allgemeine Barrieren: In einer branchenübergreifenden Befragung von Führungskräften identifizierten FITZGERALD ET AL. unklare Rollen und Verantwortlichkeiten als eine zentrale Herausforderung bei der Einführung von digitalen Technologien im Unternehmenskontext. Darüber hinaus werden fehlende Visionen, kulturelle Herausforderungen, mangelnde rechtliche Rahmenbedingungen, veraltete IT-Systeme sowie das Agieren in unternehmerischen „Silos“ als Hemmnisse genannt. Zudem wurden fehlende Budgets als zentrale Hemmnisse aufgeführt [FKB+13, S. 7]. Der hohe Investitionsbedarf von digitalen Technologien wird auch von ARNTZ ET AL. als Hemmnis genannt [AGZ18, S. 29]. Eine Studie der INDUSTRIE UND HANDELSKAMMER verdeutlicht, dass bei produzierenden Unternehmen Unsicherheiten in Bezug auf Handlungsfelder des digitalen Wandels der Arbeitswelt vorliegen. Darunter fallen Aspekte bzgl. Rechtsfragen, IT-Sicherheit, IT-Infrastruktur oder Qualifikationsanforderungen [DIH15, S. 3f.]. Generell werden 7 von 10 digitalen Projekten als Drahtseilakt betrachtet [Fuj16, S. 7]. HOBERG ET AL. zeigen zudem auf, dass es der Entwicklung neuer Geschäftsmodelle und entsprechender Kompetenzen bedarf [HWO+18, S. 68f.]. KING hat Barrieren der Nutzung von Big Data im Unternehmenskontext untersucht. Diese lassen sich grundsätzlich auch auf andere Technologien übertragen. Dabei wurden sechs Barrieren-Kategorien identifiziert [Kin13, S. 148ff.]: Daten (z.B. Zugang, Qualität), Ethik (z.B. Interessenkonflikte, Eigentumsrechte), Gesellschaft/Kultur (z.B. Sensibilität der Privatsphäre, Vertrauen in die Stakeholder), Organisation (z.B. große Anzahl an Stakeholdern, Organisationskultur) sowie die Rechtslage (z.B. inkonsistente Rechtslage, Datenrechte bei Zukauf und Verkauf).

2.5.3 Verbreitung von digitalen Lösungen in der Arbeitswelt

Die Verbreitung von digitalen Technologien in der Arbeitswelt wird zunächst anhand von Studien analysiert. ARNTZ ET AL. untersuchten die Nutzung von digitalen Technologien in deutschen Betrieben. 17,6% der Befragten sagten aus, dass die Nutzung solcher Technologien zentraler Bestandteil des Geschäftsmodells ist, weitere 33,9% nutzen derartige Technologien. 31,4% haben sich noch nicht mit diesen Technologien beschäftigt [AGZ18, S. 19]. Die Verbreitung von digitalen Arbeitsmitteln (selbststeuernd, IT-integriert) ist derzeit sowohl im Officefloor (7,8%) als auch im Shopfloor (5,1%) relativ gering. Allerdings zeichnet sich im Officefloor eine Verdopplung des Anteils in den nächsten fünf Jahren ab (auf 13,4%). Auch im Shopfloor wird ein starker Anstieg des Anteils erwartet, allerdings deutlich geringer als der Anstieg im Officefloor (auf 7,9%) [AGZ18, S. 21]. Auch diese Kennzahlen deuten darauf hin, dass der Fokus bei der Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten auf den Bereich des Officefloors zu legen ist.

Im Bereich der Digitalisierung skizziert ACATECH den Status quo wie folgt: Demnach sind Manufacturing Execution Systeme bei Großunternehmen mit 43,8% weit verbreitet (KMU: 15,6%). Die autonome Organisation des Produktionssystems hingegen gelingt erst 6,7% der Großunternehmen (KMU: 8,6%) [Aca16b, S. 11].

Es lässt sich beobachten, dass produzierende Unternehmen bereits an der Umsetzung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien arbeiten. Der Status von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien in der industriellen Praxis lässt sich in vier Kategorien einordnen [INH15, S.31]. Ein entsprechendes Portfolio zeigt Bild 2-15.

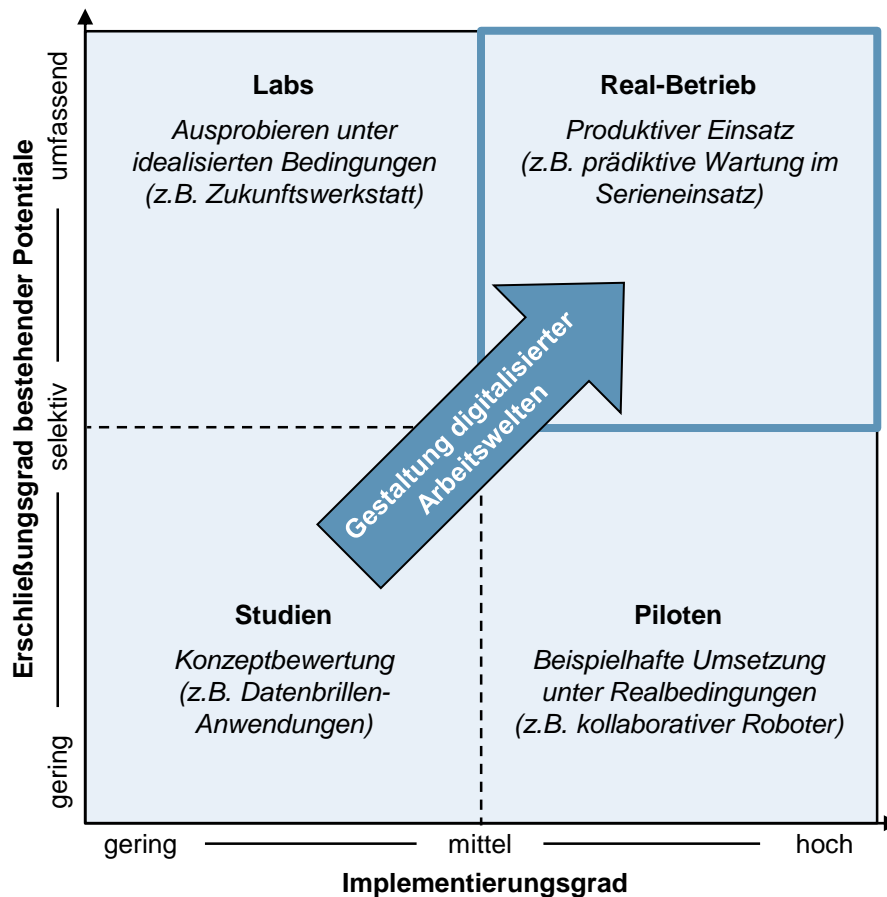


Bild 2-15: Portfolio zur Klassifizierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien in der industriellen Praxis in Anlehnung an [INH15, S. 31]

Dabei werden die Szenarien nach zwei Merkmalen klassifiziert. Zum einen nach dem Implementierungsgrad. Dies bezieht sich auf die Serienreife des Szenarios. Zum anderen wird bewertet, inwiefern die Potentiale der jeweiligen Szenarien ganzheitlich erschlossen werden. Dabei ist auf Grundlage der bisherigen Ausführungen der Problemanalyse die Vermutung plausibel, dass nur ein Bruchteil der Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien sich der Kategorie „Real-Betrieb“ zuordnen lässt⁵.

Studien: Die erste Kategorie „Studien“ bezieht sich auf Anwendungsszenarien, die eine geringe Serienreife und einen niedrigen Erschließungsgrad bestehender Potentiale auf-

⁵ Eine umfassende Analyse von 100 Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien lässt sich dem Anhang A1 entnehmen. Eine Betrachtung der dort untersuchten Anwendungsszenarien untermauert diese Vermutung.

weisen. Beispielhaft sind Datenbrillen-Anwendungen. Viele Unternehmen setzen Datenbrillen z.B. zur Einblendung von Arbeitsanleitungen ein. Dabei werden jedoch weder die Potentiale von Datenbrillen umfassend erschlossen, noch ist die Serienreife gegeben. So mangelt es z.B. an Richtlinien und Betriebsvereinbarungen zum flächendeckenden Einsatz.

Piloten: Die zweite Kategorie „Piloten“ bezieht sich auf Anwendungsszenarien mit einem hohen Implementierungsgrad. Gleichzeitig werden die bestehenden Potentiale noch nicht umfassend erschlossen. Ein typisches Beispiel für diese Kategorie sind kollaborative Roboter. Dabei stehen Mensch und Roboter in direktem Kontakt, motorische Arbeitstätigkeiten können so unterstützt werden. Zwar werden entsprechende Piloten schon in der Serienfertigung eingesetzt, eine abschließende Bewertung der Nutzenpotentiale ist jedoch noch nicht erfolgt.

Labs: Die dritte Klasse „Labs“ beschreibt Anwendungsszenarien, welche einen hohen Erschließungsgrad der Potentiale aufweisen. Gleichzeitig ist die Serienreife nicht gegeben. Darunter zählen z.B. sog. Zukunftswerkstätten. Dabei werden in ausgewählten Bereichen unter idealisierten Bedingungen Technologien wie z.B. Smart Watches getestet. Dabei können die Potentiale umfassend getestet werden, der Implementierungsgrad ist jedoch gering.

Real-Betrieb: Die vierte Klasse „Real-Betrieb“ bezieht sich auf den Ziel-Zustand. Hier werden die Potentiale bei Serienreife ganzheitlich genutzt. Beispiele aus der industriellen Praxis lassen sich in der Regel nicht in diese Kategorie einordnen. Hier offenbart sich eine Herausforderung, vor der produzierende Unternehmen stehen. Es mangelt an einer systematischen Unterstützung zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten.

Fazit: Die Ausführungen machen zunächst deutlich, dass es mannigfaltige Chancen (vgl. Abschnitt 2.5.1) und Auswirkungen (vgl. Abschnitt 2.5.2) der Digitalisierung für die Arbeitswelt gibt. Diese lassen sich jedoch nur sehr generisch identifizieren und unterscheiden sich zwischen den drei Ebenen der Arbeitswelten signifikant. Dies untermauert zum ersten den Bedarf an einer Strukturierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien und den damit einhergehenden Nutzenpotentialen. Zum zweiten untermauert es den Bedarf an einem Ordnungsrahmen für die Arbeit 4.0-Gestaltungsfelder und ein entsprechendes Reifegradmodell. Vielmehr wird deutlich, dass produzierende Unternehmen vor der Herausforderung stehen, vor dem Hintergrund unternehmensspezifischer Rahmenbedingungen geeignete Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien auszuwählen und umzusetzen. Zudem lässt sich beobachten, dass einzelne Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien bereits umgesetzt werden, oft fehlt es allerdings an ganzheitlichen Herangehensweisen (vgl. Abschnitt 2.5.3). Folglich bedarf es einer **Hilfestellung zur unternehmensindividuellen Analyse und Umsetzung** von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Die unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen beziehen sich zum einen auf konkrete Herausforderungen in der Arbeitswelt, zum anderen auf die jeweilige Ausgangssituation im Unternehmen in Bezug auf die relevanten Arbeit 4.0-Gestaltungsfelder.

2.6 Problemabgrenzung

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die zunehmende Digitalisierung die Arbeitswelten produzierender Unternehmen massiv verändern wird, konkrete Gestaltungsoptionen jedoch unklar sind. Unternehmen stehen somit vor folgenden Herausforderungen, den digitalen Wandel der Arbeitswelt unternehmensindividuell, nutzenstiftend und humanzentriert zu gestalten.

Fehlende Strukturierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien und deren Nutzen

Aufgrund der Heterogenität, der Vielfalt sowie der unzähligen Kombinationsmöglichkeiten der digitalen Technologien ergibt sich eine unüberschaubare Vielfalt an möglichen Anwendungen in der Arbeitswelt. Produzierende Unternehmen erkennen zunehmend die damit einhergehenden Nutzenpotentiale für alle Unternehmensbereiche und alle Berufsgruppen. Dabei ist unklar, wie Arbeit 4.0 strukturiert und „greifbar“ gemacht werden kann. Dies ist jedoch kritischer Erfolgsfaktor für die nachhaltige Einführung und Erschließung der Nutzenpotentiale von Arbeit 4.0. Daher bedarf es einer Strukturierung von technologie-induzierten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien und den damit einhergehenden Nutzenpotentialen.

Fehlender Ordnungsrahmen für die Gestaltungsfelder digitalisierter Arbeitswelten

Derzeit lässt sich beobachten, dass Unternehmen bei der Umsetzung von Digitalisierungsprojekten im Kontext der Arbeitswelt vor soziotechnischen Umsetzungsbarrieren stehen. In diesem Zusammenhang ist zum einen unklar, wie der digitale Wandel der Arbeitswelt ganzheitlich angegangen werden kann. Konkret stellt sich die Frage, in welchen Gestaltungsfeldern und in welcher Reihenfolge die Gestaltung angegangen werden muss und von welchen Rahmenbedingungen dies abhängt. Klar ist, dass es kein standardisiertes Vorgehen geben kann. Vielmehr hängt das Vorgehen zum einen von der derzeitigen Arbeit 4.0-Leistungsfähigkeit des Unternehmens ab, zum anderen von den jeweils ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien und deren Anforderungen an die Leistungsfähigkeit. Dabei stehen Unternehmen insbesondere vor der Herausforderung, ihre aktuelle Leistungsfähigkeit im Kontext digitalisierter Arbeitswelten zu ermitteln. Zudem gehen mit dem digitalen Wandel der Arbeitswelten viele Ängste und Sorgen einher. Potentiale von Szenarien digitalisierter Arbeit drohen an individuellen und organisationalen Widerständen zu scheitern. Es bedarf folglich eines Ordnungsrahmens zur Gestaltung des digitalen Wandels der Arbeitswelt.

Fehlende Hilfestellungen zur unternehmensindividuellen Analyse und Umsetzung

Produzierende Unternehmen unterscheiden sich erheblich hinsichtlich ihrer Wertschöpfungsstrukturen und -prozesse, Größe, Kultur, Innovationsverständnis, Marktleistung oder ihrer digitalen Reife. Folglich kann es kein Patentrezept für die Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten geben. Oft ist unklar, welche digitalen Lösungen in Abhängigkeit von unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen Nutzen für die Arbeitswelt verspre-

chen. Es bedarf daher einem Hilfsmittel zur unternehmensspezifischen Identifikation, Bewertung und Auswahl von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Zudem ist unklar, welche unternehmensindividuellen Maßnahmen zur Einführung der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien angegangen werden müssen. Daher bedarf es einer unternehmensindividuellen Planungssystematik.

Aufbauend auf den Herausforderungen ergeben sich die in Bild 2-16 dargestellten Handlungsfelder (HF).

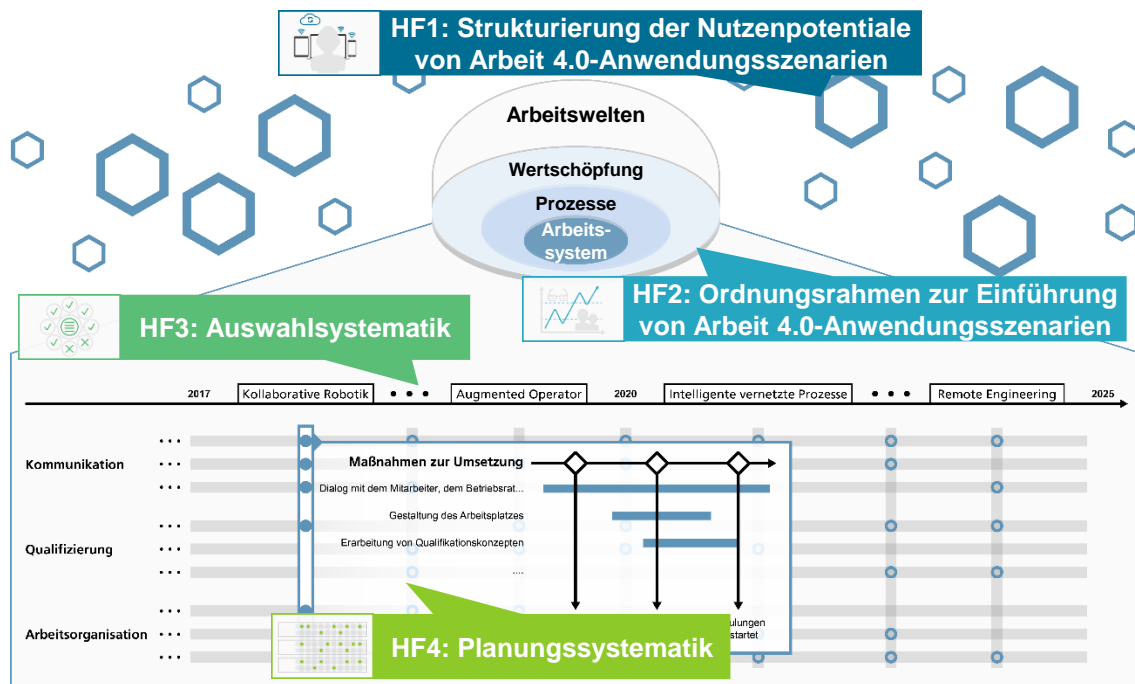


Bild 2-16: Übersicht der Handlungsfelder für die angestrebte Systematik

Handlungsfeld 1: Strukturierung der Nutzenpotentiale von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

Dieses Handlungsfeld adressiert den Bedarf an einer Strukturierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien und deren Nutzenpotentialen. Dazu sollen zunächst Kriterien identifiziert werden, welche Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien klar beschreiben (z.B. Art der Arbeitstätigkeit, welche durch das Szenario unterstützt wird). Jedem Kriterium können dann Ausprägungen zugeordnet werden (z.B. Art der Arbeitstätigkeit: motorisch oder kognitiv). Auf dieser Grundlage sollen dann Klassen von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien identifiziert werden. Die Szenarien lassen sich in der Regel den drei Ebenen der Arbeitswelt zuordnen. Da diese sich stark voneinander unterscheiden, müssen sie bei der Strukturierung getrennt betrachtet werden. Zudem gilt es, die generischen Nutzenversprechen der identifizierten Klassen von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien herauszuarbeiten.

Handlungsfeld 2: Erarbeitung eines Ordnungsrahmens zur Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

Dieses Handlungsfeld fokussiert den Bedarf eines Ordnungsrahmens zur Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Dieser soll insbesondere die soziotechnischen Herausforderungen bei der Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten sowie die entsprechende vorhandene und benötigte unternehmensspezifische Leistungsfähigkeit adressieren.

Handlungsfeld 3: Unterstützung der unternehmensspezifischen Bedarfsanalyse und Auswahl von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

Das dritte Handlungsfeld bezieht sich auf den Bedarf an einer unternehmensspezifischen Unterstützung der Bedarfsanalyse und Auswahl von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Insbesondere sollen die unternehmensindividuellen Herausforderungen in der Arbeitswelt identifiziert und passgenaue Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien ausgewählt werden.

Handlungsfeld 4: Unterstützung der unternehmensspezifischen Planung der Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

Das letzte Handlungsfeld adressiert den Bedarf an einer unternehmensspezifischen Unterstützung der Planung der Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Dazu gilt es, passgenaue Maßnahmen zu identifizieren und zu priorisieren. Dabei ist zu berücksichtigen, dass diese von der Priorität der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien abhängen.

Insgesamt besteht daher ein Bedarf für eine *Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten produzierender Unternehmen*, welche bei der Auswahl und Implementierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien unterstützt.

2.7 Anforderungen an die Systematik

Aus der Problemanalyse resultieren Anforderungen an eine Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten produzierender Unternehmen. Bild 2-17 zeigt eine Zuordnung der abgeleiteten Anforderungen zu den identifizierten Handlungsfeldern.

Anforderungen an eine Strukturierung der Nutzenpotentiale von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

A1) Allgemeingültigkeit für produzierende Unternehmen: Die Strukturierung der Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien muss eine allgemeingültige Einordnung aller Szenarien ermöglichen. Dabei sollen die spezifischen Charakteristika von produzierenden Unternehmen berücksichtigt werden. Bei der Strukturierung stehen die Nutzenpotentiale der Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien im besonderen Fokus.

A2) Berücksichtigung aller Betrachtungsebenen der Arbeitswelt: Bei der Betrachtung von Arbeitswelten lassen sich drei Ebenen unterscheiden: Die Ebenen des Arbeitssystems, der Unternehmensorganisation und der Einbettung des Unternehmens in seine

Wertschöpfungsorganisation. Diese Perspektiven unterscheiden sich grundlegend. Daher ist es notwendig, diese unabhängig voneinander zu betrachten. Dies muss bei der Strukturierung der Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien entsprechend berücksichtigt werden.

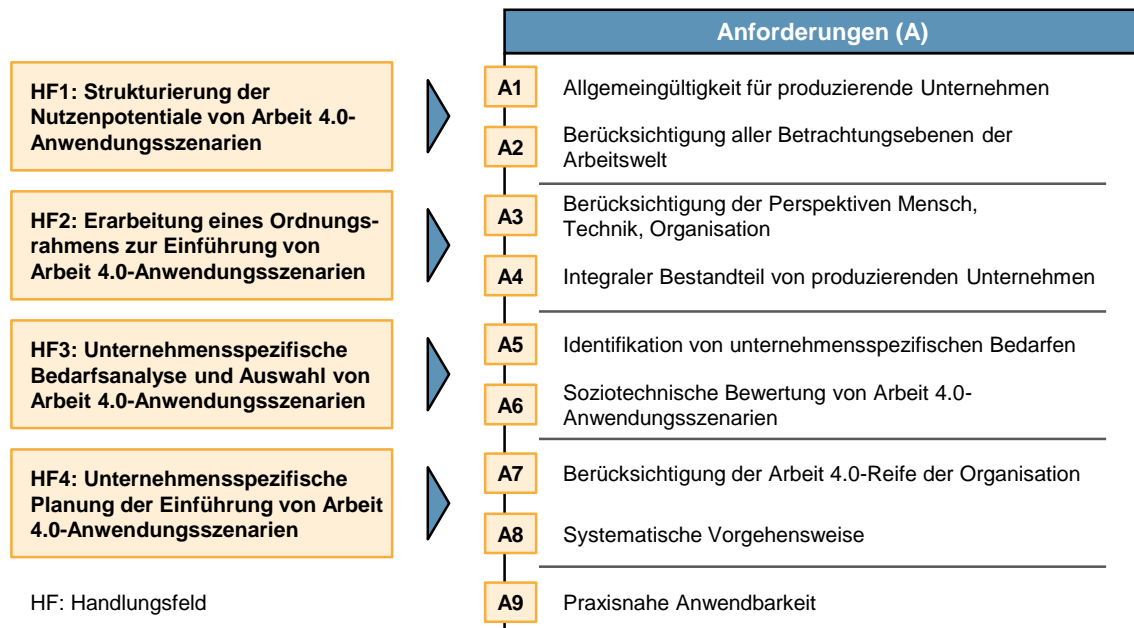


Bild 2-17: Ableitung von Anforderungen an die Systematik auf Basis der identifizierten Handlungsfelder

Anforderungen an einen Ordnungsrahmen zur Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

A3) Berücksichtigung der Perspektiven Mensch, Technik und Organisation: Der Ordnungsrahmen soll alle Handlungsfelder zur nachhaltigen Umsetzung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien enthalten. Dabei sollen die Perspektiven Mensch, Technik und Organisation gleichermaßen adressiert werden. Der Ordnungsrahmen soll es zudem ermöglichen, in diesen Perspektiven die Leistungsfähigkeit produzierender Unternehmen zu erfassen.

A4) Integraler Bestandteil von produzierenden Unternehmen: Die Handlungsfelder müssen sich nahtlos in die Grundstruktur von produzierenden Unternehmen einfügen. Der Ordnungsrahmen muss daher integraler Bestandteil der Strukturen von produzierenden Unternehmen sein.

Anforderungen an eine unternehmensspezifische Bedarfsanalyse und Auswahl von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

A5) Identifikation von unternehmensspezifischen Bedarfen: Konkrete Nutzenpotentiale von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien hängen von den unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen ab. Die zu entwickelnde Systematik muss daher die Identifikation von unternehmensindividuellen Bedarfen ermöglichen.

A6) Soziotechnische Bewertung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien: Die ausgewählten Szenarien müssen priorisiert werden. Dazu muss ein Hilfsmittel zur Bewertung der Szenarien zur Verfügung gestellt werden.

Anforderungen an eine unternehmensspezifische Planung der Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

A7) Berücksichtigung der Arbeit 4.0-Reife der Organisation: Bei der Auswahl von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien sind sowohl der damit einhergehende Nutzen als auch der Aufwand zu bewerten. Bei der Bewertung des Aufwands spielt die Arbeit 4.0-Reife der Organisation eine entscheidende Rolle, diese gilt es entsprechend zu berücksichtigen.

A8) Systematische Vorgehensweise: Die Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten bedarf einer systematischen Vorgehensweise. Daher muss die Systematik eine unternehmensindividuelle Umsetzungsplanung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien ermöglichen.

Übergeordnete Anforderung

A9) Praxisnahe Anwendbarkeit: Die Systematik soll produzierende Unternehmen bei der Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten unterstützen. Eine praxisnahe Anwendbarkeit ist dabei kritischer Erfolgsfaktor. Dazu muss die Systematik eine pragmatische Handhabung ermöglichen.

3 Stand der Technik

Ziel dieses Kapitels ist ein systematisch hergeleiteter Handlungsbedarf für die Entwicklung einer Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen. Dazu werden Methoden und Ansätze aus dem Stand der Technik vor dem Hintergrund der in Abschnitt 2.7 dargestellten Anforderungen vorgestellt und bewertet. Bild 3-1 zeigt eine Übersicht der untersuchten Ansätze aus dem Stand der Technik und dessen Zuordnung zu den Handlungsfeldern.

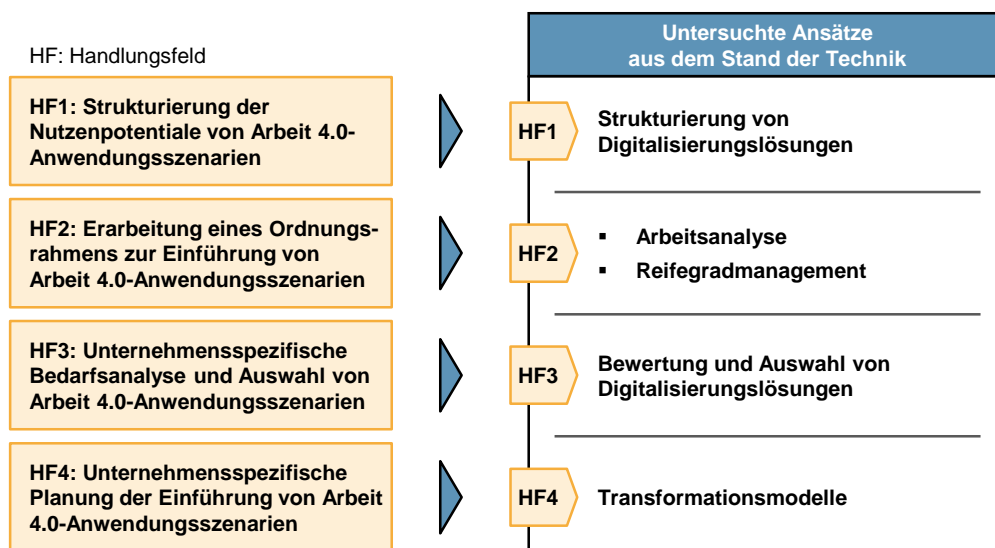


Bild 3-1: Übersicht der untersuchten Ansätze aus dem Stand der Technik und dessen Zuordnung zu den Handlungsfeldern

Die Problemanalyse hat zum ersten gezeigt, dass es einer Strukturierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien und deren Nutzenpotentiale bedarf. Vor diesem Hintergrund werden in Abschnitt 3.1 Ansätze zur Strukturierung von Lösungen aus dem Kontext der Digitalisierung und deren Nutzenpotentiale untersucht. Zum zweiten bedarf es eines Ordnungsrahmens zur Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Daher werden in Abschnitt 3.2 zu einem Ansatz zur Beschreibung und Analyse von Arbeit, zum anderen zur Bestimmung der digitalen Reife eines Unternehmens vorgestellt. Drittens bedarf es einer Unterstützung der unternehmensspezifischen Bedarfsanalyse und Auswahl von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Folglich werden in Abschnitt 3.3 Ansätze aus dem Kontext von Auswahlssystematiken digitaler Lösungen vorgestellt. Zuletzt wurde in der Problemanalyse Bedarf an einer Unterstützung der unternehmensspezifischen Planung der Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien aufgezeigt. Vor diesem Hintergrund werden in Abschnitt 3.4 sog. Transformationsmodelle vorgestellt, welche sich auf Ansätze zur Gestaltung der digitalen Unternehmenstransformation beziehen.

3.1 Ansätze zur Strukturierung von Digitalisierungslösungen

Zur Strukturierung der unüberschaubaren Anwendungen von digitalen Lösungen in der Arbeitswelt bedarf es einer Abbildung der Bestandteile und Zusammenhänge von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien in Form einer Referenzarchitektur. Derzeit ist keine Referenzarchitektur bekannt, die die in Abschnitt 2.3.4 beschriebenen Eigenschaften von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien widerspiegelt. Nichtsdestotrotz gibt es Ansätze, deren Ziel die transparente Darstellung von Lösungen und Anwendungen sowie deren Nutzen aus dem Kontext der Digitalisierung ist. Daher werden im Folgenden die Industrie 4.0-Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0 (vgl. Abschnitt 3.1.1), der Leitfaden Industrie 4.0 des VDMA (vgl. Abschnitt 3.1.2) sowie das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 des VDI/VDE (vgl. Abschnitt 3.1.3) dargestellt.

3.1.1 Industrie 4.0-Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0

Die von der Plattform Industrie 4.0 veröffentlichten Industrie 4.0-Anwendungsszenarien verfolgen das Ziel, den Nutzen von Industrie 4.0 für die potentiellen Anwender und Nutzer transparent darzustellen. Dazu verfolgt die Plattform Industrie 4.0 einen Use Case-basierten Ansatz. Dabei wird einem potentiellen Anwender eine Vielzahl von Use Cases zur Verfügung gestellt, aus denen er den für sich passenden auswählen kann. Da es eine Vielzahl von Use Case-Begrifflichkeiten gibt, wurde dieser wie folgt definiert. So wurde zum ersten zwischen der Beschreibung eines Problems und der einer Lösung getrennt. Die allgemeine Beschreibung eines Problems eines Anwenders wird als Anwendungsszenario bezeichnet. Sog. Anwendungsbeispiele beschreiben mögliche Lösungen und beinhalten konkrete Umsetzungen für den Anwender. Zum zweiten wird die Marktreife betrachtet. So beziehen sich die identifizierten Anwendungsszenarien entweder auf Probleme von potentiellen Anwendern, die mit digitalen Lösungen gelöst werden können (Zeithorizont „morgen“), oder es werden denkbare Szenarien beschrieben, die mögliche Zukunftsbilder darstellen (Zeithorizont „übermorgen“). Insgesamt werden neun Anwendungsszenarien identifiziert [BMW16a, S. 10ff.]. Parallel dazu wurden über 280 konkrete Anwendungsbeispiele aus der industriellen Praxis zusammengetragen. In dem Projekt „Einordnung der Beispiele der Industrie 4.0-Landkarte in die Anwendungsszenarien (EiBILA)“ [FGH18] wurden diese in einer gemeinsamen Klassifizierung mit den Anwendungsszenarien verbunden und so deren Praxisrelevanz untermauert [FHG18, S. 2]. Diese ist in Bild 3-2 dargestellt. Als Grundlage der gemeinsamen Klassifizierung wurden 17 charakteristische Merkmale identifiziert, mit dessen Hilfe die Anwendungsszenarien und -beispiele bewertet wurden. Die Ergebnisse wurden in Form der in Bild 3-2 gezeigten multidimensionalen Skalierung visualisiert. Im Folgenden werden die neun Anwendungsszenarien vorgestellt:

Auftragsgesteuerte Produktion: Dieses Anwendungsszenario fokussiert den Auftrag und beschreibt, wie die dafür benötigten Produktionsressourcen flexibel konfiguriert werden können.

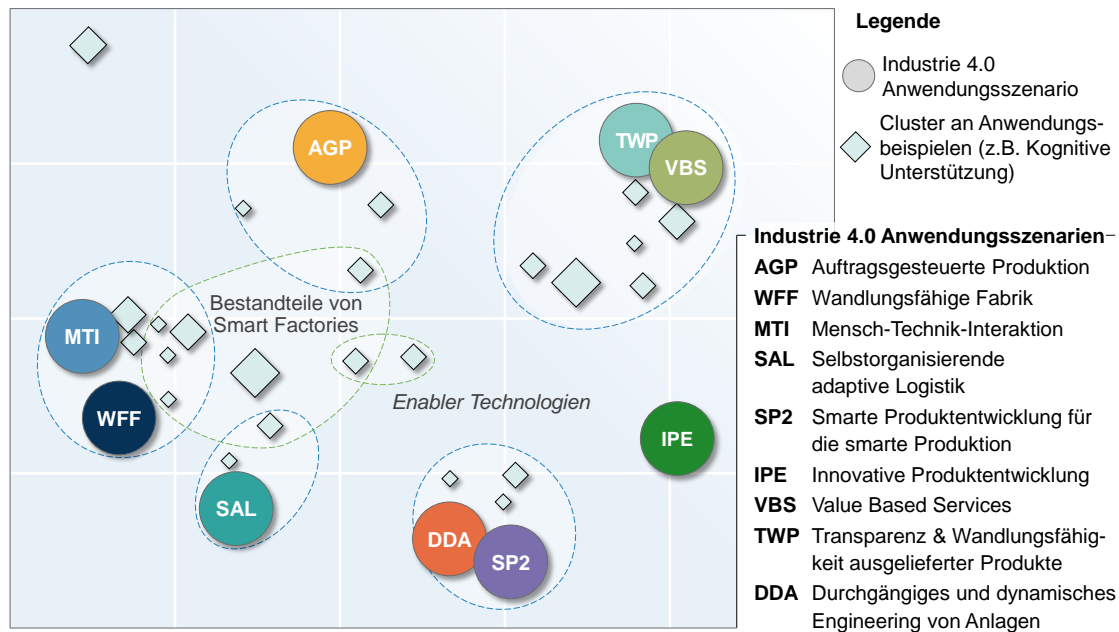


Bild 3-2: Multidimensionale Skalierung der Anwendungsszenarien und Anwendungsbeispiele von Industrie 4.0 [FGH18, S. 22]

Dabei werden die Produktionsfähigkeiten und -kapazitäten werks- und unternehmensübergreifend vernetzt. So können sie schnell auf wechselnde Markt- und Auftragsbedingungen reagieren und dadurch bestehende Produktionskapazitäten bestmöglich nutzen. Dadurch werden die unternehmensübergreifenden Fertigungsketten hinsichtlich Kosten und Zeit optimiert. Voraussetzungen für dieses Anwendungsszenario sind zum einen die Standardisierung der Prozesse. Dies ermöglicht eine automatisierte Auftragsplanung, -vergabe und -steuerung. Zum anderen bedarf es der Selbstbeschreibung der Fähigkeiten der Produktionsmittel. In Kombination können Prozessmodule deutlich flexibler miteinander kombiniert werden [BMW16a, S. 10].

Wandlungsfähige Fabrik: Bei der wandlungsfähigen Fabrik wird die Produktionsressource in den Mittelpunkt gestellt. Das Anwendungsszenario beschreibt, wie die Ressource mit Bezug auf dessen Wandlungsfähigkeit beschrieben werden kann und welche Auswirkungen dies für den Lieferanten der Ressource sowie für den Systemintegrator hat. Bei der Planung von Fabriken und Produktionsanlagen erfordern zunehmend kürzere Innovations- und Produktzyklen die Einbeziehung zukünftiger Fertigungsfähigkeiten und Prozessänderungen. Der dafür erforderliche schnelle Umbau von Produktionsanlagen basiert auf einem modularen Aufbau. Grundlage dafür sind intelligente und interoperable Module. Diese passen sich weitestgehend autonom an veränderte Konfigurationen an und ermöglichen durch standardisierte Schnittstellen einen handhabbaren Umbau von Produktionsanlagen [BMW16a, S. 11f.].

Mensch-Technik-Interaktion in der Produktion: Dieses Anwendungsszenario beschreibt, wie Handlungspersonen im Produktionsumfeld durch neue Technologien unter-

stützt werden können. Dabei interagieren Menschen in verschiedensten Rollen und Tätigkeiten mit technischen Systemen. Dadurch werden zum einen physische Tätigkeiten durch eine Unterstützung körperlicher Fertigkeiten adressiert, zum anderen werden kognitive Tätigkeiten durch Assistenzfunktionen zur Analyse und Entscheidungsfindung fokussiert. Dazu kommen mobile Endgeräte, Smart Watches oder Datenbrillen zum Einsatz, da sie einen flexiblen und bedarfsgerechten Zugriff auf Informationen vor Ort ermöglichen. Innerhalb dieses Szenarios werden auch personalisierte und kontextsensitive Lernsysteme betrachtet [BMW16a, S. 20f.].

Selbstorganisierende adaptive Logistik: Das Anwendungsszenario fokussiert die Inter- und Intralogistik. Dabei steht die Erhöhung der Flexibilität und der Reaktionsgeschwindigkeit von logistischen Systemen über die gesamte Wertschöpfungskette im Fokus. Produktionsaufträge werden zwischen den Produktionsstrecken durch ein selbstlernendes System vermittelt, sodass auf Systemausfälle und Kundenprioritäten flexibel reagiert werden kann. Autonome Transportsysteme gewährleisten den Materialfluss zwischen Lagern und Produktionsstrecken sowie zwischen den Produktionsstrecken. Auf der Basis intelligenter Algorithmen werden u.a. optimale Wege berechnet. So kann sich das Werkstück weitgehend selbstständig seinen Weg durch die Fabrik suchen [BMW16a, S. 14f.].

Smarte Produktentwicklung für die smarte Produktion: Das Anwendungsszenario bezieht sich auf die transparente Gestaltung und Nutzung von Daten im Rahmen der Produktentwicklung. Dabei wird das virtuelle Abbild des physischen Produkts in den Fokus gerückt. Es ermöglicht neue Formen der Zusammenarbeit und die Automatisierung von Tätigkeiten im Engineering. Dazu müssen u.a. die Anforderungen und die Funktionen des Produkts modelliert werden. So wird z.B. eine virtuelle Erprobung ermöglicht. Darüber hinaus kann das Modell durch den Kunden verwendet werden, der so z.B. frühzeitige Analysen durchführen kann [BMW16a, S. 22f.].

Innovative Produktentwicklung: Dieses Anwendungsszenario fokussiert die frühen Phasen der Produktentwicklung und beschreibt den Einsatz neuer Methoden und Prozesse in diesen Phasen. Die intelligente Vernetzung und Kollaboration der beteiligten Handlungspersonen ermöglicht dabei innovative Ansätze in der Produktentwicklung hinsichtlich neuartiger methodischer Vorgehensweisen sowie der Einbindung aller Stakeholder. Ziel des Anwendungsszenarios ist es, das richtige Produkt richtig zu entwickeln [BMW16a, S. 24f.].

Value Based Services: Dieses Anwendungsszenario bezieht sich auf Services, die dem Kunden auf Basis von Daten aus der Nutzung von Produkten angeboten werden und auf die Veränderungen, die solche Services auf Geschäftsmodelle und Wertschöpfungssysteme haben. Derartige Daten können neben neuartigen Services auch für die Optimierung von Produkten und Produktionsverfahren genutzt werden, sodass Wertschöpfungsketten verbessert und neue Wertschöpfungselemente geschaffen werden können. Kern des Szenarios sind dabei IT-Plattformen, die Nutzerdaten sammeln, analysieren und so aufbereiten, dass daraus nutzergerechte Services abgeleitet werden können [BMW16a, S. 16f.].

Transparenz und Wandlungsfähigkeit ausgelieferter Produkte: Dieses Szenario beschreibt wie Produkte im Feld über eine IT-Plattform transparent und wandlungsfähig gestaltet werden können. Dabei werden automatisch erhobene Nutzungsdaten von Produkten für die Optimierung von Geschäftsprozessen, für neue Geschäftsmodelle sowie für die flexible Anpassung von Produkteigenschaften genutzt. Dazu werden Produkte zunehmend mit Speichern, Prozessoren und Kommunikationsmodulen ausgerüstet. Somit können Hersteller auf die Nutzungsdaten ihrer Produkte im Feld zugreifen und diese umkonfigurieren oder unter Berücksichtigung aktueller Einsatzbedingungen anpassen. Zudem können individuelle After-Sales-Services angeboten werden. Eine wesentliche Herausforderung ist die Etablierung einer entsprechenden Datenstruktur, mit der die Daten sicher gesammelt, gespeichert und analysiert werden können [BMW16a, S. 18f.].

Durchgängiges und dynamisches Engineering von Anlagen: Das Anwendungsszenario beschreibt die Entstehung eines integrierenden Modells einer Anlage während des initialen Engineering-Prozesses. Das Modell wird dann über den gesamten Lebenszyklus der Anlage in fachbereichsübergreifenden Prozessen zwischen dem Engineering, dem Betrieb und dem Service genutzt und gepflegt. Dadurch soll die zunehmende Bedeutung des Änderungsmanagements adressiert werden. Das Modell ist ein Hebel, um die dynamischer, komplexer und vielschichtiger werdenden Änderungen und deren Auswirkungen beherrschbar zu machen [BMW16a, S. 26f.].

Des Weiteren werden die Anwendungsszenarien Kreislaufwirtschaft und Additive Fertigung genannt. Ersteres wird jedoch von der Plattform Industrie 4.0 nicht weiterverfolgt, letzteres ist in Bearbeitung.

Bewertung: Die neun Industrie 4.0-Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0 geben einen umfassenden Überblick des Themenfelds. Dabei wird lösungsorientiert aufgezeigt, wie Technologien aus dem Kontext der Digitalisierung einen Mehrwert für produzierende Unternehmen schaffen können. Dazu werden das technisch Mögliche aufgezeigt und Auswirkungen auf die Wertschöpfungsketten skizziert. Der Schwerpunkt liegt auf der Produktion und Logistik, zusätzlich wird das Engineering betrachtet. Eine Betrachtung weiterer Unternehmensbereiche erfolgt nicht. Zudem werden die Perspektiven Mensch und Organisation nicht berücksichtigt. Eine Ausnahme bildet das Szenario Mensch-Technik-Interaktion, welches jedoch nicht umfassend genug ist und dem Themenfeld Arbeit 4.0 in seiner Breite nicht gerecht wird.

3.1.2 Leitfaden Industrie 4.0 des VDMA

Der Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer (VDMA) hat einen Leitfaden veröffentlicht, der mittelständischen Unternehmen der produzierenden Industrie als Orientierungshilfe bei der Einführung von Industrie 4.0 dient. Der Leitfaden besteht dabei aus einem Werkzeugkasten sowie einer Vorgehensweise zu dessen Anwendung. Im Folgenden werden beide Bestandteile des Leitfadens vorgestellt. Da der Werkzeugkasten die

Bestandteile von Industrie 4.0 aufzeigt und damit Lösungen aus dem Kontext der Digitalisierung strukturiert, wird der Fokus der Beschreibung auf den Werkzeugkasten gelegt.

Der Werkzeugkasten definiert sog. Anwendungsebenen von Industrie 4.0 in den Bereichen Produkt und Produktion. Die Anwendungsebenen werden in fünf aufeinander aufbauende technologische Entwicklungsstufen unterteilt. Auf dieser Grundlage können Unternehmen ihre Ausgangssituation einordnen und mögliche Entwicklungsstufen erkennen [VDM15, S. 8]. Bild 3-3 zeigt einen Auszug des Werkzeugkastens. Dargestellt sind drei exemplarische Anwendungsebenen aus dem Bereich Produkt.







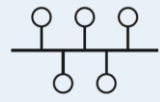








Industrie 4.0					
Datenverarbeitung in der Produktion					
	Keine Verarbeitung von Daten	Speicherung von Daten zur Dokumentation	Auswertung von Daten zur Prozessüberw.	Auswertung zur Prozessplanung /-steuerung	Automatische Prozessplanung /-steuerung
Maschine-zu-Maschine Kommunikation (M2M)					
	Keine Kommunikation	Feldbus-Schnittstellen	Industrial Ethernet-Schnittstellen	Maschinen verfügen über Zugang zum Internet	Webdienste (M2M-Software)
Unternehmensweite Vernetzung mit der Produktion					
	Keine Vernetzung	Informationsaustausch über Mail/Telekommunikation	Einheitliche Datenformate/Regeln zum Datenaustausch	Einh. Dateiformate/Abteilungsübergreif. vernetzte Server	Abteilungsüberg., vollständig vernetzte IT-Lösungen

Bild 3-3: Auszug des Werkzeugkastens Industrie 4.0 des VDMA [VDM15, S. 14]

Insgesamt stehen je sechs Anwendungsebenen für die Bereiche Produkt und Produktion zur Verfügung. Im ersten Bereich sind dies Integration von Sensoren und Aktoren, Kommunikation und Connectivity, Funktionalitäten zur Datenspeicherung und Informationsaustausch, Monitoring, produktbezogene IT-Services sowie Geschäftsmodelle. Für ein besseres Verständnis der Anwendungsebenen und Entwicklungsstufen werden im Folgenden zwei Anwendungsebenen exemplarisch vorgestellt:

Integration von Aktoren und Sensoren: Diese Anwendungsebene bezieht sich auf Integration von Sensoren, Aktoren sowie Rechenkapazitäten in physische Objekte. Die fünf technologischen Entwicklungsstufen reichen dabei von keiner Nutzung von Aktoren und Sensoren bis hin zu Produkten, die auf Basis einer eigenständigen Auswertung von Sensordaten autonom reagieren [VDM15, S. 13].

Kommunikation und Connectivity: Gegenstand dieser Anwendungsebene sind Kommunikationsschnittstellen, welche neue, physisch entkoppelte Anwendungen ermöglichen. Die Bandbreite der Entwicklungsstufen reicht dabei von keinen Kommunikationsschnittstellen am Produkt über Feldbus-Schnittstellen bis hin zu einem Internetzugang der Produkte [VDM15, S. 13].

Dem Bereich Produktion werden die Anwendungsebenen Datenverarbeitung in der Produktion, Maschine-zu-Maschine-Kommunikation, unternehmensweite Vernetzung mit der Produktion, IKT-Infrastruktur in der Produktion, Mensch-Maschine-Schnittstellen sowie Effizienz bei kleinen Losgrößen zugeordnet. Auch hier werden für ein besseres Verständnis zwei Anwendungsebenen beispielhaft vorgestellt:

Unternehmensweite Vernetzung mit der Produktion: Diese Anwendungsebene bezieht sich auf die Vernetzung unterschiedlicher Unternehmensebenen mit der Produktion. Die Bandbreite reicht dabei von keiner Vernetzung der Produktion mit anderen Unternehmensbereichen über einheitliche Datenformate und Regeln zum Datenaustausch bis zu abteilungsübergreifenden, vollständig vernetzten IT-Lösungen [VDM15, S. 15].

Mensch-Maschine-Schnittstelle: Diese Anwendungsebene beschreibt die Kommunikation zwischen Mensch und Maschine, welche vor dem Hintergrund der zunehmenden Komplexität von Produktionsanlagen an Bedeutung gewinnt. Die technologischen Reifegradstufen reichen dabei von keinem Informationsaustausch zwischen Mensch und Maschine über eine zentrale bzw. dezentrale Produktionsüberwachung/-steuerung bis hin zum Einsatz von erweiterter und assistierter Realität [VDM15, S. 15].

Das Vorgehensmodell des Leitfadens besteht aus den fünf Phasen Vorbereitung, Analyse, Kreativität, Bewertung und Einführung. Die Phasen eins und fünf werden durch ein Projektteam, die Phasen zwei bis vier zusätzlich in interdisziplinären und unternehmensinternen Workshops bearbeitet. Diese Workshops sind das zentrale Element des Leitfadens, deren Ziele die Erarbeitung und Bewertung von Ideen für die Einführung von Industrie 4.0 sind. Die Vorbereitungsphase zielt darauf ab, innerhalb des Unternehmens ein einheitliches Verständnis zum Thema Industrie 4.0 zu erzeugen. Dazu werden die grundlegenden Kenntnisse des eigenen Marktes sowie der eigenen Produktion konsolidiert. Im Rahmen der anschließenden Analysephase werden die im Unternehmen vorhandenen Kompetenzen identifiziert. Die Erfassung der Kompetenzen erfolgt für die Bereiche Produkt sowie Produktion und ist angelehnt an die Anwendungsebenen und Entwicklungsstufen des Werkzeugkastens. Die Ist-Analyse bildet die Grundlage der Ideengenerierung, welche in der Kreativitätsphase erfolgt. Diese werden anschließend zu Konzepten für Geschäftsmodelle ausgearbeitet. In der Bewertungsphase werden diese hinsichtlich Nutzen und Aufwand bewertet. Ausgewählt werden Konzepte mit hohem Potential bei gleichzeitig geringen erforderlichen Ressourcen. Die ausgewählten Vorschläge werden in der abschließenden Einführungsphase durch das Projektteam aufgegriffen und in Form einer Vorlage für die Unternehmensleitung konkretisiert [VDM15, S. 10]. Der Leitfaden hält

Das Modell besteht aus drei Dimensionen, welche den Industrie 4.0-Raum beschreiben. Zum ersten werden sechs sog. Layers (dt.: Schichten) unterschieden, sodass unterschiedliche Sichtweisen abgebildet werden. Diese Dimension bildet die senkrechte Achse. Die waagerechte Achse greift den Produktlebenszyklus, mit den darin enthaltenen Wertschöpfungsketten nach der IEC 62890, auf. Somit können lebenszyklusübergreifende Abhängigkeiten dargestellt werden. Die dritte Achse ermöglicht die Verortung von Funktionalitäten und Verantwortlichkeiten innerhalb funktionaler Hierarchien in Anlehnung an die IEC 62264 und IEC 61512 [VZ15, S. 6]. Im Folgenden werden die drei Dimensionen näher beschrieben.

Das Smart Grid Modell bildet die Grundlage der Schichten-Dimension. Es bezieht sich auf das Stromnetz und umfasst die Erzeugung, Übertragung und Verteilung des Stroms. In Analogie dazu soll die Schichten-Dimension des Referenzarchitekturmodells beschreiben, wie Entwicklungsprozesse, Produktionslinien, Fertigungsmaschinen, Feldgeräte und Produkte beschaffen sind und funktionieren. Dazu werden sechs Schichten definiert, innerhalb derer eine hohe Kohäsion herrscht. Die Schichten sind lose miteinander gekoppelt, ein Ereignisaustausch erfolgt nur zwischen zwei benachbarten Schichten und innerhalb einer Schicht [VZ15, S. 8]. Die oberste Schicht stellt die Geschäftssicht (Business Layer) dar. Diese bildet Geschäftsmodelle und die sich daraus ergebenden Geschäftsprozesse ab. Des Weiteren werden die Dienste der Funktionsschicht (Functional Layer) orchestriert [VZ15, S. 8]. Diese Schicht dient der formalen Beschreibung von Funktionen und bildet die Plattform für deren horizontale Integration. Zudem stellt sie eine Laufzeit- und Modellierungsumgebung für Dienste dar, welche die Geschäftsprozesse unterstützen [VZ15, S. 8f.]. Die Laufzeitumgebung der Ereignisverarbeitung bildet die Informationsschicht (Information Layer) ab. Darüber hinaus werden innerhalb dieser Schicht formale Regeln beschrieben sowie die Datenintegrität gewährleistet [VZ15, S. 9]. Die Kommunikationsschicht (Communication Layer) stellt die Vereinheitlichung der Kommunikation unter Verwendung eines einheitlichen Datenformats sicher. Des Weiteren werden Dienste zur Steuerung der Integrationsschicht (Integration Layer) zur Verfügung gestellt [VZ15, S. 9]. In dieser Schicht erfolgt die Bereitstellung von rechnerverarbeitbaren Informationen sowie die rechnergestützte Steuerung der technischen Prozesse. In dieser Schicht erfolgt zudem über Mensch-Maschine-Schnittstellen die Interaktion mit dem Menschen [VZ15, S. 9]. Diese ist Bestandteil der Gegenstandsschicht (Asset Layer), welche die Realität präsentiert [VZ15, S. 9].

Die zweite Achse des Referenzarchitekturmodells repräsentiert den Lebenszyklus und die damit verbundenen Wertschöpfungsketten. Somit können die Zusammenhänge zwischen Produkten, Maschinen und Fabriken über ihren gesamten Lebenszyklus visualisiert und standardisiert werden. Die Grundlage für die Betrachtung des Lebenszyklus bildet die IEC 62890. Es wird grundsätzlich zwischen Typ und Instanz unterschieden [VZ15, S. 9]. Dabei wird ein Produkt bis zum ersten Muster und der Prototypenfertigung als Typ (Type) bezeichnet, welcher nach Abschluss der Validierung für die Serienproduktion freigegeben wird [VZ15, S. 10]. Eine Instanz stellt ein gefertigtes Produkt des Typs dar. Diese

wird an den Kunden ausgeliefert, für den sie allerdings zunächst wieder nur einen Typ darstellt. Wird dieser in eine konkrete Anlage eingebaut, so wird er zur Instanz. Dieser Wechsel kann sich mehrfach wiederholen. Dies macht die Bedeutung der übergreifenden Betrachtung von Wertschöpfungsketten deutlich. Daher betrachtet das Referenzarchitekturmodell den Lebenszyklus mit den entsprechenden Wertschöpfungsprozessen sowohl produkt- als auch unternehmensübergreifend [VZ15, S. 10].

Die dritte Achse bezieht sich auf Hierarchieebenen (Hierarchy Levels). Dabei wird die funktionale Einordnung einer Sachlage innerhalb von Industrie 4.0 beschrieben. Das Modell orientiert sich für die Einordnung innerhalb einer Fabrik an der IEC 62264 sowie an der IEC 61512. Damit möglichst viele Branchen einheitlich betrachtet werden können, wurden aus den Normen die Begriffe Enterprise, Work Unit, Station sowie Control Device als Hierarchieebenen übernommen. Diese bilden lediglich die Ebenen innerhalb einer Fabrik ab, sodass sowohl am unteren als auch am oberen Ende Ergänzungen vorgenommen wurden. Unterhalb der Ebene Control Device wurde die Ebene Field Device hinzugefügt. Sie repräsentiert die Betrachtung der Bestandteile einer Anlage und stellt die funktionale Ebene eines intelligenten Feldgeräts dar (z.B. intelligenter Sensor). Als unterste Ebene wird die Ebene Product ergänzt, um die Betrachtung des herzustellenden Produkts und dessen Abhängigkeiten zur Produktionsanlage zu gewährleisten. Am oberen Ende wurde die Ebene Connected World hinzugefügt, um Zusammenhänge über die Fabrik hinaus zu betrachten [VZ15, S. 10f.]. Das Referenzarchitekturmodell enthält für alle Aspekte der drei Kriterien umfangreiche Zusatzinformationen.

Bewertung: Das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 stellt drei grundlegende Kriterien zur Klassifizierung von Sachlagen innerhalb von Industrie 4.0 vor. Dabei werden wesentliche Aspekte wie Lebenszyklus und Wertschöpfungsketten sowie verschiedene Perspektiven auf das Themenfeld berücksichtigt. Allerdings bleibt die Anwendbarkeit und dessen Nutzen in der industriellen Praxis unklar. Zudem werden der Mensch und die Organisation in dem Referenzmodell kaum berücksichtigt.

3.2 Ansätze zur Gestaltung von Arbeit im Kontext der Digitalisierung

In der Problemanalyse wurde aufgezeigt, dass es eines Reifegradmodells bedarf, welches produzierenden Unternehmen bei der Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien unterstützt. Das Reifegradmodell muss dazu Gestaltungsfelder umfassen, welche die Einflüsse der Digitalisierung auf die Arbeitswelt abbilden. Vor diesem Hintergrund werden zunächst in Abschnitt 3.2.1 Ansätze zur Beschreibung und Analyse von Arbeit vorgestellt. In Abschnitt 3.2.2 werden Ansätze zur Bestimmung der digitalen Reife produzierender Unternehmen dargestellt.

3.2.1 Ansätze zur Beschreibung und Analyse von Arbeit

Das zu entwickelnde Arbeit 4.0-Reifegradmodell muss Gestaltungsfelder enthalten, welche die Einflüsse der Digitalisierung auf die Arbeitswelt abbilden. Daher werden Ansätze zur Beschreibung und Analyse von Arbeit vorgestellt. Darunter fallen zum einen Ansätze ohne Bezug zur Digitalisierung, wie der Work Design Questionnaire nach MORGESON und HUMPHREY (vgl. Abschnitt 3.2.1.1) sowie die MTO-Analyse nach ULICH (vgl. Abschnitt 3.2.1.2). Zum anderen werden Ansätze beschrieben, die einen spezifischen Bezug zur Digitalisierung aufweisen. Dies bezieht sich auf den Ordnungsrahmen „Arbeitsumfeld in der digitalen Transformation“ nach VON SEE und KERSTEN (vgl. Abschnitt 3.2.1.3) sowie auf das Beschreibungsmodell „Arbeitswelt Industrie 4.0“ nach BAUER ET AL. (vgl. Abschnitt 3.2.1.4).

3.2.1.1 Der Work Design Questionnaire nach MORGESON und HUMPHREY

Der Work Design Questionnaire nach MORGESON und HUMPHREY [MH06] ist ein Fragebogen zur Analyse von Arbeitstätigkeiten [SDU+10, S. 1]. Es werden Aufgaben-, Wissens- sowie soziale und kontextuelle Arbeitsplatzmerkmale in insgesamt 21 Skalen aufgegriffen. Der Fragebogen wird durch den Stelleninhaber ausgefüllt. Ziel ist die ganzheitliche Bewertung eines Arbeitsplatzes und die Ableitung von Erkenntnissen, welche zur Gestaltung von Arbeitsplätzen hilfreich sind. Dabei wird nicht nur die Gestaltung der Tätigkeiten an sich, sondern auch die Gestaltung der Einbettung der Tätigkeit in die organisationale Umgebung betrachtet. Zur Erarbeitung des Fragebogens wurden zunächst auf Grundlage einer ausführlichen Recherche distinkte Arbeitsplatzmerkmale identifiziert. Basierend auf einem von MORGESON und CAMPION [MC03] entwickelten Rahmenmodell wurden die Arbeitsplatzmerkmale den drei Kategorien motivational, sozial und kontextuell zugeordnet.

Eine hohe Ausprägung bei den motivationalen Merkmalen bedeutet eine Bereicherung der Arbeit, die zu mehr Motivation und Zufriedenheit führen soll [SDU+10, S. 2]. Diese werden weiter in Aufgaben- und Wissensmerkmale unterteilt. Aufgabenmerkmale beziehen sich auf die Art, wie Arbeit erledigt wird, die Bandbreite und die Natur der Aufgaben [SDU+10, S. 3]. Darunter fallen die Merkmale (1) Autonomie bzgl. der Planung von Zeitpunkt und Reihenfolge von Teiltätigkeiten, (2) Autonomie in Bezug auf die Möglichkeit Entscheidungen zu treffen und (3) Arbeitsmethoden selbst zu wählen. Weitere Aufgabenmerkmale sind die (4) Aufgabenvielfalt, die (5) Wichtigkeit sowie die (6) Ganzheitlichkeit. Zuletzt wird die (7) Rückmeldung betrachtet, durch die der Arbeitende direkt oder indirekt erkennen kann, wie gut die Arbeit erledigt wurde [SDU+10, S. 3]. Die Wissensmerkmale beziehen sich auf die Anforderungen an Wissen, Fähigkeiten und Skills, die ein Arbeitsplatz an eine Handlungsperson stellt. Diese werden durch die Merkmale (8) Komplexität, (9) Informationsverarbeitung, (10) Problemlösung, (11) Anforderungsvielfalt sowie (12) Spezialisierung erfasst [SDU+10, S. 3]. Die sozialen Merkmale beziehen sich auf die soziale Umgebung, in welche die Arbeit eingebettet ist. Dabei werden die

(13) soziale Unterstützung, die (14) imitierte Interdependenz sowie die (15) rezipierte Interdependenz analysiert. Zudem wird die (16) Interaktion außerhalb der Organisation und (17) Rückmeldung durch andere betrachtet. Die kontextuellen Merkmale betrachten die weitere Arbeitsumgebung, wie z.B. deren physische Beschaffenheit. Dazu werden die Merkmale (18) Ergonomie, (19) physische Anforderungen, (20) Gegebenheiten am Arbeitsplatz und (21) Technikgebrauch analysiert [SDU+10, S. 3].

Bewertung: Der Work Design Questionnaire nach MORGESON und HUMPHREY ermöglicht eine Gesamtbewertung von Arbeitstätigkeiten anhand definierter Kriterien. Die Ergebnisse lassen sich bei der Gestaltung von Arbeitsplätzen nutzen. Dabei wird die betrachtete Arbeitstätigkeit im Kontext des gesamten Unternehmens analysiert. Der Fragebogen ist praxisorientiert ausgelegt und pragmatisch anwendbar. Jedoch werden die Einflüsse der Digitalisierung auf die Arbeitsplätze nicht explizit berücksichtigt.

3.2.1.2 MTO-Analyse nach ULICH

Die MTO-Analyse nach ULICH ist ein ganzheitliches Instrument zur Analyse von Arbeit im Spannungsfeld Mensch-Technik-Organisation [Uli13]. Dabei werden zum einen bestehende Ansätze wie das VERA/RHIA-Verfahren [Oes99] oder der SALSA-Fragebogen [RU97] integriert sowie zum anderen neue Vorgehensweisen entwickelt. Die MTO-Analyse umfasst dabei sieben Schritte. Diese sind in Tabelle 3-1 dargestellt. Die sieben Schritte beziehen sich auf die Ebenen Unternehmen, Organisationseinheit, Gruppe sowie Individuum [Uli13, S. 7]. Die Ergebnisse einer jeweils höheren Betriebsebene gehen dabei als Voraussetzung in die Analyse der tieferen Ebene ein. Die jeweiligen Gegenstände und Methodiken der Schritte lassen sich ebenfalls der Tabelle 3-1 entnehmen.

Innerhalb der Unternehmensebene wird eine Orientierung für das betriebliche Umfeld erarbeitet, welche den Bezugsrahmen für die weiteren Analysen und Bewertungen darstellt. Diese umfasst lediglich den ersten Schritt der MTO-Analyse, die *1) Analyse auf der Ebene des Unternehmens und Interviews mit der Geschäftsleitung* [Uli13, S. 7]. Die Ebene der Organisationseinheiten bezieht sich u.a. auf die Formen der Arbeitsteilung. Zudem werden die Primäraufgaben der jeweiligen Organisationseinheiten auf Vollständigkeit bewertet [Uli13, S. 7]. Dies umfasst die *2) Analyse von Auftragsdurchläufen* sowie die *3) Analyse von Arbeitssystemen* [Uli13, S. 7ff.].

Die Ebene der Gruppen fokussiert die Analyse der Möglichkeiten zur kollektiven Regulation der Arbeit und der Arbeitsbedingungen. Darunter fallen die *4) Analyse von Arbeitsgruppen* sowie die *5) Bedingungsbezogene Analyse von Schlüsseltätigkeiten* [Uli13, S. 9]. Innerhalb der Ebene des Individuums werden *6) Personenbezogene Arbeitsanalysen* durchgeführt. Dadurch werden die subjektiven Wahrnehmungen der Beschäftigten hinsichtlich ihres Arbeitssystems und der Arbeitsbedingungen analysiert [Uli13, S. 9f.]. Der letzte Schritt *7) Analyse der soziotechnischen Geschichte* hat dabei übergeordneten Charakter.

Tabelle 3-1: Schritte, Gegenstände und Methoden der MTO-Analyse nach ULICH [Uli13, S. 8]

Schritt	Gegenstand	Methodik
1) Analyse auf der Ebene des Unternehmens	Analyse von Unternehmenszielen, Unternehmensstrategien, Unternehmensorganisation, Produkten und Produktionsbedingungen, Personalstruktur, Technikeinsatz, Qualitätsmanagement, Innovationsverhalten, Lohnsystem, etc.	Dokumentenanalysen, Experteninterviews, Interviews mit der Geschäftsleitung
2) Analyse von Auftragsdurchläufen (Prozessanalyse)	Analyse des Auftragsdurchlaufs von 2 bis 5 typischen und abgeschlossenen Aufträgen	Dokumentenanalysen, ablauforientierte Betriebsbegehungen, Experteninterviews, Gruppeninterviews
3) Analyse von Arbeitssystemen	Analyse von Inputs, Transformationsprozessen, Outputs, sozialem und technischem Teilsystem, technisch-organisatorischer Gestaltung, Schwankungen und Störungen, Hauptproblemen, etc.	Dokumentenanalysen, Experteninterviews, Gruppeninterviews
4) Analyse von Arbeitsgruppen	Analyse von Möglichkeiten zur kollektiven Regulation von Arbeitsaufgaben und Arbeitszeit, Umgebungsbedingungen, Qualifizierung, Leistung, Qualität, interner und externer Koordination, etc.	Dokumentenanalysen, Gruppeninterviews, Beobachtungsinterviews
5) Bedingungsbezog. Analyse von Schlüssel-tätigkeiten	Analyse von Arbeitseinheiten, Tätigkeitsabläufen, Kommunikations- und Kooperationserfordernissen, Mensch-Maschine-Funktionsteilung und -Interaktion, Regulationshindernissen, etc.	Ganzschichtbeobachtungen, Beobachtungsinterviews, Experteninterviews
6) Personenbezogene Arbeitsanalysen	Analyse von Erwartungen der Beschäftigten an ihre Arbeit sowie Wahrnehmung der Arbeitssituation durch die Beschäftigten	Schriftliche Erhebung mit Skalierungsverfahren
7) Analyse der soziotechnischen Geschichte	Analyse von Strategien, Vorgehen und Meilensteinen bei der technisch-organisatorischen Entwicklung des Betriebs	Dokumentenanalysen, Experteninterviews

Bewertung: Die MTO-Analyse nach ULICH ist eine umfassende Methodik, die Instrumente zur Analyse von Arbeit innerhalb der Ebenen Unternehmen, Organisationseinheit, Gruppe sowie Individuum anbietet. Dabei werden allerdings keine Interpretationshilfen und Handlungsempfehlungen für Unternehmen der produzierenden Industrie angeboten.

3.2.1.3 Ordnungsrahmen „Arbeitsumfeld in der digitalen Transformation“ nach VON SEE und KERSTEN

VON SEE und KERSTEN identifizierten im Rahmen einer Interviewstudie vier zentrale unternehmensinterne Elemente der digitalen Transformation am Beispiel der Logistik. Diese sind das Arbeitsumfeld, Technologien, Prozesse sowie Daten. Dabei wird laut den Autoren die digitale Transformation stark von einer technologischen und datentechnischen Perspektive geprägt. Damit auch die Auswirkungen auf das Arbeitsumfeld als ein

zentrales Element der digitalen Transformation berücksichtigt werden können, erarbeiten die Autoren einen Ordnungsrahmen für das Arbeitsumfeld in der digitalen Transformation [SK17, S. 100ff.]. Dieser ist in Bild 3-5 dargestellt.

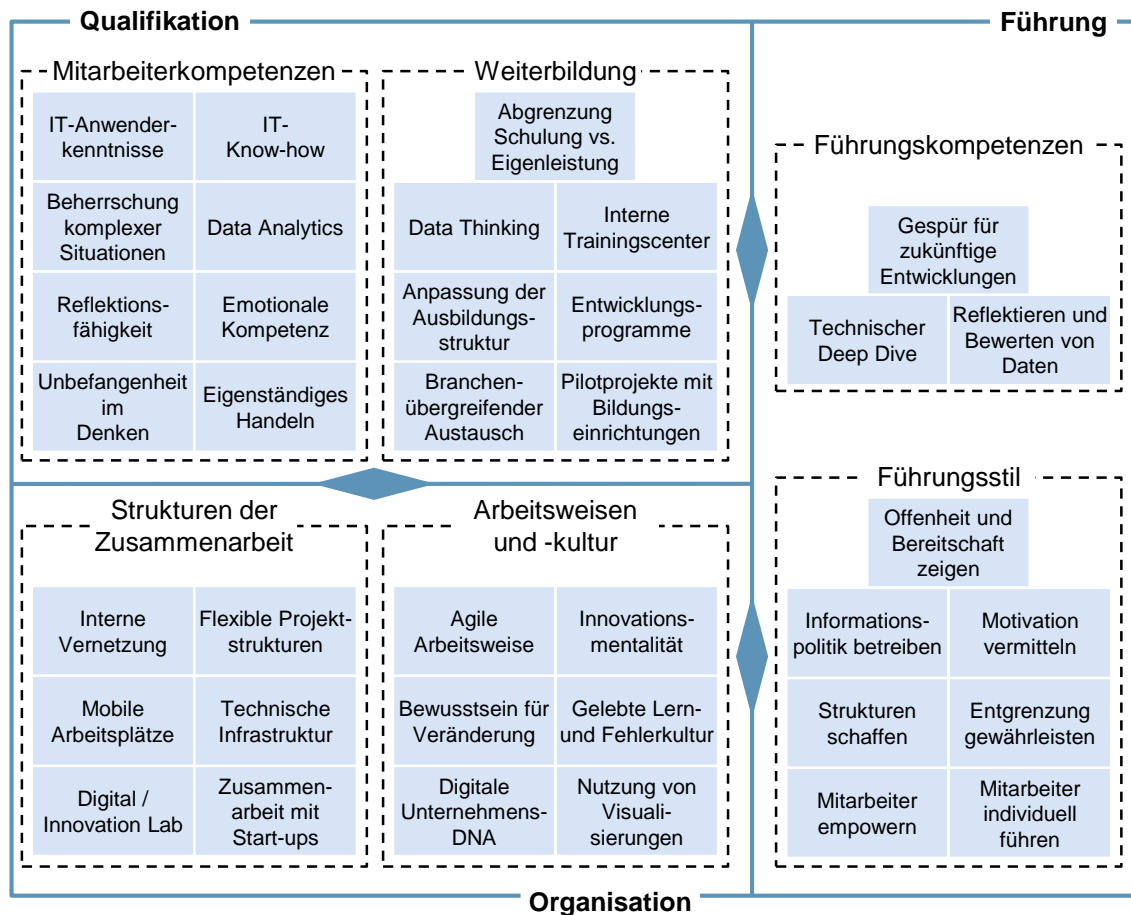


Bild 3-5: Ordnungsrahmen für das Arbeitsumfeld in der digitalen Transformation nach VON SEE und KERSTEN [SK17, S. 102]

Der Ordnungsrahmen besteht aus drei Dimensionen mit je zwei Handlungsfeldern, die jeweils in Wechselwirkung zueinander stehen. Die Dimensionen werden im Folgenden vorgestellt.

Qualifikation: Die Dimension Qualifikation umfasst die Handlungsfelder Mitarbeiterkompetenzen und Weiterbildung. Als wesentliche, zu Grunde liegende Herausforderungen werden zum einen der Mangel an qualifiziertem Personal genannt. Zum anderen geht mit der digitalen Transformation ein Bedarf nach umfangreicher werdenden Qualifikationsprofilen einher, wie zunehmende analytische Fähigkeiten und Kenntnisse in den Bereichen Technologien und IT [SK17, S. 103]. Das Handlungsfeld Mitarbeiterkompetenzen umfasst in Anlehnung an [RDH09] und [DRE14] Fach- und Methodenkompetenzen sowie Persönlichkeits- und Sozialkompetenzen. Dabei wird u.a. ein Aufbau von Methodenkompetenzen verfolgt, um aus der Komplexität verfügbarer Daten relevante Erkenntnisse zu extrahieren [SK17, S. 104]. Das Handlungsfeld Weiterbildung fokussiert den

spezielleren Qualifikationsmix und die zunehmende Veränderungsgeschwindigkeit. Entsprechende Schulungskonzepte müssen Fach- und Methodenkompetenzen sowie Persönlichkeits- und Sozialkompetenzen gleichermaßen adressieren. Ein Bereich von hoher Relevanz für Schulungen ist die zielgerichtete Nutzung von Daten [SK17, S. 105].

Organisation: Die Dimension Organisation setzt sich aus den Handlungsfeldern Strukturen der Zusammenarbeit sowie Arbeitsweisen und gelebte Arbeitskultur im Unternehmen zusammen. Die Dimension adressiert vor allem die mangelnde Umsetzungsgeschwindigkeit im Kontext der Digitalisierung, welche als wesentliche Herausforderung dieser Dimension identifiziert wurde [SK17, S. 106f.]. Das Handlungsfeld Strukturen der Zusammenarbeit bezieht sich auf den inter- und intraorganisationalen Austausch von Daten und Wissen, welcher durch die Möglichkeiten der Digitalisierung gefördert wird [SK17, S. 107]. Das Handlungsfeld Arbeitsweisen und -kultur bezieht sich zum einen auf agile Arbeitsweisen, um der Dynamik der Digitalisierung gerecht zu werden (vgl. Abschnitt 2.4.3). Zum anderen bedarf es einer digitalen Unternehmens-DNA, in der z.B. ein breites Verständnis des Werts von Daten verankert ist [SK17, S. 108].

Führung: Die Dimension Führung beinhaltet die Handlungsfelder Führungskompetenzen sowie Führungsstil. Als Herausforderung für Führungskräfte wird dabei die Identifikation von Potentialen der Digitalisierung genannt [SK17, S. 109]. Das Handlungsfeld Führungskompetenz drückt aus, dass auch die Kompetenzen der Führungskräfte einen Wandel erfordern. So müssen sie die Notwendigkeit einer digitalen Transformation antizipieren sowie orchestrieren können [SK17, S. 110]. Das Handlungsfeld Führungsstil bezieht sich auf die Führung als Verbindung zwischen den Digitalisierungszielen der Organisation und den Mitarbeitenden. Zentrale Elemente sind dabei Information und Motivation der Mitarbeiter, die durch einen entsprechenden Führungsstil gestaltet werden müssen [SK17, S. 110f.].

Bewertung: Der von VON SEE und KERSTEN entwickelte Ordnungsrahmen bietet Unternehmen eine Hilfestellung, Veränderungen durch die Digitalisierung im Arbeitsumfeld zu adressieren. Allerdings werden die Dimensionen und Handlungsfelder nur generisch vorgestellt, zudem gibt es keine Kriterien zur Erfassung der Leistungsfähigkeit einer Organisation. Darüber hinaus wird keinerlei Zusammenhang zwischen Lösungen der Digitalisierung und den Handlungsfeldern aufgezeigt. Der Ansatz eignet sich nicht für ein Reifegradmanagement.

3.2.1.4 Beschreibungsmodell „Arbeitswelt Industrie 4.0“ nach BAUER ET AL.

Die zunehmende Umsetzung technologiegestützter Arbeitsprozesse in Unternehmen der produzierenden Industrie macht die Prognose zukünftiger Veränderungen von Arbeit notwendig. Zur Beschreibung und Bewertung derartiger Veränderungen entwickelten BAUER ET AL. einen Modellierungsansatz für ein arbeitsplatznahes Beschreibungsmodell der „Arbeitswelt Industrie 4.0“ [BSS18, S. 151]. Ziel des Ansatzes ist die Darstellung des

Lösungsraums für die Arbeitsgestaltung der Zukunft. Dazu werden Industrie 4.0-induzierte Veränderungen von Arbeitstätigkeiten durch 14 Beschreibungsdimensionen bewertet [BSS18, S. 151]. Dies ist in Bild 3-6 dargestellt.

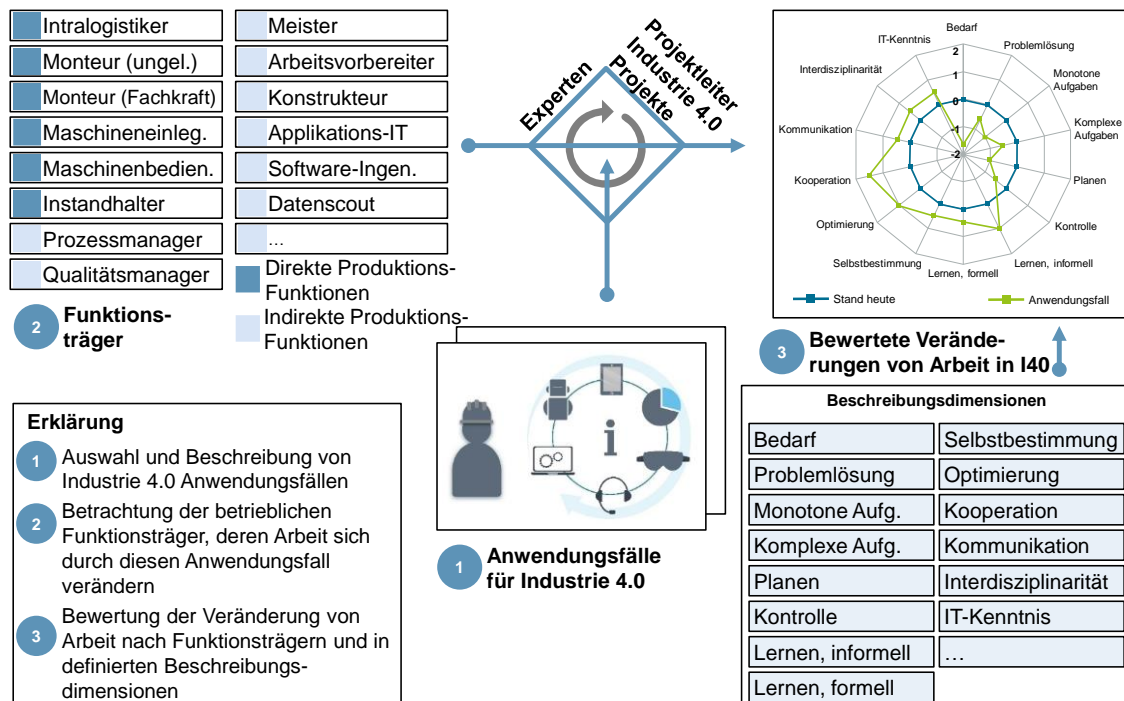


Bild 3-6: Modellierungsansatz für ein arbeitsplatznahes Beschreibungsmodell der „Arbeitswelt Industrie 4.0“ nach BAUER ET AL. [BSS18, S. 154]

Im Rahmen des Modellierungsansatzes werden in einem ersten Schritt sog. Anwendungsfälle für Industrie 4.0 identifiziert. Dazu werden bestehende oder geplante Umsetzungsprojekte herangezogen. Diese Projekte werden hinsichtlich des zu lösenden Problems, der Erwartungen hinsichtlich des Nutzens sowie der Änderungen des Arbeitsprozesses beschrieben [BSS18, S. 151ff.].

In einem zweiten Schritt werden die betrieblichen Funktionsträger im Produktionsumfeld ausgewählt, die an den ausgewählten Industrie 4.0-Anwendungsfällen beteiligt sind. Diese werden in direkte und indirekte Produktionsfunktionen unterschieden. Beispielfähige direkte Funktionsträger im Produktionsumfeld sind ein Intralogistiker oder ein Maschinenbediener, indirekte Funktionsträger können Meister oder Datenscouts sein [BSS18, S. 153].

In einem dritten Schritt werden die Veränderungen für die identifizierten Funktionsträger anhand von 14 Beschreibungsdimensionen bewertet. Diese stehen im Kern des Ansatzes. Für jede der Dimensionen stehen Leitfragen bereit, mit deren Hilfe die Bewertungen vorgenommen werden können. Diese erfolgen anhand einer fünfstufigen Likert-Skala, welche die Ausprägungen „starker Rückgang“, „Rückgang“, „gleichbleibend“, „Anstieg“ so-

wie „starker Anstieg“ enthält. Eine beispielhafte Dimension ist der Bedarf mit der dazugehörigen Leitfrage „Werden mehr oder weniger Mitarbeiter mit dieser betrieblichen Funktion benötigt?“ [BSS18, S. 153].

Zur Validierung des Ansatzes haben die Autoren u.a. das Grundszenario der Automatisierung (vgl. [WD18, S. 61ff.]) bewertet. In diesem Szenario wird die Arbeit durch die eingesetzte Technik bestimmt, die Autonomie der Fachkräfte ist stark eingeschränkt. Dies führt zu einer Kompetenzlücke, da Fachkräfte das erforderliche Fachwissen für z.B. Störungsfälle nicht aufbauen können. Dabei bewerten die Autoren für den Funktionsträger Monteur nahezu alle Dimensionen mit „Rückgang“ (z.B. Bedarf, Selbstbestimmung, Kontrolle). Die Dimensionen „Planen“, „Komplexe Aufgaben“ und „Problemlösung“ werden gar mit „starker Rückgang“ bewertet. Zudem wird die Dimension „monotone Aufgaben“ mit „starker Anstieg“ bewertet [BSS18, S. 155].

Bewertung: Der Modellierungsansatz für ein arbeitsplatznahes Beschreibungsmodell der „Arbeitswelt Industrie 4.0“ nach BAUER ET AL. bietet einen pragmatischen und praktisch anwendbaren Ansatz zur Einschätzung von Veränderungen in der Arbeitswelt durch Industrie 4.0-Anwendungsfälle. Dabei erfolgt jedoch lediglich eine Fokussierung auf das Produktionsumfeld. Zudem werden keine Interpretationshilfen bzw. Handlungsempfehlungen auf Basis der bewerteten Veränderungen gegeben. Des Weiteren erfolgt keine Definition und keine Strukturierung der zu Grunde liegenden Industrie 4.0-Anwendungsfälle.

3.2.2 Ansätze zur Bestimmung der digitalen Reife eines Unternehmens

Die zu erarbeitende Systematik hat zum Ziel, die Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten vor dem Hintergrund der unternehmensindividuellen Rahmenbedingungen zu gestalten. Daher bedarf es einer Analyse der Ausgangssituation innerhalb des Unternehmens. In der Problemanalyse wurde zudem aufgezeigt, dass es eines Reifegradmodells bedarf, welches produzierende Unternehmen bei der Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien unterstützt. Vor diesem Hintergrund werden in diesem Abschnitt Ansätze zur Ermittlung des digitalen Reifegrads von produzierenden Unternehmen vorgestellt. Konkret sind dies der Industrie 4.0 Maturity Index nach SCHUH ET AL. (vgl. Abschnitt 3.2.2.1), das Industrie 4.0 Readiness Modell nach LICHTBLAU ET AL. (vgl. Abschnitt 3.2.2.2) sowie das Reifegradmodell Industrie 4.0 nach JODLBAUER ET AL. (vgl. Abschnitt 3.2.2.3). Zudem werden zwei Ansätze dargestellt, welche die Arbeitswelt in den Fokus rücken. Darunter fällt ein Ansatz zur Einführung interaktiver Assistenzsysteme über Reifegradmodelle nach WILLEKE und KASSELMANN (vgl. Abschnitt 3.2.2.4) sowie der Praxisleitfaden Arbeiten 4.0 nach BALZEREIT (vgl. Abschnitt 3.2.2.5).

3.2.2.1 Industrie 4.0 Maturity Index nach SCHUH ET AL.

Ziel des Industrie 4.0 Maturity Index nach SCHUH ET AL. ist es, Unternehmen der produzierenden Industrie bei der Bestimmung des aktuellen Industrie 4.0-Reifegrads sowie bei der Identifikation konkreter Maßnahmen zu seiner Verbesserung zu unterstützen [SAG+17, S. 13]. Dazu wurde ein Modell entwickelt, welches sich aus vier Kernelementen zusammensetzt. Dies zeigt Bild 3-7.

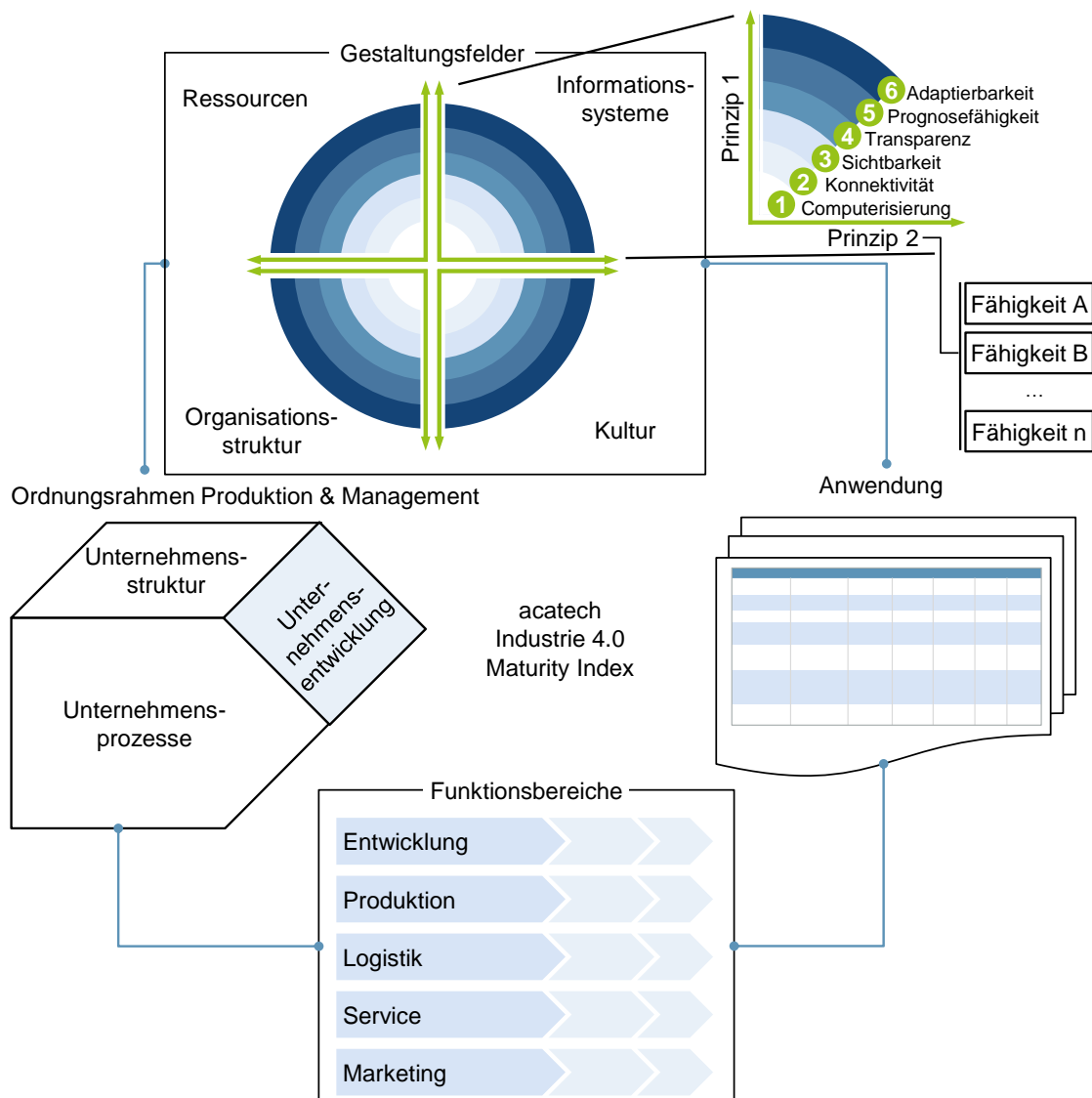


Bild 3-7: Modellaufbau des Industrie 4.0 Maturity Index nach SCHUH ET AL. [SAG+17, S. 19]

Zum ersten bildet der „Ordnungsrahmen Produktion und Management“ die Grundlage des Modells, da durch diesen eine vollständige Sicht auf ein Unternehmen der produzierenden Industrie gewährleistet wird [BVS+11, S. 55]. Es werden die Elemente Unternehmensstruktur, Unternehmensprozesse sowie Unternehmensentwicklung betrachtet [SAG+17, S. 18]. Dabei wird die Unternehmensstruktur aufgegriffen und daraus die vier

Gestaltungsfelder Ressourcen, Informationssysteme, Kultur und Organisationsstruktur abgeleitet. Diese bilden das zweite Kernelement des Industrie 4.0 Maturity Index. Für jedes Gestaltungsfeld werden zwei sog. handlungsleitende Prinzipien mit jeweils benötigten Fähigkeiten identifiziert [SAG+17, S. 19]. So werden z.B. für das Gestaltungsfeld Organisationsstruktur die Prinzipien „Interne Organisation“ und „Kollaboration im Wertschöpfungsnetzwerk“ definiert. Für letzteres sind die Fähigkeiten „Ausrichtung am Kundennutzen“ sowie „Kooperation im Netzwerk“ relevant [SAG+17, S. 29ff.]. Die Fähigkeiten werden in sechs Entwicklungsstufen gemessen: 1) Computerisierung, 2) Konnektivität, 3) Sichtbarkeit, 4) Transparenz, 5) Prognosefähigkeit sowie 6) Adaptierbarkeit [SAG+17, S. 15ff.]. Das dritte Kernelement bilden die fünf Funktionsbereiche Entwicklung, Produktion, Logistik, Service sowie Marketing und Vertrieb [SAG+17, S. 38ff.]. Für jeden Funktionsbereich werden Visionen skizziert. Das vierte Kernelement bildet ein Vorgehensmodell zur Anwendung des Industrie 4.0 Maturity Index [SAG+17, S. 46ff.].

Das Vorgehensmodell besteht aus drei Phasen. In der ersten Phase erfolgt die Bestimmung der aktuellen Industrie 4.0-Reifegradstufe. Dazu werden die identifizierten unternehmerischen Fähigkeiten anhand der Geschäftsprozesse in den Funktionsbereichen untersucht. Als Hilfsmittel steht ein Fragebogen zur Verfügung, wobei sich die Antwortmöglichkeiten an den sechs Entwicklungsstufen orientieren [SAG+17, S. 46f.]. Die zweite Phase umfasst eine GAP-Analyse sowie die Identifikation aufzubauender Fähigkeiten. In einem ersten Schritt wird die Verstetigung des Reifegrads verfolgt. Dabei ist eine konsistente Entwicklung über alle Gestaltungsfelder anzustreben, da zwischen den Gestaltungsfeldern große Abhängigkeiten bestehen. Daher kann in der Regel der Nutzen aus den bestehenden Fähigkeiten innerhalb der Gestaltungsfelder mit hoher Reife nur dann erzielt werden, wenn auch die übrigen Gestaltungsfelder diese Reife aufweisen. Daher wird den Unternehmen empfohlen, die entsprechenden Handlungsfelder zu bedienen, um einen einheitlichen Reifegrad über alle Gestaltungsfelder zu erzielen. In einem zweiten Schritt kann dann der Ausbau des Reifegrads erfolgen, sodass ein definierter Soll-Zustand erreicht werden kann [SAG+17, S. 48]. In der dritten Phase werden konkrete Maßnahmen identifiziert. Diese werden aus den fehlenden Fähigkeiten in den jeweiligen Gestaltungsfeldern abgeleitet. Die Maßnahmen werden, angelehnt an das zweistufige Verfahren (Verstetigung und Ausbau des Reifegrads), priorisiert, aufeinander abgestimmt und in eine schlüssige Reihenfolge gebracht [SAG+17, S. 49].

Bewertung: Der Industrie 4.0 Maturity Index nach SCHUH ET AL. ermöglicht Unternehmen die Identifikation von Maßnahmen zur Erschließung von Nutzenpotentialen der Industrie 4.0. Dazu werden entsprechende Gestaltungsfelder und unternehmerische Fähigkeiten definiert. Zudem steht ein Vorgehensmodell zur Verfügung. Allerdings haben die Gestaltungsfelder nur teilweise einen Bezug zur Arbeitswelt. Darüber hinaus bleibt der Ansatz bei der Ableitung von konkreten Maßnahmen unpräzise.

3.2.2.2 Industrie 4.0-Readiness-Modell nach LICHTBLAU ET AL.

Das von LICHTBLAU ET AL. vorgestellte Industrie 4.0-Readiness-Modell hat zum Ziel, Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus auf dem Weg zu Industrie 4.0 zu unterstützen. Vor diesem Hintergrund ermöglicht das Modell, die unternehmensspezifische Ausgangssituation als auch den Handlungsbedarf in Bezug auf Industrie 4.0 zu erfassen [LSB+15, S. 10]. Das Readiness-Modell basiert auf sechs Dimensionen der Industrie 4.0. Dazu zählen Strategie und Organisation, Smart Factory, Smart Operations, Smart Products, Data-driven Services sowie Mitarbeiter. Diesen Dimensionen werden insgesamt 18 Themenfelder zugeordnet. Dies zeigt Bild 3-8 in der Übersicht.



Bild 3-8: Dimensionen und zugeordnete Themenfelder nach LICHTBLAU ET AL. [LSB+15, S. 22]

So setzt sich z.B. die Dimension Mitarbeiter aus den Themenfeldern Kompetenzen der Mitarbeiter und Aufbau der Kompetenzen zusammen [LSB+15, S. 21f.]. Auf dieser Basis wurde ein sechsstufiges Modell zur Messung der Industrie 4.0-Readiness entwickelt. Jede

der Readiness-Stufen (0-5) beinhaltet definierte Mindestanforderungen, welche zur Erreichung der jeweiligen Stufen zwingend erfüllt werden müssen. Unternehmen auf der Stufe 0 werden als sog. Außenstehende klassifiziert. Diese haben keinerlei oder nur in geringem Maße Industrie 4.0-Maßnahmen geplant oder umgesetzt. Stufe 5 bezieht sich auf Unternehmen, welche die Industrie 4.0-Zielversion vollständig umgesetzt haben [LSB+15, S. 21].

So wird das Leistungsniveau innerhalb der Dimension Smart Operations u.a. hinsichtlich der Cloud-Nutzung definiert. Dabei ist z.B. die Mindestanforderung zur Erreichung der Leistungsstufe 3, das erste Lösungen für eine cloudbasierte Datenspeicherung und -auswertung geplant sind. Für eine Klassifikation der Stufe 5 ist die Umsetzung mehrerer Lösungen Voraussetzung. Im Themenfeld IT-Sicherheit ist die Implementierung von IT-Sicherheitslösungen für alle relevanten Bereiche die Mindestanforderung für die Leistungsstufe 5 [LSB+15, S. 72].

Auf Basis dieser Selbsteinschätzung können Unternehmen Handlungsfelder auf dem Weg zur Industrie 4.0 ableiten. Dazu werden zunächst, je nach Leistungsstufen, standardisierte Haupthürden vorgestellt. So wird z.B. für Unternehmen der Stufen 0 und 1 in der Dimension Smart Operations kein oder kaum betriebsinterner, systemintegrierter Informationsaustausch als Haupthürde definiert. Das entsprechende Handlungsfeld lautet Ansätze von internem und externem systemintegriertem Informationsaustausch planen [LSB+15, S. 58]. Für Unternehmen der Stufen 3+ ist hingegen die Haupthürde der fehlende Einsatz autonom steuernder Werkstücke und selbstständig reagierender Prozesse. Daraus wird das Handlungsfeld Einsatz autonom steuernder Werkstücke und selbstständig reagierender Prozesse abgeleitet [LSB+15, S. 62].

Bewertung: Das Industrie 4.0-Readiness-Modell nach LICHTBLAU ET AL. ermöglicht die Ableitung von Handlungsfeldern auf Basis einer Bewertung der Leistungsfähigkeit von Unternehmen der produzierenden Industrie in sechs Dimensionen. Die Berücksichtigung unternehmensindividueller Rahmenbedingungen ist Kernelement dieses Ansatzes. Jedoch lassen sich die Dimensionen nur vereinzelt der Arbeitswelt zuordnen (z.B. Dimension Mitarbeiter). Zudem sind die Leistungsstufen der jeweiligen Themenfelder nur unpräzise definiert. Auch werden weder ein systematisches Vorgehensmodell noch Hilfsmittel zur Verfügung gestellt.

3.2.2.3 Reifegradmodell Industrie 4.0 nach JODLBAUER ET AL.

Das Reifegradmodell Industrie 4.0 nach JODLBAUER ET AL. hat zum Ziel, die Industrie 4.0-Reife eines Unternehmens zu messen und auf dieser Grundlage konkrete Maßnahmen vorzuschlagen, um den IST-Reifegrad zum anzustrebenden SOLL-Reifegrad weiterzuentwickeln [JSB16, S. 49]. Der Reifegrad wird dabei in den drei Dimensionen Daten, Intelligenz und Digitale Transformation gemessen [JSB16, S. 50]. Dies zeigt Bild 3-9.

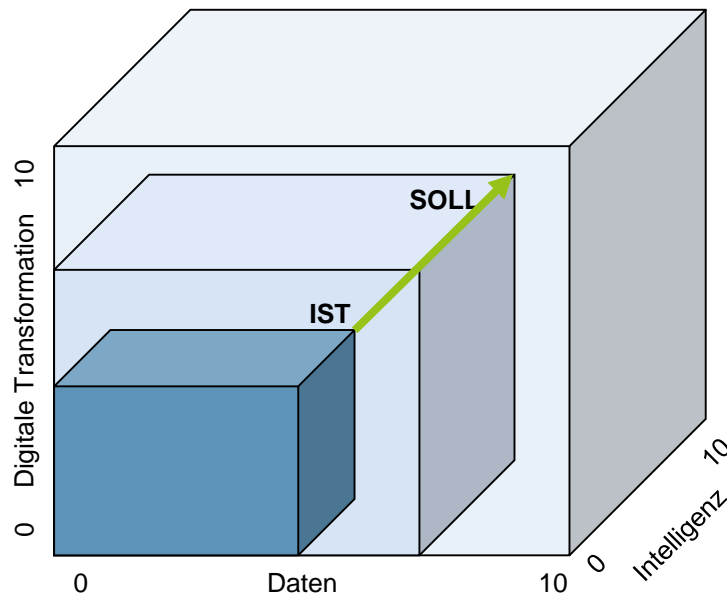


Bild 3-9: Dimensionen der Reifegradbewertung nach JODLBAUER ET AL. [JSB16, S. 49]

Jede Dimension wird dabei auf einer Skala von 0 bis 10 bewertet. Zur Bewertung der Dimensionen werden diese in Kriterien und Subkriterien unterteilt. So wird die Dimension Daten in die Kriterien Big Data, Open-Ansätze und Security unterteilt. Dabei weist das Kriterium Big Data die Subkriterien Bandbreite, Übertragungsgeschwindigkeit sowie Vielfalt, Richtigkeit und Visualisierung der Daten auf. Die Dimension Intelligenz setzt sich zum einen aus dem Kriterium Enabler zusammen. Es umfasst die Subkriterien Identifizierbarkeit, Lokalisierbarkeit, Konnektivitätsgrad, Speicher- und Rechenfähigkeit sowie die Ausstattung der Aktoren und Sensoren. Zum anderen beinhaltet es das Kriterium Nutzung von Intelligenz, welches sich aus den Subkriterien Selbstständigkeit, Mensch-Maschine Symbiose sowie Reaktions-, Anpassungs- und Kooperationsfähigkeit zusammensetzt. Die Dimension Digitale Transformation umfasst u.a. das Kriterium Mitarbeiter mit den Subkriterien Mitarbeiter (Können & Wollen) und Führung (Dürfen).

Jedes Subkriterium wird dabei mit Hilfe von Referenztabelle bewertet. Der Reifegrad eines Kriteriums ergibt sich aus dem gewichteten Mittelwert über die Subkriterien. Der Reifegrad einer Dimension berechnet sich aus dem gewichteten Mittelwert der entsprechenden Kriterien. Der Reifegrad des Unternehmens ergibt sich aus dem Mittelwert der Dimensionen [JSB16, S. 50].

Die Anwendung des Reifegradmodells erfolgt in einem dreistufigen Vorgehen. In einer ersten Phase werden im Rahmen eines Startworkshops Applikationsfelder ausgewählt, die in Bezug auf Industrie 4.0 von Bedeutung sind. Dazu werden zunächst Strategie und Ziele des Unternehmens formuliert. In einer zweiten Phase werden im Rahmen von Interviews der IST-Reifegrad bewertet und der SOLL-Reifegrad definiert. Dieser leitet sich aus Unternehmensstrategie und -zielen, Marktbedürfnissen sowie dem IST-Zustand ab. In einer letzten Phase werden im Rahmen eines Abschlussworkshops Projektvorschläge abgeleitet, um den definierten SOLL-Zustand zu erreichen [JSB16, S. 50f.].

Bewertung: Das Reifegradmodell Industrie 4.0 nach JODLBAUER ET AL. unterstützt Unternehmen bei der Bewertung ihres Reifegrads in Bezug auf Industrie 4.0. Dabei bleiben die zu Grunde liegenden Dimensionen, Kriterien und Subkriterien oft unklar. Auch das Vorgehensmodell zur Anwendung des Modells ist wenig präzise. Es gibt nur einen rudimentären Bezug zu den Arbeitswelten produzierender Unternehmen.

3.2.2.4 Einführung interaktiver Assistenzsysteme über Reifegradmodelle nach WILLEKE und KASSELMANN

WILLEKE und KASSELMANN stellen einen Ansatz zur systematischen Planung und Steuerung der Einführung interaktiver Assistenzsysteme über Reifegradmodelle vor. Unter interaktiven Assistenzsystemen werden mobile Endgeräte verstanden, welche den Nutzer durch Handlungsempfehlungen in der Ausführung seiner Arbeitsaufgaben unterstützt [WK16, S. 692]. Um diese ganzheitlich und systematisch einzuführen, sind Reifegradmodelle ein vielversprechendes Hilfsmittel, die bei der Erreichung definierter Ziele durch ein strukturiertes Vorgehen unterstützen [WK16, S. 693]. Den generellen Aufbau des Reifegradmodells zur systematischen Einführung von interaktiven Assistenzsystemen zeigt Bild 3-10.

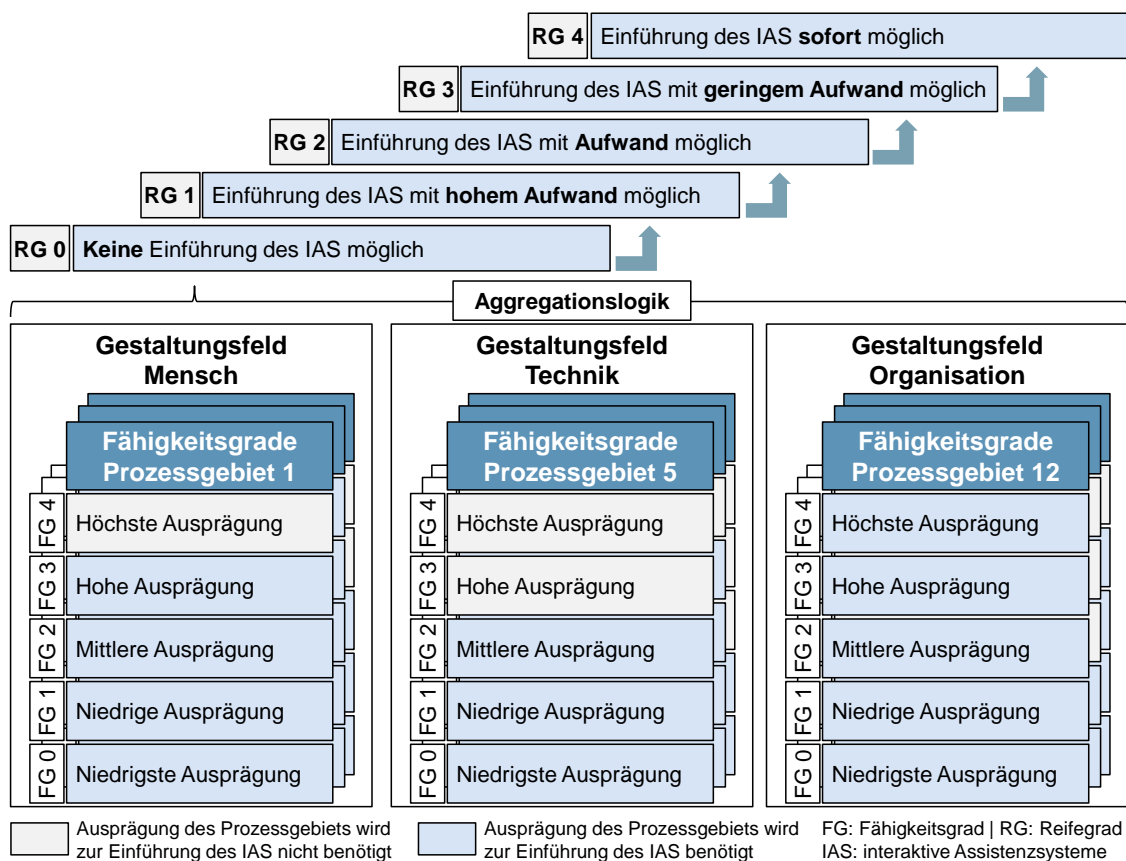


Bild 3-10: Aufbau des Reifegradmodells zur systematischen Einführung von interaktiven Assistenzsystemen nach WILLEKE und KASSELMANN [WK16, S. 694]

Zur Erarbeitung des Reifegradmodells wurden zunächst Anforderungen an die Einführung interaktiver Assistenzsysteme identifiziert, welche die Bereiche Mensch (z.B. Anforderungen an Schulungsempfänger und -inhalte), Technik (z.B. Anforderungen an zu beschaffende Hardware wie Datenbrillen) sowie Organisation (z.B. Auswirkungen auf Arbeitspläne) betreffen [WK16, S. 693]. Im Folgenden wurden Risiken bei der Erfüllung dieser Anforderungen identifiziert sowie die jeweiligen Schadensausmaße und Eintrittswahrscheinlichkeiten abgeschätzt. Die identifizierten Anforderungen wurden als Kriterien in Prozessgebieten zusammengefasst und Fähigkeitsgrade (FG) erarbeitet [WK16, S. 693]. Die Prozessgebiete wurden den sog. Gestaltungsfeldern Mensch, Technik und Organisation zugeordnet. Ein beispielhaftes Prozessgebiet im Gestaltungsfeld Technik ist die drahtlose Datenübertragung als Voraussetzung für die Verwendung von Datenbrillen [WK16, S. 693f.]. Die niedrigste Ausprägung ist dabei die fehlende drahtlose Datenübertragung (FG 0), die höchste Ausprägung die vollständige Ausleuchtung aller Fabrikbereiche mit einem starken Signal [WK16, S. 694]. Weitere Beispiele für Prozessgebiete sind das Stammdatenmanagement (Gestaltungsfeld Organisation) sowie die Technologieakzeptanz (Gestaltungsfeld Technik) [WK16, S. 694]. Dabei werden je nach Assistenzsystem und Anwendungsgebiet andere Fähigkeiten in den einzelnen Prozessgebieten vorausgesetzt [WK16, S. 694]. Die Fähigkeitsgrade in den einzelnen Prozessgebieten werden über eine Aggregationslogik zu einem übergeordneten Reifegrad zusammengefasst [WK16, S. 694].

Bewertung: Der von WILLEKE und KASSELMANN vorgestellte Ansatz definiert Fähigkeitsgrade für verschiedene Prozessgebiete, die Unternehmen für die Einführung von interaktiven Assistenzsystemen erreichen müssen. Dabei werden die Gestaltungsfelder Mensch, Technik und Organisation berücksichtigt. Der Ansatz bietet eine umfassende Übersicht über relevante Handlungsfelder, allerdings fehlt eine konkrete Anwendungsunterstützung. Zudem ist der Ansatz auf interaktive Assistenzsysteme beschränkt, sodass die Bandbreite der Potentiale von digitalen Technologien für die Arbeitswelt nicht ausreichend adressiert wird.

3.2.2.5 Praxisleitfaden Arbeiten 4.0 nach BALZEREIT

Die von BALZEREIT entwickelte Selbstanalyse hat zum Ziel, Unternehmen Handlungsbedarf auf dem Weg zu digitalisierten Arbeitswelten aufzuzeigen [Bal16, S. 13]. Dazu werden fünf generische Handlungsfelder identifiziert, in denen die Selbstanalyse durchgeführt wird. Tabelle 3-2 zeigt einen Auszug am Beispiel des Handlungsfelds Arbeitsformen und Rahmenbedingungen [Bal16, S. 24].

Im Folgenden werden die Handlungsfelder und die jeweiligen Leitfragen erläutert.

Arbeitsformen und Rahmenbedingungen: Dieses Handlungsfeld umfasst kollaborationsfördernde Arbeitsumgebungen sowie flexible Arbeitszeit- und Beschäftigungsmodelle. Ein wesentlicher Bestandteil dieses Handlungsfeld ist der Datenschutz [Bal16, S. 14f.]. Entsprechend beziehen sich die Fragen u.a. auf Transparenz und Einbeziehung der

Mitarbeiter bei der Gestaltung der Arbeitszeit, flexible Arbeitszeitmodelle, Lernzeitkonten oder auf die Möglichkeit der Entkopplung des Arbeitsplatzes vom Unternehmen [Bal16, S. 24].

Tabelle 3-2: Fragen zur Selbstanalyse im Bereich Arbeitsformen und Rahmenbedingungen [Bal16, S. 24]

	Ja	Teilweise	Im Ansatz	Nein
1) Passen Sie Ihre Unternehmensstrategie regelmäßig an Veränderungen an, die durch die Digitalisierung im Arbeitsleben entstehen?	4	3	2	1
2) Sorgen Sie in allen Bereichen für Transparenz und werden die Ziele des Unternehmens allen Mitarbeitern klar kommuniziert?	4	3	2	1
3) Haben Sie flexible Arbeitszeitmodelle?	4	3	2	1
4) Lassen Sie die Mitarbeiter bei der Gestaltung der Arbeitszeit mitwirken?	4	3	2	1
5) Gibt es mittel- und langfristige Arbeitszeitkonten oder auch Lernzeitkonten?	4	3	2	1
6) Bieten Sie Möglichkeiten, den Arbeitsplatz vom Unternehmen zu entkoppeln (z.B. Homeoffice)?	4	3	2	1

Organisationsmodelle und Prozessgestaltung: In diesem Handlungsfeld werden flexible Strukturen und Prozesse betrachtet. Fokussiert werden agile Organisationsformen, die sich durch kurze Planungs- und Umsetzungszyklen sowie schnelle Entscheidungswege und hohe Flexibilität auszeichnen. Ein elementarer Bestandteil sind dabei agile Führungskompetenzen [Bal16, S. 16]. Vor diesem Hintergrund zielen die Fragen u.a. auf Entscheidungswege, Hierarchien und Führung ab [Bal16, S. 24].

Kommunikation und neue Formen der Zusammenarbeit: Das Handlungsfeld adressiert die Potentiale des Crowdsourcing, der Mensch-Maschine-Interaktion sowie den zunehmenden Bedarf an interdisziplinären Wissensarbeitern [Bal16, S. 17f.]. Dementsprechend beziehen sich die Fragen u.a. auf Wissensarbeit, Interaktion sowie auf die interdisziplinäre Zusammenarbeit [Bal16, S. 25].

Motivation und Führung: Dieses Handlungsfeld bezieht sich auf neue Anforderungen an Führungskräfte, welche aus dem digitalen Wandel der Arbeitswelt resultieren. Diese umfassen u.a. den richtigen Führungsstil in neuen Organisations- und Arbeitsformen sowie die Motivation von sich selbst organisierenden Mitarbeitern. In dieses Handlungsfeld fallen auch Aspekte des betrieblichen Gesundheitsmanagements [Bal16, S. 18f.]. Die Fragen zur Selbstbewertung zielen u.a. auf Vertrauen, psychische Aspekte der Gesundheitsförderung sowie die Kompetenzentwicklung von Führungskräften ab [Bal16, S. 25].

Kompetenzen und Lernen: Das Handlungsfeld betrachtet die Aspekte des lebenslangen Lernens sowie die lernende Organisation. Dabei wird die stetige Weiterentwicklung zum

Bestandteil des Selbstverständnisses des Unternehmens [Bal16, S. 19f.]. Die Fragen beziehen sich u.a. auf Weiterbildungsmöglichkeiten, Selbstorganisationsfähigkeiten der Mitarbeiter und die Fehlerkultur im Unternehmen [Bal16, S. 26].

Auf Basis der Bewertung der jeweiligen Fragen wird das Unternehmen einer von drei Kategorien zugeordnet. Auf dieser Grundlage werden rudimentäre Handlungsempfehlungen gegeben [Bal16, S. 26].

Bewertung: Der Ansatz von BALZEREIT ermöglicht die Identifikation von Handlungsbedarf auf dem Weg zu digitalisierten Arbeitswelten. Zwar wird eine differenzierte Sicht auf das Themenfeld eingenommen, allerdings gehen die Handlungsempfehlungen nicht über einfache Impulse hinaus. Zudem bleiben die Bewertungsfragen auf einem sehr generischen Niveau.

3.3 Ansätze zur Bewertung und Auswahl von Digitalisierungslösungen

In der Problemanalyse wurde aufgezeigt, dass es eines Hilfsmittels bedarf, welches Unternehmen bei der Identifikation, Bewertung und Auswahl von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien unterstützt. Vor diesem Hintergrund werden Ansätze vorgestellt, welche die Bewertung und Auswahl von Digitalisierungslösungen ermöglichen. Die prozessorientierte Potentialanalyse von Industrie 4.0-Technologien⁶ nach DOMBROWSKI ET AL. (vgl. Abschnitt 3.3.1) unterstützt die Auswahl derartiger Technologien auf Grundlage ihres Nutzens für Unternehmensprozesse. Zudem wird eine Methodik des VDI zur Ermittlung des Ressourceneffizienzpotentials der digitalen Transformation vorgestellt (vgl. Abschnitt 3.3.2). Einen zusammenfassenden Charakter hat Abschnitt 3.3.3. Dort wird die Technologiebewertung nach SCHUH ET AL. beschrieben, wobei eine Vielzahl von Methoden den verschiedenen Phasen des Technologiemanagements zugeordnet wird.

3.3.1 Prozessorientierte Potentialanalyse von Industrie 4.0-Technologien nach DOMBROWSKI ET AL.

Die prozessorientierte Potentialanalyse von Industrie 4.0-Technologien nach DOMBROWSKI ET AL. unterstützt Unternehmen bei der Auswahl einer Industrie 4.0-Technologie auf Basis des Nutzens für Unternehmensprozesse. Dies erfolgt im Rahmen eines dreistufigen Vorgehens.

In der ersten Phase erfolgt eine Ist-Analyse der Wertschöpfungsprozesse anhand einer Wertstromanalyse. Ziel sind identifizierte Verbesserungspotentiale. Dazu werden für eine definierte Produktfamilie Produktionsprozesse, Material- und Informationsflüsse analy-

⁶ Industrie 4.0-Technologien werden in der vorliegenden Arbeit als Digitalisierungslösungen betrachtet.

siert. Zudem werden relevante Daten innerhalb der genannten Bestandteile aufgenommen. Dazu zählen z.B. Bearbeitungs- oder Rüstzeiten eines Produktionsprozesses. Dabei werden Schwachstellen innerhalb von Unternehmensprozessen identifiziert, welche durch den Einsatz von Industrie 4.0-Technologien adressiert werden können [DKF+18, S. 108].

Die zweite Phase fokussiert die Vorauswahl von Technologien. Dabei werden in einem ersten Schritt mit Hilfe des Ishikawa-Diagramms die Ursachen der identifizierten Schwachstellen ermittelt. Diese werden anhand der fünf Einflussfaktoren Mensch, Maschine, Milieu, Methode und Material analysiert. Auf dieser Basis werden in einem zweiten Schritt Industrie 4.0-Technologien ausgewählt, durch deren Einführung eine positive Wirkung auf das Problem und die jeweilige Ursache vermutet wird [DKF+18, S. 108]. Dies erfolgt in interdisziplinären Workshops mit Prozessbeteiligten und Technologieexperten. In diesem Zusammenhang empfiehlt sich ein Werkzeugkasten, der potentielle Technologien und Lösungskonzepte zu Problemen und deren Ursachen enthält [BS14, S. 590]. Eine Technologie wird dann vorausgewählt, wenn diese auf mindestens eine Ursache eine positive Auswirkung hat, d.h. durch die Technologie muss die Ursache beseitigt und das entsprechende Problem vollständig oder teilweise gelöst werden können [DKF+18, S. 108]. Dabei haben sowohl die Problemursachen als auch die Industrie 4.0-Technologien (Aus-)Wirkungen auf das identifizierte Problem. Bild 3-11 stellt dieses Prinzip dar.

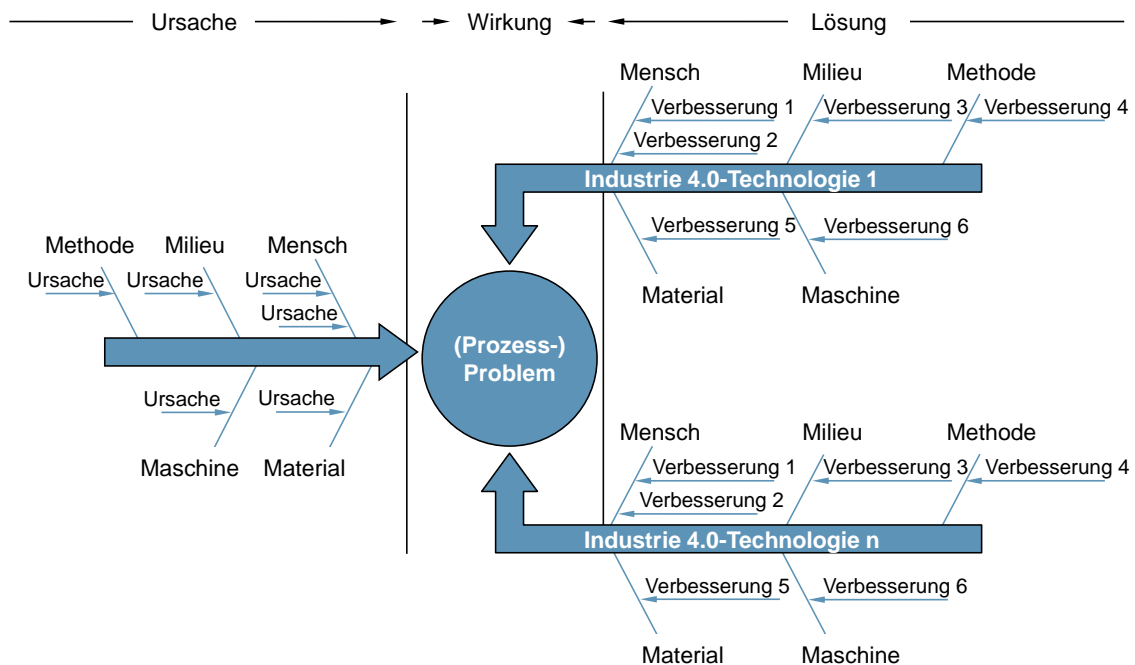


Bild 3-11: Ursache-Wirkung-Lösung-Diagramm nach DOMBROWSKI ET AL.
[DKF+18, S. 109]

Die Verbesserungen durch die Industrie 4.0-Technologien lassen sich ebenfalls den fünf Einflussfaktoren Mensch, Maschine, Milieu, Methode und Material zuordnen. Durch die

Ergänzung weiterer Industrie 4.0-Technologien können die jeweiligen Verbesserungen umfangreich und strukturiert beschrieben werden [DKF+18, S. 109].

In der dritten Phase erfolgt die Auswahl einer Industrie 4.0-Technologie. Dabei wird der Nutzen dem (Einführungs-)Aufwand gegenübergestellt. Dazu werden die fünf Einflussfaktoren Mensch, Maschine, Milieu, Methode und Material herangezogen. Diese Faktoren werden im Hinblick auf die Kriterien Qualität, Zeit und Kosten bewertet. Diese können entsprechend der Unternehmensziele gewichtet werden [DKF+18, S. 109f.]. Der ermittelte Gesamtnutzen wird dem (Einführungs-)Aufwand gegenübergestellt. Der Aufwand wird grundsätzlich in einen elementaren und einen dispositiven Aufwand unterschieden. Die Investitions- und Betriebskosten der Technologie bilden den elementaren Aufwand. Der dispositive Aufwand setzt sich aus der Planung, Leitung, Organisation sowie der Überwachung der Technologieeinführung zusammen [DKF+18, S. 110]. Der ermittelte Nutzen sowie der Aufwand werden in eine Portfolio-Matrix zur Technologieauswahl eingetragen. Daraus lassen sich entsprechende Handlungsempfehlungen ableiten [DKF+18, S. 110]. Dabei wird auf das Nutzen-Aufwand-Portfolio nach GOTTMANN zurückgegriffen [Got16, S. 215]. Die Bewertungen erfolgen in interdisziplinären Workshops, die sich idealerweise analog zu den vorherigen Workshops zusammensetzen [DKF+18, S. 109].

Bewertung: Die prozessorientierte Potentialanalyse von Industrie 4.0-Technologien nach DOMBROWSKI ermöglicht die Auswahl von Industrie 4.0-Technologien auf Grundlage ihres Nutzens für Unternehmensprozesse. Dabei wird auf die Identifikation von Problemursachen mittels des Ishikawa-Diagramms zurückgegriffen. Zudem werden Kriterien zur Ermittlung des Einführungsaufwands zur Verfügung gestellt. Allerdings adressiert der Ansatz die Aspekte Mensch und Organisation nur geringfügig. Auch wird auf Industrie 4.0-Technologien nicht näher eingegangen, sodass eine strukturierte Voreauswahl von geeigneten Technologien nicht unterstützt wird.

3.3.2 Potentialanalyse Ressourceneffizienz der digitalen Transformation nach VDI

Der VDI untersuchte im Rahmen einer Studie die Ressourceneffizienzpotentiale (REP) der Industrie 4.0 für KMU. Unter einem REP wird dabei die mögliche Steigerung der Ressourceneffizienz durch die digitale Transformation für ein bestimmtes Ergebnis im Vergleich zu einem definierten Referenzzustand verstanden [VDI17, S. 62]. Ressourcen umfassen dabei die ökonomisch notwendigen Produktionsfaktoren. Dazu zählen Betriebsstoffe, Werkstoffe, Kapital, Personal, Know-how und Zeit [SAC+16, S. 5].

In diesem Zusammenhang wurde eine Methodik zur Ermittlung des Ressourceneffizienzpotentials der digitalen Transformation entwickelt. Diese ist in Bild 3-12 dargestellt.

Praxisanwendung: Unter diesem Aspekt wird die Kombination von Maßnahmen der digitalen Transformation verstanden [VDI17, S. 90]. Dabei wird auf Referenzmaßnahmen

zurückgegriffen [VDI17, S. 77], die häufig in Kombination mit dem Ziel der Erreichung eines Nutzens umgesetzt werden [VDI17, S. 90]. Eine beispielhafte Praxisanwendung ist der One Piece Flow [VDI17, S. 99ff.]. In der ersten Phase der Methode wird eine entsprechende Praxisanwendung zur Analyse ausgewählt.

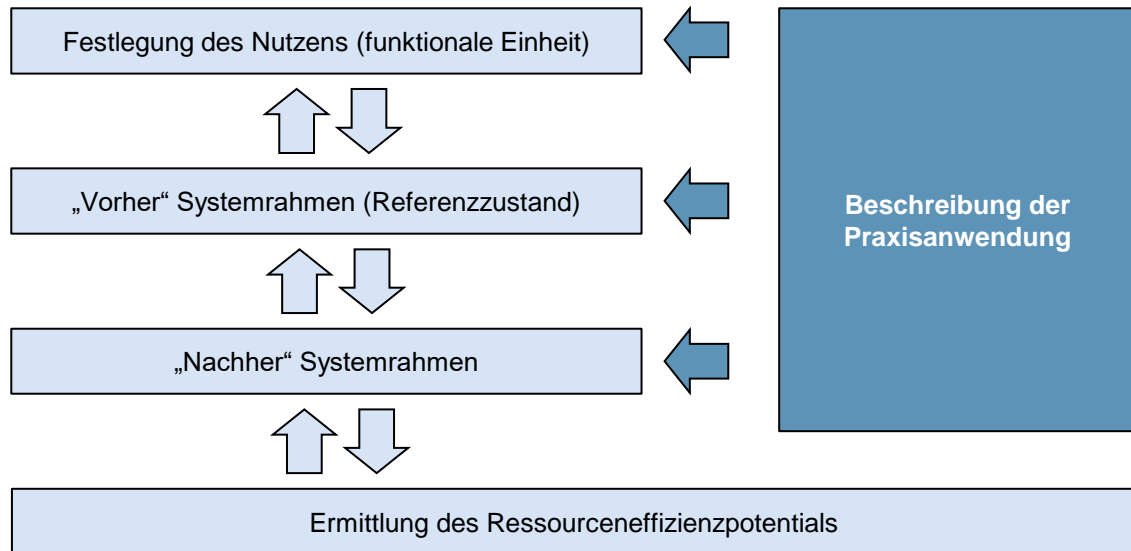


Bild 3-12: Methodik zur Ermittlung des Ressourceneffizienzpotentials der digitalen Transformation nach [VDI17, S. 91]

„Vorher“ Systemrahmen (Referenzzustand): In der zweiten Phase wird für die Praxisanwendung ein Referenzzustand definiert. Darunter wird die konventionelle Produktion ohne Umsetzung von Maßnahmen der digitalen Transformation verstanden [VDI17, S. 90].

„Nachher“ Systemrahmen: In der dritten Phase werden diejenigen Prozesse und Komponenten ermittelt, die durch die jeweilige Praxisanwendung hinzukommen. Darunter können Hardware-Komponenten fallen, für deren Herstellung Material und Energie aufgewendet werden müssen bzw. Software-Komponenten, für deren Anwendung Energie aufgewendet werden muss [VDI17, S. 91f.].

Festlegung des Nutzens (funktionelle Einheit): Die vierte Phase fokussiert die Festlegung des Nutzens einer funktionellen Einheit. Darunter wird ein Prozess oder eine Komponente des Systemrahmens verstanden. Diese können sowohl im „Vorher“ als auch im „Nachher“ Systemrahmen bzgl. ihres Ressourcenverbrauchs gemessen werden. Aus dieser Differenz ergibt sich der Nutzen, bezogen auf eine funktionelle Einheit [VDI17, S. 91f.].

Ermittlung des Ressourceneffizienzpotentials: In der fünften Phase werden für die Ermittlung des REP alle funktionellen Einheiten innerhalb des „Vorher“ und „Nachher“ Systemrahmens identifiziert und hinsichtlich der materiellen betrieblichen Ressourcenverbräuche bewertet. Die Differenz bildet das REP der analysierten Praxisanwendung [VDI17, S. 91ff.].

Bewertung: Die Methodik zur Ermittlung des Ressourceneffizienzpotentials der digitalen Transformation des VDI unterstützt Unternehmen bei der systematischen Bewertung der Potentiale der Digitalisierung, in Bezug auf Ressourcenverbräuche. Dabei wird auf standardisierte Maßnahmen der digitalen Transformation zurückgegriffen, die in Praxisanwendungen überführt werden. Zwar ermöglicht dies eine Bewertung und Auswahl von Lösungen der Digitalisierung, allerdings erfolgt dabei ausschließlich eine technische Betrachtung.

3.3.3 Technologiebewertung nach SCHUH ET AL.

SCHUH ET AL. verstehen unter Technologiebewertung die Beurteilung einer Technologie in Entscheidungssituationen auf der Grundlage unterschiedlicher Kriterien. Innerhalb eines Technologiemanagementprozesses stellt die Technologiebewertung eine Querschnittsfunktion dar, durch welche die notwendigen Informationen zur Beurteilung einer Technologie zur Verfügung gestellt werden [HSK+11, S. 309]. Aufgaben und Entscheidungen des Technologiemanagements lassen sich in diesem Zusammenhang in vier Bereiche unterteilen: 1) Technologiefrüherkennung, 2) Technologieplanung, 3) Technologieentwicklung sowie 4) Technologieverwertung [HSK+11, S. 311]. Die Technologiebewertung wird durch eine Vielzahl von Bewertungsmethoden unterstützt, die sich in qualitative und quantitative Methoden unterteilen lassen [HSK+11, S. 324ff.]. Bild 3-13 stellt Aufgaben, Entscheidungen und Methoden in der Technologiebewertung zusammenfassend dar [HSK+11, S. 312].

Technologiefrüherkennung: Im Fokus dieser Phase des Technologiemanagements steht die Festlegung von Suchfeldern für neue Technologien sowie die Vorbewertung von identifizierten Technologien [HSK+11, S. 313ff.]. Innerhalb dieser Phase werden quantitative Ansätze, wie die Kosten-Nutzen-Analyse, Nutzwertanalyse, Trendextrapolation, Regressionsanalyse sowie die Modellsimulation eingesetzt. Zudem finden qualitative Verfahren, wie die Szenario-Technik und die Delphi-Methode, Verwendung [HSK+11, S. 316].

Technologieplanung: In dieser Phase werden Entscheidungen über Beschaffungsquellen, Leistungsniveau sowie Einsatzzeitpunkte von konkreten Technologien getroffen. Zudem werden Technologieprojekte initiiert [HSK+11, S. 316ff.]. In dieser Phase werden u.a. die Kapitalwert- bzw. Cashflow-Methoden, Total Cost of Ownership-(TCO)-Ansätze oder Sensitivitätsanalysen eingesetzt [HSK+11, S. 320].

Technologieentwicklung: Während dieser Phase erfolgt das Controlling von laufenden Technologieprojekten. Dabei erfolgen Entscheidungen (Fortsetzung, Abbruch, Verzögerung) im Sinne eines Stage-Gate-Modells [HSK+11, S. 320ff.]. Zur Anwendung kommen dabei z.B. die Kapitalwertmethode, der Realloptionsansatz oder die Entscheidungsbaumanalyse [HSK+11, S. 322].

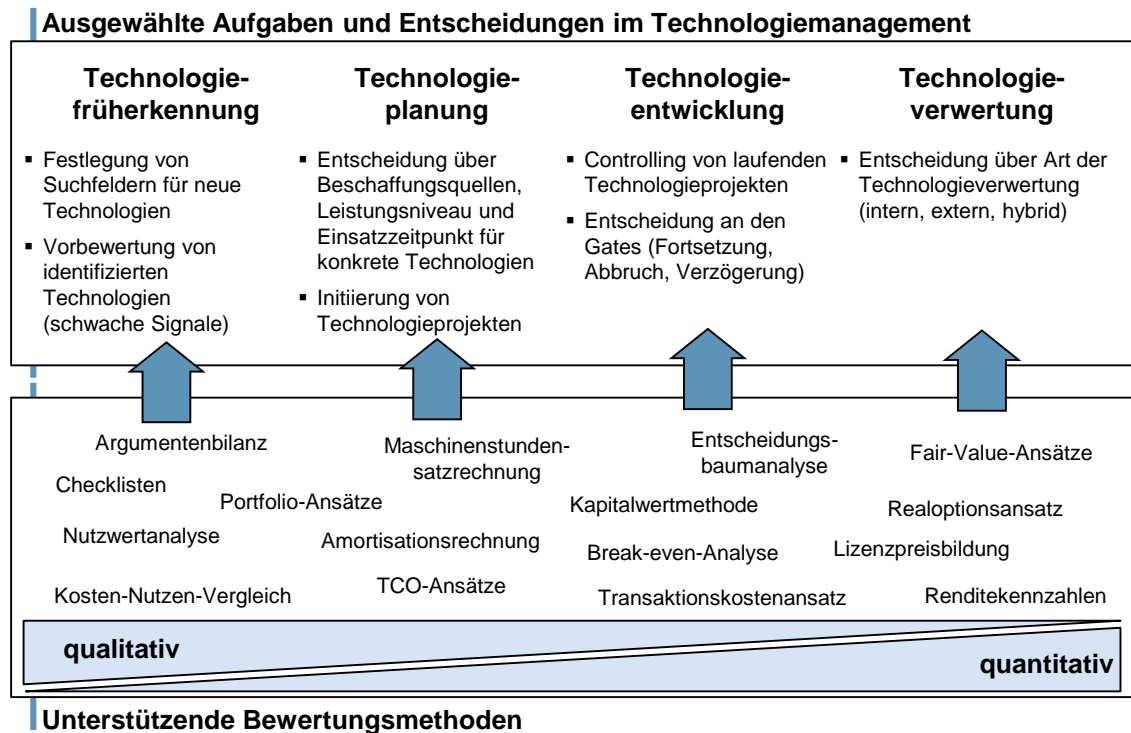


Bild 3-13: Aufgaben, Entscheidungen und Methoden in der Technologiebewertung nach SCHUH ET AL. [HSK+11, S. 312]

Technologieverwertung: In dieser Phase werden Entscheidungen über die Art der Technologieverwertung (intern, extern, hybrid) unter Verwendung von Methoden wie Nutzwertanalysen, Checklisten oder Argumentenbilanzen getroffen [HSK+11, S. 323].

Bewertung: Die Technologiebewertung nach SCHUH ET AL. stellt eine sehr umfangreiche Sammlung von Bewertungsmethoden zur Verfügung, welche den vier Phasen des Technologiemanagements 1) Technologiefrüherkennung, 2) -planung, 3) -entwicklung sowie 4) -verwertung zugeordnet werden können. Dabei werden zwar soziotechnische Aspekte nicht explizit berücksichtigt, nichtsdestotrotz sind die vorgestellten Bewertungsmethoden grundsätzlich geeignet, um die angestrebte Auswahlmethodik zu unterstützen. Zudem ist die Übertragung der vier Bereiche des Technologiemanagements nach SCHUH ET AL. auf das Management von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien grundsätzlich denkbar. Dies ist insbesondere für die Anforderungen an eine unternehmensspezifische Planung der Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien relevant.

3.4 Transformationsmodelle

Im Rahmen der Problemanalyse wurde der Bedarf an Hilfestellungen zur unternehmensindividuellen Umsetzung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien aufgezeigt. In diesem Zusammenhang finden sich im Stand der Technik Ansätze, welche sich auf die Gestaltung der digitalen Unternehmenstransformation beziehen. Es werden das Agile Transformation Framework nach KROLL ET AL. (vgl. Abschnitt 3.4.1), das Digital Transformation

Framework nach WESTERMAN ET AL. (vgl. Abschnitt 3.4.2) sowie das Industrie 4.0 Framework nach BECHTOLD ET AL. (vgl. Abschnitt 3.4.3) vorgestellt. Anschließend werden mit der Organisationsstruktur nach PORTER und HEPPELMANN (vgl. Abschnitt 3.4.4) sowie der Industrie 4.0-Organisation nach BINNER (vgl. Abschnitt 3.4.5) zwei Ansätze der Unternehmensgestaltung vorgestellt, die das Thema Digitalisierung fokussieren.

3.4.1 Agile Transformation Framework nach KROLL ET AL.

Das von KROLL ET AL. entwickelte Agile Transformation Framework unterstützt Unternehmen der produzierenden Industrie bei dem Wandel hin zu einer agilen Organisation. Zwar geht dieser Ansatz nicht explizit auf Aspekte der Digitalisierung ein, nichtsdestotrotz ist das Thema agile Organisation im Kontext digitalisierter Arbeitswelten (vgl. Abschnitt 2.4.3) zentral. Bild 3-14 zeigt den Ansatz in der Übersicht.

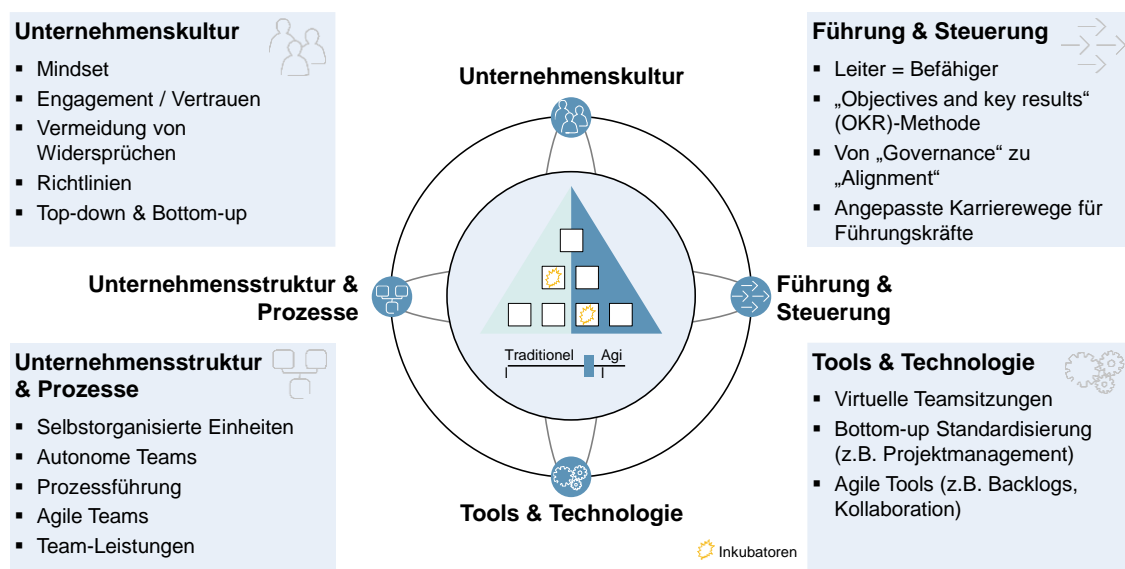


Bild 3-14: Agile Transformation Framework nach KROLL ET AL. [KBS+17, S. 17]

Im Kern des Frameworks stehen sog. Inkubatoren. Darunter werden unternehmensinterne Organisationseinheiten verstanden, die für ihre Mutterorganisation radikale Innovationen hervorbringen und zur Marktreife führen können (vgl. [SLV+17, S. 4]). Diese sollen einen möglichst reibungslosen Transformationsprozess anstelle eines radikalen Wandels ermöglichen. Zudem besteht das Rahmenwerk aus den vier Dimensionen Kultur, Führung, Technologie und Struktur. Sie bilden die Leitlinien und weisen starke Wechselbeziehungen untereinander auf [KBS+17, S. 17]. Die fünf Bestandteile werden im Folgenden erläutert.

Inkubatoren: Im Rahmen des Ansatzes wird der Begriff „Agile Organisation“ als Kontinuum verstanden, das von traditionellen und statischen bis hin zu völlig flexiblen Organisationsstrukturen reicht. Der Zielzustand kann dabei im Laufe der Zeit variieren. Agile Inkubatoren sollen in diesem Zusammenhang die ersten Schritte zu mehr Agilität unternehmen. Sie fungieren zudem als Botschafter und Multiplikatoren. Darunter können z.B.

Projektteams fallen, die agile Denkweisen bereits übernommen und angewendet haben. Ein weiteres Beispiel gut geeigneter Inkubatoren sind Abteilungen mit großem Einfluss auf das gesamte Unternehmen, die speziell geschult werden [KBS+17, S. 17f.].

Kultur: Für eine agile Organisation bedarf es einer entsprechenden Unternehmenskultur. Darunter fallen Werte wie Teamgeist, Vertrauen, Engagement, Offenheit für Veränderungen und Experimente, Perspektivwechsel sowie eine differenzierte Sicht auf traditionelle Ansätze. Die dafür notwendigen Veränderungen müssen dabei sowohl Top-down als auch Bottom-up getrieben werden. Durch die Inkubatoren wird letzteres gewährleistet. Zudem muss auch das Top-Management die entsprechenden Verhaltens- und Wertemuster vorleben. Darüber hinaus sind Regeln und Richtlinien, im Hinblick auf das gewünschte kulturelle Umfeld, anzupassen [KBS+17, S. 18].

Führung: Führungskräfte in agilen Unternehmen müssen Mitarbeiter in einem Umfeld befähigen und motivieren, in dem zunehmend die Verantwortlichkeiten von Führungskräften auf agile Teams übergehen. In traditionellen Unternehmen besteht eine Hauptaufgabe von Führungskräften darin, sicherzustellen, dass Mitarbeiter die ihnen zugewiesenen Aufgaben erfüllen. Im Gegensatz dazu besteht in agilen Organisationen die primäre Herausforderung darin, zu gewährleisten, dass sich die Ergebnisse agiler Teams in die Strategie und Vision des Unternehmens einfügen. Daraus resultiert ein radikaler Wandel der Anforderungen an Führungskräfte und entsprechender Unterstützungsbedarf. Dazu werden drei Ansätze vorgeschlagen. Zum ersten sollen durch den Personalbereich die Trainings-, Rekrutierungs- und Managementprozesse neugestaltet werden. Die Arbeit in agilen Teams setzt eine hohe Flexibilität, eine hohe Teamorientierung sowie die Bereitschaft und Fähigkeit zur selbstorganisierten Arbeit voraus. Dazu bedarf es mitarbeiterindividueller Trainings- und Rekrutierungsansätze. Zum zweiten erfordert die Führung agiler Teams eine Überarbeitung traditioneller Vergütungssysteme. Dabei gilt es, Unternehmens-, Team- und persönliche Ziele zu vereinbaren. Zum dritten sind Best Practices auszuwählen, die in Anlehnung an den Inkubatoransatz als Ansporn und Inspirationsquelle für die Führungskräfte dienen [KBS+17, S. 19f.].

Struktur: Die Anpassung von Organisationsstrukturen und -prozessen ist eine essentielle Voraussetzung für die nachhaltige Umsetzung agiler Maßnahmen. Die Hauptziele einer agilen Organisation sind eine Verkürzung der Markteinführungszeit und eine schnellere Entscheidungsfindung. Vor diesem Hintergrund gilt es, schnelle Reaktionszeiten und kurze Feedbackschleifen höher zu priorisieren als steile Hierarchien und Dokumentationsaufgaben. Zentraler Erfolgsfaktor besteht darin, neu gewonnenes Wissen und Erfahrungen agiler Teams innerhalb der gesamten Organisation verfügbar zu machen. Dies widerspricht dem Silodenken, das traditionellen Organisationen oft inhärent ist. Insgesamt gilt es, traditionelle Rollen und Verantwortlichkeiten zu überprüfen, Hierarchien flacher zu gestalten sowie Organisationseinheiten und Prozesse, einschließlich der Arbeitsinhalte, neu zu gestalten [KBS+17, S. 20f.].

Technologie: Agilität lebt vom Einsatz entsprechender Tools und Technologien. Diese bieten einfachen Zugang zu agilen Grundprinzipien, erleichtern die Zusammenarbeit im Team und ermöglichen so kürzere Reaktionszeiten. Zentraler Erfolgsfaktor derartiger Tools sind die Unterstützung der Kollaboration in Teams sowie die Sicherstellung der einfachen Handhabung. Die Inkubatoren können bei der Auswahl und Erprobung von großer Hilfe sein [KBS+17, S. 21].

Bewertung: Das Agile Transformation Framework nach KROLL ET AL. gibt einen guten Überblick über Themenfelder des organisatorischen Wandels hin zu einer agilen Organisation. Dabei wird jedoch kein expliziter Bezug zur Digitalisierung genommen. Insgesamt bleibt der Ansatz sehr generisch und bietet keine konkreten Handlungsempfehlungen für produzierende Unternehmen.

3.4.2 Digital Transformation Framework nach WESTERMAN ET AL.

WESTERMAN ET AL. stellen in ihrem Ansatz ein digitales Transformation Framework vor, welches die Autoren im Rahmen einer Studie ermittelten. Dabei wurden erfolgreiche digitale Transformationsprojekte untersucht. Es konnte ein gemeinsamer Satz an Elementen identifiziert werden, die von den untersuchten Projekten verwendet wurden [WCB+11, S. 47]. Diese bilden das Rahmenwerk und sind in Bild 3-15 dargestellt. Jedes Element ist ein Hebel, den Führungskräfte nutzen können, um die digitale Transformation ihrer Unternehmen zu initiieren oder voranzutreiben [WCB+11, S. 47]. Im Kern des Frameworks steht die digitale Transformation der drei zentralen Aspekte Kundenerlebnis, operative Prozesse sowie Geschäftsmodell. Dabei bilden insgesamt neun Bausteine die Grundlage der digitalen Transformation [WCB+11, S. 17].

Transformation des Kundenerlebnisses: Zur Transformation des Kundenerlebnisses gehören die drei Bausteine Kundenverständnis, Umsatzwachstum sowie Kundenschnittstelle. Im Bereich des Kundenverständnisses wird im Rahmen der digitalen Transformation ein besseres Verständnis bestimmter Regionen durch Verfahren der Datenanalyse möglich. Zudem können die im Rahmen von Social Media gewonnenen Daten zur Analyse von Kundenzufriedenheit und -unzufriedenheit verwendet werden [WCB+11, S. 18]. Darüber hinaus können Möglichkeiten der Digitalisierung Verkaufsgespräche verbessern und prädiktives Marketing sowie optimierte Kundenprozesse ermöglichen [WCB+11, S. 18f.]. Zuletzt kann der Kundenservice durch digitale Initiativen deutlich verbessert werden [WCB+11, S. 19f.].

Transformation operativer Prozesse: Die Transformation operativer Prozesse basiert auf den Bausteinen Prozessdigitalisierung, Mitarbeiterbefähigung sowie Leistungssteuerung. Die Prozessdigitalisierung verfolgt dabei nicht nur das Ziel der Effizienzsteigerung sondern auch das der Erhöhung der Flexibilität.

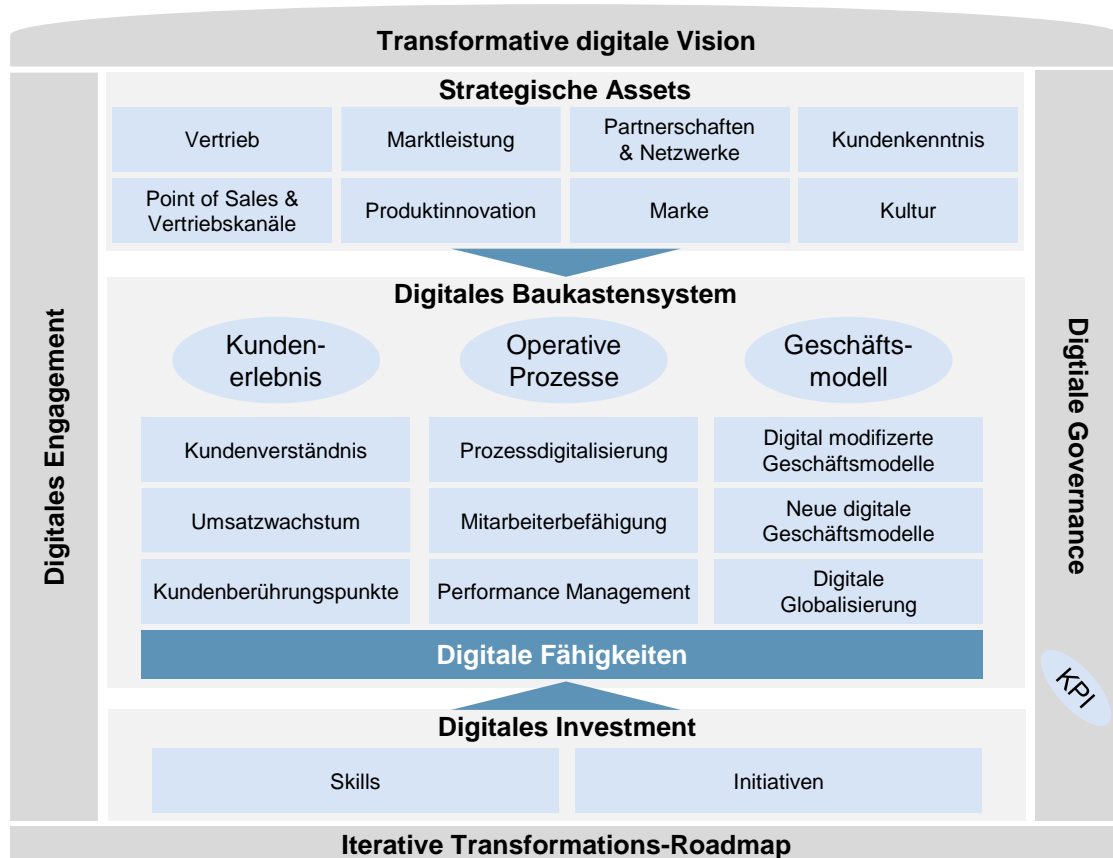


Bild 3-15: Digital Transformation Framework nach WESTERMAN ET AL.
[WCB+11, S. 47]

Im Kern steht dabei die Fokussierung auf wertschöpfende Tätigkeiten [WCB+11, S. 20]. Der zweite Baustein Mitarbeiterbefähigung bezieht sich auf die Gestaltung der Entgrenzung von Arbeit sowie auf neue Möglichkeiten des Wissensaustausches [WCB+11, S. 21f.]. Zuletzt wird im Zuge der digitalen Transformation eine Verbesserung der Leistungssteigerung durch höhere Transparenz ermöglicht. Daraus resultiert eine stärkere datenbasierte Entscheidungsfindung [WCB+11, S. 22].

Transformation von Geschäftsmodellen: Die Transformation von Geschäftsmodellen wird in den drei Bausteinen Modifizierung bestehender Geschäftsfelder, Etablierung neuer Geschäftsfelder sowie der sog. digitalen Globalisierung gestaltet. Die Modifizierung bestehender Geschäftsfelder bezieht sich dabei u.a. auf die Erweiterung von Produkt- und Dienstleistungsangeboten [WCB+11, S. 22]. Im Kontext der Etablierung neuer Geschäftsfelder werden neuartige Marktleistungen eingeführt, die traditionelle Produkte ergänzen. Dies kann auch die Umgestaltung der Unternehmensgrenzen in Bezug auf die Wertschöpfungskette beinhalten [WCB+11, S. 22f.]. Zuletzt erlaubt die zunehmende Vernetzung eine vermehrte Nutzung von Synergien durch globale Shared Services mit dem Ziel von Effizienzsteigerungen und Risikominimierungen [WCB+11, S. 23].

Elementare Grundlage der Transformation des Kundenerlebnisses, der operativen Prozesse sowie von Geschäftsmodellen sind die dafür benötigten digitalen Fähigkeiten, über

welche eine Organisation verfügen muss. Dazu zählt eine digitale Plattform, welche die Daten und Prozesse vereinheitlicht. Darüber hinaus benötigen die Unternehmen die Fähigkeit, auf Grundlage der Daten- und Prozessplattform ihre Prozesse zu modifizieren und neue Methoden einzuführen. Die Fähigkeit zum Informationsmanagement und zur Analytik wird als weitere elementare Grundlage genannt. Zuletzt ist eine funktionierende Schnittstelle zwischen Geschäftsprozessen und IT-Systemen ein entscheidender Erfolgsfaktor [WCB+11, S. 23ff.].

Diese Kernbausteine stehen in Wechselwirkung mit weiteren Elementen. So bildet die digitale Vision das Grundgerüst. Diese beinhaltet, wie digitale Technologien die Marktleistung und die Kundenzufriedenheit verbessern können. Dazu wird sie durch strategische Ressourcen untermauert. Beispiele dafür sind Partnernetzwerke, Markenwerte, Kundenkenntnisse sowie die Unternehmenskultur [WCB+11, S. 48ff.]. Darüber hinaus sind Investitionen in Kompetenzen und Initiativen Bestandteile des Rahmenwerks [WCB+11, S. 51f.]. Zuletzt obliegt es der Unternehmensführung, die Organisation in den Transformationsprozess miteinzubeziehen. Dazu bedarf es neben Kennzahlen und Anreizen einer geeigneten Koordination und Kommunikation [WCB+11, S. 52ff.].

Zusammenfassend schlagen die Autoren ein iteratives und dreistufiges Vorgehen vor, mit dem Führungskräfte die digitale Transformation vorantreiben können. Zunächst wird die Vision für die Nutzung digitaler Technologien zur Verbesserung von Marktleistung und Kundennutzen entwickelt. In einem zweiten Schritt wird in Kompetenzen und Initiativen investiert, um die Gestaltung der Bausteine der digitalen Transformation anzugehen. Zuletzt wird die Transformation Top-down geführt, wobei die effektive Kommunikation ein entscheidender Erfolgsfaktor ist.

Bewertung: Das von WESTERMAN ET AL. entwickelte Rahmenwerk gibt einen umfassenden Überblick über die Bestandteile der digitalen Transformation von Unternehmen der produzierenden Industrie. Diese werden durch eine Vielzahl von Praxisbeispielen belegt. Zudem wird ein Vorgehensmodell zur Anwendung des Rahmenwerks vorgestellt. Allerdings werden die Aspekte der Wertschöpfung und der Arbeitswelt nicht in den Fokus gerückt. Zwar werden Initiativen erwähnt, diese aber nicht näher spezifiziert oder klassifiziert. Zudem wird kein Bezug zwischen der Art der Initiativen und den jeweils relevanten Bestandteilen des Rahmenwerks hergestellt. Somit werden keine konkreten Handlungsempfehlungen gegeben.

3.4.3 Industrie 4.0 Framework nach BECHTOLD ET AL.

Das Industrie 4.0 Framework nach BECHTOLD ET AL. unterstützt Unternehmen der produzierenden Industrie, ein Zielbild sowie eine Roadmap zur Nutzung der Chancen von Industrie 4.0 zu erarbeiten. Dazu enthält das Framework die wichtigsten Bausteine aus dem Kontext Industrie 4.0. Das Framework setzt sich aus vier Kernbestandteilen zusammen: Werttreiber, technologischer Enabler, Anforderungen sowie zukünftige Geschäftsmodelle [BLK+14, S. 4f.]. Dies ist in Bild 3-16 dargestellt.

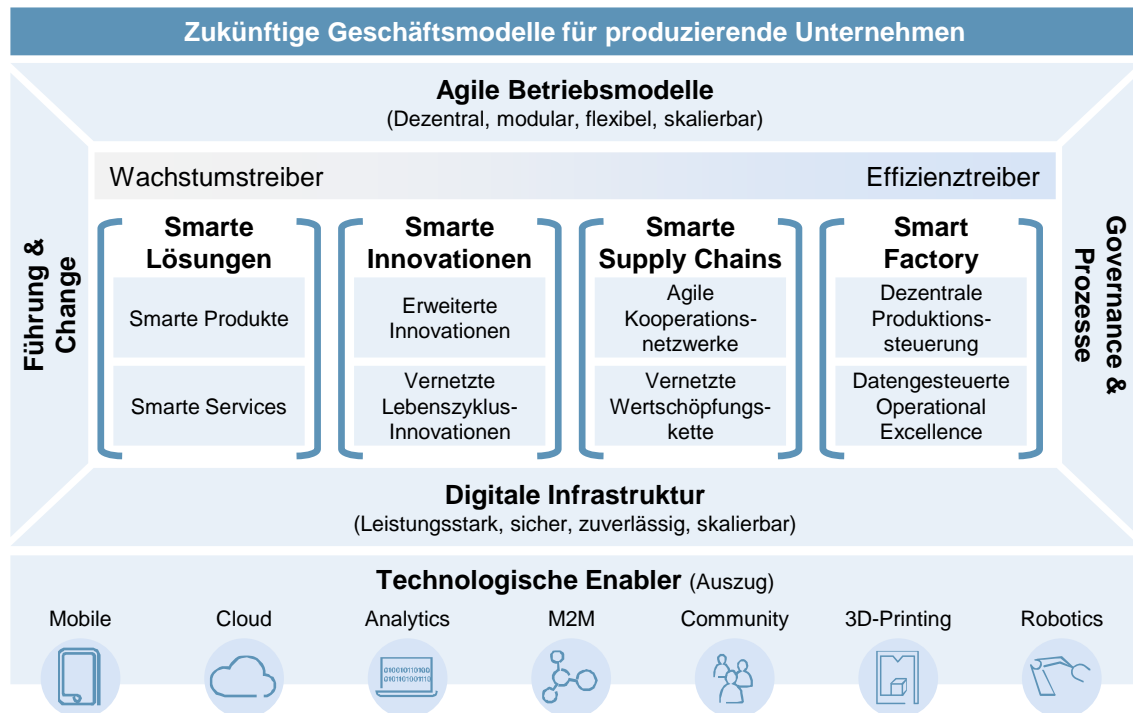


Bild 3-16: Das Industrie 4.0 Framework nach BECHTOLD ET AL. [BLK+14, S. 5]

Die Kernbestandteile werden im Folgenden vorgestellt.

Werttreiber: Es werden vier Werttreiber identifiziert, die sowohl das Wachstum als auch die Effizienz verbessern. Der erste Werttreiber sind intelligente Lösungen, die als Wachstumstreiber gesehen werden. Darunter fallen sowohl intelligente Produkte als auch Services. Unter intelligenten Produkten werden dabei im wesentlichen cyberphysikalische Systeme verstanden, welche neue Funktionen auf der Basis von Konnektivität bereitstellen. Intelligente Services beziehen sich auf innovative Serviceangebote, welche neue Geschäftsmodelle und Märkte eröffnen [BLK+14, S. 6ff.]. Der zweite Werttreiber fokussiert intelligente Innovationen, worunter zwei Arten von Innovationen fallen. Zum einen sog. erweiterte Innovationen, welche sich auf die Entwicklung und Verbreitung von Ideen über Unternehmensgrenzen hinweg beziehen [BLK+14, S. 10ff.]. Zum anderen sog. Vernetzte Lebenszyklus-Innovationen, die Produktlebenszyklusdaten als Quelle für Innovationen nutzen. Der dritte Werttreiber umfasst intelligente Wertschöpfungsketten, welche durch den Einsatz digitaler Technologien und cyberphysikalischer Systeme hochgradig automatisiert sind. Dies bezieht sich auf agile Netzwerke, in denen sich die beteiligten Partner auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren und gleichzeitig kundenindividuelle Produkte anbieten können. Zum anderen wird die Vernetzung von Wertschöpfungsketten fokussiert [BLK+14, S. 13ff.]. Der vierte Werttreiber bezieht sich auf die Smart Factory. Dabei wird zum einen durch die vernetzten Maschinen eine deutlich dezentralere Produktionssteuerung ermöglicht. Zum anderen stellt die stetig steigende Menge an produktionsbezogenen Informationen die Grundlage für Effizienzsteigerungen dar [BLK+14, S. 17ff.].

Technologische Enabler: Die Autoren identifizieren sieben Schlüsseltechnologien, welche die digitale Transformation ermöglichen. Dazu zählen mobile Technologien (Methoden der drahtlosen Kommunikation), Cloud-Computing, Advanced Analytics, Machine-to-Machine Communication, Community Platforms, 3D-Druck sowie Advanced Robotics [BLK+14, S. 20ff.]. Dies entspricht im weitesten Sinne den in Abschnitt 2.3.2 definierten Technologiefeldern der Digitalisierung, sodass dies an dieser Stelle nicht weiter vertieft wird.

Anforderungen an produzierende Unternehmen: Das Framework unterscheidet vier Anforderungen an die digitale Transformation von Unternehmen der produzierenden Industrie. Zum einen die entsprechende Infrastruktur, welche die technologischen Enabler in die Aktivitäten des Unternehmens integrieren. Zum zweiten ist eine kohärente Unternehmensführung ein Erfolgsfaktor, welche die tiefgreifenden Veränderungen durch geeignete Strukturen steuern muss. Drittens verändern sich die Anforderungen an die Mitarbeiterführung durch zunehmend dezentrale Strukturen, virtuelle Formen der Zusammenarbeit sowie die Zunahme der Einbeziehung externer Ressourcen. Zuletzt werden neue Anforderungen an die Agilität in der Fertigung gestellt. Darunter wird die Fähigkeit eines Unternehmens verstanden, auf unerwartete Veränderungen zu reagieren [BLK+14, S. 24ff.].

Zukünftige Geschäftsmodelle: Zuletzt stehen Unternehmen vor der Herausforderung, ihre Geschäftsmodelle an die Entwicklungen der Industrie 4.0 anzupassen. Dabei werden zwei wesentliche Erfolgsfaktoren genannt. Die eine Säule besteht demnach aus verbesserten Marktleistungen, welche die Potentiale digitaler Technologien ausnutzen. Die zweite Säule fokussiert die Verbesserung der Wertschöpfung durch die Nutzung der skizzierten Werttreiber und die Umsetzung der organisationalen Anforderungen [BLK+14, S. 29ff.].

Das Framework wird durch ein sechsstufiges Vorgehensmodell zur Initiierung der digitalen Transformation unterstützt. In einem ersten Schritt wird eine Reifegradbewertung vorgenommen. Anschließend werden Chancen und Risiken der Industrie 4.0 vor dem Hintergrund unternehmensspezifischer Rahmenbedingungen identifiziert. Auf dieser Grundlage wird in einem vierten Schritt die Industrie 4.0 Vision und Strategie definiert. In einem weiteren Schritt werden Unternehmensbereiche identifiziert, in denen kurzfristige Erfolge erzielt werden können. In einem fünften Schritt wird eine Roadmap auf dem Weg zur Industrie 4.0 abgeleitet. Abschließend werden die Maßnahmen der Roadmap umgesetzt [BLK+14, S. 32f.].

Bewertung: Das Industrie 4.0 Framework nach BECHTOLD ET AL. bietet einen umfassenden Überblick über die Bestandteile von Industrie 4.0, sowohl in Bezug auf die Marktleistung als auch auf die Wertschöpfung. Zudem wird ein Vorgehensmodell zur Verfügung gestellt. Dabei liegt der Fokus allerdings sehr stark auf der Produktion. Auch die Arbeitswelt als solche findet keine explizite Berücksichtigung.

3.4.4 Organisationsstruktur nach PORTER und HEPPELMANN

PORTER und HEPPELMANN beschreiben die Auswirkungen von intelligenten und vernetzten Produkten auf die Organisationsstrukturen von Unternehmen der produzierenden Industrie. Demnach gewinnt die Zusammenarbeit zwischen den Bereichen Produktentstehung, IT, Service und Kundenbindung stetig an Bedeutung, sodass einfache Übergaben zwischen diesen Bereichen nicht mehr ausreichen. Vielmehr wird eine intensive kontinuierliche Koordination zwischen den Fachbereichen Design, Betrieb, Vertrieb, Service und IT erforderlich. Daraus resultieren vier zentrale Änderungen, die in Bild 3-17 dargestellt sind [PH15, S. 14f.].

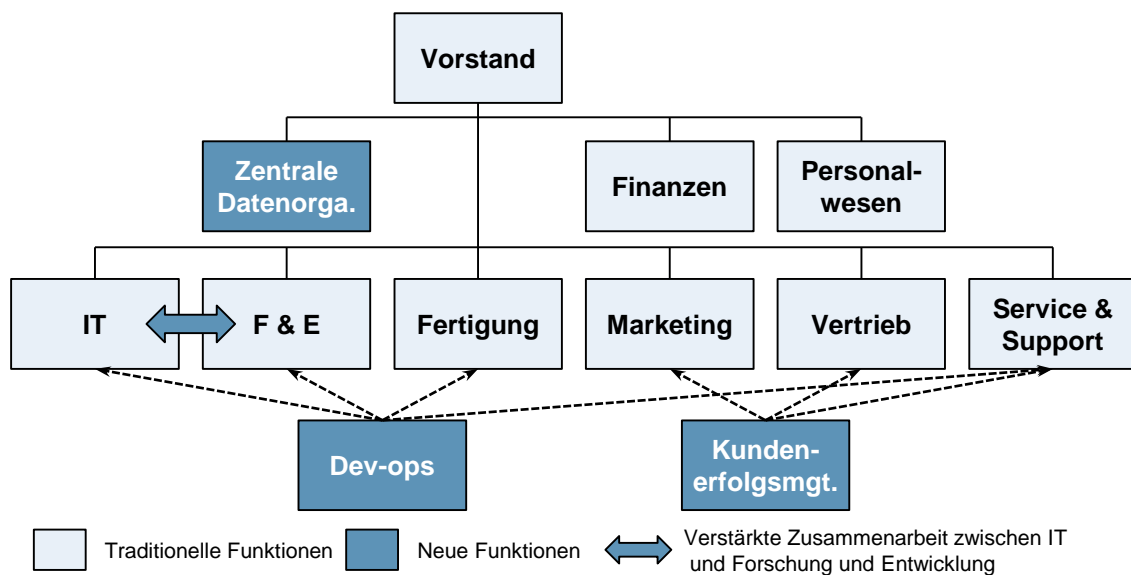


Bild 3-17: Veränderung von Organisationsstrukturen durch intelligente und vernetzte Produkte nach PORTER und HEPPELMANN [PH15, S. 15]

Dies ist zum einen die verstärkte Zusammenarbeit zwischen der IT und der Produktentstehung. Zum anderen entstehen mit einer zentralen Datenorganisation, Entwicklungs- und Funktionsgruppen (sog. Dev-ops) und einem Kundenerfolgsmanagement drei neue Organisationseinheiten (vgl. [Bra15, S. 151f.]). Diese Veränderungen werden im Folgenden beschrieben:

Zusammenarbeit zwischen IT und Produktentstehung: Bisher war die IT in der Regel für die Bereitstellung von IT-Infrastruktur sowie von Software (z.B. CAD, ERP, CRM) verantwortlich. Aufgrund des zunehmenden Anteils von IT-Hard- und -Software in intelligenten und vernetzten Produkten, muss die IT eine zentralere Rolle einnehmen. Im Allgemeinen verfügt derzeit nur die IT-Abteilung über die Fähigkeiten, die softwarebasierten Technologien und die entsprechende Infrastruktur zu handhaben. Diese Fähigkeiten werden in der Produktentstehung immer wichtiger, sodass die IT und die Produktentstehung ihre Aktivitäten kontinuierlich und stärker integrieren müssen [PH15, S. 15f.].

Zentrale Datenorganisation: Aufgrund des stetig wachsenden Volumens und der Komplexität sowie der zunehmenden strategischen Bedeutung von Daten, ist es nicht länger sinnvoll, dass einzelne Organisationseinheiten Daten eigenständig verwalten, analysieren und die Datensicherheit verantworten. Vielmehr bedarf es einer zentralen Datenorganisation, welche die Datenerfassung, -aggregation sowie -analyse konsolidiert und entsprechende Erkenntnisse über Organisationseinheiten und Geschäftsbereiche hinweg verfügbar macht. Eine solche Datenorganisation ist darüber hinaus für ein einheitliches Datenmanagement, die Befähigung der Organisation zur Nutzung von Datenressourcen, die Koordination von Zugriffsrechten sowie die Steuerung von Anwendungen fortschrittlicher Datenanalysen entlang der gesamten Wertschöpfungskette verantwortlich [PH15, S. 16].

Entwicklungs- und Funktionsgruppen (Dev-ops): Der kontinuierliche Betrieb, Support und das Upgrade von Produkten im Feld erfordern eine neue Organisationseinheit. Diese werden von PORTER und HEPPELMANN als Entwicklungs- und Funktionsgruppen, sog. *Dev-ops* (englisch: *development-operations groups*, kurz: *dev-ops*), bezeichnet. Eine solche Organisationseinheit ist dementsprechend verantwortlich für den Betrieb und die Optimierung von vernetzten Produkten im Feld. Sie vereint Software-Engineering Experten (*dev*) mit Experten aus den Fachbereiche IT, Fertigung und Service, die für den Produktbetrieb verantwortlich sind (*ops*). Aufgaben sind die Verkürzung von Produktrelease-Zyklen, die Verwaltung von Produktupdates und -patches und die Entwicklung neuer Services sowie die Produktwartung [PH15, S. 17].

Kundenerfolgsmanagement: Durch die von einem Produkt generierten Nutzungsdaten können Unternehmen das Kundenerlebnis analysieren. So können Einsatz und Leistung des Produkts, die Kundenpräferenz sowie die Kundenzufriedenheit erfasst und analysiert werden. Daraus ergibt sich der Bedarf an einer neuen Organisationseinheit, die das Kundenerfolgsmanagement verantwortet. Dabei sind Aufgaben zu erfüllen, für die traditionelle Vertriebs- und Serviceeinheiten nicht gerüstet sind. Darunter fällt die Überwachung von Produktnutzung und Leistungsdaten sowie die Messung des daraus generierten Kundennutzens. Zudem gilt es, Ansätze zu identifizieren, um diesen zu erhöhen. Nichtsdestotrotz arbeitet diese Einheit nicht als eigenständiges Silo, sondern kontinuierlich mit den Bereichen Marketing, Vertrieb und Service zusammen [PH15, S. 17].

Im Zuge intelligenter und vernetzter Produkte steigt auch die Bedeutung der Datensicherheit. Diese ist durch die neuen Organisationseinheiten gemeinsam zu tragen, die enge Zusammenarbeit der verschiedenen Bereiche ist in diesem Zusammenhang unerlässlich. Dabei ist die Datenorganisation zusammen mit der IT für die Sicherung von Produktdaten oder die Definition von Zugriffsrechten verantwortlich. Die Produktentstehung sowie die Entwicklungs- und Funktionsgruppen sind für die Reduzierung von Schwachstellen im physischen Produkt zuständig. Die Produktentstehung verantwortet gemeinsam mit der IT den Schutz der Produkt-Cloud. Insgesamt ist ein Organisationsmodell für das Sicherheitsmanagement noch Gegenstand der Forschung [PH15, S. 17f.].

Bewertung: Die Organisationsstruktur nach PORTER und HEPPELMANN stellt einen sehr theoretischen und generischen Ansatz dar. Zwar werden die organisationalen Veränderungen durch intelligente und vernetzte Produkte plausibel und verständlich aufgezeigt, allerdings setzt der Ansatz einen sehr hohen Reifegrad der Produkte voraus. Passgenaue Lösungen für unternehmensspezifische Rahmenbedingungen, z.B. im Sinne von Reifegradstufen, werden nicht vorgestellt.

3.4.5 Industrie 4.0-Organisation nach BINNER

BINNER untersucht die Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Arbeitswelten der Zukunft. Darunter fasst er die Organisationsentwicklung, die Führungsstruktur- und Infrastrukturveränderungen, die Mitarbeiterqualifizierung und -entwicklung sowie die prozess- und kundenspezifischen Ergebnisveränderungen [Bin14, S. 230]. Um die Veränderungen gestalten zu können, wählt BINNER einen prozessorientierten Ansatz. Die Veränderungen werden mit Hilfe des sog. MITO-Modells analysiert, welches fünf Segmente von Veränderungen unterscheidet. Dies zeigt Bild 3-18.

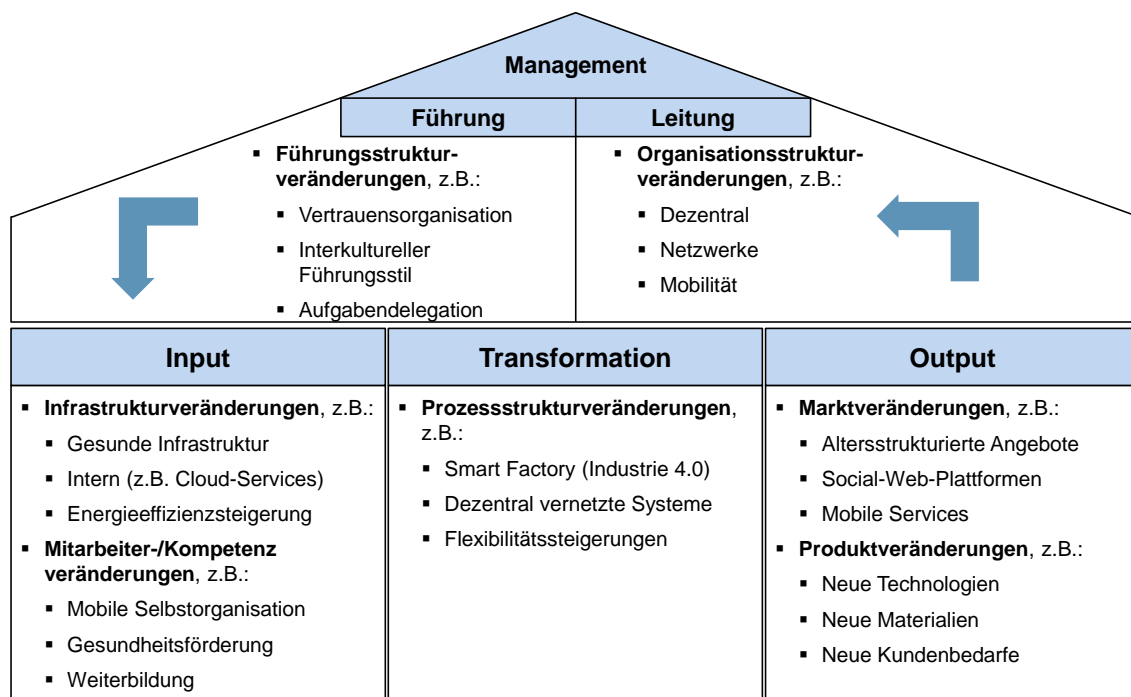


Bild 3-18: Veränderungen von Organisation und Prozessen durch Industrie 4.0 nach BINNER [Bin14, S. 231]

Dabei werden zum ersten Führungsprozesse im Management (M) unterschieden, welches in ein vorderes (Führung) und ein hinteres Managementsegment (Leitung) unterteilt ist. Im Bereich Führung werden Führungsstrukturveränderungen, wie z.B. die Übertragung von Verantwortung und Einflussnahme an Mitarbeiter betrachtet. Im Bereich der Leitung werden die notwendigen Organisationsstrukturveränderungen fokussiert. Die vorgelager-

ten Unterstützungsprozesse im Input-Segment (I) werden hinsichtlich Infrastrukturveränderungen, insbesondere in Bezug auf Mitarbeiterkompetenz- und Qualifikationsveränderungen analysiert. Die Kernprozesse im Transformations-Segment (T) beziehen sich auf Prozessstrukturveränderungen, die durch die Einführung von Industrie 4.0-Ansätzen entstehen. In den nachgelagerten Unterstützungsprozessen im Output-Segment (O) werden die kundenbezogenen Markt- und Produktveränderungen analysiert. Bild 3-18 zeigt zudem beispielhafte Veränderungen in den skizzierten fünf Segmenten.

Zur Analyse der Veränderungen in der zukünftigen Arbeits- bzw. Prozesswelt findet innerhalb der Segmente jeweils eine systematisch miteinander verknüpfte Veränderungs-, Anforderungs-, Auswirkungs- und Anpassungsanalyse statt.

Bewertung: BINNERS Ansatz beschreibt generische Auswirkungen von Industrie 4.0 auf eine Organisation. Dazu werden fünf Segmente beschrieben, in denen die Auswirkungen analysiert werden können. Zudem wird ein Vorgehen zur Analyse von Veränderungen definiert. Konkrete Änderungen von Organisationsstrukturen werden nicht vorgestellt, zudem werden unternehmensspezifische Rahmenbedingungen nicht berücksichtigt.

3.5 Handlungsbedarf

Ein Vergleich des untersuchten Stands der Technik mit den in Abschnitt 2.7 definierten Anforderungen an eine *Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in der produzierenden Industrie* führt zu folgender, in Bild 3-19 zusammengefasster Bewertung:

A1) Allgemeingültigkeit für produzierende Unternehmen: In der Literatur finden sich zahlreiche Ansätze zur Strukturierung von Digitalisierungs-Lösungen. Die untersuchten Ansätze der Plattform Industrie 4.0, des VDMA und der VDI/VDE zeigen exemplarisch, dass dabei in erster Linie die technische Perspektive im Fokus steht. Organisatorische und soziale Aspekte werden nur am Rande betrachtet. Auch auf die damit verbundenen Nutzenpotentiale für die Arbeitswelt wird nicht umfassend eingegangen. Das Beschreibungsmodell „Arbeitswelt Industrie 4.0“ nach BAUER ET AL. stellt Industrie 4.0-Anwendungsfälle in den Fokus, nimmt jedoch keine Strukturierung vor.

A2) Berücksichtigung aller Betrachtungsebenen der Arbeitswelt: Die drei Ebenen der Arbeitswelt werden aufgrund ihres generischen Charakters von vielen Ansätzen nur in Teilen aufgegriffen, z.B. die MTO-Analyse nach ULICH oder das „Digital Transformation Framework“ nach WESTERMAN ET AL. Eine umfassende und gleichwertige Betrachtung aller drei Betrachtungsebenen weist hingegen keiner der untersuchten Ansätze auf.

A3) Berücksichtigung der Perspektiven Mensch, Technik und Organisation: Diese Anforderung wird von einigen untersuchten Ansätzen erfüllt. Im Besonderen greift ULICH das Prinzip des Spannungsfelds Mensch-Technik-Organisation auf. Allerdings fokussieren diese Ansätze nur Teilaspekte des betrachteten Gesamtproblems.

Bewertung der untersuchten Ansätze hinsichtlich der gestellten Anforderungen. Bewertungsskala <input type="radio"/> nicht erfüllt <input checked="" type="radio"/> teilweise erfüllt <input type="radio"/> voll erfüllt DI: Digitalisierungslösungen		Anforderungen (A)								
		Allgemeingültigkeit für produzierende Unternehmen	Berücksichtigung aller Betrachtungsebenen der Arbeitswelt	Berücksichtigung der Perspektiven Mensch, Technik, Organisation	Integraler Bestandteil von produzierenden Unternehmen	Identifikation von unternehmensspezifischen Bedarfen	Soziotechnische Bewertung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien	Berücksichtigung der Arbeit 4.0-Reife der Organisation	Systematische Vorgehensweise	Praxisnahe Anwendbarkeit
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Strukturierung von DI	Industrie 4.0-Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Leitfaden Industrie 4.0 des VDMA	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 des VDI/VDE	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Gestaltung von Arbeit	Analyse von Arbeit	Der Work Design Questionnaire nach MORGESON/HUMPHREY	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
		MTO-Analyse nach Ulich	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
		Ordnungsrahmen „Arbeitsumfeld in der dig. Transformation“ nach VON SEE/KERSTEN	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
		Beschreibungsmodell „Arbeitswelt Industrie 4.0“ nach BAUER ET AL.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
	Digitale Reife	Industrie 4.0 Maturity Index nach SCHUH ET AL.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
		Industrie 4.0 Readiness Modell nach LICHTBLAU ET AL.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
		Reifegradmodell Industrie 4.0 nach JODLBAUER ET AL.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
		Einführung interak. Assistenzsysteme über Reifegradmodelle nach WILLEKE/KASSELMANN	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
		Praxisleitfaden Arbeiten 4.0 nach BALZEREIT	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
	Bewert./Auswahl von DI	Prozessorientierte Potentialanalyse von Industrie 4.0-Tech. nach DOMBROWSKI ET AL.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
		Potentialanalyse Ressourceneffizienz der digitalen Transformatin nach VDI	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
		Technologiebewertung nach SCHUH ET AL.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Transformationsmodelle	Agile Transformation Framework nach KROLL ET AL.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
	Digital Transformation Framework nach WESTERMAN ET AL.	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
	Industrie 4.0 Framework nach BECHTOLD ET AL.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
	Organisationsstruktur nach PORTER/HEPPELMANN	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
	Industrie 4.0-Organisation nach BINNER	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Bild 3-19: Bewertung des untersuchten Stands der Technik anhand der Anforderungen

A4) Integraler Bestandteil von produzierenden Unternehmen: Mehrere der untersuchten Ansätze fügen sich in die Grundstrukturen von Unternehmen der produzierenden

Industrie ein. Vor diesem Hintergrund ist für Teilaspekte dieser Ansätze zu prüfen, ob sie als Bestandteile der angestrebten Systematik geeignet sind.

A5) Identifikation von unternehmensspezifischen Bedarfen: Der Industrie 4.0 Maturity Index nach SCHUH ET AL. geht stark auf die Identifikation von unternehmensspezifischen Bedarfen im Kontext der Digitalisierung ein, adressiert allerdings nur Teilaspekte des Gesamtproblems. Die weiteren untersuchten Ansätze adressieren diese Anforderungen nicht umfänglich.

A6) Soziotechnische Bewertung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien: Keiner der untersuchten Ansätze bietet eine soziotechnische Aufwands- und Nutzenbewertung von digitalen Lösungen in der Arbeitswelt. Der Ansatz von BAUER ET AL. bietet zumindest Beschreibungsdimensionen für die Bewertung von Veränderungen von Arbeit in der Industrie 4.0. Diese gilt es auf Eignung zu prüfen.

A7) Berücksichtigung der Arbeit 4.0-Reife der Organisation: Der Industrie 4.0 Maturity Index nach SCHUH ET AL. sowie die Ansätze von LICHTBLAU ET AL. und JODLBAUER ET AL. erfüllen diese Anforderung. Es ist zu prüfen, ob Aspekte der Ansätze für die angestrebte Systematik geeignet sind und sinnvoll integriert werden können.

A8) Systematische Vorgehensweise: Eine Vielzahl der Ansätze unterstützt eine systematische Vorgehensweise. Insbesondere die Ansätze von BAUER ET AL., Ulich und SCHUH ET AL. beinhalten vielversprechende Aspekte. Diese Teilaspekte gilt es in Bezug auf die angestrebte Bedarfsanalyse und Umsetzungsplanung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien auf Eignung zu prüfen.

A9) Praxisnahe Anwendbarkeit: Mehrere Ansätze ermöglichen eine wirtschaftliche und praxisnahe Anwendung. Dies ist in der Regel auf eine pragmatische Handhabung zurückzuführen. Im Hinblick auf die zu entwickelnde Systematik ist diese Anforderung ein kritischer Erfolgsfaktor. Entsprechende Eigenschaften der untersuchten Ansätze werden im Hinblick auf Übertragbarkeit analysiert.

Keiner der untersuchten Ansätze und auch keine triviale Kombination der Ansätze erfüllt alle Anforderungen in vollem Umfang. Die wesentliche Schwachstelle ist die mangelnde Verzahnung zwischen digitalen Lösungen für die Arbeitswelt und den entsprechenden unternehmerischen Gestaltungsfeldern zur nachhaltigen Einführung derartiger Lösungen. Zudem werden Anwendungsszenarien von digitalen Technologien in der Literatur nicht strukturiert betrachtet. Bestehende Ansätze zur Gestaltung der digitalen Transformation und zur Bestimmung der digitalen Reife von Unternehmen betrachten nur Teilaspekte des Gesamtproblems. Zudem mangelt es an Ansätzen, wie geeignete digitale Lösungen vor dem Hintergrund unternehmensspezifischer Rahmenbedingungen ausgewählt werden können. Es besteht daher dringender Handlungsbedarf für eine *Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen*.

4 Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten

Dieses Kapitel bildet den Kern der vorliegenden Arbeit. Es stellt eine *Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen* vor. Die Systematik hat den Anspruch, den dargestellten Herausforderungen und Anforderungen (vgl. Abschnitt 2.6 und 2.7) sowie dem identifizierten Handlungsbedarf (vgl. Abschnitt 3.5) gerecht zu werden. Abschnitt 4.1 gibt einen Überblick über die Systematik und ihre Bestandteile. In den Abschnitten 4.2 bis 4.5 werden die Bestandteile der Systematik vorgestellt. Teilaspekte werden anhand des Mixed Mock-Ups (vgl. Abschnitt 4.2.1) erläutert, welcher im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts IviPep in Kooperation mit Hella als Demonstrator erarbeitet wurde. Die durchgängige Anwendung der Systematik, insbesondere der Auswahl- und Planungssystematik, erfolgt in Kooperation mit drei produzierenden Unternehmen verschiedener Branchen. Dies wird in Kapitel 5 beschrieben.

4.1 Die Systematik im Überblick

Ziel der Systematik ist eine Roadmap zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen. Diese umfasst alle ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien sowie die erforderlichen Maßnahmen zu deren Einführung.

Die Systematik besteht aus einer Wissensbasis und zwei Vorgehensmodellen. Die Wissensbasis umfasst eine Strukturierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien und den damit einhergehenden Nutzenpotentialen sowie ein Arbeit 4.0-Reifegradmodell. Die Wissensbasis wird in Form der Vorgehensmodelle zur Anwendung in der industriellen Praxis aufbereitet. Es resultieren eine Auswahl- und eine Planungssystematik. Wie in Bild 4-1 dargestellt, besteht die Systematik folglich aus insgesamt vier Bestandteilen.

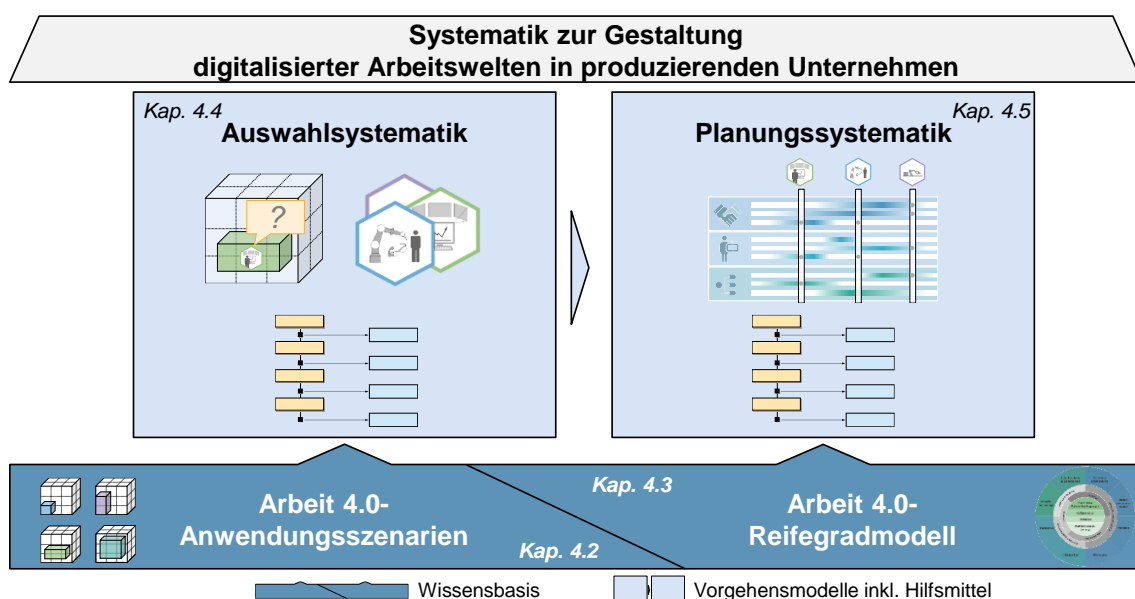


Bild 4-1: Bestandteile der Systematik

- Der erste Teil der Wissensbasis umfasst die **Strukturierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien** und die damit einhergehenden Nutzenpotentiale. Die Strukturierung basiert auf einer Referenzarchitektur für Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien und einer Potentialanalyse von 100 Anwendungsszenarien aus Forschung und Praxis.
- Den zweiten Teil der Wissensbasis bildet das **Arbeit 4.0-Reifegradmodell**. Es beinhaltet Gestaltungsfelder zur nachhaltigen Umsetzung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien sowie Kriterien zur Erfassung der Reife der Unternehmen in den jeweiligen Gestaltungsfeldern.
- Die **Auswahlssystematik** umfasst ein Vorgehensmodell und Hilfsmittel zur Identifikation und Auswahl nutzenversprechender Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien und basiert auf der Strukturierung der Anwendungsszenarien. Die Ergebnisse der Auswahlssystematik bilden den Startpunkt für die Planungssystematik.
- Die **Planungssystematik** besteht aus einem Vorgehensmodell und entsprechenden Hilfsmitteln zur Identifikation und Priorisierung relevanter Maßnahmen zur nachhaltigen Einführung der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Sie basiert auf dem Arbeit 4.0-Reifegradmodell.

Zur Erarbeitung der Roadmap werden die Auswahl- und die Planungssystematik angewendet. Ziel der Auswahlssystematik sind ausgewählte Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien, welche vor dem Hintergrund der unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen Nutzen stiften. Dazu werden Hilfsmittel zur Identifikation, Bewertung und Auswahl der Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien zur Verfügung gestellt. Die Anwendung der Hilfsmittel wird durch ein Vorgehensmodell strukturiert. Die Hilfsmittel basieren auf den Erkenntnissen der Strukturierung der Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Zentrales Resultat dieser Strukturierung ist ein generisches Klassifikationsschema des Mehrwerts von Arbeit 4.0. Auf dieser Basis wird die Auswahl von konkreten, nutzenstiftenden und unternehmensspezifischen Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien ermöglicht. Ziel der Planungssystematik sind identifizierte und priorisierte Maßnahmen zur nachhaltigen Einführung der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Dazu wird ein Vorgehensmodell mit dedizierten Hilfsmitteln bereitgestellt, welche auf dem Arbeit 4.0-Reifegradmodell basieren. Dieses enthält die Gestaltungsfelder, in denen bei der nachhaltigen Einführung der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien zu agieren ist. Das Reifegradmodell enthält zudem Kriterien, anhand derer die Reife innerhalb der jeweiligen Gestaltungsfelder ermittelt werden kann. Auf Grundlage der Ausgangssituation des Unternehmens und der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien wird die Identifikation sowie die Priorisierung von Maßnahmen ermöglicht. Als zentrales Resultat der Systematik entsteht so eine Roadmap zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten, welche alle ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien sowie die erforderlichen Maßnahmen zu deren nachhaltigen Einführung umfasst.

4.2 Strukturierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

Der erste Bestandteil der Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten ist die Strukturierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien und der damit einhergehenden Nutzenpotentiale. Die entsprechende Klassifizierung basiert auf einer Referenzarchitektur, welche in Abschnitt 4.2.1 vorgestellt wird. Sie dient als Leitlinie für die Strukturierung, welche in Abschnitt 4.2.2 erläutert wird. Zuletzt erfolgt die Strukturierung der Nutzenpotentiale. Dies ist Gegenstand von Abschnitt 4.2.3.

4.2.1 Referenzarchitektur für Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

Die Referenzarchitektur umfasst alle allgemeingültigen Merkmale von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien (z.B. Arbeitstätigkeit) mit entsprechenden Ausprägungen (z.B. kognitiv) sowie deren Abhängigkeiten untereinander. Die Elemente, deren Ausprägungen sowie deren Abhängigkeiten, wurden durch eine intensive Analyse von 100 Anwendungsszenarien aus Forschung und Praxis identifiziert (vgl. Anhang A1). Grundlage dieser Beispiele sind die Ergebnisse des **Industriekreises Arbeit 4.0** sowie des **BMBF-Verbundprojekts IviPep**. Zudem konnten aus der Nachhaltigkeitsmaßnahme Arbeit 4.0 des Spitzenclusters **it's OWL**⁷ weitere Beispiele gefunden werden. Bild 4-2 zeigt die Referenzarchitektur in der Übersicht.

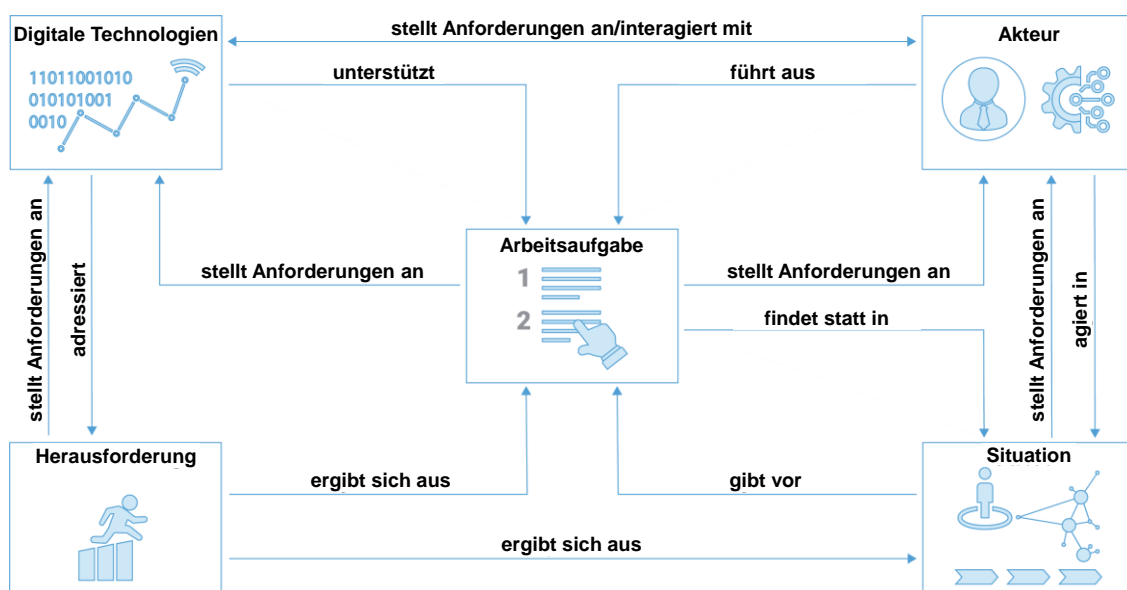


Bild 4-2: Referenzarchitektur für Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

Die Arbeitsaufgabe bildet den Kern der Referenzarchitektur. Sie wird von einem Akteur ausgeführt und stellt dadurch Anforderungen an diesen. Die Arbeitsaufgabe findet in einer Situation innerhalb der Arbeitswelt statt, d. h. die Bedingungen aus der Arbeitswelt

⁷ Ziel der Nachhaltigkeitsmaßnahme Arbeit 4.0 des Spitzenclusters it's OWL sind validierte Empfehlungen aus der Industrie, wie der digitale Wandel der Arbeitswelt gelingen kann.

geben die Arbeitsaufgabe vor. Des Weiteren stellt sie Anforderungen an die verwendeten digitalen Technologien. Ein weiteres zentrales Element bildet die Herausforderung, welche sich aus der Arbeitsaufgabe und der Situation ergibt. Die digitalen Technologien adressieren die Herausforderung, gleichzeitig ergeben sich aus der Herausforderung Anforderungen an die digitalen Technologien. Diese unterstützen den Akteur bei der Ausführung seiner Arbeitsaufgabe. Dadurch ergeben sich Anforderungen an den Akteur. Die Elemente sind jeweils durch zwei bis vier Ausprägungen charakterisiert. Diese sind dem Bild 4-3 zu entnehmen.

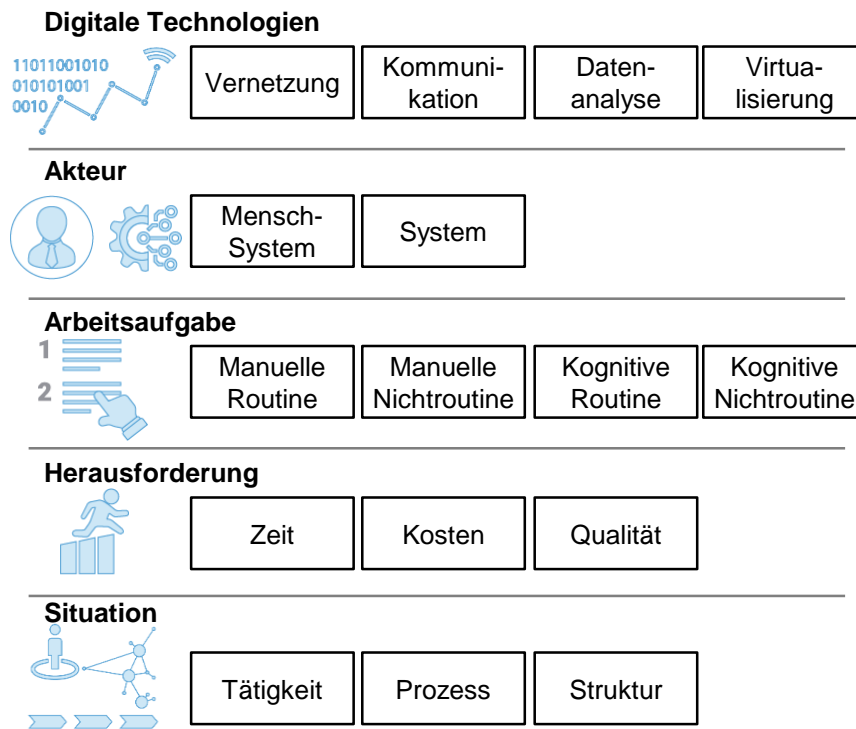


Bild 4-3: Ausprägungen der Elemente der Referenzarchitektur für Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

Digitale Technologien: Digitale Technologien umfassen die Datenerfassung, -verarbeitung, -übertragung und -speicherung. Sie basieren auf einer physischen Grundlage und dienen der Informationsgewinnung bzw. Datenanalyse und können nutzenstiftend in der Marktleistung und Wertschöpfung verwendet werden (vgl. Abschnitt 2.1). Im Rahmen der Referenzarchitektur wird dabei zwischen Technologien unterschieden, die sich vorrangig auf die Vernetzung, Kommunikation, Datenanalyse oder Virtualisierung beziehen (vgl. [LBR+18]).

Akteur: Dieses Element beschreibt das handelnde Objekt innerhalb des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios. Dies kann entweder eine Kooperation zwischen Mensch und System (i.S.v. digitalen Technologien) oder lediglich ein System sein. Ein solches System besteht dabei in der Regel aus mehreren digitalen Technologien (vgl. [RMQ+17]).

Arbeitsaufgabe: Die Arbeitsaufgabe steht im Fokus der Referenzarchitektur. Sie beschreibt die Aufgabe, die es im Rahmen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios zu erledigen gilt. Dabei werden vier Typen von Arbeitsaufgaben unterschieden: Manuelle Routine, manuelle Nichtroutine, kognitive Routine sowie kognitive Nichtroutine (vgl. [ALM03]). Zwar ist die Arbeitsaufgabe zentrales Element des Arbeitssystems, sodass dieses Element eng mit der ersten Ebene von Arbeitswelten verknüpft ist (vgl. Abschnitt 2.2.2). Dennoch lassen sich auch die Bestandteile von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien der zweiten und dritten Ebene auf Arbeitsaufgaben herunterbrechen.

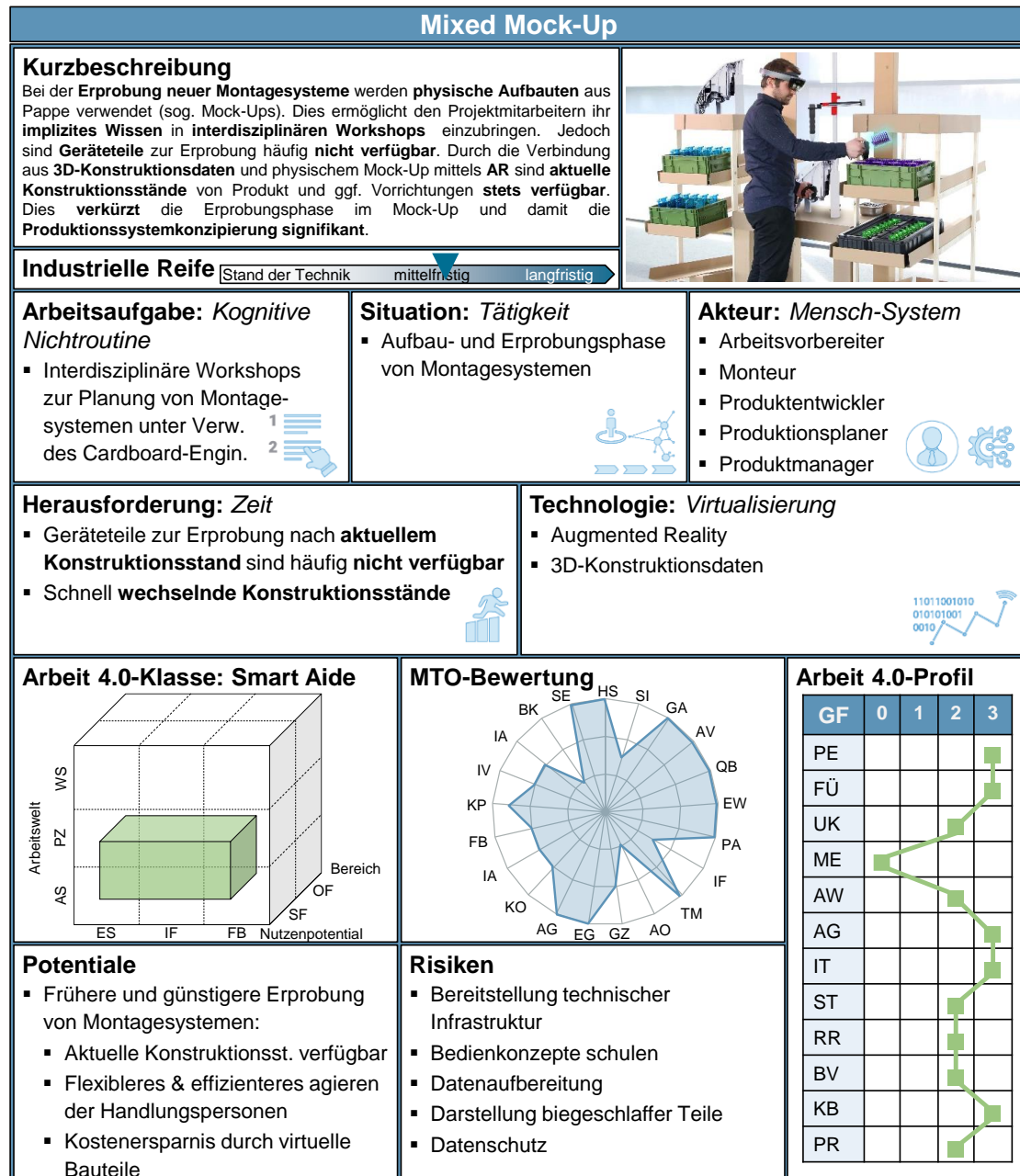
Herausforderung: Prämisse für ein Arbeit 4.0-Anwendungsszenario ist es, dass eine digitale Technologie in der Arbeitswelt eingesetzt wird, um eine Herausforderung zu adressieren. Daher bildet diese ein weiteres zentrales Element. Die Ausprägungen sind angelehnt an das sog. magische Dreieck im Projektmanagement mit den Dimensionen Zeit, Kosten und Qualität.

Situation: Die Situation umschreibt die Ebene der Arbeitswelt, in der das Arbeit 4.0-Anwendungsszenario verortet werden kann (vgl. Abschnitt 2.2). Die Ausprägungen lauten daher Tätigkeit (entspricht der ersten Ebene), Prozess (zweite Ebene) und Struktur (dritte Ebene) (vgl. [Tri81], [NBS19]).

Die Referenzarchitektur am Beispiel Mixed Mock-Up

Auf Basis der Elemente und deren Ausprägungen erfolgt die Klassifizierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien (vgl. Abschnitt 4.2.2). Dabei werden 100 Beispiele derartiger Anwendungsszenarien (vgl. Anhang A1) in die Referenzarchitektur eingeordnet; d.h. die jeweiligen Ausprägungen dieser Beispiele werden identifiziert. Dies wird am Beispiel des Anwendungsszenarios „Mixed Mock-Up“ aus dem Forschungsprojekt IviPep erläutert (vgl. dazu [SBB+18], [RBN+18], [BH18]). Ein entsprechender Steckbrief ist in Bild 4-4 dargestellt. Dieser enthält u.a. eine Kurzbeschreibung, eine Beschreibung der Elemente der Referenzarchitektur sowie Chancen und Risiken. Dadurch kann ein Grundverständnis des Anwendungsszenarios vermittelt werden. Darüber hinaus werden die Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Abschnitt 4.2.3), die MTO-Bewertung (vgl. Abschnitt 4.4.4) sowie das Arbeit 4.0-Profil (vgl. Abschnitt 4.5.2) des Anwendungsszenarios ausgewiesen.

Der Mixed Mock-Up bezieht sich auf die Gestaltung und Erprobung neuer Montagesysteme. Dabei setzt der Automobilzulieferer Hella auf das sog. Cardboard Engineering. Mithilfe von Mock-Ups (physische Aufbauten aus Pappe) werden in interdisziplinären Workshops die Arbeitsplätze des Montagesystems modelliert und die entsprechenden Abläufe und Greifwege simuliert sowie Prozesse analysiert. Die Projektmitarbeiter sind insbesondere aufgefordert, ihr implizites Wissen in den Planungsprozess einzubringen.



Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild 4-4: Steckbrief eines Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios am Bsp. Mixed Mock-Up

Bild 4-5 zeigt die Ausprägungen des Mixed Mock-Ups innerhalb der Referenzarchitektur. Die Arbeitsaufgabe lässt sich demnach als *kognitive Nichtroutine* klassifizieren. Da das Anwendungsszenario eine konkrete Workshop-Methode zur Erprobung von Montagesystemen unterstützt, wird der Situation die Ausprägung *Tätigkeit* zugeordnet.

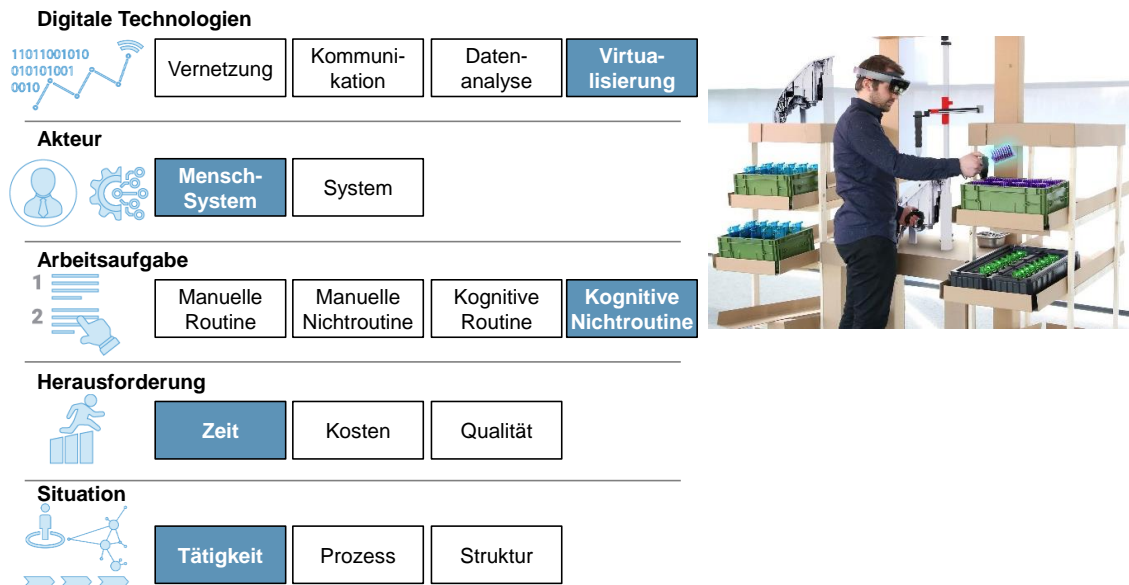


Bild 4-5: Die Referenzarchitektur am Beispiel Mixed Mock-Up

Die realen Prototypen der später zu montierenden Bauteile sind erst deutlich später verfügbar als die Papp-Aufbauten der dazugehörigen Montagesysteme. Die im Rahmen des Anwendungsszenarios betrachtete Herausforderung lässt sich als *Zeit* klassifizieren. Diese Herausforderung wird nun durch die Technologie Augmented Reality (AR) adressiert, sodass ein Arbeit 4.0-Anwendungsszenario entsteht. Durch die Einblendung von aktuellen 3D-Konstruktionsdaten mittels AR in das Sichtfeld der Handlungspersonen sind die Konstruktionsstände der Bauteile stets verfügbar. Die verwendete digitale Technologie lässt sich daher als *Virtualisierung* klassifizieren. Entsprechend wird der Akteur als *Mensch-System* eingeordnet. Dadurch entsteht ein sog. Mixed Mock-Up, der die Vorteile der Haptik der physischen Aufbauten aus Pappe mit der Flexibilität des digitalen Mock-Ups kombiniert. Dabei bleibt der kollaborative Charakter der Methode erhalten, gleichzeitig verkürzt sich die Aufbau- und Erprobungsphase signifikant.

4.2.2 Klassifizierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

Analog zu dem Beispiel Mixed Mock-Up wurden insgesamt 100 Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien eingeordnet. Die entsprechende Übersicht ist im Anhang A-1 dargestellt. Dabei lassen sich Konzentrationen bestimmter Ausprägungen identifizieren, welche als Arbeit 4.0-Klassen bezeichnet werden. Diese Klassen wurden auf Grundlage der Kombination einer Clusteranalyse und einer multidimensionalen Skalierung, unter Zuhilfenahme des Softwaretools SPSS, identifiziert. Dabei erfolgte in einem ersten Schritt die Dichotomisierung der nominalen Daten der Referenzarchitektur (vgl. Anhang A1) zu binären Daten. In einem zweiten Schritt wurde eine hierarchische Clusteranalyse durchgeführt (inkl. der Generierung einer Ähnlichkeitsmatrix). Es wurden der Jaccard-Koeffizient (Ähnlichkeitsmaß) sowie das Average-Linkage (Cluster-Methode) verwendet. Auf Grundlage des dabei entstehenden Dendrogramms konnten Klassen ermittelt werden. In

einem dritten Schritt wurde eine multidimensionale Skalierung durchgeführt. Dazu bildet die Ähnlichkeitsmatrix der Clusteranalyse die Grundlage. Als Resultat entsteht eine Visualisierung der Klassen, welche in Bild 4-6 dargestellt ist. Dabei stellen die Kugeln einzelne Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien dar. Eine Ansammlung ähnlicher Anwendungsszenarien wird farblich untermauert und stellt eine Arbeit 4.0-Klasse dar. Sie differenzieren sich anhand sog. Hauptunterscheidungsmerkmale, welche auf den Elementen der Referenzarchitektur basieren. In Bild 4-6 sind exemplarisch die Hauptunterscheidungsmerkmale *Arbeitsaufgabe* und *Situation* dargestellt.

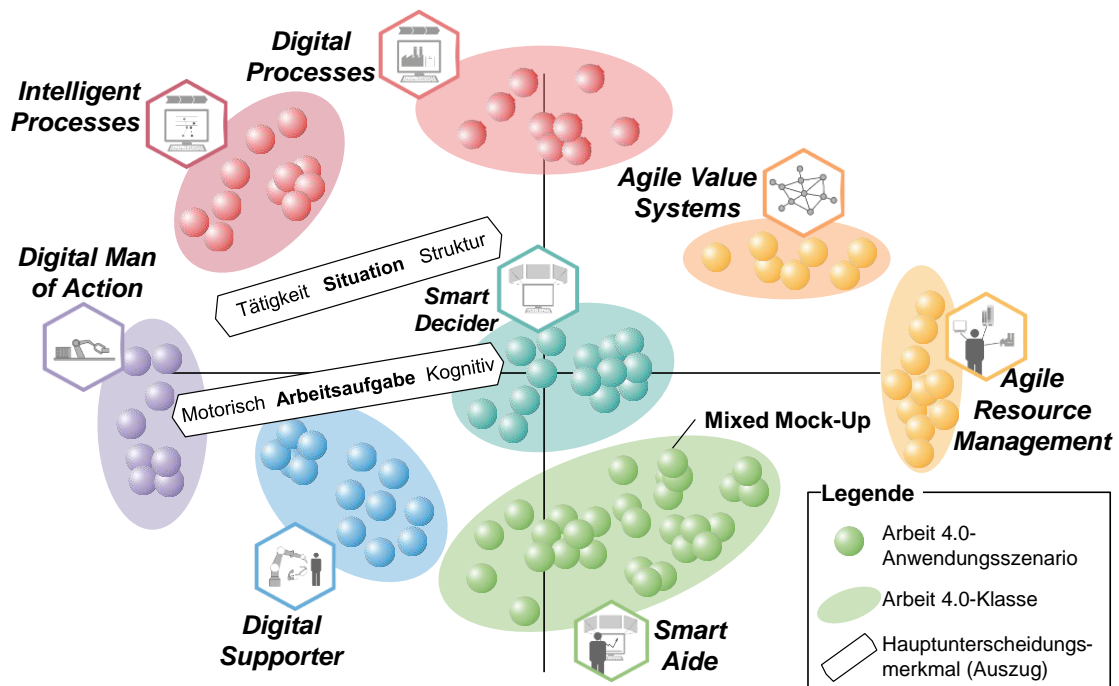


Bild 4-6: Klassifikation von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

Demnach unterscheiden sich z.B. die Klassen *Digital Man of Action* und *Smart Decider* hauptsächlich anhand der adressierten Arbeitsaufgabe. Im Folgenden werden die identifizierten Klassen von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien detailliert vorgestellt. Diese werden im Verlauf der Arbeit auch als Arbeit 4.0-Klassen bezeichnet.

Klasse 1 – Digital Supporter: Die Klasse Digital Supporter bezieht sich auf solche Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien, die einen menschlichen Akteur bei der Ausführung manueller Arbeitsaufgaben unterstützen. Es werden überwiegend Routineaufgaben unterstützt. Die Unterstützung von Nichtroutineaufgaben gehört jedoch ebenfalls in diese Klasse. Dabei müssen die zu unterstützende Aufgabe und das zu erzielende Resultat klar definiert sein. Dazu werden Technologien aus dem Bereich der Kommunikation oder der Virtualisierung verwendet. Die Unterstützung erfolgt durch haptisches Feedback, visuelle Unterstützung oder durch das Zuschalten von Fernexperten. Ein typisches Einsatzgebiet ist das Produktionsumfeld. In dieser Klasse sind im Element Digitale Technologien die Kommunikation stark und die Virtualisierung mittel ausgeprägt. Das Element Akteur ist

als Mensch-System ausgeprägt, die Arbeitsaufgabe ist manuelle Routine. Typische Beispiele sind die Anwendungsszenarien *Remote Experte zur AR-basierten Wartungsunterstützung* (vgl. Bild A-11), *Digitale Arbeitsanleitung zur Unterstützung manueller Fertigungsprozesse* (vgl. Bild A-14) oder *Mobile Co-Robots zur manuellen Montageunterstützung* (vgl. Bild A-19). Diese verfügen in der Regel über einen vergleichsweise hohen technischen Reifegrad.

Klasse 2 – Digital Man of Action: Die Klasse Digital Man of Action beschreibt Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien, bei denen ein technisches System die Durchführung manueller Arbeitsaufgaben übernimmt. Dabei können explizit belastende, herausfordernde oder repetitive körperliche Aufgaben autonom ausgeführt werden. Derartige Systeme eignen sich insbesondere für einen Einsatz in der Produktion oder Logistik. Dabei sind Kommunikation und Virtualisierung im Element Digitale Technologien ausgeprägt. Der Akteur ist ein technisches System. Bei der Arbeitsaufgabe ist insbesondere die manuelle Routine ausgeprägt. Bei dieser Art der Arbeitsaufgabe ist die Automatisierung deutlich wirtschaftlicher, sodass bei Herausforderungen die Kosten ausgeprägt sind. Typische Beispiele sind *Humanoide Roboter als multifunktionale Helfer in der Produktion* (vgl. Bild A-26) oder *Licht-gesteuerte fahrerlose Transportsysteme* (vgl. Bild A-28).

Klasse 3 – Smart Aide: Diese Klasse bezieht sich auf intelligente Assistenzsysteme. Diese unterstützen den Menschen bei der Ausführung von kognitiven Aufgaben. Dabei werden sowohl Routine- als auch Nichtroutineaufgaben unterstützt, indem z.B. über Sprachassistenten bedarfsgerechte Zusatzinformationen zur Verfügung gestellt werden. Einsatzgebiete sind kreative und wissensbasierte Bereiche, wie z.B. die Produktentstehung. Bei den Digitalen Technologien sind Datenanalyse, Kommunikation sowie Virtualisierung ausgeprägt. Der Akteur ist als Mensch-System, die Arbeitsaufgabe sowohl als kognitive Routine als auch als kognitive Nichtroutine ausgeprägt. Als Herausforderung wird die Qualität adressiert. Typische Beispiele sind *Mixed Mock-Up* (vgl. Bild A-10), *Hybrider „Service Bot“ zur Unterstützung der Bearbeitung von Service-Anfragen* (vgl. Bild A-20) oder *Predictive Analytics zur Entscheidungsunterstützung* (vgl. Bild A-27).

Klasse 4 – Smart Decider: Die vierte Klasse beschreibt intelligente Systeme, welche auf maschinellen Lernverfahren beruhen. Dies verleiht ihnen schlussfolgernde und somit kognitive Fähigkeiten. Sie können Situationen autonom beurteilen und Entscheidungen ohne menschliche Interaktion treffen. Somit können kognitive Nichtroutineaufgaben ausgeführt werden. Die Fähigkeiten solcher Systeme und die Qualität der von ihnen getroffenen Entscheidungen hängen dabei von den zu Grunde liegenden Algorithmen und den Trainingsdaten ab, die ihnen zur Verfügung stehen. Als Digitale Technologie ist die Datenanalyse ausgeprägt, der Akteur ist ein System. Es werden kognitive Nichtroutineaufgaben ausgeführt, in der Regel um deren Qualität zu verbessern. Typische Beispiele sind *Predictive Analytics zur automatisierten Entscheidungsfindung* (vgl. Bild A-3), *KI-basiertes Expertensystem zur Nachbildung von Expertenwissen* (vgl. Bild A-3), *KI-basiertes Monkey-Testing zur Software-Validierung* (vgl. Bild A-3) oder *Generatives Design zur Unterstützung von Konstrukteuren* (vgl. Bild A-21).

Klasse 5 – Digital Processes: Während sich die ersten vier Klassen auf die Ebene des Arbeitssystems beziehen, ordnet sich diese Klasse in die Ebene der Geschäftsprozesse ein. Die Klasse beschreibt Anwendungsszenarien, die einfache Abläufe und Workflows vollständig digital abbilden. Dadurch können Medienbrüche vermieden werden. Die maßgeblichen Arbeitstätigkeiten entlang solcher Prozesse sind manuelle Routineaufgaben. Diese fallen durch den Einsatz von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien dieser Klasse weg. Ein typisches Beispiel ist die Digitalisierung von Dienstreiseanträgen auf Basis elektronischer Signaturen. Manuelle Routineaufgaben wie das Einscannen papierbasierter Unterschriften sind dann obsolet. Typisches Einsatzgebiet der Digital Processes ist die Verwaltung. In dieser Klasse ist bei den Digitalen Technologien die Vernetzung ausgeprägt, der Akteur ist das System. Es ersetzt manuelle Routineaufgaben, um Kosten zu sparen. Die Situation ist der Prozess. Ein typisches Beispiel ist die *Automatisierung der Workflows wiederkehrender Arbeitsabläufe* (vgl. Bild A-15).

Klasse 6 – Intelligent Processes: Die sechste Klasse bezieht sich ebenfalls auf Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien, die Prozesse digital abbilden. Im Gegensatz zur Klasse Digital Processes werden hier solche Prozesse digitalisiert, die auf kognitiven Aufgaben basieren. Intelligente Prozesse schaffen einen Mehrwert durch die intelligente Datenerhebung, -verarbeitung und -nutzung. Dabei lassen sich zwei verschiedene Stoßrichtungen unterscheiden. Zum einen solche Anwendungsszenarien, die dem Menschen kognitive Routineaufgaben in Form von intelligenten Workflows abnehmen. Beispiele dafür sind eine *Intelligente Vertreterregelung* (z.B. durch *E-Mail-Weiterleitung*) (vgl. Bild A-3) oder ein *Digitales Fahrtenbuch zur Unterstützung von Dienstreiseabrechnungen* (vgl. Bild A-3). Zum zweiten lassen sich solche Anwendungsszenarien unterscheiden, die Abläufe von kognitiven Nichtroutineaufgaben übernehmen. Dies kann vollständig autonom oder in Kooperation mit dem Menschen erfolgen. Beispiele für die autonome Ausführung sind *KI zur Nachbildung von Erfahrungswissen* (vgl. Bild A-2) oder die *modellbasierte Informationsbereitstellung für das Multiprojektmanagement* (vgl. Bild A-3). Beispiele für die Kooperation zwischen Mensch und System sind *Modellbasierte Entwicklung zur Unterstützung der Traceability* (vgl. Bild A-2) oder die *Teilautomatisierte Angebotserstellung im B2B-Bereich* (vgl. Bild A-2). Die Kooperationen sind dadurch gekennzeichnet, dass Informationen entlang eines Prozesses erfasst, verarbeitet und visualisiert werden. Der Anwender kann auf dieser Grundlage Entscheidungen treffen. In dieser Klasse ist bei den digitalen Technologien die Datenanalyse ausgeprägt. Im Element Akteur sind sowohl der Mensch als auch die Kooperation zwischen Mensch und System ausgeprägt. Die zu Grunde liegenden Arbeitstätigkeiten sind sowohl kognitive Routine als auch kognitive Nichtroutine. Dabei wird die Herausforderung Qualität adressiert. Das Element Situation ist als Prozess ausgeprägt.

Klasse 7 – Agile Ressource Management: Diese Klasse wird der Ebene Wertschöpfungssystem und Unternehmensumfeld zugeordnet. Sie beschreibt solche Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien, die eine Flexibilisierung von internen Prozessen und organisationalen Strukturen ermöglichen. Ein besonderer Fokus liegt auf dem Management interner

Ressourcen. Ein typisches Beispiel ist die *selbstorganisierte Kapazitätsflexibilität* (vgl. Bild A-17). Dabei können Mitarbeiter selbstständig ihre Verfügbarkeiten organisieren [Kun15-ol]. Ein weiteres Beispiel ist das *Crowdsourcing* (vgl. Bild A-12). In diesem Zusammenhang werden z.B. wissensbasierte Aufgaben an HR-Plattformen (z.B. Amazon Mechanical Turk) vergeben. Dies ermöglicht den Unternehmen innovative Impulse von externen Experten. Anwendungsszenarien dieser Klasse basieren auf digitalen Technologien der Ausprägung Vernetzung. Die zu Grunde liegenden Arbeitstätigkeiten sind in der Regel kognitive Routine- und Nichtroutineaufgaben (z.B. Koordination und Bezug von personellen Ressourcen). Anwendungsszenarien dieser Klasse adressieren die Herausforderung Qualität innerhalb der Situation Struktur.

Klasse 8 – Agile Value Systems: Die achte Klasse ist ähnlich zum Agile Ressource Management und ist in der Ebene Wertschöpfungssystem und Unternehmensumfeld eingeordnet. Die Anwendungsszenarien dieser Klasse bezwecken die Flexibilisierung von Lieferanten- und Kundenbeziehungen. Ein Beispiel ist die *Digitale Erfassung und Rückführung von Felddaten* (vgl. Bild A-24). Dies kann z.B. die Anpassungsentwicklung unterstützen. In dieser Klasse sind die Elemente analog zur siebten Klasse ausgeprägt. In Abgrenzung dazu wird hier der Fokus auf die Einbettung des Unternehmens in sein Wertschöpfungsnetzwerk betrachtet. Im Gegensatz dazu fokussiert die Klasse Agile Ressource Management die internen Strukturen.

4.2.3 Klassifizierung der Nutzenpotentiale von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

In diesem Abschnitt werden die Nutzenpotentiale von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien identifiziert und in ein Klassifikationsschema überführt. Dies ist die Voraussetzung für die Auswahlssystematik (vgl. Abschnitt 4.4), welche Unternehmen bei der Identifikation geeigneter Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien unterstützt. Dazu wurde in einem ersten Schritt eine sog. Potentialmatrix erstellt. Diese dient der Identifikation von Potentialfeldern. Die Potentialmatrix ist in Bild 4-7 dargestellt. Dabei wurde für die 100 untersuchten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien jeweils das Nutzenversprechen definiert. So wurde z.B. für das Szenario Mixed Mock-Up das Nutzenpotential *Frühere und günstigere Erprobung von Montagesystemen* identifiziert (Potential-Nr. 11 in Bild 4-7). Die so identifizierten 100 Nutzenpotentiale wurden anschließend in die in Bild 4-7 dargestellte Matrix eingetragen und in einem paarweisen Vergleich auf Ähnlichkeit bewertet. Die dazugehörige Fragestellung lautete *Ist Potential i (Zeile) ähnlich zu Potential j (Spalte)?* Bei Ähnlichkeit wird eine 1 in die entsprechende Zelle eingetragen, sonst eine 0. So ist z.B. das Potential *Vereinfachter Zugriff auf Expertenwissen* ähnlich zu dem Potential *Einbindung des Wissens externer Experten*. Folglich ist der entsprechende Zelleneintrag 1. Mittels

einer binären Design Structure Matrix⁸ wurden die Zusammenhänge zwischen den jeweiligen Nutzenpotentialen, unter Verwendung des Tools LOOME0, analysiert. Dabei werden die Nutzenpotentiale nach Ähnlichkeit sortiert, sodass sich innerhalb der Matrix Gruppen mit möglichst vielen Einsen bilden. Eine solche Gruppe wird als Potentialfeld bezeichnet. Der in Bild 4-7 dargestellte Ausschnitt von 25 Nutzenpotentialen zeigt, dass innerhalb dieser Nutzenpotentiale sieben Potentialfelder identifiziert werden konnten.

Potentialmatrix		Fragestellung: "Ist Potential i (Zeile) ähnlich zu Potential j (Spalte)?"																										
		0: i ist nicht ähnlich zu j 1: i ist ähnlich zu j																										
Potentiale	Nr.	7	11	21	22	24	26	1	2	4	5	8	12	13	3	6	10	17	9	25	69	73	55	7	95	70	83	
Vereinfachter Zugriff auf Expertenwissen	7	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1
Frühere und günstigere Erprobung von Montagesystemen	11	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	
Einbindung des Wissens externer Experten	21	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	
Besseres Kundenverständnis (Nutzungsverhalten im Feld)	22	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
Flexiblere Arbeits- und Personaleinsätze	24	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	
Verringerung der Energiekosten	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Verbesserte Ergonomie	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Humanere Arbeitsbedingungen	2	0	0	0	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Vermeidung von Fehlern bei Montage	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Schnelleres Einlernen von Mitarbeitern	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Reduzierung von Arbeitsunfällen	8	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Verringerte Fehlerquote in der Qualitätsprüfung	12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Schnellere Intervalle in der Q-Prüfung	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Effizienteres Durchführen von kognitiven Arbeitstätigkeiten	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Ersparnis von Reisekosten	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Schnelle und günstige Produktion	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Günstigere/ schnellere Entwicklung von CAD-Zeichnungen	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Geringere operative Betriebskosten in der Logistik	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Verringerung der Instandhaltungskosten	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Verbesserte Kommunikation im Entwicklungsprozess	69	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	
Vermeidung von Änderungen	73	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0		
Reduzierung von Planungsfehlern	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Schnellere Reaktionszeiten	7	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Schnellere Reaktionszeiten bei Marktschwankungen	95	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Einfachere Durchführung von Simulationen	70	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Höhere Transparenz in der Supply Chain	83	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Bessere Verfügbarkeit von standortübergreifendem und personenbezogenem Wissen

Steigerung der Innovationsfähigkeit der Organisation

Effizientere Durchführung von motorischen Arbeitstätigkeiten

Effizientere Durchführung von kognitiven Arbeitstätigkeiten

Effizientere Ressourcennutzung

Verringerung von Reaktionszeiten

Schlankere Prozesse und Strukturen durch Erhöhung der Transparenz entlang der Wertschöpfung

Bild 4-7: Potentialmatrix zur Identifikation von Potentialfeldern

Ein beispielhaftes Potentialfeld lautet *Bessere Verfügbarkeit von standortübergreifendem und personenbezogenem Wissen*. Dazu gehören u.a. die bereits erwähnten Potentiale *Vereinfachter Zugriff auf Expertenwissen* sowie *Einbindung des Wissens externer Experten*.

Bei Betrachtung aller Potentialfelder wird deutlich, dass diese zu folgenden drei Nutzenkategorien aggregiert werden können:

⁸ Die binäre Design Structure Matrix analysiert die Vernetzung von Elementen innerhalb eines Systems. Dabei wird die Existenz einer einzigen Beziehung abgebildet.

Steigerung der Effizienz: Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien tragen zur Effizienzsteigerung innerhalb der gesamten Arbeitswelt bei. In der Ebene der Arbeitstätigkeiten wird z.B. die *Effizientere Durchführung von motorischen und kognitiven Arbeitsaufgaben* ermöglicht. In die Ebene der Geschäftsprozesse und Organisationsstrukturen wird z.B. das Potentialfeld *Effizientere Ressourcennutzung* eingeordnet.

Stärkung der Innovationsfähigkeit: Die zweite Kategorie von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien bezieht sich auf die Steigerung der Innovationsfähigkeit. Dazu lassen sich die Potentialfelder *Bessere Verfügbarkeit von standortübergreifendem und personenbezogenem Wissen* sowie *Steigerung der Innovationsfähigkeit der Organisation* zuordnen.

Flexibilisierung von Strukturen: Zuletzt ermöglichen Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien die Flexibilisierung von Strukturen. Beispielhaft lassen sich hier die Potentialfelder *Schlankere Prozesse und Strukturen* einordnen. Dies kann durch eine Erhöhung der Transparenz entlang der Wertschöpfung bzgl. von Produktdaten gelingen. Ein weiteres Potentialfeld ist die *Verringerung von Reaktionszeiten*.

Die Nutzenkategorien bilden die Grundlage des Klassifikationsschemas des Mehrwerts von Arbeit 4.0. Das Schema ordnet die Klassen von Arbeit 4.0 hinsichtlich des Mehrwerts für die Arbeitswelt von produzierenden Unternehmen nach drei Kategorien. Dadurch bildet es die Grundlage für die Auswahlssystematik. Das Klassifikationsschema ist in Bild 4-8 am Beispiel der Arbeit 4.0-Klasse Smart Aide dargestellt.

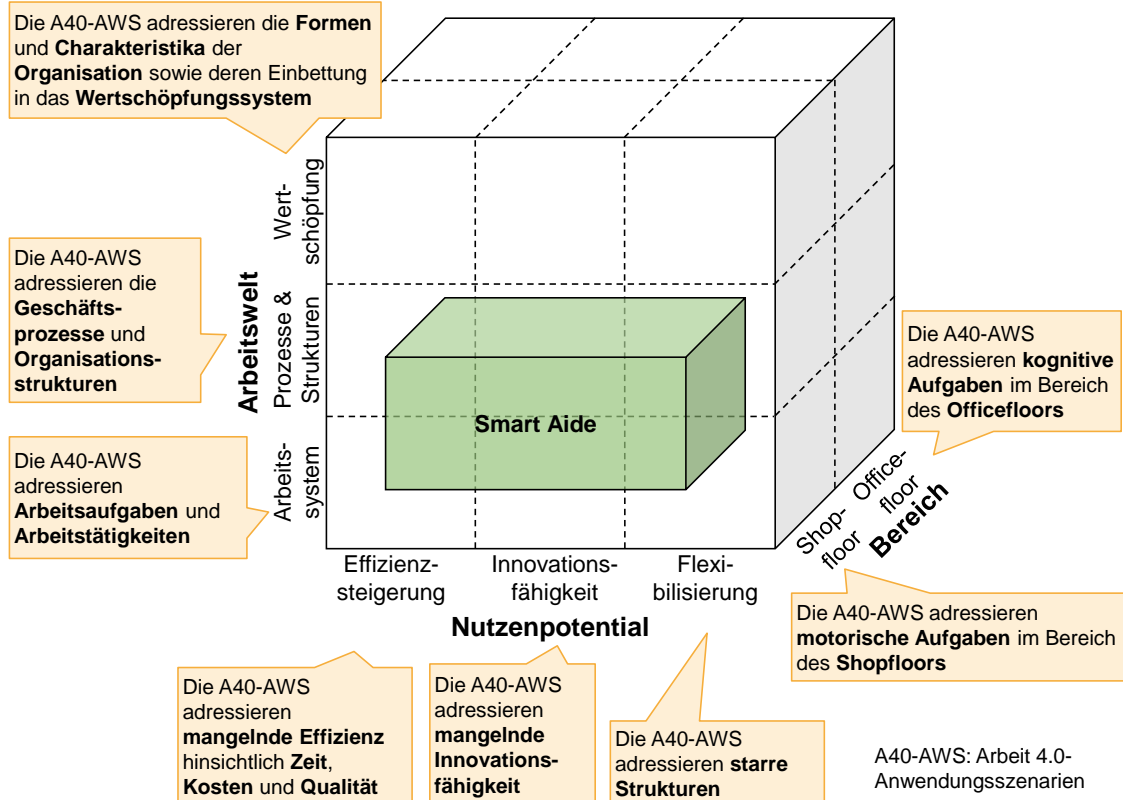


Bild 4-8: Klassifikationsschema des Mehrwerts von Arbeit 4.0 am Beispiel der Klasse Smart Aide

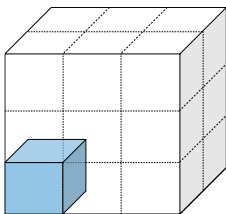
Die folgenden drei Kategorien bilden die Grundlage der Klassifikation des Mehrwerts von Arbeit 4.0:

Nutzenpotential: Das Nutzenpotential gliedert sich in die drei Gruppen *Steigerung der Effizienz*, *Stärkung der Innovationsfähigkeit* sowie *Flexibilisierung von Strukturen*. Diese bilden die Grundlage des Schemas und stellen deswegen die X-Achse des in Bild 4-8 abgebildeten Würfels dar. Die Arbeit 4.0-Klasse Smart Aide umfasst dabei Anwendungsszenarien, welche Nutzenpotentiale im Kontext Effizienzsteigerung sowie Stärkung der Innovationsfähigkeit bieten.

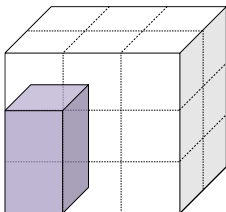
Arbeitswelt: Die in Kapitel 2.2 herausgearbeiteten drei Ebenen der Arbeitswelt bilden die zweite Kategorie. Damit wird abgebildet, dass die drei Nutzenkategorien grundsätzlich alle Ebenen der Arbeitswelt betreffen. Die Kategorie bildet die Y-Achse des Würfels. Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien der Klasse Smart Aide adressieren das Arbeitssystem.

Bereich: Die dritte Kategorie wird durch den sog. Bereich gebildet. Damit ist die Unterscheidung zwischen den Unternehmensbereichen Shopfloor und Officefloor gemeint. Während sich der Begriff Shopfloor auf das Produktionsumfeld bezieht, bezeichnet der Begriff Officefloor die Bereiche des Unternehmens, die sich auf die wissensbasierten Tätigkeiten fokussieren. Diese Unterscheidung wird deshalb getroffen, da die Arbeit 4.0-Klassen 1-4 eine starke Unterscheidung zwischen motorischen und kognitiven Aufgaben aufgezeigt haben. Die Kategorie stellt die Z-Achse des Würfels dar. Die Klasse Smart Aide bezieht sich auf den Officefloor.

Die drei Achsen spannen den in Bild 4-8 dargestellten Würfel auf. Darin lassen sich die acht identifizierten Arbeit 4.0-Klassen folgendermaßen verorten:

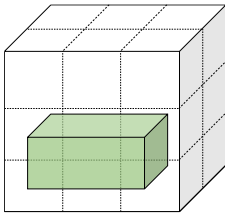


Klasse 1 – Digital Supporter: Derartige Anwendungsszenarien unterstützen die Durchführung von manuellen Arbeitstätigkeiten. Dementsprechend ist die Klasse in der Kategorie Arbeitswelt der Ebene Arbeitssystem zuzuordnen. Da es sich um manuelle Tätigkeiten handelt, gehört die Klasse in den Bereich des Shopfloors. Anwendungsszenarien dieser Klasse unterstützen Arbeitstätigkeiten durch haptisches Feedback, visuelle Unterstützung oder durch das Zuschalten von Fernexperten mit dem Ziel, die Effizienz dieser zu erhöhen. Entsprechend wird die Klasse bei den Nutzenpotentialen der Gruppe Effizienzsteigerung zugeordnet. U.a. trifft das Potentialfeld *Effizientere Durchführung von Arbeitstätigkeiten* auf diese Klasse zu.

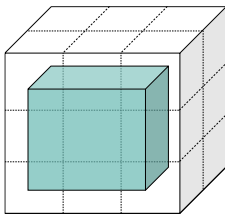


Klasse 2 – Digital Man of Action: Diese Klasse stiftet in erster Linie innerhalb der Ebene des Arbeitssystems im Sinne der Effizienzsteigerung Nutzen. Dabei werden manuelle Arbeitsaufgaben autonom durch Systeme durchgeführt. Aufgrund des hohen Automatisierungsgrads können auch zusammenhängende Arbeitstätigkeiten durchgeführt werden, sodass auch innerhalb der Ebene der Geschäftsprozesse Nutzen gestiftet werden kann. Da manuelle Aufgaben im Fokus dieser Klasse stehen, wird sie dem

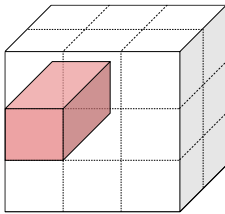
Shopfloor zugeordnet. Das Potentialfeld *Effizientere Durchführung von Arbeitstätigkeiten* wird durch diese Klasse untermauert.



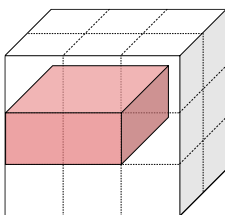
Klasse 3 – Smart Aide: Anwendungsszenarien dieser Klasse unterstützen kognitive Aufgaben durch die bedarfsgerechte Bereitstellung von Informationen. Dadurch können sowohl kognitive Routine- als auch Nichtroutineaufgaben unterstützt werden. Entsprechend wird die Effizienz und die Innovationsfähigkeit innerhalb des Arbeitssystems erhöht, da die Handlungspersonen sich auf wertschöpfende Aktivitäten konzentrieren und somit ihre Kreativität erhöhen können. Die Klasse wird dem Officefloor zugeordnet, da kognitive Aufgaben im Fokus stehen. Ein typisches Potentialfeld dieser Klasse ist die *Bessere Verfügbarkeit von standortübergreifendem und personenbezogenem Wissen*.



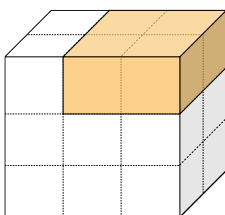
Klasse 4 – Smart Decider: Die Klasse umfasst Anwendungsszenarien, die sowohl kognitive Routine- als auch Nichtroutineaufgaben autonom ausführen. Dadurch können Entscheidungen getroffen und kreative Aufgaben gelöst werden. Somit kann eine Steigerung der Effizienz und der Innovationsfähigkeit innerhalb der Ebene des Arbeitssystems im Bereich des Officefloors erzielt werden. Zudem wird die Ebene der Geschäftsprozesse adressiert, da zusammenhängende Arbeitstätigkeiten durch Anwendungsszenarien dieser Klasse autonom durchgeführt werden können. Ein entsprechendes Potentialfeld dieser Klasse ist die *Effizientere Durchführung von kognitiven Arbeitstätigkeiten*.



Klasse 5 – Digital Processes: Anwendungsszenarien, welche dieser Klasse zugeordnet werden, bilden einfache Abläufe digital ab. Dies hat eine Effizienzsteigerung von Geschäftsprozessen zur Folge und gilt grundsätzlich für die beiden Bereiche Shop- und Officefloor. Allerdings steht der Officefloor stärker im Fokus dieser Klasse, da das typische Einsatzgebiet die Verwaltung darstellt. Beispielhaft lässt sich das Potentialfeld *Effizientere Ressourcennutzung* dieser Klasse zuordnen.

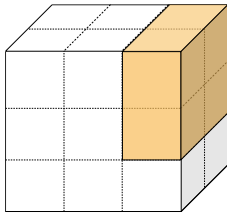


Klasse 6 – Intelligent Processes: Diese Klasse bezieht sich auf Anwendungsszenarien, die Nutzen aus der intelligenten Erfassung, Aufbereitung und Nutzung von Daten schaffen. Dies hat eine Steigerung der Effizienz und der Innovationsfähigkeit innerhalb der Prozessebene zur Folge. Shop- und Officefloor werden dabei gleichermaßen adressiert. Ein typisches Potentialfeld, welches durch diese Klasse adressiert wird, ist die *Steigerung der Innovationsfähigkeit der Organisation*.



Klasse 7 – Agile Ressource Management: Anwendungsszenarien dieser Klasse bieten Innovationen für das Management interner Ressourcen. Dabei steht die Flexibilisierung interner Abläufe und Strukturen im Fokus. Diese Klasse wird im Klassifikationsschema der Ebene des Wertschöpfungssystems zugeordnet, da insbesondere die Vernetzung der internen Ressourcen zum Unternehmensumfeld im Fokus steht. Innerhalb

dieser Ebene verspricht die Klasse eine Steigerung der Innovationsfähigkeit sowie eine Flexibilisierung von Strukturen. Dies bezieht sich sowohl auf den Shop- als auch auf den Officefloor. Ein entsprechendes Potentialfeld ist die *Verringerung von Reaktionszeiten*.



Klasse 8 – Agile Value Systems: Diese Klasse fokussiert Anwendungsszenarien, welche die Flexibilisierung von Lieferanten- und Kundenbeziehungen ermöglichen. Die damit einhergehenden Nutzenpotentiale beziehen sich auf die Flexibilisierung von Strukturen sowohl innerhalb des Unternehmens (Ebene Geschäftsprozesse und Organisationsstrukturen) als auch innerhalb der Ebene des Wertschöpfungssystems. Dabei werden der Shop- und der Officefloor gleichermaßen adressiert. Das Potentialfeld *Schlankere Prozesse und Strukturen durch Erhöhung der Transparenz entlang der Wertschöpfung (Produktdaten)* wird u.a. durch diese Klasse adressiert.

4.3 Arbeit 4.0-Reifegradmodell

Das Arbeit 4.0-Reifegradmodell [BGK+19] unterstützt die nachhaltige Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien und bildet die Grundlage für die in Kapitel 4.5 vorgestellte Planungssystematik. Das Reifegradmodell besteht aus zwei Bestandteilen. Das Grundgerüst bilden die sog. Arbeit 4.0-Gestaltungsfelder, in denen Unternehmen bei der Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien agieren. Dies ist Gegenstand von Abschnitt 4.3.1. Des Weiteren werden Kriterien für jedes Gestaltungsfeld zur Verfügung gestellt, mit deren Hilfe der Arbeit 4.0-Reifegrad des betrachteten Unternehmens bestimmt werden kann. Dazu werden für jedes Kriterium vier Reifegradstufen definiert, die sich an vier übergeordneten Reifegraden orientieren. Dies wird in Abschnitt 4.3.2 beschrieben. Die Validierung der identifizierten Gestaltungsfelder und Bewertungskriterien erfolgt auf Grundlage einer Auswirkungsanalyse von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien im Rahmen des Industriekreises Arbeit 4.0, welche in Abschnitt 4.3.3 beschrieben wird.

4.3.1 Arbeit 4.0-Gestaltungsfelder

Die Arbeit 4.0-Gestaltungsfelder wurden auf der Grundlage einer Literaturrecherche und -analyse identifiziert. Das Vorgehen zeigt Bild 4-9. Demnach wurden in einem ersten Schritt 20 relevante Ansätze aus dem Stand der Technik identifiziert. Dabei wurde zunächst auf die in Abschnitt 3.4 analysierten Ansätze zurückgegriffen. Jedoch sind die Erkenntnisse aus den Bewertungen dieser Ansätze nicht ausreichend, um daraus Gestaltungsfelder abzuleiten. Daher wurden 15 weitere Ansätze zur Gestaltung der digitalen Transformation ausgewählt und umfassend analysiert.

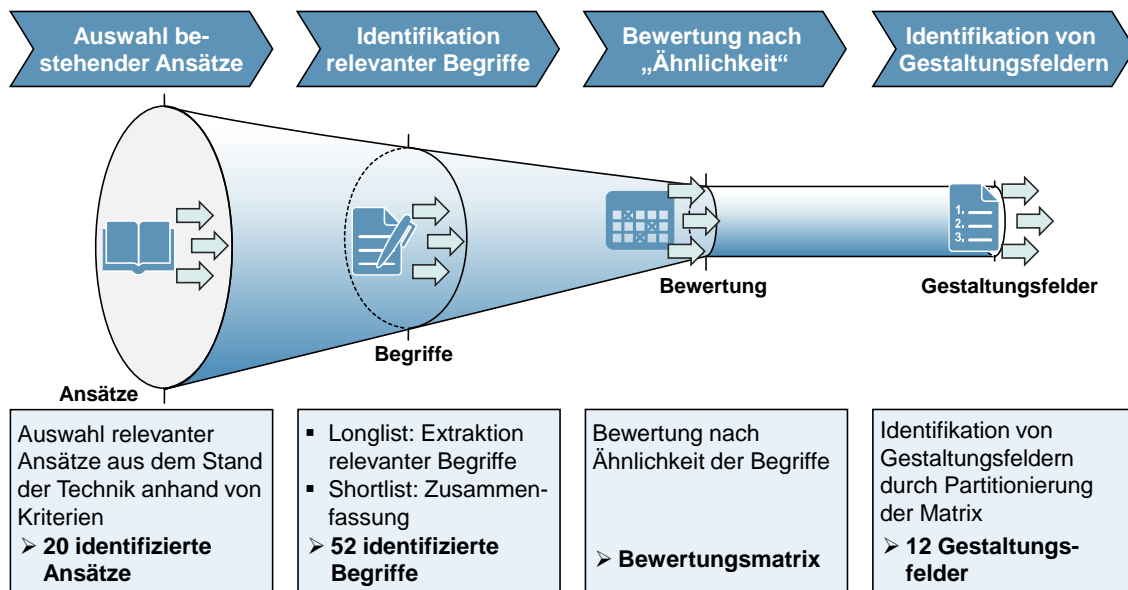


Bild 4-9: Herleitung der Gestaltungsfelder

Die Ansätze wurden anhand von Kriterien, wie dem Bezug zur digitalen Transformation oder dem Bezug zur Arbeitswelt bzw. zur Wertschöpfung identifiziert. In einem zweiten Schritt wurden aus den Ansätzen relevante Themen identifiziert, welche auf ein Gestaltungsfeld hinweisen. Eine Übersicht der ausgewählten Ansätze sowie der extrahierten Themen zeigt Tabelle 4-1.

Tabelle 4-1: Extrahierte Themen aus ausgewählten Ansätzen

Ansatz	Kurzbeschreibung	Extrahierte Themen
Digital Maturity Model [BBK17]	Das Modell beschreibt neun Dimensionen einschließlich Indikatoren zur Messung der digitalen Reife von Unternehmen.	Customer Experience, Produktinnovation, Strategie, Organisation, Prozessdigitalisierung, Zusammenarbeit, Informationstechnologie, Kultur & Expertise sowie Transformationsmanagement
Capgemini Consulting Industry 4.0 Framework [BLK+14]	Dieser Ansatz stellt ein Framework vor, welches Treiber und Enabler für die erfolgreiche Realisierung von Industrie 4.0 beschreibt.	Geschäftsmodell, Führung, Agilität, Unternehmenssteuerung, Prozesse, Wandel, Digitale Infrastruktur, Intelligente Produkte, Intelligente Services, Innovationsfähigkeit, Supply Chain Netzwerke, Intelligente Fabrik, Dezentrale Produktion, Datengetriebene Steuerung
Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 [KWH13]	Dieser Ansatz identifiziert acht Handlungsfelder , die durch Forschungsaktivitäten zu gestalten sind, um Industrie 4.0 erfolgreich umzusetzen .	Standardisierung und Referenzarchitektur, Beherrschung komplexer Systeme, Flächendeckende Breitbandinfrastruktur für die Industrie, Betriebssicherheit und Angriffs-/Daten-/IT-Sicherheit, Arbeitsorganisation und -gestaltung, Aus- und Weiterbildung, Rechtliche Rahmenbedingungen, Ressourceneffizienz
Industrie 4.0 Maturity Index [SAG+17]	Der Ansatz unterstützt Unternehmen bei der Bestimmung des Industrie 4.0-Reifegrads sowie bei der Identifikation	Ressourcen inkl. digitale Befähigung sowie strukturierte Kommunikation, Informationssysteme inkl. Integration und Informationsverarbeitung, Organisationsstruktur inkl. interne Organisation und Kollaboration in Netzwerken
Weitere betrachtete Ansätze: [BAD+17], [Bin14], [BMA17], [BMW16], [CE14], [DD18], [GFK17], [KBS+17], [KTY+17], [LLS+17], [PH15], [PSZ+16], [SGG+13], [SK17], [WCB+11]		

So enthalten z.B. die von KAGERMANN ET AL. herausgegebenen Umsetzungsempfehlungen für die Industrie 4.0 acht Handlungsfelder zur erfolgreichen Umsetzung von Industrie 4.0 [KWH13, S. 42ff.]. Diese sind u.a. Aus- und Weiterbildung, Arbeitsorganisation und -gestaltung oder rechtliche Rahmenbedingungen. Als weiteres Beispiel wurde der Industrie 4.0 Maturity Index nach SCHUH ET AL. analysiert (vgl. Abschnitt 3.2.2.1). Der Ansatz unterstützt Unternehmen bei der Bestimmung des Industrie 4.0-Reifegrads sowie bei der Identifikation konkreter Maßnahmen zu seiner Verbesserung [SAG+17, S. 13]. Extrahierte Themen sind u.a. Standards, Organisationsstrukturen oder Kultur. Insgesamt wurden durch die Analyse aller 20 Ansätze über 150 derartige Themen ermittelt. Diese wurden in Expertenworkshops vor dem Hintergrund der identifizierten Arbeit 4.0-Klassen (vgl. Abschnitt 4.2.2) auf Relevanz geprüft und in Form einer Shortlist mit 55 Themen zusammengefasst. Dazu wurden einige Themen gestrichen oder ähnliche Themen zusammengefasst. Die Themen der Shortlist wurden in einem dritten Schritt in einer Bewertungsmatrix auf Ähnlichkeit bewertet, welche in Bild 4-10 dargestellt ist.

Bewertungsmatrix																				
Fragestellung: "Ist Thema i (Zeile) ähnlich zu Thema j (Spalte)?"		Themen																		
		Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Themen		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Unternehmensstrategie	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
IT-Strategie	2	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
Digitale Initiativen	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
Organisationsstrukturen	4	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1
Technische Infrastruktur	5	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Mensch-System-Interaktion	6	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Arbeitsweisen	7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Assistenzsysteme	8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Aus- und Weiterbildung	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
Kundenorientierung	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Innovationsfähigkeit	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Prozessdigitalisierung	12	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
Interdisziplinäre Zusammenarbeit	13	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
Mensch-Maschine-Aufgabenverteilung	14	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
Kompetenzstruktur	15	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
Change Management	16	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
Führungskompetenzen	17	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
Flexibilisierung	18	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
Dezentralisierung	19	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1

Das Thema **Mensch-System-Interaktion** ist ähnlich zu dem Thema **Assistenzsysteme**.

Bild 4-10: Bewertung der Themen zur Identifikation von Gestaltungsfeldern

Dabei wurde paarweise bewertet, ob zwischen den Themen Zusammenhänge im Sinne von Ähnlichkeiten bestehen. Dementsprechend lautete die Bewertungsfrage *Ist Thema i*

(Zeile) ähnlich zu Thema *j* (Spalte)? Ist dies der Fall, wurde in dem entsprechenden Zelleintrag eine 1 notiert. So ist z.B. das Thema Mensch-System-Interaktion ähnlich zu dem Thema Assistenzsysteme. Als weiteres Beispiel ist das Thema Unternehmensstrategie ähnlich zum Thema IT-Strategie. Ausgehend von der Bewertungsmatrix wurde unter Verwendung des Jaccard-Koeffizienten eine Ähnlichkeitsmatrix erzeugt. Diese bildet den Input für eine multidimensionale Skalierung, welche in einem vierten Schritt die identifizierten Themen räumlich, nach ihrer Ähnlichkeit, anordnet. Das von der Statistiksoftware SPSS erzeugte Ergebnis ist in Bild 4-11 dargestellt. Das Bild verdeutlicht, dass Gruppen ähnlicher Themen identifiziert werden konnten. Diese wurden dann zu sinnvollen Gestaltungsfeldern zusammengeführt.

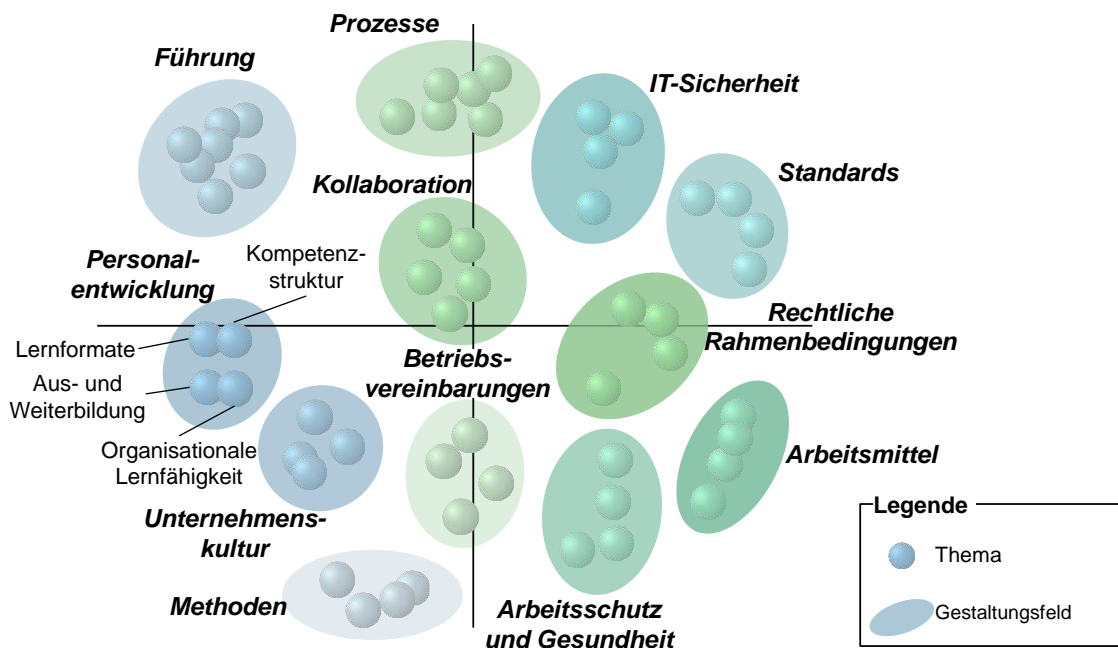


Bild 4-11: Multidimensionale Skalierung zur Anordnung der Themen nach Ähnlichkeit

So bilden die Themen *Kompetenzstrukturen*, *Lernformate*, *Aus- und Weiterbildung* sowie *Organisatorische Lernfähigkeit* das Gestaltungsfeld *Personalentwicklung*. Analog dazu wurden weitere 11 Gestaltungsfelder identifiziert. Die Gestaltungsfelder sind grundsätzlich nicht neu, vielmehr bilden sie den Rahmen, um die Einflüsse der Digitalisierung auf die Arbeitswelt einzuordnen und greifbar zu machen. Die verschiedenen Themen eines Gestaltungsfelds deuten darauf hin, dass diese durch Kriterien zu konkretisieren sind. Daher beinhaltet jedes Gestaltungsfeld Kriterien, welche vor dem Hintergrund der Digitalisierung relevant sind (vgl. Abschnitt 4.3.2). Dabei können sich einzelne Kriterien überschneiden, da die Gestaltungsfelder so gewählt sind, dass sie einzelnen Fachbereichen eines produzierenden Unternehmens zugeordnet werden können. Dadurch können klare Verantwortlichkeiten erzielt werden.

Bei Betrachtung der Gestaltungsfelder fällt auf, dass diese sich dem Spannungsfeld Mensch-Organisation-Technik zuordnen lassen. So lassen sich die Gestaltungsfelder *Personalentwicklung*, *Führung*, *Unternehmenskultur* sowie *Methoden* der Schnittstelle Mensch-Organisation zuordnen. Der Schnittstelle Organisation-Technik werden die Gestaltungsfelder *Standards* und *IT-Sicherheit* zugeordnet. Die Gestaltungsfelder *Arbeitsmittel* sowie *Arbeitsschutz und Gesundheit* konkretisieren die Schnittstelle Mensch-Technik. Die Gestaltungsfelder *Rechtliche Rahmenbedingungen*, *Betriebsvereinbarung*, *Kollaboration* sowie *Prozesse* haben einen übergeordneten Charakter und beziehen sich gleichermaßen auf alle Perspektiven des Spannungsfelds Mensch-Organisation-Technik. Diese pragmatische Darstellung unterstützt die einfache Anwendung und Handhabung des Arbeit 4.0-Reifegradmodells und ist in Bild 4-12 dargestellt.

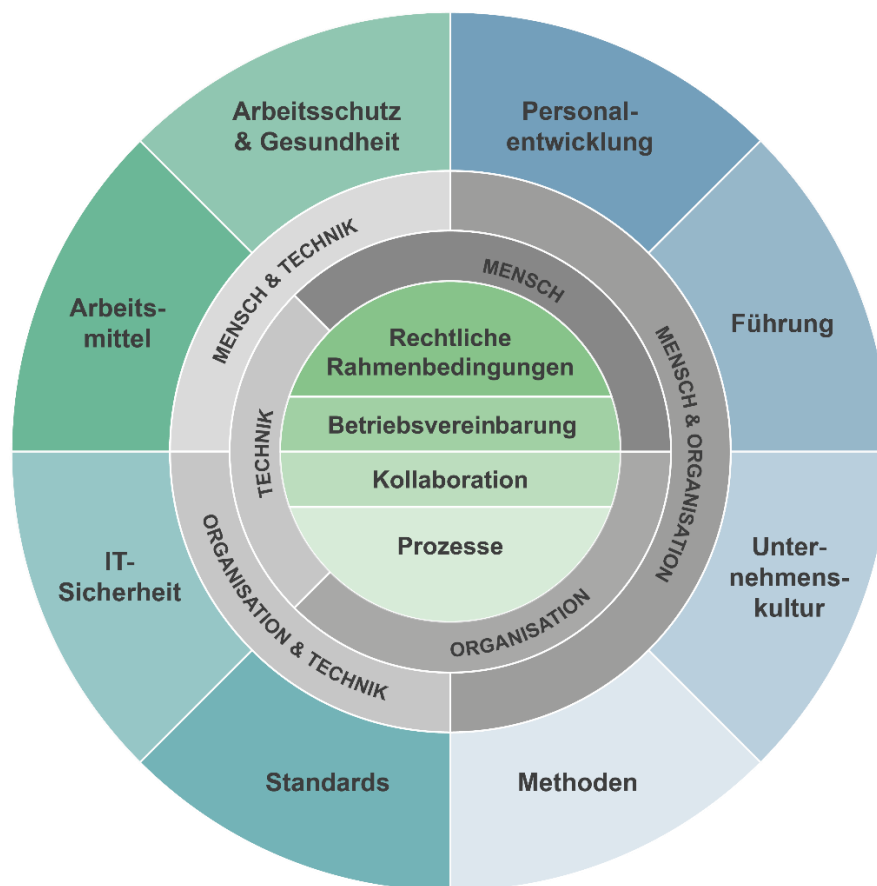


Bild 4-12: Arbeit 4.0-Gestaltungsfelder

Im Folgenden werden die Gestaltungsfelder⁹ vorgestellt. Dabei wird insbesondere auf diejenigen Treiber und Veränderungen im Kontext der Digitalisierung eingegangen, welche die jeweiligen Gestaltungsfelder erforderlich machen.

⁹ Die nachfolgend vorgestellten Gestaltungsfelder, Kriterien und Reifegradstufen sind im Rahmen einer kooperativen Studienarbeit entstanden [GBR19] und veröffentlicht worden [BGK+19].

Personalentwicklung: Die Personalentwicklung hat die Qualifizierung der Beschäftigten einer Organisation zum Ziel, um sie für ihre aktuellen und zukünftigen Arbeitsaufgaben zu befähigen. Dies umfasst die Bildung und Förderung der Mitarbeiter. Hierbei werden unter Bildung Maßnahmen verstanden, die zur Vermittlung von Qualifikationen beitragen, welche die aktuelle und zukünftige Leistung der Mitarbeiter steigern. Förderung bezieht sich auf Maßnahmen, die die berufliche Entwicklung von Mitarbeitern unterstützt [Sto10, S. 205]. In Abschnitt 2.4.4 wurde aufgezeigt, dass die mit der Digitalisierung einhergehenden Innovationen und Technologien die Arbeitstätigkeiten, Abläufe und Rollen der Mitarbeiter verändern (vgl. [Pel17, S. 223f.]). Dabei werden zunehmend problem-lösende und steuernde Aufgaben übernommen, sodass Methoden-, System- und Problemlösungskompetenzen an Bedeutung gewinnen. Es wird deutlich, dass neue Kompetenzen erforderlich sind und bestehende Kompetenzen ausgebaut werden müssen. Somit wird das Gestaltungsfeld Personalentwicklung relevant. Dabei spielen auch neue Anforderungen an die Mitarbeiter, durch Veränderungen von Führung und Kultur, eine Rolle [LLS+17, S. 238ff.]. Zudem muss die Personalentwicklung verstärkt darauf abzielen, Mitarbeiter für den Umgang mit digitalen Arbeitsmitteln zu befähigen [DBW+15, S. 240f.].

Führung: Der Führung kommt im Rahmen der digitalen Transformation der Arbeitswelt eine entscheidende Rolle zu [LLS+17, S. 240]. Eine zentrale Herausforderung besteht dabei in der organisationalen Ambidextrie. So sind einerseits vorhandene Strukturen effizient auszubauen, gleichzeitig gilt es für radikale und visionäre Lösungen Freiräume zu schaffen [JKS17, S. 8f.]. Durch die vermehrte Wissensarbeit steht auch zunehmend die Lösung komplexer Probleme im Fokus. Des Weiteren ist eine zunehmende Entgrenzung zu beobachten (vgl. Abschnitt 2.3.3), d.h. die Flexibilisierung von Arbeitszeit, -ort und -struktur. Das Resultat ist ein Bedarf an stärkerer Mitarbeiterbeteiligung, höherer Mitbestimmung sowie vor allem einer gesteigerten Eigenverantwortung [Rot15, S. 249f.]. Durch die vermehrte Führung virtueller Teams werden neue Werte und Regeln erforderlich [Per15, S. 101]. Darüber hinaus sind die Vermittlung einer klaren Vision, eine konstruktive Fehler- und Kritikkultur sowie Vertrauen, Dialogfähigkeit und Offenheit zunehmend wichtige Aspekte der Führung [HBR06, S. 34ff.].

Unternehmenskultur: Nach SCHEIN bezeichnet die Unternehmenskultur ein Muster von Grundprämissen, welches sich eine Gruppe zur Lösung ihrer Herausforderungen angeeignet hat. Dieses gilt als bindend und wird an neue Mitglieder weitergegeben [Sch10]. Das Drei-Ebenen-Modell nach SCHEIN stellt ein einfaches Modell dar, um Kultur greifbar zu machen [Sch10]. Demnach umfasst Kultur die drei Aspekte Artefakte (sichtbare Strukturen, Symbole, Verhalten), Werte (Ideale, Ziele, Normen, Verhaltensmuster) sowie Grundannahmen (unbewusste, grundlegende Annahmen und Orientierungen) [Sch10]. Die Unternehmenskultur bildet einen zentralen Baustein zur Befähigung der gesamten Organisation für den digitalen Wandel der Arbeitswelt. Eine entsprechende Kultur unterstützt die Erzeugung von Verständnis und Akzeptanz bei den Handlungspersonen [Hes19, S. 175ff.], [SHM+18, S. 142ff.]. Vor dem Hintergrund der Digitalisierung ist eine agile,

innovative und offene Kultur von besonderer Bedeutung. Denn: Die hohen Veränderungsgeschwindigkeiten der Digitalisierung erfordern eine hohe Lern- und Innovationsfähigkeit des Unternehmens. Dabei können z.B. Mitarbeiter ihre Komfortzone verlassen und mehr Verantwortung übernehmen [LLS+17, S. 238f.]. Von besonderer Bedeutung ist dabei das richtige Verhältnis von Routine und Innovation [HBR06, S. 19]. Weitere Erfolgsfaktoren sind die Bereitschaft zum Wissensaustausch [HBR06, S. 48ff.], eine konstruktive Fehler- und Kritikkultur [HBR06, S. 50ff.], [LLS+17, S. 238f.] sowie die Förderung der Mitarbeiterbeteiligung [Pel17, S. 224f.].

Methoden: Eine Methode beschreibt ein Verfahren, welches auf Basis von Regeln und Annahmen auf das Erreichen eines Ziels (z.B. Erkenntnisgewinn) ausgerichtet ist. Im Kontext der Arbeitswelt beziehen sich Methoden auf die effiziente Durchführung von Arbeitsprozessen. Mit der zunehmenden Digitalisierung gehen Änderungen an bestehenden Methoden und Bedarfe für neue Methoden einher. Dies wird am Beispiel der Produktentstehung deutlich: Seit geraumer Zeit werden die Innovations- und damit auch die Produktlebenszyklen immer kürzer [Sch13, S. 7]. Gleichzeitig steigen die Aufwände für die Produktentstehung aufgrund zunehmender Funktionalitäten und Variantenvielfalten [DRS15, S. 532]. Zudem geht mit der Digitalisierung ein zunehmender Softwareanteil in Produkten einher. Die Integration von Mechanik-, Software- und Elektronikkomponenten führt zu einem enormen Komplexitätsanstieg. Vor diesem Hintergrund versprechen agile Methoden einen Lösungsansatz, um die skizzierten Herausforderungen zu adressieren. Voraussetzung für derartige Methoden sind neue Instrumente und entsprechende Strukturen. Dabei wird u.a. die Verantwortung von Führungskräften auf die Mitarbeiter umverteilt [FH18, S. 100]. Auch vor dem Hintergrund der zunehmenden Entgrenzung werden neue Methoden notwendig, um die strukturell, zeitlich und örtlich übergreifende Zusammenarbeit zu steuern. Darüber hinaus steigt durch die Digitalisierung grundsätzlich die Bedeutung der Methodenkompetenz der Beschäftigten [Bin18, S. 230].

Arbeitsmittel: Arbeitsmittel sind Werkzeuge, Maschinen und technische Einrichtungen, die zur Erfüllung einer Arbeitsaufgabe beitragen [MPD+11, S. 113]. Dieses Gestaltungsfeld bezieht sich auf solche Arbeitsmittel, die im Zuge der Digitalisierung Einzug in die Arbeitswelt erhalten. Die nachhaltige Einführung digitaler Arbeitsmittel geht mit komplexen Herausforderungen einher, nicht zuletzt vor dem Hintergrund der unterschiedlichsten Ausprägungsformen. So gehen u.a. mit den neuen Arbeitsmitteln auch neue Anforderungen einher. Tendenziell nehmen operative Aufgaben ab und steuernde Aufgaben zu. Dies bedarf entsprechender Konzepte des lebenslangen Lernens sowie des „Learning on-the-Job“ [DBW+15, S. 241]. Ebenso ist eine selbsterklärende Gestaltung der Arbeitsmittel ein Erfolgsfaktor. Diese wird oft unter dem Stichwort „Usability“ diskutiert. Zuletzt gilt es, die Risiken digitaler Arbeitsmittel zu berücksichtigen: So können z.B. neuartige Arbeitsmittel mit subjektiven Belastungsempfindungen einhergehen [GGG+15, S. 84f.]. Darüber hinaus sind z.B. bei autonom agierenden Arbeitsmitteln Haftungsfragen zu klären [DBW+15, S. 236].

Arbeitsschutz und Gesundheit: Der Begriff Arbeitsschutz bezieht sich auf Maßnahmen, Mittel und Methoden zum Schutz der Beschäftigten vor Sicherheits- und Gesundheitsgefährdungen im Arbeitsumfeld. Ziel ist die Sicherung und die Verbesserung der Sicherheit und des Gesundheitsschutzes der Beschäftigten. Die rechtlichen Rahmenbedingungen werden durch das Arbeitsschutzgesetz geregelt. Im Rahmen des digitalen Wandels ist in diesem Zusammenhang maßgeblich der Anstieg psychischer Belastungen zu berücksichtigen. Dieser entsteht zum einen durch die zunehmende Entgrenzung von Arbeit und die damit einhergehende Verschmelzung von Arbeit und Freizeit [Per15, S. 96f.]. Zum anderen durch die zunehmende Erreichbarkeit u.a. durch mobile Endgeräte. Um psychische Krankheiten zu vermeiden, gilt es u.a. die Abgrenzung zwischen Berufs- und Privatleben der Beschäftigten zu regeln [Wet15, S. 118f.]. Ein weiterer zentraler Aspekt ist der Einsatz kollaborativer Roboter und die damit einhergehende Gewährleistung von Ergonomie- und Sicherheitsanforderungen [KWH13, S. 51].

IT-Sicherheit: Dieses Gestaltungsfeld bezieht sich auf die Betriebs- und Ausfallsicherheit (Safety) und die Datensicherheit (Security) von Informationstechnologien. Die Datensicherheit fokussiert nach der EU-DSGVO die Aspekte Vertraulichkeit (Zugriffseinschränkungen), Integrität (Korrektheit der Daten) sowie die Verfügbarkeit (Funktionserfüllung) [Eie18, S. 283]. Die Betriebs- und Ausfallsicherheit fokussiert den Schutz des Menschen und der Umgebung vor einem technischen System, wie z.B. mechanische oder elektrische Gefährdungen [KWH13, S. 51]. Vor dem Hintergrund der digitalen Transformation ist die IT-Sicherheit ein entscheidender Erfolgsfaktor für die Einführung digitaler Technologien [WS17, S. 505], [Gäd15, S. 19f.]. Diese gehen einher mit einem hohen Vernetzungsgrad, woraus sich ein steigender Bedarf an höherem Schutz vor äußeren Einflüssen ergibt [WS17, S. 503]. Zudem kann mangelnde IT-Sicherheit zu ausbleibenden oder verschobenen Investitionen führen [WS17, S. 503]. IT-Sicherheit ist eine elementare Grundvoraussetzung, um die Potentiale der digitalen Transformation bzw. von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien nutzen zu können [WS17, S. 508]. Im besonderen Fokus steht dabei der Schutz personenbezogener Daten [Eie18, S. 282]. Dieser gewinnt durch Big Data (vgl. Abschnitt 2.3.2) an Bedeutung. Entsprechende Algorithmen ermöglichen die Zuordnung von ursprünglich nicht personenbezogenen Daten [WS17, S. 504]. Vor diesem Hintergrund wurde das Standard-Datenschutzmodell um die Prinzipien Verfügbarkeit, Integrität und Vertraulichkeit, Transparenz, Nichtverkettbarkeit und Datensparsamkeit ergänzt [Eie18, S. 286], [DBL18, S. 22ff.].

Standards: Dieses Gestaltungsfeld bezieht sich auf die Erarbeitung von Spezifikationen in Form von Regeln oder Leitlinien durch anerkannte Organisationen [BVZ15, S. 63f.]. Die Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien kann die Anpassung bestehender und die Erarbeitung neuer Standards erfordern. Relevante Aspekte sind Arbeitsprozesse, Arbeitsschutz sowie Weiterbildung [KWH13, S. 91], welche auf die Anforderungen digitaler Technologien ausgerichtet sein müssen. Zudem muss der Mensch in den Fokus gerückt werden, um weiterhin gute Arbeitsbedingungen zu ermöglichen [Gäd15, S. 18f.]. Dabei zählen die Arbeitsorganisation, Arbeitsaufgaben, Tätigkeiten, Arbeitsmittel und

Schnittstellen, Arbeitsumgebung, Arbeitsraum und Arbeitsplatz als gestaltbare Elemente im Rahmen der Standardisierung [DD18, S. 98f.]. Des Weiteren ist die Überarbeitung von Standards im Bereich der Qualifizierung notwendig. Im Fokus steht dabei der Umgang mit informellem Wissen und Bildung, um das gesamte Potential der Beschäftigten ausschöpfen zu können [KWH13, S. 59]. Die Standardisierung trägt zur Praxistauglichkeit und einer schnellen Umsetzung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien bei und kann somit als Innovationstreiber wirken [BVZ15, S. 64].

Rechtliche Rahmenbedingungen: Dieses Gestaltungsfeld bezieht sich auf die Handhabung rechtlicher Rahmenbedingungen. Im Zuge der Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien werden neue Aspekte bzgl. rechtlicher Rahmenbedingungen relevant, die systematisch analysiert und eingehalten werden müssen. Dies ist von besonderer Bedeutung, da rechtliche Unsicherheiten zu Investitionshemmnissen führen können [Kat17, S. 149]. Ein weiterer Aspekt ist der Datenschutz bei der Generierung und Auswahl großer Datenmengen, insbesondere bei personenbezogenen Daten. Weitere relevante Aspekte sind die IT-Sicherheit (vgl. Gestaltungsfeld IT-Sicherheit) [Kat17, S. 152f.] sowie der IP-Schutz. Dieser bezieht sich auf den Schutz von geistigem Eigentum [Kat17, S. 153f.]. Darüber hinaus ist die Facette des Vertragsabschlusses zu berücksichtigen. Wenn Systeme z.B. innerhalb einer autonomen Lieferkette Bestellungen auslösen, so ist ein solcher Vertragsabschluss nur dann wirksam, wenn der Vertragsabschluss einer rechtsfähigen Person zugeordnet werden kann. Diese trägt dann das Haftungsrisiko. Vor diesem Hintergrund sind entsprechende Schutzmechanismen zu prüfen [Kat17, S. 154f.]. Auch die Produkthaftung [Kat17, S. 155f.] und das Arbeitsrecht sind im Zuge der digitalen Transformation zu analysieren. So können z.B. neue Tarifverträge für die Regelung weitergehender Flexibilisierungsmöglichkeiten erforderlich werden [Kat17, S. 156].

Betriebsvereinbarungen: Betriebsvereinbarungen sind Vereinbarungen zwischen Arbeitgebern und Arbeitnehmervertretern eines Unternehmens, die zum einen Rechte und Pflichten dieser Akteure festlegen, zum anderen verbindliche Normen für alle Handlungspersonen des Unternehmens vorgeben. Im deutschen Arbeitsrecht wird der Begriff Betriebsvereinbarungen hingegen nicht definiert. Mit der Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien können Änderungen an bestehenden und die Vereinbarung von neuen Betriebsvereinbarungen erforderlich werden. Ziel ist es zum einen, den Arbeitnehmer aktiv bei der Gestaltung der Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien einzubeziehen [MW15, S. 2f.]. Zum anderen sollen die Arbeitssicherheit, die Selbstbestimmung und die Eigenverantwortung der Arbeitnehmer gewährleistet und gestärkt werden [Gäd15, S. 18f.]. Relevante Aspekte für Betriebsvereinbarungen im Kontext der Digitalisierung sind z.B. der Schutz des Arbeitnehmers vor Kontrolle und Überwachung durch die Möglichkeiten digitaler Technologien [Sch15, S. 47f.]. Ein weiteres Beispiel ist der Umgang mit der zunehmenden Entgrenzung in der zeitlichen Dimension (z.B. ständige Erreichbarkeit der Beschäftigten [MW15, S. 12f.]) aber auch in der strukturellen Dimension (z.B. in Form von Crowdfunding [LKZ15, S. 107ff.]). Weitere relevante Aspekte sind die ergonomi-

sche Nutzung mobiler Endgeräte, Gestaltung des Schutzes personenbezogener Daten sowie die Reduzierung von psychischen und physischen Gefährdungen und die Erstellung digitaler Skill-Matrizen [Sch15, S. 51f.], [MW15, S. 7ff.], [Bul15, S. 75ff.]. Einen Überblick möglicher Inhalte von Betriebsvereinbarungen zur Gestaltung der Auswirkungen der Digitalisierung gibt DÄUBLER [Däu18, S. 510ff.]

Kollaboration: Der Begriff Kollaboration bezieht sich auf die Interaktion und Zusammenarbeit verschiedener Akteure eines Systems. Durch die Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien ergeben sich Herausforderungen für die interne und externe Kollaboration produzierender Unternehmen (vgl. [SPR+17, S. 79f.]). Die interne Kollaboration kann durch neue Methoden und Kommunikationsmittel verbessert werden. Zudem ergeben sich Änderungen durch bessere Interaktion zwischen Mensch und System [SPR+17, S. 80f.]. Darüber hinaus können die intelligente Erfassung, Aufbereitung und Nutzung von Daten entlang von Arbeitsabläufen die Transparenz und die Kommunikation zwischen Fachdisziplinen erhöhen und die Kollaboration entsprechend verbessern [SPR+17, S. 81ff.]. Die externe Kollaboration ist durch die steigende Anzahl an Zulieferern und Kunden sowie die damit einhergehende zunehmende Zusammenarbeit in Wertschöpfungsnetzwerken charakterisiert [HH17, S. 342]. Dies ermöglicht eine stärkere Fokussierung auf Kernkompetenzen und die Nutzung von Synergien [SPR+17, S. 87]. Ein weiterer Aspekt ist die zunehmende Öffnung von Innovationsprozessen. Dadurch werden schnellere und radikalere Innovationen ermöglicht, z.B. durch Open-Innovation-Ansätze [Bau18, S. 124].

Prozesse: Der Begriff Prozess bezeichnet eine Abfolge zusammenhängender Aktivitäten mit definierten In- und Outputs [ST18, S. 303] (vgl. Abschnitt 2.2.3). Typische Herausforderungen sind hohe Abstimmungsaufwände oder mangelnde (Daten-)Transparenz [ST18, S. 298f.]. Im Zuge der digitalen Transformation verändern sich die Anforderungen an Prozesse produzierender Unternehmen. So machen z.B. immer kürzere Innovationszyklen und zunehmende Unsicherheiten eine höhere Flexibilität und Wandelbarkeit der Prozesse notwendig [Flü15, S. 128ff.]. Vor diesem Hintergrund sind agile Prozesse und Methoden vielversprechend. Diese sind durch ein stark iteratives Vorgehen charakterisiert, welches eine kurze Reaktionszeit und eine starke Fokussierung der Kundenwünsche ermöglicht [FH18, S. 100f.] (vgl. Abschnitt 2.4.3). Insbesondere stellt jedoch die enorme Datenflut neue Anforderungen an die Prozesse einer Organisation. So führt die bessere Datenauswertung und -nutzung zu einer zunehmenden Vernetzung der verschiedenen Fachbereiche. Entsprechend müssen die Strukturen und Abläufe an eine fachdisziplinübergreifende Zusammenarbeit angepasst werden [SPR+17, S. 85f.], [LGH+15, S. 198f.].

4.3.2 Arbeit 4.0-Bewertungskriterien und Reifegrade

Das Arbeit 4.0-Reifegradmodell enthält für jedes der in Abschnitt 4.3.1 skizzierten Gestaltungsfelder Bewertungskriterien zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit von produzierenden Unternehmen im Themenfeld Arbeit 4.0. Die Kriterien sind so gewählt, dass

sie den Einflüssen der Digitalisierung auf die jeweiligen Gestaltungsfelder gerecht werden. Grundlage der Kriterien bildet die Strukturierung der extrahierten Themen und deren Zuordnung zu den jeweiligen Gestaltungsfeldern. Wie in Bild 4-11 dargestellt, wird jedes Gestaltungsfeld in den meisten Fällen aus vier Themen gebildet. Daher wird die Leistungsfähigkeit eines Unternehmens in den Gestaltungsfeldern jeweils durch vier Kriterien bestimmt. Dies unterstützt zudem die pragmatische Anwendung der Systematik. Die Leistungsfähigkeit wird in vier Reifegradstufen gemessen. Dabei stehen vier übergeordnete Reifegrade zur Verfügung, welche individuell für jedes Kriterium ausgeprägt werden. Im Folgenden werden für die jeweiligen Gestaltungsfelder die Kriterien und Reifegradstufen vorgestellt. Bild 4-13 zeigt die vier Reifegradstufen in der Übersicht.

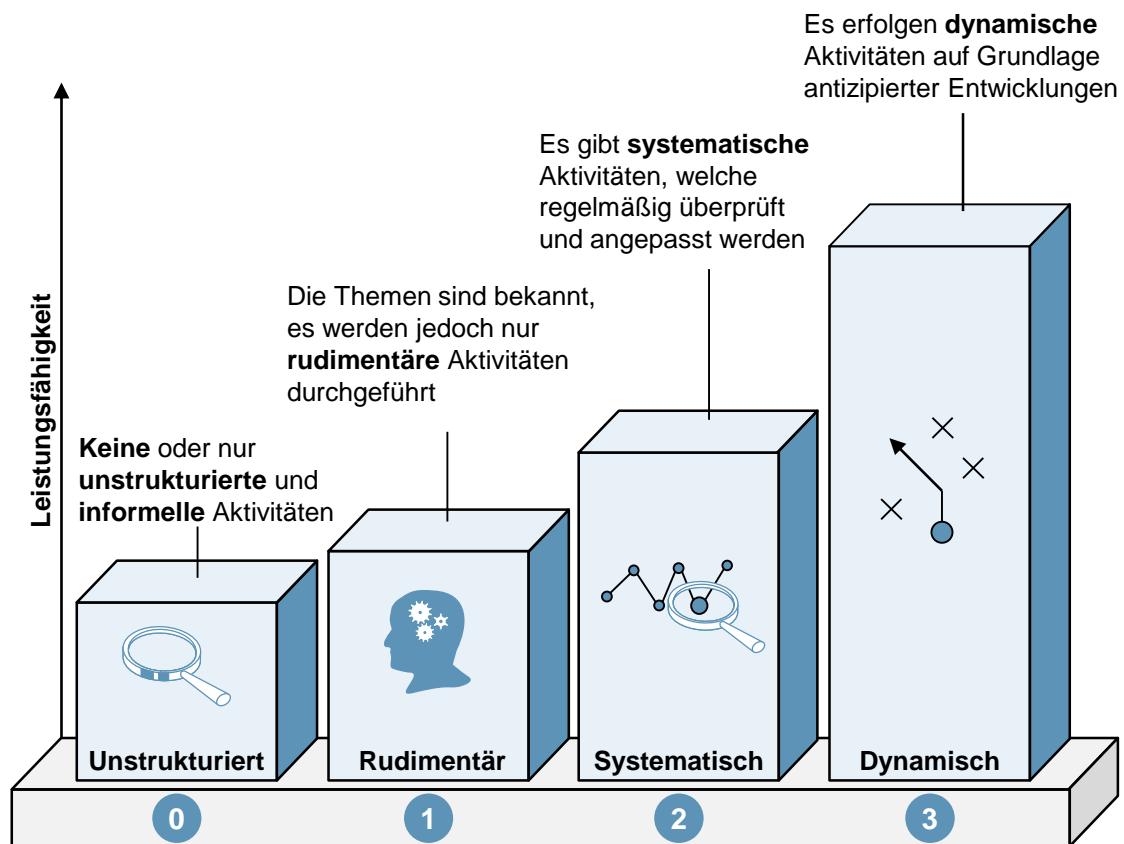


Bild 4-13: Übergeordnete Reifegradstufen der Arbeit 4.0-Gestaltungsfelder

Die Grafik deutet an, dass mit zunehmendem Reifegrad die Leistungsfähigkeit der Organisation höher ist. Die Reifegradstufen orientieren sich grob an den Stufen des Industrie 4.0 Maturity Index nach SCHUH ET AL. [SAG+17, S. 15ff.]. Die Reifegrade beziehen sich auf die Fähigkeit einer Organisation, in den Arbeit 4.0-Gestaltungsfeldern zu agieren. Dies konkretisiert sich in den Voraussetzungen und Aktivitäten der jeweiligen Kriterien. Die Reifegrade sind für jedes Kriterium individuell ausgeprägt, d.h. es wird für jedes Kriterium definiert, welche Voraussetzungen erreicht werden müssen, um die jeweiligen Leistungsstufen zu erreichen. Die Leitlinie dafür bilden die folgenden übergeordneten Reifegradstufen:

Leistungsstufe 0 – Unstrukturiert: Die Leistungsstufe 0 sagt für ein Kriterium aus, dass die entsprechenden Themen und Aktivitäten nicht oder nur unstrukturiert, unsystematisch oder informell angegangen werden.

Leistungsstufe 1 – Rudimentär: Wird ein Unternehmen in einem Kriterium mit dieser Leistungsstufe bewertet, so werden die jeweiligen Themen berücksichtigt und sind grundsätzlich bekannt, allerdings erfolgen nur rudimentäre Aktivitäten.

Leistungsstufe 2 – Systematisch: Das Erreichen der Leistungsstufe 2 bedeutet, dass Unternehmen die jeweiligen Kriterien durch systematische Aktivitäten beherrschen. Dies setzt eine regelmäßige und strukturierte Überprüfung und Anpassung der jeweiligen Aktivitäten voraus.

Leistungsstufe 3 – Dynamisch: Zur Erreichung der Leistungsstufe 3 werden dynamische Aktivitäten in den jeweiligen Kriterien vorausgesetzt. Dies meint das Antizipieren von relevanten Entwicklungen und eine entsprechende Überprüfung und Anpassung der Aktivitäten.

Personalentwicklung: Das Gestaltungsfeld Personalentwicklung wird durch die Kriterien *Kompetenzanalyse*, *Weiterbildungskonzepte und -formate*, *Bildungskooperationen* sowie *Organisationales Lernen* messbar. Tabelle 4-2 zeigt die Kriterien und die jeweiligen organisationalen Reifegradstufen im Gestaltungsfeld Personalentwicklung.

Das Kriterium *Kompetenzanalyse* bezieht sich auf die Erfassung vorhandener sowie auf die Analyse zukünftig benötigter Kompetenzen. Dies ermöglicht die Identifikation von Bereichen, in denen Kompetenzen ausgebaut werden müssen. Darunter fallen auch gänzlich neue Kompetenzen und Job Profile. In Reifegradstufe 0 wird keine Kompetenzanalyse durchgeführt, während in Leistungsstufe 3 die Kompetenzanalyse auf einer frühzeitigen Identifikation zukünftiger Bedarfe basiert. Das Kriterium *Weiterbildungskonzepte und -formate* fokussiert die Gestaltung von Maßnahmen zur beruflichen Aus- und Weiterbildung. Durch die hohe Veränderungsgeschwindigkeit der Digitalisierung kommt dem lebenslangen und berufsbegleitenden Lernen zunehmende Bedeutung zu [DBW+15, S. 241]. Innerhalb der Leistungsstufe 0 sind keinerlei Weiterbildungskonzepte vorhanden. Leistungsstufe 3 umfasst zum einen den Einsatz innovativer Lernformate, wie Business Impulse Workshops, Culture Hacks oder Hackathons [LLS+17, S. 244f.]. Zum anderen werden die Weiterbildungskonzepte vorausschauend weiterentwickelt und die einzusetzenden Werkzeuge und Methoden für die Weiterbildung stetig überprüft. Beispiele dafür sind virtuelle Lernumgebungen, Apps oder selbsterklärende Arbeitswerkzeuge und Assistenzsysteme [LLS+17, S. 245], [DBW+15, S. 240f.]. Das Kriterium *Kooperation* bezieht sich auf die Suche und Auswahl von Kooperationspartnern zur Qualifizierung der Mitarbeiter. Das können Forschungseinrichtungen oder externe Dienstleister sein, welche den Kompetenzaufbau unterstützen. Dies ermöglicht dem Unternehmen, flexibel auf neue Bedarfe zu reagieren. Vor dem Hintergrund der schnellen Veränderungen im Unternehmensumfeld kommt dem eine besondere Bedeutung zu [MBW+18, S. 87f.]. Leistungs-

stufe 0 bedeutet dabei, dass keinerlei Kooperationen vorliegen. Innerhalb der Leistungsstufe 3 können Unternehmen vorausschauend auf ein flexibles Partnernetzwerk zurückgreifen. Dabei bestehen keine Abhängigkeiten, zudem kann die Zusammenarbeit mit einzelnen Partnern je nach Bedarf intensiviert oder verlagert werden [SHM+18, S. 144].

Tabelle 4-2: Kriterien und Reifegradstufen des Gestaltungsfelds Personalentwicklung

Kriterien	Organisationale Reifegradstufen			
	0	1	2	3
Kompetenzanalyse	Keine Analyse	Rudimentäre Analyse	Systematische Analyse	Dynamische Analyse
<i>Identifikation vorhandener und benötigter Kompetenzen</i>	Es wird keine Kompetenzanalyse durchgeführt.	Vorhandene Kompetenzen werden erfasst, benötigte Kompetenzen rudimentär analysiert.	Es wird eine Kompetenzanalyse unter ständiger Berücksichtigung aktueller Entwicklungen durchgeführt.	Es wird eine Kompetenzanalyse auf Basis einer frühzeitigen Identifikation zukünftiger Bedarfe durchgeführt.
Weiterbildungskonzepte/-formate	Kein Kompetenzaufbau	Rudimentärer Kompetenzaufbau	Systematischer Kompetenzaufbau	Dynamischer Kompetenzaufbau
<i>Aufbau benötigter Kompetenzen</i>	Es sind keine Weiterbildungskonzepte vorhanden.	Es sind rudimentäre Weiterbildungskonzepte vorhanden.	Es gibt standardisierte Weiterbildungskonzepte mit regelmäßiger Überarbeitung.	Es gibt umfassende Weiterbildungskonzepte mit vorausschauender Anpassung.
Kooperation	Keine Kooperation	Rudimentäre Kooperation	Systematische Kooperation	Dynamische Kooperation
<i>Aufbau und Erhalt von nutzenstiftenden Kooperationen mit externen Partnern und Einrichtungen</i>	Es sind keine Kooperationen vorhanden.	Es sind lose und unregelmäßige Kooperationen ohne klares Konzept vorhanden.	Es gibt klar definierte Kooperationen, welche stetig an neue Entwicklungen angepasst werden.	Es gibt klar definierte Kooperationen mit flexiblen Strukturen, welche vorausschauend angepasst und erweitert werden.
Organisationales Lernen	Keine Strukturen	Rudimentäre Strukturen	Systematische Strukturen	Dynamische Strukturen
<i>Aufbau und Erhalt von Strukturen der organisationalen Lernfähigkeit</i>	Aspekte der organisationalen Lernfähigkeit werden nicht betrachtet.	Aspekte der organisationalen Lernfähigkeit werden rudimentär betrachtet.	Aspekte der organisationalen Lernfähigkeit werden umfangreich betrachtet und regelmäßig angepasst.	Aspekte der organisationalen Lernfähigkeit werden kontinuierlich und vorausschauend verbessert.

Das Kriterium *Organisationales Lernen* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, wachsendes Wissen und Erfahrungen Einzelner in die organisationale Wissensbasis aufzunehmen. Dies erhöht die Innovationsfähigkeit der Organisation [HBR06, S. 14ff.]. Da sich im Zuge der Digitalisierung Wissen zunehmend spezialisiert und auf wenige Experten konzentriert, ist diese Fähigkeit einer Organisation ein Erfolgsfaktor. Es umfasst die Kategorien Lernverfahren, -orientierung, -kulturen sowie -fähigkeiten [HRB06, S. 24]. Bei der Leistungsstufe 0 spielen Aspekte des organisationalen Lernens keinerlei Rolle. In Leistungsstufe 3 hingegen sind die vier skizzierten Kategorien auf höchstem Niveau aus-

geprägt. So ist z.B. im Zusammenhang mit der Lernfähigkeit systemisches Denken verbreitet, um organisationale Prozesse in ihrer Komplexität verstehen zu können [HBR06, S. 60f.].

Führung: Für das Gestaltungsfeld Führung werden die Kriterien *Führungsrolle*, *Werte und Vorgaben*, *Kommunikation* sowie *Betriebliche Mitbestimmung* herangezogen. Tabelle 4-3 zeigt die Kriterien und die jeweiligen Reifegradstufen.

Tabelle 4-3: Kriterien und Reifegradstufen des Gestaltungsfelds Führung

Kriterien	Organisationale Reifegradstufen			
	0	1	2	3
Führungsrolle	Keine Identifikation	Rudimentäre Identifikation	Systematische Identifikation	Vorausschauende Identifikation
<i>Identifikation neuer Anforderungen an Führungskräfte und Ableitung von Maßnahmen</i>	Es wird keine Identifikation neuer Anforderungen an Führungskräfte vorgenommen.	Neue Anforderungen an Führungskräfte werden rudimentär, z.T. unstrukturiert und informell, identifiziert.	Neue Anforderungen an Führungskräfte werden systematisch identifiziert und entsprechende Maßnahmen abgeleitet.	Neue Anforderungen an Führungskräfte werden vorausschauend identifiziert und entsprechende Maßnahmen abgeleitet.
Werte und Vorgaben	Keine Etablierung	Rudimentäre Etablierung	Systematische Etablierung	Vorausschauende Etablierung
<i>Identifikation und Etablierung neuer Werte und Vorgaben</i>	Es wird keine Identifikation und Etablierung neuer Werte und Vorgaben durchgeführt.	Neue Werte und Vorgaben werden rudimentär, z.T. unstrukturiert und informell, identifiziert.	Neue Werte und Vorgaben werden systematisch identifiziert und etabliert.	Neue Werte und Vorgaben werden vorausschauend identifiziert und etabliert.
Vision und Kommunikation	Keine Kommunikation	Rudimentäre Kommunikation	Systematische Kommunikation	Vorausschauende Kommunikation
<i>Kommunikation der Vision und Ziele aus dem Kontext der Digitalisierung sowie der Wichtigkeit und der Dringlichkeit der Veränderungsprozesse</i>	Es erfolgt keine Kommunikation, eine Vision wurde nicht definiert.	Die Kommunikation erfolgt rudimentär, z.T. unstrukturiert und informell. Eine klare Vision gibt es nicht.	Die Kommunikation einer klar definierten Vision erfolgt systematisch.	Die Kommunikation einer klar definierten Vision erfolgt vorausschauend unter Berücksichtigung antizipierter Veränderungen.
Betriebliche Mitbestimmung	Keine Strukturen	Rudimentäre Strukturen	Systematische Strukturen	Vorausschauende Strukturen
<i>Förderung und Integration der betrieblichen Mitbestimmung</i>	Es erfolgt keine Förderung der betrieblichen Mitbestimmung.	Die Strukturen der betrieblichen Mitbestimmung sind rudimentär ausgeprägt, es erfolgt keine Förderung.	Die Strukturen der betrieblichen Mitbestimmung sind systematisch ausgeprägt, es gibt eine aktive Förderung.	Die Strukturen der betrieblichen Mitbestimmung sind vorausschauend ausgeprägt, es gibt eine aktive Förderung.

Das Kriterium *Führungsrolle* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, neue Anforderungen an ihre Führungskräfte und deren Rolle zu identifizieren und entsprechende Maßnahmen abzuleiten. Dies adressiert insbesondere den Wandel einer Führungskraft vom Vorgesetzten zum Coach und Mentor [SS15, S. 133f.]. Im Allgemeinen ist ein zunehmender Bedarf an Fähigkeiten im Change-Management und IT-Kenntnissen zu beobachten [HWO+18, S. 69ff.]. Zudem müssen die Transformationsprozesse innerhalb der

Arbeitswelt aktiv von den Führungskräften unterstützt werden [ST18, S. 371ff.]. Die Unternehmen müssen in diesem Zusammenhang individuelle Lösungen finden, es gibt keine Patentrezepte [SS15, S. 134]. Ein Unternehmen der Leistungsstufe 0 nimmt keine Identifikation von Anforderungsänderungen an Führungskräften vor, deren Rolle bleibt unverändert. In der Leistungsstufe 3 werden Anforderungsänderungen vorausschauend identifiziert. Zudem erfolgt eine Ableitung und Umsetzung entsprechender Maßnahmen, um die Führungskräfte auf die Rollenveränderungen vorzubereiten. Das Kriterium *Werte und Vorgaben* bezieht sich auf die Fähigkeit der Organisation, neue Werte und Vorgaben zu identifizieren und zu etablieren. Dies ist vor allem vor dem Hintergrund der hohen Veränderungsgeschwindigkeiten der Digitalisierung relevant. Agile Werte und Prinzipien sowie ein lebenslanges Lernen nehmen an Bedeutung zu [LLS+17, S. 238], [JKS17, S. 8ff.]. Mehr denn je sind eine offene Fehlerkultur sowie Vertrauen Erfolgsfaktoren der Unternehmenskultur [HBR06, S. 34ff.]. Entwicklungen wie die zunehmende Entgrenzung erfordern neue Zielsysteme und -vorgaben sowie eine höhere Verantwortungsübernahme durch die Mitarbeiter [Per15, S. 101]. In der Leistungsstufe 0 wird keine Identifikation und Etablierung neuer Werte vorgenommen. Zur Erreichung der Leistungsstufe 3 wird eine vorausschauende Identifikation und Etablierung vorausgesetzt. Das Kriterium *Vision und Kommunikation* bezieht sich auf die Fähigkeit der Organisation, die Vision und Ziele aus dem Kontext der Digitalisierung sowie die Wichtigkeit und Dringlichkeit der entsprechenden Veränderungsprozesse zu kommunizieren [LLS+17, S. 240]. Inhärenter Bestandteil ist die Existenz einer entsprechenden Vision. Das klare Formulieren einer solchen Vision sowie deren konstante und transparente Kommunikation sind zentrale Erfolgsfaktoren, um die Akzeptanz und Begeisterung für die damit einhergehenden Veränderungen zu erhöhen [Hes19, S. 191]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 haben keine definierte Vision und führen keine entsprechende Kommunikation durch. Unternehmen der Leistungsstufe 3 kommunizieren eine klar definierte Vision vorausschauend unter Berücksichtigung antizipierter Rahmenbedingungen und Veränderungen. Das Kriterium *Betriebliche Mitbestimmung* bewertet die Fähigkeit der Organisation, die betriebliche Mitbestimmung in alle betrieblichen Abläufe zu integrieren. Diese ist zum einen Voraussetzung für die Akzeptanz von technologie-induzierten Veränderungen [Bit14, S. 38], zum anderen für Freiräume für visionäre Innovationen [JKS17, S. 8f.]. In diesem Zusammenhang steht auch die Selbstorganisation und Autonomie der Mitarbeiter im Fokus. Unternehmen der Leistungsstufe 0 fördern die betriebliche Mitbestimmung in keinem Maße. Die Leistungsstufe 3 hingegen sieht eine vorausschauende Mitbestimmung vor. Dabei werden die betrieblichen Akteure der Mitbestimmung kontinuierlich geschult.

Unternehmenskultur: Tabelle 4-4 zeigt die Kriterien und Reifegradstufen des Gestaltungsfelds Unternehmenskultur. Dies sind *Agilität und Offenheit*, *Vision und Sinnstiftung*, *Mitarbeiterbeteiligung* sowie das *Gleichgewicht zwischen Routine und Innovation*.

Das Kriterium *Agilität und Offenheit* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation und seiner Kultur, schnell auf Veränderungen im Unternehmensumfeld reagieren zu können [LLS+17, S. 238f.]. Dabei wird bewertet, inwiefern agile und offene Werte in der

Unternehmenskultur verankert sind. Dies drückt sich z.B. dadurch aus, dass Mitarbeiter aktiv Verantwortung übernehmen und Paradigmen hinterfragen, reflexionsfähig sind und eine konstruktive Fehler- und Kritikkultur pflegen [HBR06, S. 44ff.]. In der Kultur von Unternehmen der Leistungsstufe 0 spielen offene und agile Werte keine Rolle. Zur Erreichung der Leistungsstufe 3 sind entsprechende Werte definiert und werden gelebt. Zudem werden sie regelmäßig auf Basis antizipierter Rahmenbedingungen überprüft und angepasst.

Tabelle 4-4: Kriterien und Reifegradstufen des Gestaltungsfelds Unternehmenskultur

Kriterien	Organisationale Reifegradstufen			
	0	1	2	3
Agilität und Offenheit	Keine Berücksichtigung	Rudimentäre Berücksichtigung	Systematische Berücksichtigung	Dynamische Berücksichtigung
<i>Verankerung von agilen und offenen Werten in der Unternehmenskultur</i>	Offene und agile Werte werden nicht berücksichtigt.	Offene und agile Werte sind definiert, spielen aber nur eine rudimentäre Rolle und werden wenig gelebt.	Offene und agile Werte sind definiert, spielen eine zentrale Rolle, werden gelebt und entsprechend kommuniziert.	Offene und agile Werte werden fortlaufend angepasst. Sie spielen eine zentrale Rolle, werden gelebt und entsprechend kommuniziert.
Vision und Sinnvermittlung	Keine Sinnvermittlung	Rudimentäre Sinnvermittlung	Systematische Sinnvermittlung	Dynamische Sinnvermittlung
<i>Erarbeitung einer Vision und Vermittlung des Sinns der Vision</i>	Es gibt keine Vision zur Erschließung von Erfolgspotentialen digitalisierter Arbeitswelten.	Es wurde eine rudimentäre Vision definiert, es findet keine Sinnvermittlung statt.	Es wurde eine Vision definiert, der Sinn wird systematisch vermittelt.	Die Vision und die Sinnvermittlung werden fortlaufend auf Basis antizipierter Entwicklungen angepasst.
Mitarbeiterbeteiligung	Keine Beteiligung	Rudimentäre Beteiligung	Systematische Beteiligung	Dynamische Beteiligung
<i>Einbeziehung von Ideen und Meinungen der Mitarbeiter bei Entscheidungen auf Unternehmensebene</i>	Ideen und Meinungen der Mitarbeiter werden bei Entscheidungen auf Unternehmensebene nicht berücksichtigt.	Ideen und Meinungen der Mitarbeiter werden bei Entscheidungen auf Unternehmensebene rudimentär berücksichtigt.	Ideen und Meinungen der Mitarbeiter werden bei Entscheidungen auf Unternehmensebene systematisch berücksichtigt.	Ideen und Meinungen der Mitarbeiter werden bei Entscheidungen auf Unternehmensebene dynamisch berücksichtigt.
Gleichg. zw. Routine und Innovation	Kein Gleichgewicht	Rudimentäres Gleichgewicht	Systematisches Gleichgewicht	Dynamisches Gleichgewicht
<i>Flexibilität bei strukturierten Abläufen</i>	Es gibt kein Gleichgewicht zwischen Routine und Innovation.	Es gibt ein rudimentäres Gleichgewicht zwischen Routine und Innovation.	Es gibt ein systematisches Gleichgewicht zwischen Routine und Innovation.	Es gibt ein dynamisches Gleichgewicht zwischen Routine und Innovation.

Das Kriterium *Vision und Sinnvermittlung* bewertet, ob eine Organisation eine Vision des digitalen Wandels erarbeitet hat und den Sinn an die Mitarbeiter vermitteln kann. Die Vision bezieht sich auf ein Ziel im Sinne der Erschließung eines Erfolgspotentials [GP14, S. 13]. In diesem Zusammenhang werden Erfolgspotentiale im Kontext digitalisierter Arbeitswelten betrachtet. Für die Mitnahme der Mitarbeiter muss durch eine entsprechende Kommunikation die sog. Sinnvermittlung gewährleistet sein [GP14, S. 13]. Dies dient der Erhöhung der Akzeptanz sowie Begeisterung und kann zudem kreative und innovative

Impulse setzen [HBR06, S. 40ff.]. Ein Unternehmen der Leistungsstufe 0 kann keine Vision vorweisen, während die Leistungsstufe 3 vorsieht, dass eine klare Vision definiert ist. Zudem wird der Sinn der Vision transparent vermittelt. Darüber hinaus wird die Vision fortlaufend überprüft und unter Berücksichtigung antizipierter Entwicklungen des Geschäftsumfelds angepasst. Das Kriterium *Mitarbeiterbeteiligung* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, die Ideen und Meinung der Beschäftigten bei Entscheidungen auf Unternehmensebene systematisch und transparent mit einzubeziehen. Derartige Entscheidungen beziehen sich auf richtungsweisende Änderungen im Unternehmen. Dabei erfordern digitale Technologien neue Formen der Mitarbeiterbeteiligung [Rot15, S. 250], zudem können Ideen und Meinungen systematisch aufbereitet werden. Dabei ist die Beteiligung stets auf offener, transparenter und freiwilliger Basis durchzuführen [Pel17, S. 231ff.]. Innerhalb der Leistungsstufe 0 werden die Ideen und Meinungen der Mitarbeiter nicht berücksichtigt. In der Leistungsstufe 3 hingegen werden die Ideen und Meinungen dynamisch berücksichtigt, d.h. die Formate zur systematischen Meinungserfassung werden regelmäßig geprüft und angepasst. Das Kriterium *Gleichgewicht zwischen Routine und Innovation* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, bei stabilen und strukturierten Abläufen gleichzeitig flexibel auf Veränderungen des Unternehmensumfelds zu reagieren. Dies bezieht sich im weitesten Sinne auf die sog. organisationale Ambidextrie. Nach RAISCH und BIRKANSKAW bezeichnet dieser Begriff die organisationale Fähigkeit, effizient hinsichtlich betriebswirtschaftlicher Rahmenbedingungen zu agieren und gleichzeitig anpassungsfähig hinsichtlich Umweltveränderungen zu sein [RB08, S. 375]. Die Unternehmenskultur mit entsprechenden Werten ist dabei eine Grundvoraussetzung [Hes19, S. 175ff.], [Pel17, S. 231ff.]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 weisen keinerlei Gleichgewicht zwischen Routine und Innovation auf. Unternehmen der Leistungsstufe 3 können ein solches Gleichgewicht dynamisch handhaben, d.h. vor dem Hintergrund antizipierter Entwicklungen wird entschieden, welcher Aspekt wie hoch zu priorisieren ist.

Methoden: Innerhalb dieses Gestaltungsfelds werden die Kriterien *Anpassung bestehender Methoden*, *Ganzheitlicher Ansatz*, *Agile Methoden und Arbeitsformen* sowie *Methodenkompetenz* betrachtet. Tabelle 4-5 zeigt diese und die entsprechenden Reifegrade in der Übersicht.

Das Kriterium *Anpassung bestehender Methoden* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, bestehende Arbeitsmethoden vor dem Hintergrund der Digitalisierung anzupassen. So können z.B. Lean-Methoden durch die Nutzung zusätzlicher Informationen, welche durch Vernetzungstechnologien gewonnen werden, verbessert werden [MAH+17, S. 193ff.]. Ein weiteres Beispiel sind Wertstromanalysen. Durch zusätzliche Informationsflüsse können Kosten und Nutzen besser erfasst und dadurch besser Maßnahmen abgeleitet werden [MAH+17, S. 204ff.]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 nehmen dabei keinerlei Überprüfung oder Anpassung bestehender Methoden vor, während Unternehmen der Leistungsstufe 3 bestehende Methoden vor dem Hintergrund antizipierter Entwicklungen überprüfen, anpassen und weiterentwickeln.

Tabelle 4-5: Kriterien und Reifegradstufen des Gestaltungsfelds Methoden

Kriterien	Organisationale Reifegradstufen			
	0	1	2	3
Anpassung bestehender Methoden	Keine Anpassung	Rudimentäre Anpassung	Systematische Anpassung	Dynamische Anpassung
<i>Anpassung bestehender Methoden vor dem Hintergrund der Digitalisierung</i>	Bestehende Methoden werden nicht angepasst und Verbesserungsmöglichkeiten nicht geprüft.	Vereinzelte bestehende Methoden vor dem Hintergrund der Digitalisierung angepasst.	Bestehende Methoden werden systematisch überprüft und angepasst.	Bestehende Methoden werden vor dem Hintergrund antizipierter Entwicklungen überprüft und angepasst.
Ganzheitlicher Ansatz	Keine Berücksichtigung	Rudimentäre Berücksichtigung	Systematische Berücksichtigung	Dynamische Berücksichtigung
<i>Ganzheitliche Berücksichtigung der Anforderungen der Handlungspersonen</i>	Keine Berücksichtigung der Anforderungen der Handlungspersonen.	Vereinzelte Berücksichtigung der Anforderungen der Handlungspersonen.	Systematische Berücksichtigung der Anforderungen der Handlungspersonen.	Dynamische Berücksichtigung der Anforderungen der Handlungspersonen.
Agile Methoden und Arbeitsformen	Keine Implementierung	Rudimentäre Implementierung	Systematische Implementierung	Dynamische Implementierung
<i>Bedarfsgerechte Auswahl agiler Methoden und Gestaltung der organisationalen Rahmenbedingungen</i>	Agile Methoden werden außerhalb der Softwareentwicklung nicht berücksichtigt.	Vereinzelte agile Methoden ausgewählt und rudimentäre organis. Voraussetzungen geschaffen.	Agile Methoden werden systematisch ausgewählt und die entsprechenden Rahmenbedingungen geschaffen.	Agile Methoden werden dynamisch ausgewählt und die entsprechenden Rahmenbedingungen geschaffen.
Methodenkompetenz	Keine Befähigung	Rudimentäre Befähigung	Systematische Befähigung	Sehr hohe Befähigung
<i>Befähigung der Beschäftigten für den Einsatz neuer und angepasster Methoden</i>	Es werden keine Aktivitäten zur Erhöhung der Methodenkompetenz der Beschäftigten unternommen.	Es werden vereinzelte Aktivitäten zur Erhöhung der Methodenkompetenz der Beschäftigten unternommen.	Es werden systematisch Schulungen zur Erhöhung der Methodenkompetenz der Beschäftigten durchgeführt.	Es werden vorausschauende Schulungen zur Erhöhung der Methodenkompetenz der Beschäftigten durchgeführt.

Das Kriterium *Ganzheitlicher Ansatz* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, die Anforderungen der Mitarbeiter einzubeziehen. Die Gestaltung der Methoden muss den zunehmenden Wünschen nach Flexibilität und selbstbestimmten Handeln gerecht werden [FH18, S. 90f.]. Zudem gilt es, Barrieren abzubauen, die auf Seiten der Mitarbeiter entstehen können. Darunter fallen z.B. vermeintlich steigender Leistungsdruck oder Machtverlust bei Führungskräften [MW15, S. 9f.], [Bin18, S. 252]. Werden die Anforderungen in keinerlei Weise berücksichtigt, so befindet sich das Unternehmen in der Leistungsstufe 0. Leistungsstufe 3 setzt hingegen voraus, dass die Anforderungen dynamisch berücksichtigt werden. In regelmäßigen Abständen werden die Wünsche der Handlungspersonen analysiert und fließen unter Berücksichtigung antizipierter Rahmenbedingungen in die Weiterentwicklung von Methoden ein. Das Kriterium *agile Methoden und Arbeitsformen* misst die Fähigkeit einer Organisation, agile Methoden bedarfsgerecht auszuwählen und die notwendigen organisationalen Rahmenbedingungen für deren Einführung zu schaffen. Für die erfolgreiche und nachhaltige Implementierung agiler Einzelmethoden gilt es, die notwendigen Anpassungen in Arbeitsabläufen und Strukturen zu iden-

tifizieren und durchzuführen [FH18, S. 99ff.]. Darüber hinaus sind entsprechende Räumlichkeiten zur Verfügung zu stellen. Werden außerhalb der Softwaretechnik agile Methoden in keinerlei Weise berücksichtigt, so befindet sich das Unternehmen in der Leistungsstufe 0. Leistungsstufe 3 bedeutet, dass Unternehmen eine systematische und kontinuierliche Implementierung bedarfsgerechter agiler Methoden vornehmen und die entsprechenden organisationalen Voraussetzungen dafür schaffen. Das Kriterium *Methodenkompetenz* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, ihre Beschäftigten für den Einsatz neuer und angepasster Methoden zu befähigen. So gewinnen bestimmte Fähigkeiten zunehmend an Bedeutung. Z.B. wird die Bereitschaft zur Übernahme von mehr Verantwortung wichtiger [FH18, S. 100]. Für die Anwendung agiler Methoden ist ein hohes Maß an Kommunikationsfähigkeit und vertrauensvoller Zusammenarbeit eine essentielle Voraussetzung [JKS17, S. 23ff.]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 führen keine Aktivitäten zur Befähigung der Beschäftigten durch. Innerhalb der Leistungsstufe 3 werden kontinuierlich Schulungsbedarfe erhoben und in entsprechende Schulungen überführt. Zudem werden fortlaufend die für zukünftig relevante Methoden benötigten Kompetenzen analysiert.

Arbeitsmittel: Die Kriterien *Unterstützungsbedarf*, *Mitarbeiterbefähigung*, *Auswahl und Gestaltung* sowie *Risikoanalyse* bilden den Kern dieses Gestaltungsfelds. Tabelle 4-6 zeigt die Kriterien und die jeweiligen Reifegradstufen.

Das Kriterium *Unterstützungsbedarf* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, nutzenstiftende Anwendungsfälle von digitalen Arbeitsmitteln systematisch und ganzheitlich zu identifizieren. Dabei ist zu ermitteln, welche Tätigkeiten für die Unterstützung durch digitale Arbeitsmittel geeignet sind. Unternehmen der Leistungsstufe 0 führen keinerlei Aktivitäten zur Identifikation von Einsatzpotentialen aus. Leistungsstufe 3 setzt voraus, dass Unterstützungspotentiale vor dem Hintergrund antizipierter technologischer Entwicklungen fortlaufend analysiert werden. Das Kriterium *Mitarbeiterbefähigung* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, die Beschäftigten zur Anwendung von digitalen Arbeitsmitteln zu befähigen. Ein Fokus liegt dabei darin, die jeweiligen Handlungspersonen in die Lage zu versetzen, ihre Aufgaben und Rollen in übergeordneten Prozessen zu verstehen [HMS+18, S. 242]. Leistungsstufe 0 bedeutet, dass Unternehmen keine Aktivitäten durchführen, um ihre Beschäftigten für den Einsatz digitaler Arbeitsmittel zu befähigen. Leistungsstufe 3 gibt an, dass Unternehmen ihre Beschäftigten kontinuierlich vor dem Hintergrund technologischer Entwicklungen befähigen. Das Kriterium *Auswahl und Gestaltung* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, digitale Arbeitsmittel humanzentriert auszuwählen und zu gestalten. Im Fokus stehen u.a. die intuitive Bedienbarkeit sowie eine individuelle Anpassbarkeit an die Handlungspersonen [Zit18, S. 279f.]. Darüber hinaus sind der technologische Reifegrad sowie betriebswirtschaftliche Aspekte mit einzubeziehen [BMW16b, S. 29f.]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 berücksichtigen, sofern sie überhaupt digital Arbeitsmittel einführen, keinerlei hu-

manzentrierte Aspekte. Unternehmen der Leistungsstufe 3 erfassen kontinuierlich die Anforderungen der Handlungspersonen und berücksichtigen technische und wirtschaftliche Aspekte auf Basis antizipierter Entwicklungen.

Tabelle 4-6: Kriterien und Reifegradstufen des Gestaltungsfelds Arbeitsmittel

Kriterien	Organisationale Reifegradstufen			
	0	1	2	3
Unterstützungsbedarf	Keine Identifikation	Rudimentäre Identifikation	Systematische Identifikation	Dynamische Identifikation
<i>Systematische und ganzheitliche Identifikation von Anwendungsfällen digitaler Arbeitsmittel</i>	Es bestehen keine Aktivitäten zur Identifikation von Unterstützungspotentialen.	Es bestehen lediglich rudimentäre Aktivitäten zur Identifikation von Unterstützungspotentialen.	Unterstützungspotentiale werden systematisch identifiziert.	Unterstützungspotentiale werden vor dem Hintergrund technologischer Entwicklungen identifiziert.
Mitarbeiterbefähigung	Keine Befähigung	Rudimentäre Befähigung	Systematische Befähigung	Dynamische Befähigung
<i>Befähigung der Beschäftigten für den Einsatz digitaler Arbeitsmittel</i>	Es werden keine Aktivitäten zur Befähigung der Beschäftigten für den Einsatz digitaler Arbeitsmittel unternommen.	Es werden vereinzelt Aktivitäten zur Befähigung der Beschäftigten für den Einsatz digitaler Arbeitsmittel unternommen.	Es werden systematisch Aktivitäten zur Befähigung der Beschäftigten für den Einsatz digitaler Arbeitsmittel unternommen.	Es werden vorausschauend Aktivitäten zur Befähigung der Beschäftigten für den Einsatz digitaler Arbeitsmittel unternommen.
Auswahl und Gestaltung	Keine Berücksichtigung	Rudimentäre Berücksichtigung	Systematische Berücksichtigung	Dynamische Berücksichtigung
<i>Humanzentrierte Auswahl und Gestaltung von digitalen Arbeitsmitteln</i>	Es werden keine humanzentrierten Aspekte bei der Auswahl und Gestaltung berücksichtigt.	Humanzentrierte Aspekte werden nur rudimentär und vereinzelt berücksichtigt.	Die Auswahl und Gestaltung erfolgt humanzentriert und systematisch.	Humanzentrierte Aspekte werden bei der Auswahl und Gestaltung dynamisch berücksichtigt.
Risikoanalyse	Keine Analyse	Rudimentäre Analyse	Systematische Analyse	Dynamische Analyse
<i>Analyse und Berücksichtigung von Gefährdungen digitaler Arbeitsmittel</i>	Es werden keine Aktivitäten zur Analyse von Gefährdungen durchgeführt.	Es werden vereinzelt Aktivitäten zur Analyse von Gefährdungen durchgeführt.	Die Analyse und Berücksichtigung von Gefährdungen digitaler Arbeitsmittel erfolgt systematisch.	Die Analyse und Berücksichtigung von Gefährdungen digitaler Arbeitsmittel erfolgt vorausschauend.

Das Kriterium *Risikoanalyse* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, die von digitalen Arbeitsmitteln ausgehenden Gefährdungen zu analysieren und zu berücksichtigen. Dabei kann sich an der DIN EN 61508-1 orientiert werden. Der Standard fordert die Identifikation der vom System ausgehenden Gefährdungen [DIN61508]. Darüber hinaus ist zu klären, wie sich die Handlungspersonen in Störfällen zu verhalten haben [Zit18, S. 282f.]. Zudem ist zu berücksichtigen, dass Menschen gegenüber autonomen Systemen zu übersteigertem Vertrauen neigen und in dessen Folge Kontroll- und Überwachungsaufgaben vernachlässigt werden bzw. in Störfällen nicht mehr reagiert werden kann [Zit18, S. 272f.]. Leistungsstufe 0 bedeutet, dass Unternehmen keine Risikoanalysen durchführen. Innerhalb der Leistungsstufe 3 führen Unternehmen kontinuierlich umfassende Risikoanalysen vor dem Hintergrund antizipierter Rahmenbedingungen durch.

Arbeitsschutz und Gesundheit: Tabelle 4-7 zeigt die Kriterien und die jeweiligen Reifegradstufen des Gestaltungsfelds Arbeitsschutz und Gesundheit. Dies sind *Technische Sicherheitsmaßnahmen*, *Auswirkungsanalyse*, *Individualisierte Gestaltung* sowie *Einbindung und Aufklärung*.

Tabelle 4-7: Kriterien und Reifegradstufen des Gestaltungsfelds Arbeitsschutz und Gesundheit

Kriterien	Organisationale Reifegradstufen			
	0	1	2	3
Technische Sicherheitsmaßnahmen	Keine Identifikation	Rudimentäre Identifikation	Systematische Identifikation	Dynamische Identifikation
<i>Identifikation und Umsetzung notwendiger technischer Sicherheitsmaßnahmen</i>	Es bestehen keine Aktivitäten zur Identifikation und Umsetzung notwendiger technischer Sicherheitsmaßnahmen.	Es werden lediglich vereinzelt 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 Analyse	Systematische Analyse	Dynamische Analyse
<i>Analyse der arbeitsschutz- und gesundheitsbezogenen Auswirkungen von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien</i>	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
<i>Anpassung an individuelle Bedürfnisse der Handlungspersonen</i>	Es werden keine individuellen Anpassungen vorgenommen.	Es werden vereinzelt individuelle Anpassungen vorgenommen.	Es werden systematisch individuelle Anpassungen vorgenommen.	Es werden vorausschauend individuelle Anpassungen vorgenommen.
Einbindung und Aufklärung	Keine Aufklärung	Rudimentäre Aufklärung	Systematische Aufklärung	Dynamische Aufklärung
<i>Aufklärung über arbeitsschutz- und gesundheitsgerechtes Verhalten</i>	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.

Das Kriterium *Technische Sicherheitsmaßnahmen* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, notwendige technische Sicherheitsmaßnahmen zu identifizieren und umzusetzen. Dies bezieht sich insbesondere auf Arbeitsmittel im Shopfloor-Umfeld. Darunter fällt z.B. die Ausstattung kollaborativer Roboter mit Kraft- und Momentensensoren. Auch einschlägige Normen wie die EN ISO 10218 bzgl. Sicherheitsanforderungen für Industrieroboter müssen berücksichtigt werden [DIN10218]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 führen keine systematischen Aktivitäten zur Identifikation und Umsetzung von technischen Sicherheitsmaßnahmen durch. Das Erreichen der Leistungsstufe 3 setzt voraus, dass Unternehmen kontinuierlich Bedarfe für technische Sicherheitsmaßnahmen

erfassen. Unter Berücksichtigung antizipierter technischer Entwicklungen wird die Umsetzung entsprechender Maßnahmen durchgeführt und geplant. Das Kriterium *Auswirkungsanalyse* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, die arbeitsschutz- und gesundheitsbezogenen Auswirkungen von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien zu analysieren. Ein Hauptaugenmerk ist dabei sowohl auf mögliche psychische Belastungen als auch auf Entlastungen zu legen [HMS+18, S. 240ff.]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 führen keine Auswirkungsanalyse durch. Innerhalb der Leistungsstufe 3 hingegen nehmen Unternehmen eine vorausschauende Bewertung vor, d.h. antizipierte technologische Entwicklungen fließen in die Auswirkungsanalyse ein. Das Kriterium *individualisierte Gestaltung* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien individuell an die Bedürfnisse der Handlungspersonen anzupassen. Aspekte der Individualisierung sind dabei Umgebungsparameter, ergonomische Aspekte, aber auch Memory-Funktionen bei Software-Anwendungen oder die individuelle Gestaltung von Arbeitszeiten [Zit18, S. 278ff.]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 nehmen keine individuellen Anpassungen vor. Das Erreichen der Leistungsstufe 3 erfordert eine vorausschauende individuelle Anpassung. Dazu müssen die Bedürfnisse der Handlungspersonen kontinuierlich erhoben und umgesetzt werden. Dabei sind Rahmenbedingungen und technische Entwicklungen zu antizipieren und entsprechend zu berücksichtigen. Das Kriterium *Einbindung und Aufklärung* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, ihre Beschäftigten über den arbeitsschutz- und gesundheitsgerechten Umgang bzw. entsprechendes Verhalten in Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien aufzuklären. Dies kann Schulungen beinhalten. Unternehmen der Leistungsstufe 0 führen keine Aufklärungsarbeit durch. Innerhalb der Leistungsstufe 3 werden entsprechende Aufklärungsarbeiten kontinuierlich und auf Grundlage antizipierter technologischer Entwicklungen und Rahmenbedingungen durchgeführt.

IT-Sicherheit: Dieses Gestaltungsfeld wird durch die Kriterien *Zusammenarbeit*, *Security by Design*, *Sicherheitsniveaus* sowie *Anpassung bestehender Systeme* bewertet. Tabelle 4-8 zeigt die Kriterien und die jeweiligen Reifegradstufen.

Das Kriterium *Zusammenarbeit* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, bzgl. der Gewährleistung der IT-Sicherheit mit Forschungseinrichtungen, Behörden und anderen Unternehmen zusammenzuarbeiten. Dabei steht die gemeinsame Erarbeitung von Standards und Sicherheitszertifikaten, aber auch die externe Unterstützung bei der Implementierung von Sicherheitsarchitekturen im Fokus [KWH13, S. 52ff.]. Darüber hinaus sind verbindliche Sicherheitsprüfungen zur Ermittlung von Schwachstellen und zur Prüfung der Umsetzung von Sicherheitsanforderungen erforderlich [WS17, S. 507f.]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 arbeiten im Kontext IT-Sicherheit nicht mit Externen zusammen. Leistungsstufe 3 setzt voraus, dass Unternehmen mit Externen zusammenarbeiten und das entsprechende Partnernetzwerk dynamisch vor dem Hintergrund antizipierter Rahmenbedingungen anpassen. Das Kriterium *Security by Design* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, die Prinzipien des Security by Designs einzuhalten. Dem-

nach müssen eingesetzte Systeme definierte Sicherheitsarchitekturen besitzen, um bestimmte Funktionen wie die Sicherung der Systemintegrität, Verschlüsselung von Informationen oder eindeutige Authentifizierungen zu ermöglichen [WS17, S. 505f.]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 setzen das Security by Design-Prinzip nicht um. Für die Leistungsstufe 3 gilt, dass die Umsetzung des Security by Design-Prinzips laufend geprüft und an den Stand der Technik angepasst wird.

Tabelle 4-8: Kriterien und Reifegradstufen des Gestaltungsfelds IT-Sicherheit

Kriterien	Organisationale Reifegradstufen			
	0	1	2	3
Zusammenarbeit	Keine Zusammenarbeit	Rudimentäre Zusammenarbeit	Systematische Zusammenarbeit	Dynamische Zusammenarbeit
<i>Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen und Behörden zur Gewährleistung und Erhöhung der IT-Sicherheit</i>	Es besteht keine Zusammenarbeit mit Forschungseinrichtungen oder Behörden.	Es bestehen vereinzelte Kooperationen mit Forschungseinrichtungen oder Behörden.	Es bestehen systematische Kooperationen mit Forschungseinrichtungen oder Behörden.	Es bestehen dynamische Kooperationen mit Forschungseinrichtungen oder Behörden.
Security by Design	Keine Einhaltung	Rudimentäre Einhaltung	Systematische Einhaltung	Dynamische Einhaltung
<i>Einhaltung der Security by Design-Prinzipien</i>	Die Security by Design-Prinzipien werden nicht eingehalten.	Die Security by Design-Prinzipien werden teilweise, aber nicht systematisch eingehalten.	Es erfolgt eine systematische Einhaltung der Security by Design-Prinzipien.	Es erfolgt eine dynamische Einhaltung der Security by Design-Prinzipien.
Sicherheitsniveaus	Keine Definition	Rudimentäre Definition	Systematische Definition	Dynamische Definition
<i>Gewährleistung von Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit von IT-Systemen auf Basis verschiedener Sicherheitsniveaus</i>	Es werden keine differenzierten Sicherheitsniveaus definiert.	Es werden Sicherheitsniveaus definiert, allerdings werden Daten nur teilweise entsprechend klassifiziert.	Es erfolgt eine systematische Definition von differenzierten Sicherheitsniveaus.	Es erfolgt eine vorausschauende Definition von differenzierten Sicherheitsniveaus.
Anpassung bestehender Systeme	Keine Anpassung	Rudimentäre Anpassung	Systematische Anpassung	Dynamische Anpassung
<i>Ausstattung bereits bestehender und bisher nicht vernetzter Systeme mit notwendigen nachträglichen Sicherheitslösungen</i>	Es werden keine bestehenden Systeme nachgerüstet.	Es werden vereinzelt bestehende Systeme nachgerüstet.	Es werden systematisch bestehende Systeme nachgerüstet.	Bestehende Systeme werden unter Berücksichtigung antizipierter Rahmenbedingungen angepasst.

Das Kriterium *Sicherheitsniveaus* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten die Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit von IT-Systemen zu gewährleisten. Grundlage dafür ist die Definition verschiedener Sicherheitsniveaus, die in Abhängigkeit der Schutzbedürftigkeit von Daten definiert werden [Dah18, S. 272f.]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 definieren keine differenzierten Sicherheitsniveaus. Leistungsstufe 3 hingegen bedeutet, dass Konzepte zur Definition von Sicherheitsniveaus umgesetzt und vorausschauend angepasst werden. Das Kriterium *Anpassung bestehender Systeme* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, bereits

bestehende und bisher nicht vernetzte Systeme mit notwendigen, nachträglichen Sicherheitslösungen auszustatten. Unternehmen der Leistungsstufe 0 passen bestehende Systeme nicht an. Innerhalb der Leistungsstufe 3 werden Konzepte zur effizienten Anpassung bestehender Systeme umgesetzt und vorausschauend angepasst.

Standards: Tabelle 4-9 zeigt die Kriterien und die jeweiligen Reifegradstufen des Gestaltungsfelds Standards. Diese sind *Bedarfsidentifikation*, *Übergreifende Akzeptanz*, *Sichere Schnittstellen* sowie *Humanzentrierte Gestaltung*.

Tabelle 4-9: Kriterien und Reifegradstufen des Gestaltungsfelds Standards

Kriterien	Organisationale Reifegradstufen			
	0	1	2	3
Bedarfsidentifikation	Keine Identifikation	Rudimentäre Identifikation	Systematische Identifikation	Dynamische Identifikation
<i>Identifikation von Bedarfen für angepasste oder neue Standards</i>	Es werden keine Aktivitäten zur Identifikation von Bedarfen unternommen.	Bedarfe zur Anpassung von bestehenden oder zur Erarbeitung neuer Standards werden nur vereinzelt identifiziert.	Bedarfe zur Anpassung von bestehenden oder zur Erarbeitung neuer Standards werden systematisch identifiziert.	Bedarfe zur Anpassung von bestehenden oder zur Erarbeitung neuer Standards werden vorausschauend identifiziert.
Vernetzung mit Partnern	Keine Vernetzung	Rudimentäre Vernetzung	Systematische Vernetzung	Dynamische Vernetzung
<i>Vernetzung zur Einflussnahme auf die Erarbeitung von Standards</i>	Es bestehen keine Partnernetzwerke zur Einflussnahme auf die Erarbeitung von Standards.	Es bestehen vereinzelt Kooperationen zur Einflussnahme auf die Erarbeitung von Standards.	Partnernetzwerke zur Einflussnahme auf die Erarbeitung von Standards werden systematisch aufgebaut.	Partnernetzwerke zur Einflussnahme auf die Erarbeitung von Standards werden dynamisch weiterentwickelt.
Sichere Schnittstellen	Keine Einhaltung	Rudimentäre Einhaltung	Systematische Einhaltung	Dynamische Einhaltung
<i>Einhaltung von Standards zur Gewährleistung sicherer Schnittstellen zur Informationsübermittlung</i>	Es werden keine Standards für sichere Schnittstellen eingehalten.	Es werden nur teilweise Standards für sichere Schnittstellen eingehalten.	Standards bzgl. sicherer Schnittstellen werden systematisch eingehalten und beobachtet.	Es werden vorausschauend neue Anforderungen an Schnittstellen identifiziert.
Humanzentrierte Gestaltung	Keine Einhaltung	Rudimentäre Einhaltung	Systematische Einhaltung	Dynamische Einhaltung
<i>Einhaltung von Standards zur Gewährleistung von humanzentrierter Arbeit</i>	Standards zur Gewährleistung humanzentrierter Arbeit werden nicht eingehalten.	Standards zur Gewährleistung humanzentrierter Arbeit werden nur vereinzelt eingehalten.	Standards zur Gewährleistung humanzentrierter Arbeit werden systematisch eingehalten.	Es werden vorausschauend neue Anforderungen an entsprechende Standards identifiziert.

Das Kriterium *Bedarfsidentifikation* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, Bedarfe für angepasste oder neue Standards zu identifizieren. Dabei sind bestehende Standards im Hinblick auf die Anwendbarkeit bei der Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien zu überprüfen. Ein Hilfsmittel ist das Referenzarchitekturmodell Industrie 4.0 (vgl. Abschnitt 3.1.3), mit dessen Unterstützung sich Arbeitsaufgaben und -abläufe hinsichtlich ihrer Standardisierungsbedarfe analysieren lassen [BVZ15, S. 41]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 führen keine Bedarfsidentifikation durch. Das Erreichen der

Leistungsstufe 3 setzt voraus, dass Unternehmen eine kontinuierliche Bedarfsanalyse durchführen und dabei antizipierte Rahmenbedingungen und technologische Weiterentwicklungen berücksichtigen. Das Kriterium *Vernetzung* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, sich bzgl. der Erarbeitung und Akzeptanz von Standards zu vernetzen und darauf Einfluss zu nehmen. Eine branchenübergreifende und internationale Vernetzung ist essentielle Voraussetzung zur Einflussnahme auf die Erarbeitung von Standards. Unternehmen der Leistungsstufe 0 sind in Bezug auf die Erarbeitung von Standards nicht vernetzt. Leistungsstufe 3 bedeutet, dass Unternehmen sich gezielt vernetzen, um auf die Erarbeitung von Standards Einfluss zu nehmen. Zudem wird das Partnernetzwerk in Abhängigkeit von antizipierten Rahmenbedingungen vorausschauend angepasst. Das Kriterium *Sichere Schnittstellen* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, Standards bzgl. sicherer Schnittstellen zur Informationsübermittlung einzuhalten. Dies ist eine essentielle Grundvoraussetzung für die mit der Digitalisierung einhergehende Vernetzung [Bit14, S. 37f.], [KWH13, S. 91]. Zur Gewährleistung sicherer Schnittstellen bedarf es der Erarbeitung von Standards, welche Aspekte wie Semantik, Referenzmodelle und -architekturen berücksichtigen [DD18, S. 24ff.]. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Informationssicherheit [DD18, S. 80ff.]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 können sichere Schnittstellen nicht gewährleisten. Leistungsstufe 3 erfordert, dass Unternehmen vorausschauend neue Anforderungen identifizieren und entsprechend frühzeitig die Erarbeitung neuer Standards vorantreiben. Das Kriterium *Humanzentrierte Gestaltung* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, Standards bzgl. der Gewährleistung humanzentrierter Arbeit zu identifizieren und einzuhalten. Ziel ist es, im Kontext von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien menschengerechte Arbeit sicherzustellen. Das bedeutet u.a., dass die Standards die Gesundheit schützen, Beeinträchtigungen wie Über- und Unterforderungen ausschließen und die Handlungspersonen fördern. Entsprechende Standards beziehen sich z.B. auf die Mensch-Technik-Interaktion, Arbeitsorganisation, Weiterbildung und Mitbestimmung [DD18, S. 97f.], [KWH13, S. 57f.]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 berücksichtigen entsprechende Standards nicht systematisch. Innerhalb der Leistungsstufe 3 werden entsprechende Standards eingehalten und neue Anforderungen kontinuierlich auf Basis antizipierter Rahmenbedingungen identifiziert.

Rechtliche Rahmenbedingungen: Dieses Gestaltungsfeld wird durch die Kriterien *Umgang mit rechtlichen Unsicherheiten*, *Technische und organisatorische Maßnahmen*, *Vertragliche Regelungen* sowie *Kooperationen* bewertet. Tabelle 4-10 zeigt die Kriterien und die entsprechenden Reifegrade in der Übersicht.

Das Kriterium *Umgang mit rechtlichen Unsicherheiten* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, mit rechtlichen Unsicherheiten umzugehen. Die bestehenden Gesetze sind im Hinblick auf Aspekte, die im Rahmen der Digitalisierung relevant sind, oft nicht eindeutig. Beispiele sind Vertragsabschlüsse durch und Haftungen bei Willenserklärungen eines Systems [Kat17, S. 154f.]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 verfügen über keine Regelungen zum Umgang mit Rechtsunsicherheiten. Leistungsstufe 3 hingegen be-

deutet, dass Unternehmen systematisch Maßnahmen zum Umgang mit rechtlichen Unsicherheiten identifizieren und umsetzen sowie darüber hinaus vorausschauend zukünftig relevante Unsicherheiten identifizieren.

Tabelle 4-10: Kriterien und Reifegradstufen des Gestaltungsfelds Rechtliche Rahmenbedingungen

Kriterien	Organisationale Reifegradstufen			
	0	1	2	3
Umgang mit rechtl. Unsicherheiten	Keine Regelungen	Rudimentäre Regelungen	Systematische Regelungen	Dynamische Regelungen
<i>Umgang mit rechtlichen Unsicherheiten</i>	Es bestehen keine Regelungen zum Umgang mit rechtlichen Unsicherheiten.	Es werden vereinzelt Maßnahmen getroffen, um mit rechtlichen Unsicherheiten umzugehen.	Es werden systematische Regelungen getroffen, um mit rechtlichen Unsicherheiten umzugehen.	Die Regelungen zum Umgang mit rechtlichen Rahmenbedingungen basieren auf antizipierten Rahmenbedingungen.
Technische und organis. Maßnahmen	Keine Regelungen	Rudimentäre Regelungen	Systematische Regelungen	Dynamische Regelungen
<i>Umsetzung technischer und organisatorischer Maßnahmen zur Einhaltung rechtlicher Vorgaben im Kontext der Digitalisierung</i>	Technische und organisatorische Maßnahmen werden nicht systematisch umgesetzt.	Technische und organisatorische Maßnahmen werden nur vereinzelt umgesetzt.	Technische und organisatorische Maßnahmen werden systematisch umgesetzt.	Technische und organis. Maßnahmen werden systematisch umgesetzt und neue Anforderungen kontinuierlich identifiziert.
Vertragliche Regelungen	Keine Regelungen	Rudimentäre Regelungen	Systematische Regelungen	Dynamische Regelungen
<i>Initiierung vertraglicher Regelungen mit Kunden und Zulieferern zur Erzielung von Rechtssicherheit im Kontext der Digitalisierung</i>	Es werden keine vertraglichen Regelungen mit Kunden oder Zulieferern initiiert.	Es werden nur vereinzelt vertragliche Regelungen mit Kunden oder Zulieferern initiiert.	Vertragliche Regelungen mit Kunden oder Zulieferern werden systematisch initiiert.	Vertragliche Regelungen werden systematisch initiiert und neue Bedarfe kontinuierlich identifiziert.
Kooperative Maßnahmen	Keine Kooperationen	Rudimentäre Kooperationen	Systematische Kooperationen	Dynamische Kooperationen
<i>Vernetzung und Erarbeitung von Best Practices mit anderen Unternehmen</i>	Es erfolgen keine Kooperationen mit anderen Unternehmen bzgl. rechtlicher Rahmenbedingungen.	Es erfolgen nur vereinzelt Kooperationen mit anderen Unternehmen bzgl. rechtlicher Rahmenbedingungen.	Es werden systematisch mit anderen Unternehmen Richtlinien auf Basis von Best Practices erarbeitet.	Es werden systematisch mit dynamischen Partnernetzwerken Richtlinien auf Basis von Best Practices erarbeitet.

Das Kriterium *Technische und organisatorische Maßnahmen* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, technische und organisatorische Maßnahmen zur Einhaltung von rechtlichen Vorgaben umzusetzen. Beispiele für verpflichtende technische Maßnahmen sind Verschlüsselungen oder Pseudonymisierung personenbezogener Daten und geistigen Eigentums [Kat17, S. 151ff.]. Organisatorische Maßnahmen können Risikoabschätzungen für Datendiebstahl beinhalten, welche die Folgen für Betroffene identifizieren und bewerten [Kat17, S. 150f.]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 setzen technische oder organisatorische Maßnahmen zur Einhaltung von rechtlichen Vorgaben nicht systematisch um. Das Erreichen der Leistungsstufe 3 setzt voraus, dass Unternehmen frühzeitig neue

rechtliche Herausforderungen identifizieren und entsprechende Maßnahmen ableiten. Das Kriterium *Vertragliche Regelungen* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, aktiv vertragliche Regelungen mit Kunden und Zulieferern anzustoßen, um Rechtssicherheit in Belangen der Digitalisierung zu erhalten. Beispiele sind die Verwendung von Produktionsdaten durch den Hersteller der eingesetzten Maschinen und Anlagen [Kat17, S. 151f.] oder Haftungsausschlüsse bei autonomen Entscheidungen durch Systeme [Kat17, S. 155f.]. Leistungsstufe 0 bedeutet, dass Unternehmen keine vertraglichen Regelungen mit Kunden oder Zulieferern anstoßen, um im Kontext der Digitalisierung Rechtssicherheit zu erlangen. Innerhalb der Leistungsstufe 3 werden systematisch vertragliche Regelungen angestoßen sowie frühzeitig Bedarfe für neue Regelungen identifiziert. Das Kriterium *Kooperative Maßnahmen* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, sich bzgl. rechtlicher Rahmenbedingungen mit anderen Unternehmen zu vernetzen und Best Practices auszutauschen. Auf dieser Grundlage können gemeinsame Richtlinien erarbeitet werden, welche als Basis für unternehmensinterne Konkretisierungen genutzt werden können [Kat17, S. 157]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 sind bzgl. rechtlicher Rahmenbedingungen nicht vernetzt. Leistungsstufe 3 setzt voraus, dass Unternehmen sich gezielt vernetzen und die Partner auf Basis antizipierter Rahmenbedingungen auswählen.

Betriebsvereinbarungen: Tabelle 4-11 zeigt die Kriterien und die jeweiligen Reifegradstufen des Gestaltungsfelds Betriebsvereinbarungen. Dies sind *Förderung der Mitbestimmung*, *Unterstützung der Mitarbeiter*, *Entgrenzung* sowie *Schutz der Persönlichkeitsrechte*.

Das Kriterium *Förderung der Mitbestimmung* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, die Mitbestimmungsaktivitäten des Betriebsrats und der Beschäftigten zu fördern und zu nutzen. Dies ist entscheidender Erfolgsfaktor zur Gewährleistung von guten Arbeitsbedingungen und der Akzeptanz von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien (vgl. [Sch15, S. 51f.]). Unternehmen der Leistungsstufe 0 fördern die Mitbestimmung nicht. Leistungsstufe 3 hingegen bedeutet, dass die Mitbestimmung systematisch gefördert und frühzeitig Herausforderungen diskutiert werden, welche auf Basis antizipierter Rahmenbedingungen identifiziert wurden. Das Kriterium *Unterstützung der Mitarbeiter* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, ihre Beschäftigten bei der Handhabung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien zu unterstützen. Dazu gehören das Agieren in neuen Arbeitsorganisationsmodellen, in neuen Rollen, mit höherer Eigenverantwortung und mit neuen Qualifikationsanforderungen [MW15, S. 18ff.]. Diese beziehen sich insbesondere auf Methoden-, System- sowie Problemlösungskompetenzen [DBW+15, S. 240f.]. Ein beispielhaftes Unterstützungsangebot ist daher die Erhöhung von Weiterbildungsangeboten. Die Unterstützungsangebote sind in Form von Betriebsvereinbarungen festzuhalten. Unternehmen der Leistungsstufe 0 bieten keine systematische Unterstützung der Beschäftigten an. Leistungsstufe 3 bedeutet, dass Unternehmen frühzeitig neue Herausforderungen auf Basis antizipierter Rahmenbedingungen identifizieren und in das Unterstützungsangebot überführen. Das Kriterium *Entgrenzung* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, die Rahmenbedingungen zeitlicher und struktureller Entgrenzung in Form von

Betriebsvereinbarungen zu regeln. Erfolgsfaktor dabei ist die Ausgewogenheit zwischen Freiräumen und Schutz der Beschäftigten [MW15, S. 12], [SWB15, S. 46f.], bei Wahrung wirtschaftlicher Interessen des Unternehmens. Innerhalb der Leistungsstufe 0 definieren Unternehmen keine Rahmenbedingungen für die zeitliche und strukturelle Entgrenzung. Leistungsstufe 3 setzt voraus, dass Unternehmen frühzeitig neue Aspekte in die Regelungen integrieren, die auf Basis antizipierter Rahmenbedingungen identifiziert wurden.

Tabelle 4-11: Kriterien und Reifegradstufen des Gestaltungsfelds Betriebsvereinbarungen

Kriterien	Organisationale Reifegradstufen			
	0	1	2	3
Förderung der Mitbestimmung	Keine Förderung	Rudimentäre Förderung	Systematische Förderung	Dynamische Förderung
<i>Förderung und Nutzung der Mitbestimmungsaktivitäten des Betriebsrats</i>	Mitbestimmungsaktivitäten des Betriebsrats werden nicht gefördert.	Mitbestimmungsaktivitäten des Betriebsrats werden nur vereinzelt gefördert.	Mitbestimmungsaktivitäten des Betriebsrats werden systematisch gefördert.	Es werden frühzeitig Herausforderungen auf Basis antizipierter Rahmenbedingungen diskutiert.
Unterstützung der Mitarbeiter	Keine Unterstützung	Rudimentäre Unterstützung	Systematische Unterstützung	Dynamische Unterstützung
<i>Unterstützung der Beschäftigten bei der Handhabung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien</i>	Es erfolgt keine Unterstützung bei der Handhabung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien.	Es bestehen nur vereinzelte Unterstützungsangebote bei der Handhabung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien.	Es bestehen systematische Unterstützungsangebote bei der Handhabung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien.	Herausforderungen werden auf Basis antizipierter Rahmenbedingungen frühzeitig identifiziert und in das Unterstützungsangebot überführt.
Entgrenzung	Keine Regelungen	Rudimentäre Regelungen	Systematische Regelungen	Dynamische Regelungen
<i>Regelung der Rahmenbedingungen zeitlicher und struktureller Entgrenzung in Form von Betriebsvereinbarungen</i>	Es werden keine Rahmenbedingungen in Form von Betriebsvereinbarungen geregelt.	Es werden nur vereinzelt Rahmenbedingungen in Form von Betriebsvereinbarungen geregelt.	Die Rahmenbedingungen werden systematisch in Form von Betriebsvereinbarungen geregelt.	Neue Rahmenbedingungen werden frühzeitig identifiziert und in Betriebsvereinbarungen überführt.
Schutz der Persönlichkeitsrechte	Kein Schutz	Rudimentärer Schutz	Systematischer Schutz	Dynamischer Schutz
<i>Schutz der Persönlichkeitsrechte beim Umgang mit Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien in Form von Betriebsvereinbarungen</i>	Der Schutz der Persönlichkeitsrechte kann nicht gewährleistet werden.	Der Schutz der Persönlichkeitsrechte kann nur vereinzelt gewährleistet werden.	Der Schutz der Persönlichkeitsrechte wird systematisch in Form von Betriebsvereinbarungen gewährleistet.	Es werden frühzeitig neue Schutzbedarfe identifiziert und in Betriebsvereinbarungen überführt.

Das Kriterium *Schutz der Persönlichkeitsrechte* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, die Persönlichkeitsrechte der Beschäftigten beim Umgang mit Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien in Form von Betriebsvereinbarungen zu schützen. Wesentliche Aspekte sind dabei die Gewährleistung des Schutzes personenbezogener Daten, die Vermeidung von Überwachung [MW15, S. 5f.] und gesundheitlicher Belastungen [MW15, S. 15f.], aber auch die Übertragung der Regelungen auf Angestellte von Arbeitnehmerüberlassungen [MW15, S. 18]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 verankern den Schutz von

Persönlichkeitsrechten nicht. Leistungsstufe 3 setzt voraus, dass Unternehmen frühzeitig neue Schutzbedarfe auf Basis antizipierter Rahmenbedingungen identifizieren und in entsprechende Betriebsvereinbarungen überführen.

Kollaboration: Dieses Gestaltungsfeld wird durch die Kriterien *Interaktion*, *Netzwerkbildung*, *Offener Innovationsprozess* und *Wertschöpfungsnetzwerk* bewertet. Tabelle 4-12 zeigt die Kriterien und die entsprechenden Reifegrade in der Übersicht.

Tabelle 4-12: Kriterien und Reifegradstufen des Gestaltungsfelds Kollaboration

Kriterien	Organisationale Reifegradstufen			
	0	1	2	3
Interaktion	Keine Förderung	Rudimentäre Förderung	Systematische Förderung	Dynamische Förderung
<i>Förderung einer effizienten Interaktion zwischen den betrieblichen Akteuren</i>	Es werden keine Aktivitäten unternommen, um eine effiziente Interaktion zu fördern.	Es werden nur vereinzelt Aktivitäten unternommen, um eine effiziente Interaktion zu fördern.	Die effiziente Interaktion zwischen den betrieblichen Akteuren wird systematisch gefördert.	Es werden kontinuierlich Rahmenbedingungen antizipiert, um frühzeitig entsprechende Maßnahmen einzuleiten.
Netzwerkbildung	Keine Netzwerkbildung	Rudimentäre Netzwerkbildung	Systematische Netzwerkbildung	Dynamische Netzwerkbildung
<i>Bildung von Netzwerken zur Diskussion vorwettbewerblicher Themen im Kontext der digitalen Transformation der Arbeitswelt</i>	Es bestehen keine Netzwerke zur Diskussion vorwettbewerblicher Themen.	Es bestehen nur vereinzelt Kooperationen zur Diskussion vorwettbewerblicher Themen.	Es besteht eine systematische Netzwerkbildung zur Diskussion vorwettbewerblicher Themen.	Das Netzwerk wird gezielt auf Basis antizipierter Rahmenbedingungen weiterentwickelt.
Offener Innovationsprozess	Keine Öffnung	Rudimentäre Öffnung	Systematische Öffnung	Dynamische Öffnung
<i>Öffnung des Innovationsprozesses für externe Ideen und Impulse</i>	Der Innovationsprozess wird nicht für externe Ideen und Impulse geöffnet.	Der Innovationsprozess wird nur vereinzelt für externe Ideen und Impulse geöffnet.	Der Innovationsprozess wird systematisch für externe Ideen und Impulse geöffnet.	Die Partner und die Art der Zusammenarbeit werden auf Basis antizipierter Rahmenbedingungen ausgewählt.
Wertschöpfungsnetzwerk	Keine Vernetzung	Rudimentäre Vernetzung	Systematische Vernetzung	Dynamische Vernetzung
<i>Handhabung komplexer Wertschöpfungsnetzwerke</i>	Es bestehen keine Vernetzungen in komplexen Wertschöpfungsnetzwerken.	Es bestehen rudimentäre Vernetzungen in komplexen Wertschöpfungsnetzwerken.	Die Vernetzungen in komplexen Wertschöpfungsnetzwerken werden systematisch gehandhabt.	Das Wertschöpfungsnetzwerk wird auf Basis antizipierter Rahmenbedingungen weiterentwickelt und angepasst.

Das Kriterium *Interaktion* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, eine effiziente Interaktion zwischen den betrieblichen Akteuren zu ermöglichen. Darunter zählen neben den Beschäftigten auch Maschinen und Material. Dies kann u.a. durch entsprechende IT-Systeme ermöglicht werden, welche eine Durchgängigkeit von Daten gewährleisten. Die Interaktion zwischen Beschäftigten kann durch das Aufbrechen alter Strukturen und Denkweisen verbessert werden (vgl. [SPR+17, S. 80ff.]). So sind z.B. zentrale, räumliche Informationspunkte denkbar. Unternehmen der Leistungsstufe 0 nehmen keine Förderung der Interaktion der betrieblichen Akteure vor. Leistungsstufe 3 bedeutet, dass

Unternehmen kontinuierlich Rahmenbedingungen antizipieren, um frühzeitig Maßnahmen zur Förderung der Interaktion einzuleiten. Das Kriterium *Netzwerkbildung* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, sich bzgl. vorwettbewerblicher Fragestellungen der digitalen Transformation der Arbeitswelt mit anderen Unternehmen zu vernetzen. Dabei können im vorwettbewerblichen Bereich gemeinsam Konzepte und Handlungsempfehlungen erarbeitet werden [Ban17, S. 625ff.]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 vernetzen sich nicht. Das Erreichen der Leistungsstufe 3 setzt voraus, dass sich Unternehmen systematisch vernetzen und ihre Partnernetzwerke auf Grundlage antizipierter Rahmenbedingungen anpassen und weiterentwickeln. Das Kriterium *Offener Innovationsprozess* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, ihren Innovationsprozess für externe Ideen und Impulse zu öffnen. Vor dem Hintergrund der Dynamik der Digitalisierung sind kurze Innovationszyklen und radikale Innovationen notwendig, die u.a. durch Kooperationen mit Start-Ups oder Lead-Usern erreicht werden können. Dabei sind Rahmenbedingungen wie der Schutz von Know-how und Urheberrechten zu klären [Bau18, S. 124]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 öffnen ihren Innovationsprozess nicht. Unternehmen der Leistungsstufe 3 hingegen wählen die Partner für ihre geöffneten Innovationsprozesse auf Basis antizipierter Rahmenbedingungen. Das Kriterium *Wertschöpfungsnetzwerk* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, komplexe Wertschöpfungsnetzwerke zu handhaben. Erfolgsfaktor dabei ist es, dass Aufgaben so verteilt werden, dass jeder Partner seine Kernkompetenzen einbringen kann. Die Geschäftsmodelle müssen entsprechend abgegrenzt sein [HH17, S. 342ff.]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 sind nicht in komplexen Wertschöpfungsnetzwerken vernetzt. Das Erreichen der Leistungsstufe 3 setzt voraus, dass Unternehmen ihr Partnernetzwerk dynamisch auf Basis antizipierter Rahmenbedingungen anpassen und weiterentwickeln.

Prozesse: Tabelle 4-13 zeigt die Kriterien und die jeweiligen Reifegradstufen des Gestaltungsfelds Prozesse. Dies sind *Optimierungspotential*, *Durchgehende Informationsflüsse*, *Autonome Steuerung* sowie *Rolle der Mitarbeiter*.

Das Kriterium *Optimierungspotential* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, Potentiale und Bedarfe zur Anpassung von Prozessen im Zuge der Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien zu identifizieren. Im Fokus steht dabei die Vernetzung der Daten verschiedener Prozesse [CL18, S. 31ff.]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 analysieren ihre Prozesse bzgl. Potentialen und Anpassungsbedarfen nicht. Leistungsstufe 3 bedeutet, dass Unternehmen ihre Prozesse kontinuierlich auf der Basis antizipierter Weiterentwicklungen und Rahmenbedingungen analysieren. Das Kriterium *Durchgehende Informationsflüsse* bezieht sich auf die Fähigkeit einer Organisation, Prozessdaten zu vernetzen und Medienbrüche zu vermeiden. Entsprechende, durchgehende Informationsflüsse ermöglichen eine effiziente Bearbeitbarkeit und Verfügbarkeit von Daten [MAH+17, S. 204f.]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 verfügen über keine durchgehenden Informationsflüsse. Das Erreichen der Leistungsstufe 3 setzt voraus, dass Unternehmen die Durchgängigkeit der Informationsflüsse auf der Basis antizipierter technologischer Weiterentwicklungen gestalten. Das Kriterium *autonome Steuerung* bezieht sich

auf die Fähigkeit einer Organisation, Prozesse auf Basis einer echtzeitfähigen Datenauswertung und -verarbeitung autonom zu steuern und zu kontrollieren. Dadurch werden z.B. Plug & Produce-Prinzipien ermöglicht [DJ17, S. 70]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 verfügen über keine echtzeitfähige Datenauswertung. Leistungsstufe 3 beschreibt Unternehmen, die auf der Basis antizipierter technologischer Weiterentwicklungen die echtzeitfähige Datenauswertung und -verarbeitung ausbauen.

Tabelle 4-13: Kriterien und Reifegradstufen des Gestaltungsfelds Prozesse

Kriterien	Organisationale Reifegradstufen			
	0	1	2	3
Optimierungspotential	Keine Analyse	Rudimentäre Analyse	Systematische Analyse	Dynamische Analyse
<i>Identifikation von Potentialen und Bedarfen zur Anpassung von Prozessen im Zuge der Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien</i>	Es erfolgt keine Identifikation von Potentialen und Bedarfen zur Anpassung von Prozessen.	Es erfolgt nur vereinzelt eine Identifikation von Potentialen und Bedarfen zur Anpassung von Prozessen.	Prozesse werden systematisch hinsichtlich ihrer Potentiale und Bedarfe zur Anpassung analysiert.	Es werden kontinuierlich Rahmenbedingungen antizipiert, um Prozesse hinsichtlich ihrer Potentiale und Bedarfe zur Anpassung zu analysieren.
Durchgehende Informationsflüsse	Keine Durchgängigkeit	Rudimentäre Durchgängigkeit	Systematische Durchgängigkeit	Dynamische Durchgängigkeit
<i>Vernetzung von Prozessdaten und Vermeidung von Medienbrüchen</i>	Es gibt keine durchgehenden Informationsflüsse.	Es gibt nur vereinzelt durchgehende Informationsflüsse.	Die Durchgängigkeit der Informationsflüsse wird systematisch gestaltet.	Die Durchgängigkeit der Informationsflüsse wird auf der Basis antizipierter technologischer Weiterentwicklungen gestaltet.
Autonome Steuerung	Keine Steuerung	Rudimentäre Steuerung	Systematische Steuerung	Dynamische Steuerung
<i>Autonome Steuerung und Kontrolle von Prozessen auf Basis einer echtzeitfähigen Datenauswertung und -verarbeitung</i>	Es erfolgt keine autonome Steuerung und Kontrolle von Prozessen.	Es erfolgt nur vereinzelt eine autonome Steuerung und Kontrolle von Prozessen.	Eine autonome Steuerung und Kontrolle von Prozessen wird systematisch umgesetzt.	Eine autonome Steuerung/Kontrolle von Prozessen wird auf der Basis antizipierter Weiterentwicklungen gestaltet.
Rolle der Mitarbeiter	Keine Definition	Rudimentäre Definition	Systematische Definition	Dynamische Definition
<i>Definition von Rollen der Handlungspersonen</i>	Es werden den Handlungspersonen keine Rollen zugewiesen.	Den Handlungspersonen werden nur vereinzelt Rollen zugewiesen.	Es erfolgt eine systematische Zuweisung von Rollen zu den Handlungspersonen.	Die Rollenzuweisungen werden vor dem Hintergrund antizipierter Rahmenbedingungen dynamisch angepasst.

Das Kriterium *Rolle der Mitarbeiter* beschreibt die Fähigkeit einer Organisation, die Rollen der Handlungspersonen in den jeweiligen Prozessen eindeutig zu definieren. Dies umfasst neben der Definition von Verantwortlichkeiten auch die Verankerung von Leitbildern und Werten [LGH+15, S. 198ff.]. Unternehmen der Leistungsstufe 0 führen keine eindeutige Zuweisung von Rollen durch. Das Erreichen der Leistungsstufe 3 setzt voraus,

dass die Rollenzuweisungen kontinuierlich vor dem Hintergrund antizipierter Rahmenbedingungen angepasst werden.

4.3.3 Validierung der Gestaltungsfelder und der Kriterien

Sowohl die Gestaltungsfelder als auch die Kriterien wurden auf Grundlage von unternehmensübergreifenden Workshops im Rahmen des Industriekreises Arbeit 4.0 sowie auf Basis von Workshops im Rahmen eines Transferprojekts¹⁰ identifiziert. Insgesamt wurden 15 Workshops mit insgesamt 53 Teilnehmern aus 12 Fachbereichen der vier Unternehmen durchgeführt. In diesen Workshops wurden die Auswirkungen von Arbeit 4.0 analysiert. Dazu stand eine Canvas mit 17 Leitfragen zur Verfügung, anhand denen Chancen, Risiken und Erfolgsfaktoren sowie die Auswirkungen im Spannungsfeld Mensch-Technik-Organisation identifiziert werden konnten. Die Leitfragen lassen sich dem Anhang A3 (vgl. Bild A-60) entnehmen. Bild 4-14 zeigt beispielhaft die ausgefüllte Canvas für das Arbeit 4.0-Anwendungsszenario Hybrider Service-Bot (vgl. Bild A-20).

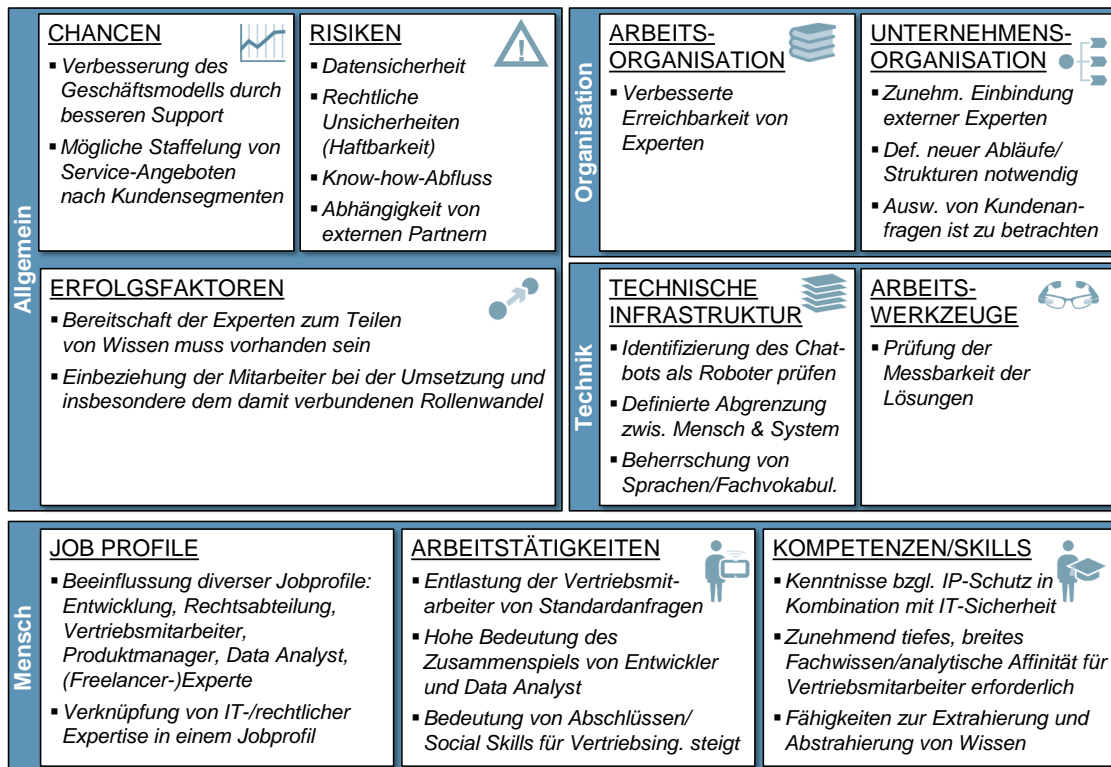


Bild 4-14: Canvas zur Identifikation von Auswirkungen am Beispiel des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios Hybrider Service-Bot

¹⁰ Ziel des Transferprojekts war eine Organisationsentwicklungs-Roadmap zur Gestaltung des digitalen Wandels der Arbeitswelt. Diese wurde mit einem weiteren produzierenden Unternehmen erarbeitet.

Dabei tritt ein Chatbot mit dem Kunden in Kontakt und kann dessen Anfragen erfassen und klassifizieren. Auf dieser Grundlage erfolgt dann ggf. eine Weiterleitung der Kundenanfrage an einen mit dem Fachgebiet vertrauten Experten (vgl. Bild A-20). Die Canvas besteht aus vier Hauptbereichen. Dies ist zum ersten der allgemeine Teil, in welchem Chancen (z.B. Verbesserung des Geschäftsmodells durch besseren Support), Risiken (z.B. rechtliche Unsicherheiten bzgl. Haftbarkeit) und Erfolgsfaktoren (z.B. Bereitschaft der Experten zum Teilen von Wissen muss vorhanden sein) erfasst werden. Im Bereich Organisation werden Auswirkungen auf die Arbeits- (z.B. verbesserte Erreichbarkeit von Experten) und die Unternehmensorganisation (z.B. zunehmende Einbindung externer Experten) identifiziert. Der Bereich Technik fokussiert Auswirkungen bzw. Anforderungen an die technische Infrastruktur (z.B. Identifizierung des Chatbots als Roboter prüfen) sowie an die Arbeitswerkzeuge (z.B. Prüfung der Messbarkeit der Lösungen). Im Bereich Mensch werden beteiligte Jobprofile (z.B. Verknüpfung von IT- und rechtlicher Expertise in einem Jobprofil) identifiziert sowie die Auswirkungen auf deren Arbeitstätigkeiten (z.B. Entlastung der Vertriebsmitarbeiter von Standardanfragen) und Kompetenzen (z.B. Kenntnisse bzgl. IP-Schutz in Kombination mit IT-Sicherheit) analysiert. Die Auswirkungen des Hybriden Service Bots wurden im Rahmen des Industriekreises Arbeit 4.0 analysiert. Zusätzlich wurden 15 Experteninterviews im Rahmen der Nachhaltigkeitsmaßnahme Arbeit 4.0 des Spitzenclusters it's OWL durchgeführt. Die identifizierten Auswirkungen wurden dann dahingehend überprüft, ob sie durch die Bewertungskriterien abgedeckt werden. Bild 4-15 zeigt die Validierung der Bewertungskriterien und Gestaltungsfelder am Beispiel der Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios Hybrider Service-Bot auf den Hauptbereich Mensch.

So adressiert z.B. die Auswirkung *Verknüpfung von IT- und rechtlicher Expertise in einem Jobprofil* das Kriterium *Weiterbildungskonzepte* stark. Analog dazu wurden insgesamt über 350 Auswirkungen von 21 untersuchten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien analysiert. Es wurde bewertet, ob die Bewertungskriterien durch die Auswirkungen nicht, schwach, mittel oder stark adressiert werden. Insgesamt konnte festgestellt werden, dass sich alle untersuchten Auswirkungen mindestens einem Bewertungskriterium zuordnen ließen. Dadurch wird deutlich, dass die identifizierten Gestaltungsfelder und Bewertungskriterien die Auswirkungen von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien umfassend adressieren. Nichtsdestotrotz können die 48 Bewertungskriterien keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben.

Gestaltungsfelder & Bewertungskriterien		Personalentwicklung			
		Kompetenz-analyse	Weiterbildungs-konzepte	Kooperation	Organis. Lernen
Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios Hybrider Service-Bot					
Job Profile	Beeinflussung diverser Job-Profile: Entwicklung, Rechtsabteilung, Vertriebsmitarbeiter, Produktmanager, Data Analyst, ...	3	2	1	1
	Verknüpfung von IT- und rechtlicher Expertise in einem Job-Profil	2	3	3	1
Arbeitsstätigkeiten	Entlastung der Vertriebsmitarbeiter von Standardanfragen	2	1	0	0
	Hohe Bedeutung des Zusammenspiels von Ent und Data Analyst				
	Bedeutung von Abschlüssen und Social Skills f Vertriebsingenieure steigt	3	2	2	1
Kompetenzen/ Skills	Kenntnisse bzgl. IP-Schutz in Kombination mit IT-Sicherheit	2	3	2	1
	Zunehmend tiefes, breites Fachwissen und analytische Affinität für Vertriebsmitarbeiter erforderlich	3			
	Fähigkeiten zur Extrahierung und Abstrahierung von Wissen	2			

Das Kriterium wird durch die Auswirkung... 0: nicht adressiert | 1: schwach adressiert | 2: adressiert | 3: stark adressiert

Bild 4-15: Validierung der Bewertungskriterien am Beispiel des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios Hybrider Service-Bot (Auszug)

4.4 Auswahlssystematik

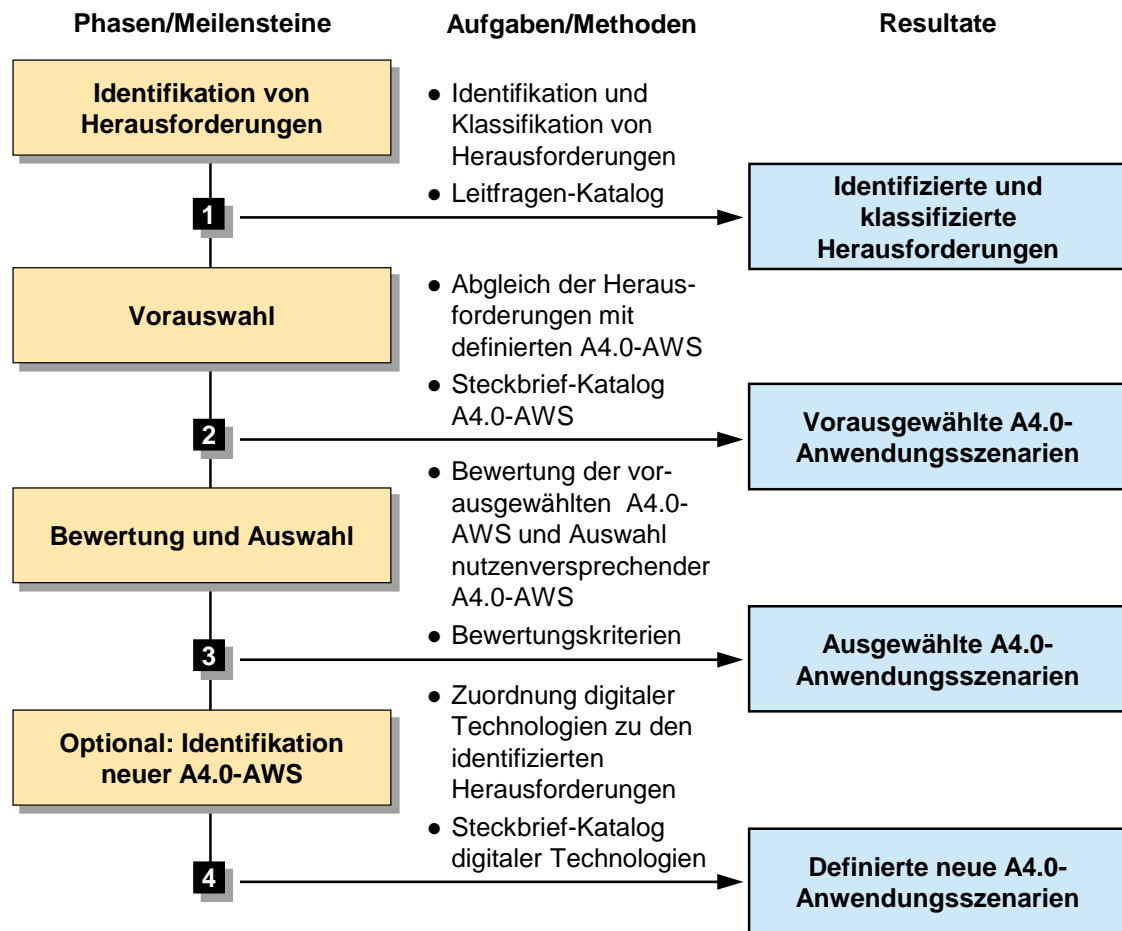
Die Auswahlssystematik unterstützt produzierende Unternehmen bei der Identifikation, Bewertung und Auswahl von nutzenversprechenden Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Neben dem Vorgehensmodell werden dabei für jede Phase dedizierte Hilfsmittel zur Verfügung gestellt. Im Folgenden werden das Vorgehensmodell und die Hilfsmittel zusammen vorgestellt.

4.4.1 Das Vorgehensmodell und die Hilfsmittel in der Übersicht

Das Vorgehensmodell besteht aus vier Phasen und ist in Bild 4-16 dargestellt. Ziel sind ausgewählte Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien für die nachhaltige Umsetzung. Im Kern des Vorgehensmodells stehen die *Phase 3 (Bewertung und Auswahl)* sowie die *Phase 4 (Identifikation neuer Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien)*.

Phase 1 – Identifikation und Klassifikation von Herausforderungen: Ziel der ersten Phase sind identifizierte und klassifizierte Herausforderungen, mit denen produzierende Unternehmen in der Arbeitswelt konfrontiert sind. Dabei steht den Unternehmen als Hilfsmittel ein Leitfragen-Katalog zur Verfügung, anhand dessen Herausforderungen identifiziert werden können (vgl. Anhang A2.1). Darüber hinaus bietet das in Kapitel 4.2.3 vorgestellte Mehrwert-Klassifikationsschema die Möglichkeit, die identifizierten

Herausforderungen zu klassifizieren. Dadurch kann überprüft werden, ob die Herausforderungen grundsätzlich durch Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien adressiert werden können.



A4.0-AWS: Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

Bild 4-16: Das Vorgehensmodell der Auswahlssystematik

Phase 2 – Vorauswahl: Resultat der zweiten Phase sind vorausgewählte Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Als Hilfsmittel stehen dabei das Mehrwert-Klassifikationsschema sowie der Steckbrief-Katalog von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien (vgl. Anhang A2.2) zur Verfügung. Dieser Katalog wird durch die Ergebnisse der Phase 4 laufend erweitert.

Phase 3 – Bewertung und Auswahl: Ziel der dritten Phase sind bewertete und ausgewählte Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Dazu stehen den Unternehmen Bewertungskriterien zur Verfügung. Diese ermöglichen eine detaillierte Einschätzung des Nutzens und des Aufwands der vorausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Auf dieser Grundlage können dann Anwendungsszenarien für die Einführung ausgewählt werden.

Phase 4 – Identifikation neuer Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien (optional): Die vierte Phase wird durchlaufen, sofern für die betrachtete Herausforderung kein passendes Arbeit 4.0-Anwendungsszenario aus dem Steckbrief-Katalog identifiziert werden konnte.

Ziel sind identifizierte neue Anwendungsszenarien. Dazu stehen eine entsprechende Canvas sowie ein Steckbrief-Katalog digitaler Technologien zur Verfügung. Die dabei identifizierten Anwendungsszenarien werden in den Steckbrief-Katalog aufgenommen.

4.4.2 Phase 1: Identifikation von Herausforderungen

In der ersten Phase identifizieren und klassifizieren die Unternehmen Herausforderungen, mit denen sie in der Arbeitswelt konfrontiert sind. Dazu eignen sich fachdisziplinübergreifende Workshops, für welche den Unternehmen als Hilfsmittel Leitfragen sowie das Mehrwert-Klassifikationsschema zur Verfügung stehen. Das Vorgehen ist in Bild 4-17 dargestellt.

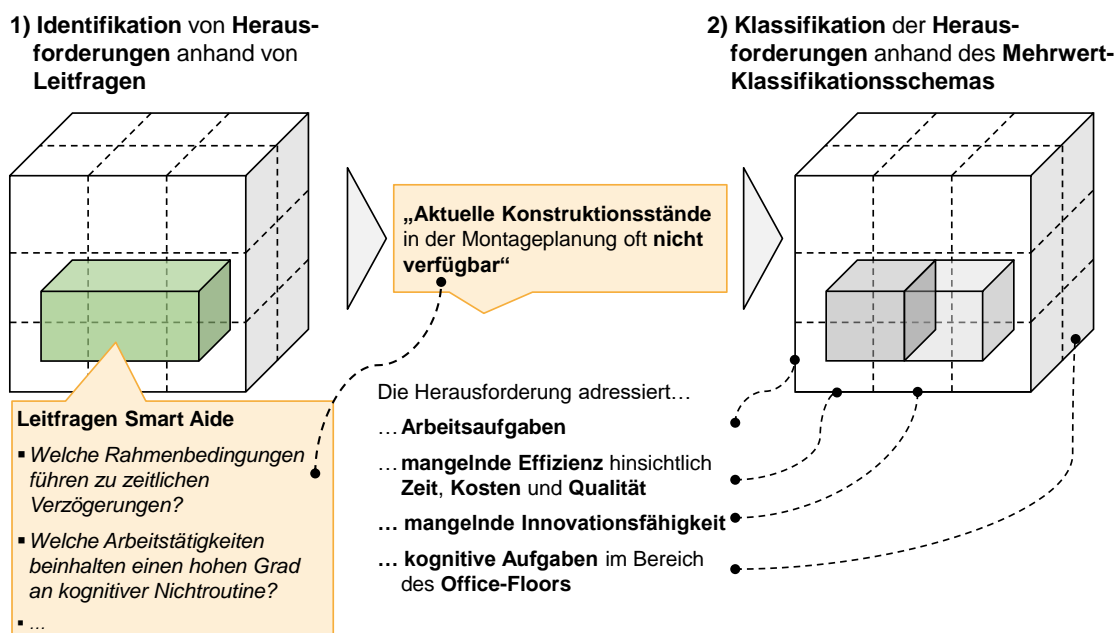


Bild 4-17: Identifikation und Klassifikation von Herausforderungen in der Arbeitswelt

In einem ersten Schritt werden mit Hilfe der Leitfragen Herausforderungen identifiziert. Die Leitfragen orientieren sich an den identifizierten Arbeit 4.0-Klassen und lassen sich dementsprechend im Mehrwert-Klassifikationsschema einordnen. Dies ist in Bild 4-17 exemplarisch am Beispiel der Klasse Smart Aide dargestellt. Durch die Orientierung der Leitfragen an den Arbeit 4.0-Klassen wird gewährleistet, dass die identifizierten Herausforderungen durch Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien adressiert werden können. Der vollständige Leitfragen-Katalog ist dem Anhang A2.1 zu entnehmen. Durch Beantwortung der Fragen können Herausforderungen identifiziert werden. Diese werden anschließend in das Mehrwert-Klassifikationsschema eingeordnet. Bild 4-17 zeigt dies exemplarisch für die Herausforderung *Prototypen nach aktuellem Konstruktionsstand in der Montageplanung oft nicht verfügbar*. Diese liegt dem Mixed Mock-Up zu Grunde und kann durch die Leitfragen *Welche Rahmenbedingungen führen zu zeitlichen Verzögerungen?* identifiziert werden.

In einem zweiten Schritt werden die identifizierten Herausforderungen in das Mehrwert-Klassifikationsschema entlang der drei Achsen 1) Arbeitswelt, 2) Nutzenpotential und 3) Bereich eingeordnet. Dies wird am Beispiel der bereits skizzierten Herausforderung verdeutlicht: Im Bereich der Arbeitswelt lässt sich die Herausforderung der Ebene Arbeitstätigkeit zuordnen, da diese die Methode des Mock-Ups adressiert. Im Bereich des Nutzenpotentials ist ersichtlich, dass die skizzierte Herausforderung mangelnde Effizienz im Bereich der Montagesystemplanung adressiert. Die fehlenden Prototypen führen zu einer zeitlichen Verzögerung der Montagesystemplanung. Im erweiterten Betrachtungskreis wird auch eine mangelnde Innovationsfähigkeit adressiert. Da Arbeitstätigkeiten ausgeführt werden, die kognitive Aufgaben beinhalten, wird die Herausforderung in der dritten Dimension dem Officefloor zugeordnet. Analog dazu werden alle identifizierten Herausforderungen in das Schema eingeordnet. Lässt sich eine Herausforderung nicht in dem Schema verordnen, so kann sie nicht durch ein Arbeit 4.0-Anwendungsszenario adressiert werden.

4.4.3 Phase 2: Vorauswahl

Ziel der zweiten Phase sind vorausgewählte Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Dazu werden die identifizierten und klassifizierten Herausforderungen mit den Nutzenbewertungen bestehender Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien abgeglichen. Dafür steht den Unternehmen als Hilfsmittel der Steckbrief-Katalog der Szenarien zur Verfügung (vgl. Anhang A2.2). Bestandteil des Steckbriefs ist die Visualisierung der Einordnung der jeweiligen Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien innerhalb des Mehrwert-Klassifikationsschemas. Überlagert sich diese mit dem von der Herausforderung abgedeckten Bereich, so ist das entsprechende Arbeit 4.0-Anwendungsszenario potentiell in der Vorauswahl. Des Weiteren ist eine Prüfung der Plausibilität notwendig. Fällt diese positiv aus, so ist das Anwendungsszenario in der Vorauswahl. Diese stellt den Input für die dritte Phase dar, in der die vorausgewählten Szenarien bewertet und zur Einführung ausgewählt werden. Bild 4-18 zeigt exemplarisch den Abgleich einer identifizierten Herausforderung mit einem potentiellen Arbeit 4.0-Anwendungsszenario.

Die betrachtete Herausforderung *Aktuelle Konstruktionsstände in der Montageplanung oft nicht verfügbar* ist innerhalb des Klassifikationsschemas des Mehrwerts von Arbeit 4.0 den Bereichen Aufgaben, Effizienzsteigerung (erweiterter Fokus: Innovationsfähigkeit) sowie Officefloor zugeordnet (vgl. Abschnitt 4.2.3). Dies entspricht der Klassifizierung des Mixed Mock-Ups. In diesem Szenario werden Konstruktionsstände virtuell über eine Datenbrille in das Sichtfeld der Handlungspersonen projiziert (vgl. Abschnitt 4.2.1). Es ist offensichtlich, dass diese Lösung die betrachtete Herausforderung direkt adressiert. Folglich ist die Plausibilitätsprüfung bestanden und das Szenario kann in die Vorauswahl übernommen werden. Ein weiteres Arbeit 4.0-Anwendungsszenario, welches innerhalb des Klassifikationsschemas identisch zu der betrachteten Herausforderung *Aktuelle Konstruktionsstände in der Montageplanung oft nicht verfügbar* eingeordnet wird, ist der sog.

Hybride Service-Bot (vgl. Bild A-20). Dabei reagiert auf eine Online-Kundenanfrage zunächst ein Chatbot, der das Problem erfasst, klassifiziert und dem Kunden Lösungsvorschläge macht.

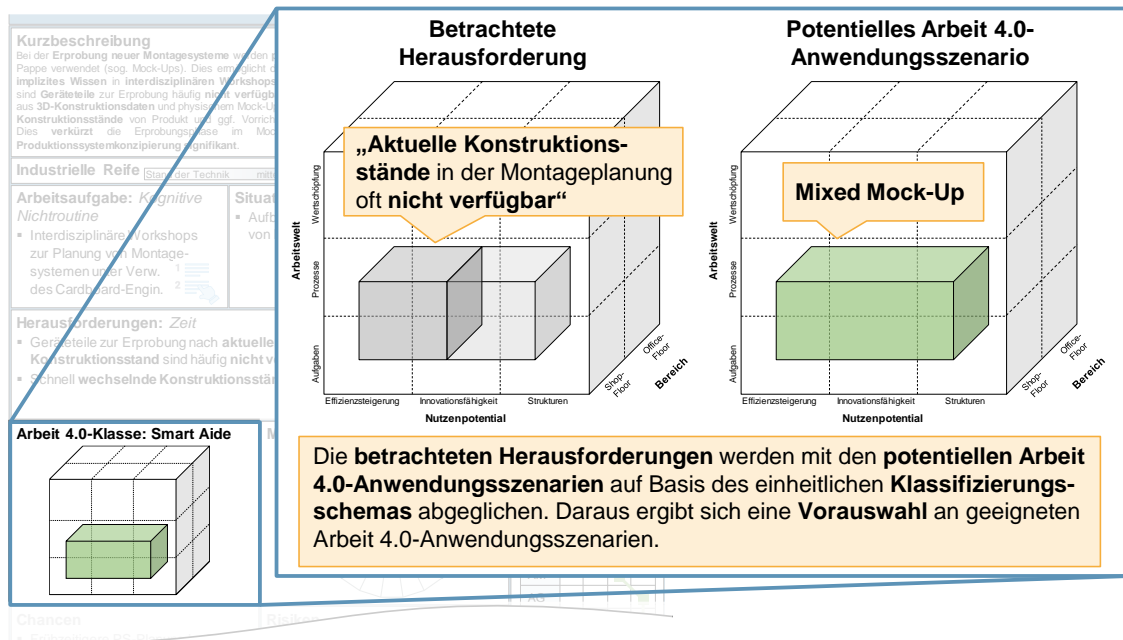


Bild 4-18: Abgleich zwischen Herausforderung und potentiell Arbeit 4.0-Anwendungsszenario

Dieser Experte übernimmt die Betreuung des Kunden und hilft bei der Problemlösung. Auch hier erfolgt eine Unterstützung der Arbeitstätigkeit innerhalb des Officefloors, was zu einer Effizienzsteigerung führt. Allerdings wird deutlich, dass diese Lösung der betrachteten Herausforderung nicht gerecht wird. Folglich ist die Plausibilitätsprüfung nicht bestanden, sodass das Szenario nicht in die Vorauswahl aufgenommen werden kann.

4.4.4 Phase 3: Bewertung und Auswahl

Ziel der dritten Phase sind zur Einführung ausgewählte Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Die Auswahl erfolgt auf Basis einer umfassenden Bewertung. Dazu steht ein Katalog an Bewertungskriterien zur Verfügung¹¹. Dabei werden gemäß der Anforderung A6) *Sozio-technische Bewertung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien* (vgl. Abschnitt 2.7) die Dimensionen Mensch, Technik und Organisation berücksichtigt. Innerhalb dieser Dimensionen werden Kriterien zur Einschätzung des Nutzens und des Aufwands zur Verfügung gestellt. Die Kriterien wurden in interdisziplinären Workshops im Rahmen des Forschungsprojekts IviPep erarbeitet und validiert [JBF+18], [MPB+18]. Jedes Kriterium

¹¹ Der Kriterien-Katalog wurde im Rahmen des BMBF-Verbundprojekts IviPep erarbeitet und veröffentlicht [MPB+18]. An der Erstellung waren neben BANSMANN zudem MLEKUS, PARUZEL, BENTLER, JENDERNY, FOULLOIS und WOESTE beteiligt.

setzt sich dabei aus mehreren Faktoren zusammen, die jeweils auf einer Skala von 1 „Trifft überhaupt nicht zu“ bis 4 „Trifft voll und ganz zu“ bewertet werden. Wird ein Kriterium in Summe mit 4 bewertet, so hat das betrachtete Szenario stark positive Auswirkungen im Kontext dieses Kriteriums. Eine Bewertung von 3 bedeutet positive Auswirkungen, eine 2 negative und eine 1 stark negative Auswirkungen. Auch wenn dadurch eine Quantifizierung vorgenommen wird, stehen qualitative Aussagen über das Nutzen-Aufwand-Verhältnis der betrachteten Szenarien im Fokus. Die Bewertungskriterien sind dabei als Hilfsmittel zu verstehen, welche produzierende Unternehmen bei der Entscheidung unterstützen, ein bestimmtes Arbeit 4.0-Anwendungsszenario einzuführen. Der vollständige Kriterien-Katalog zur soziotechnischen Bewertung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien ist in Anhang A2.3 abgebildet.

Insgesamt stehen 21 Kriterien in den Perspektiven Mensch, Organisation und Technik zur Verfügung, welche Bild 4-19 in der Übersicht zeigt.

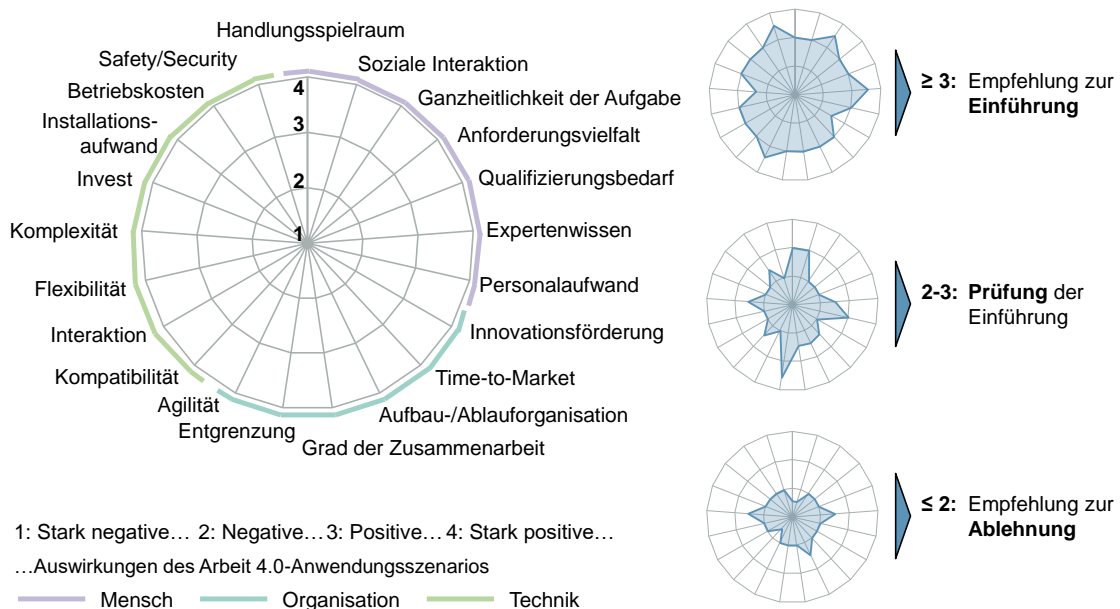


Bild 4-19: Kriterien zur Bewertung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

Die Visualisierung in Form eines Spinnennetz-Diagramms ermöglicht eine schnelle Erfassung der Bewertung eines Szenarios und der entsprechenden Handlungsempfehlungen. Falls die Gesamtbewertung größer als 3 ist, wird eine Einführung des betrachteten Szenarios empfohlen. Bei einer Bewertung zwischen 2 und 3 wird eine genauere Prüfung, bei einer Bewertung unter 2 eine Ablehnung des Szenarios empfohlen. Die gewählte Form der Visualisierung ermöglicht zudem eine schnelle Erfassung spezifischer Charakteristika der Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Diese liefert Hinweise für die Zusammensetzung von Workshops zur Identifikation der Zielreifegrade (vgl. Abschnitt 4.5.2).

Innerhalb der Dimension Mensch stehen sieben Kriterien mit insgesamt 26 Bewertungsfaktoren zur Verfügung.

Das erste Kriterium bewertet, inwiefern ein Arbeit 4.0-Anwendungsszenario den *Handlungsspielraum* (Autonomie) der Akteure beeinflusst. Darunter fallen die Freiheit und Unabhängigkeit in Bezug auf die Planung des Zeitpunkts und der Reihenfolge der Durchführung von Tätigkeiten, die Möglichkeiten selbstständiger Entscheidungen sowie die Möglichkeit der selbstständigen Auswahl von Arbeitsmethoden [SDU+10, S. 3]. Dementsprechend lauten die Bewertungsfaktoren a) Selbstständige Planbarkeit, b) Entscheidungsfindung sowie c) Art der Arbeitsverrichtung. Ein Beispiel für eine hohe selbstständige Planbarkeit ist es, wenn die Handlungsperson lediglich Zielvorgaben bekommt, die Planung der Realisierung hingegen selbstständig übernimmt. Das Kriterium ist angelehnt an den Work-Design Questionnaire (WDQ) nach MORGESON und HUMPHREY [MH06]. Dies ist ein Fragebogen zur Analyse von Arbeitstätigkeiten, welcher Aufgaben-, Wissens-, soziale und kontextuelle Arbeitsplatzmerkmale umfasst.

Ein weiteres Kriterium angelehnt an den WDQ ist die *Möglichkeit zur sozialen Interaktion*. Diese ist gegeben, wenn die Möglichkeit zum Austausch von Informationen zwischen Kollegen sowie zur gegenseitigen Unterstützung vorliegt [MH06, S. 1324], [Uli11, S. 205f.]. Soziale Unterstützung ist ein kritischer Faktor für das Wohlbefinden am Arbeitsplatz [WDD03, S. 93ff.] und zur Bewältigung der Arbeitsbelastung [Uli11, S. 205]. Dabei werden die Faktoren a) Soziale Interaktion am Arbeitsplatz und b) mit Externen, die c) Interdependenz von Arbeitsaufgaben sowie die d) Aufgabenunabhängigkeit bewertet. So liegt z.B. eine hohe Interdependenz der Aufgabe vor, wenn die Tätigkeiten innerhalb des betrachteten Szenarios erst dann bearbeitet werden kann, wenn Andere ihre Aufgaben vollständig abgeschlossen haben.

Als weiteres Kriterium wird die *Ganzheitlichkeit der Aufgabe* bewertet. Eine Aufgabe gilt dann als ganzheitlich, wenn sie zum einen planende, ausführende sowie kontrollierende Elemente enthält. Zum zweiten muss es den Handlungspersonen möglich sein, ihre Arbeitsergebnisse anhand der gestellten Anforderungen zu reflektieren [Uli11, S. 206]. Die Ganzheitlichkeit einer Aufgabe erhöht deren Attraktivität [HO76, S. 250ff.]. Die Faktoren a) Einfluss der Arbeit auf andere Personen, b) Ganzheitlicher Charakter der Arbeit sowie c) Leistungsrückmeldung werden betrachtet. Der erste Faktor wird als hoch bewertet, wenn das Anwendungsszenario die Arbeit anderer Menschen sowohl innerhalb als auch außerhalb des Unternehmens beeinflusst.

Des Weiteren wird die *Anforderungsvielfalt* bewertet. Darunter wird verstanden, dass unterschiedliche Fähigkeiten, Kenntnisse sowie Fertigkeiten innerhalb des Anwendungsszenarios einzusetzen sind [WDD03, S. 93ff.]. Dazu werden die Faktoren a) Aufgabenvielfalt, b) Komplexität der Aufgabe, c) Informationsmenge, d) Kreativität, e) Vielfalt der Fähigkeiten sowie die f) Vielfalt der Werkzeuge betrachtet. Eine hohe Bewertung bei der Informationsmenge liegt vor, wenn die Handlungsperson eine hohe Anzahl verschiedener Informationen verarbeiten und dabei eine hohe Denkarbeit aufbringen muss.

Zudem wird der *Qualifizierungsbedarf* gemessen. Dieser ergibt sich aus dem Abgleich der Anforderungen und den vorhandenen Qualifikationen der Handlungspersonen. Die

zusätzliche Qualifikation von Handlungspersonen wurde als entscheidende Voraussetzung für eine erfolgreiche Einführung von Technologien identifiziert [RRC88, S. 47ff.]. Es wird der a) Bedarf (i.S.v. Umfang) und die b) Art der erforderlichen Qualifizierungsmaßnahmen gemessen. Ein geringer Umfang liegt z.B. vor, wenn Mitarbeiter sich selbstständig einarbeiten können. Ein hoher Umfang bedeutet z.B. mehrtägige Schulungen.

Ferner wird der *Bedarf an Kompetenzen und Expertenwissen* analysiert, der sowohl für die Einführung als auch die Durchführung des betrachteten Anwendungsszenarios erforderlich ist. Dabei werden die drei Bereiche a) Technologie- und datenorientierte Expertise (z.B. Kenntnisse bzgl. Cloud-Architekturen), b) Prozess- und kundenorientierte Expertise (z.B. Kenntnisse bzgl. IT-Geschäftsanalysen) sowie c) Infrastruktur- und organisationsorientierte Expertise (z.B. Kenntnisse bzgl. Netzwerk-/Datenbankadministration) unterschieden [Aca16b, S. 12]. Für jeden der drei Bereiche werden zwischen vier und sieben Kenntnisse vorgeschlagen, unter denen der Bedarf konkretisiert werden kann.

Der *Personalaufwand* bezieht sich auf den Ressourceneinsatz, der für den operativen Betrieb des betrachteten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios notwendig ist. Dabei wird betrachtet, ob a) viele unterschiedliche und b) komplexe Aktivitäten ausgeführt werden, c) wie viele Personen benötigt werden und ob diese d) geografisch verteilt sind. Zudem fließt die e) Einarbeitungszeit in die Bewertung des Personalaufwandes ein. Besteht z.B. der Ablauf des Szenarios aus vielen unterschiedlichen Aktivitäten, so müssen die Handlungspersonen heterogene Aktivitäten durchführen. Folglich wird der Faktor unterschiedliche Aktivitäten als hoch eingestuft.

Innerhalb der Dimension Organisation stehen sechs Kriterien mit insgesamt 21 Bewertungsfaktoren zur Verfügung.

Das Kriterium *Innovationsförderung (Unternehmenskultur)* bezieht sich auf die Eigenschaft eines Unternehmens, bzgl. Erweiterungen des Marktleistungs-Portfolios, der Nischenmärkte, der Ansätze und Technologien flexibel zu agieren. Dabei werden die Faktoren a) Produktorientierung, b) Kundenorientierung, c) Wissensmanagement sowie d) Lernroutinen betrachtet. Bei Unternehmen mit einer hohen Kundenorientierung spielen z.B. Messen als Informationsquelle für Innovationen eine große Rolle [RW08, S. 8].

Das Kriterium *Time-to-Market* bezieht sich auf die Dauer von der Produktidee bis zur Markteinführung des Produktes (vgl. [Bre08, S. 115ff.]). Dabei werden die Faktoren a) Prozesskontrolle, b) Prozessoptimierung, c) Unternehmensarchitektur sowie die d) Zusammenarbeit zwischen Fachbereichen betrachtet. Ein Arbeit 4.0-Anwendungsszenario hat z.B. dann eine stark positive Auswirkung auf die Prozesskontrolle, wenn es Wartezeiten und unklare Übergaben an den Schnittstellen zwischen Prozessbeteiligten reduzieren und dadurch die Time-to-Market verkürzen kann.

Des Weiteren werden die *Änderungen in der Aufbau- und Ablauforganisation* bewertet, die das Arbeit 4.0-Anwendungsszenario zur Folge hat. Dabei werden die a) Auswirkungen auf angrenzende Prozesse sowie b) Organisationseinheiten und auf c) Kunden sowie

Zulieferer betrachtet. Gehen z.B. die Auswirkungen des betrachteten Anwendungsszenarios über die Unternehmensgrenzen hinaus und beeinflussen somit Kunden und Zulieferer langfristig, so ist der entsprechende Faktor als hoch zu bewerten.

Ein weiteres Kriterium ist der *Grad der Zusammenarbeit*. Darunter wird die Eigenschaft eines Unternehmens verstanden, Entscheidungsfreiheiten und -gewalten innerhalb der Organisation zu verteilen. Dabei werden die a) Offenheit und Flexibilität der Aufbauorganisation sowie die b) Wechselseitigkeit der Unternehmensleitung betrachtet. Dies bezieht sich auf den Handlungsspielraum von Mitarbeitern bei Entscheidungen. Die Bandbreite reicht dabei von Koexistenz über Kooperation und Koordination bis hin zur Kollaboration [Wea12, S. 23]. So sind z.B. bei der Zusammenarbeit in Form der Kollaboration die Handlungspersonen nicht durch Regeln eingeschränkt. Vielmehr stehen sie in konstantem Dialog und haben ein sog. nicht-dualistisches Denken verinnerlicht.

Des Weiteren wird das Kriterium *Entgrenzung* betrachtet. Darunter wird die Auflösung traditioneller Strukturen betriebsorganisatorischer Arbeit verstanden. Dazu werden die a) Dezentralisierung der Unternehmensorganisation, die b) Flexibilisierung und Individualisierung der Arbeitszeitstrukturen, die c) Zeitliche und räumliche Flexibilisierung von Projektarbeit sowie die d) Abflachung von Hierarchien und den Verantwortungstransfer auf die operative Ebene begutachtet. So ist z.B. eine hohe Dezentralisierung der Unternehmensorganisation durch eine hohe Autonomie und Eigenverantwortung der Mitarbeiter sowie durch einen hohen Anteil ausgelagerter Prozesse und Kooperationen mit Externen gekennzeichnet.

Zuletzt werden die Auswirkungen des betrachteten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf die *Agilität* des Unternehmens bewertet. Darunter wird die Eigenschaft eines Unternehmens verstanden, sich an neue und unbekannte Bedingungen des Unternehmensumfelds anzupassen. Als Faktoren spielen die a) Begünstigung von Kundenorientierung und Partizipation in dynamischen Projekten sowie die b) Transparenz von Projekten eine Rolle [NAH13, S. 676ff.]. Darüber hinaus werden die c) Begünstigung des Aufbrechens von Bereichsdenken und die d) Dezentralisierung von Entscheidungsfindungen berücksichtigt. So führt z.B. eine starke dezentrale Entscheidungsfindung zu höherer Eigenverantwortung, Engagement und Enthusiasmus bei den Handlungspersonen.

Innerhalb der Dimension Technik stehen acht Kriterien mit insgesamt 28 Bewertungsfaktoren zur Verfügung. Im Gegensatz zu den Dimensionen Mensch und Organisation werden hier nicht die Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf die jeweiligen Kriterien bewertet. Vielmehr geben die Kriterien der Dimension Technik eine Hilfestellung bei der Bewertung der Leistungsfähigkeit der dem Szenario zu Grunde liegenden Technologie.

Dabei wird zunächst die *Kompatibilität* betrachtet. Darunter werden die Kopplungsmöglichkeiten bzw. die Anbindungsmöglichkeiten einer Technologie an externe Systeme verstanden (z.B. Datenanbindung über Bluetooth, TCP-IP). Dazu wird die Interoperabilität des Systems sowohl mit a) mobilen als auch mit b) stationären Geräten bewertet. Darüber

hinaus wird bewertet, welche c) Services (z.B. situations-, zeit- oder ortsbezogene Services) die Technologie bietet, die dem Szenario zu Grunde liegt.

Als weiteres Kriterium wird die *Interaktionsform* im Sinne der Mensch-Technik-Interaktion (vgl. [RMQ+17]) herangezogen. Dabei werden die Möglichkeiten verschiedener Ein- und Ausgabemodalitäten betrachtet. Konkret werden die Qualität der Interaktionsmöglichkeiten durch a) Information Tags (RFID/NFC), b) Visual codes (z.B. Bar- oder QR-Codes), c) Taktile Eingaben (z.B. Eingabe durch Berührung am Display oder Gebrauch von Touchpads), d) Textuelle Eingaben (z.B. über Tastatur oder Nummernpads), e) Akustische sowie f) Visuelle Interaktionen (z.B. Gesten- oder Gesichtserkennung) bewertet.

Darüber hinaus wird die *Flexibilität* der Technologie bewertet. Nach BYRD und TURNER ist die Flexibilität von IT-Systemen eine essentielle Voraussetzung für die schnelle Veränderung von Strukturen und für die effektive Implementierung neuer Technologien [BT01, S. 21ff.]. Zur Quantifizierung der Flexibilität hat DUNCAN drei Faktoren identifiziert [Dun95, S. 37ff.]. Zum ersten die a) Konnektivität, welche sich auf die Fähigkeit der Technologie bezieht, mit anderen Systemen zu kommunizieren. Zum zweiten die b) Kompatibilität des Systems. Darunter wird die Fähigkeit des Systems verstanden, jede Art von Information über jede Technologie hinweg auszutauschen. Zuletzt wird die c) Modularität bewertet, welche sich auf die Fähigkeit des Systems und seiner Komponenten bezieht, neu konfiguriert zu werden.

Als weiteres Bewertungskriterium wird die *Komplexität* betrachtet. Dazu findet sich in der Literatur keine einheitliche Definition [Bro18]. Vor diesem Hintergrund wird zum einen die a) (Inter-)Konnektivität der Komponenten [Dol08, S. 263] als Bewertungsfaktor berücksichtigt. Dabei wird der Vernetzungsgrad des technischen (Infrastruktur-)Systems herangezogen. Zudem wird der b) Grad der aktiven Teilnahme der Handlungspersonen (vgl. [RS02]) sowie die c) Spezialisierung der Technologie [Dol08, S. 263] betrachtet.

Des Weiteren wird der *Invest* als Bewertungskriterium berücksichtigt. Dabei werden die a) initialen Anschaffungskosten betrachtet. Darunter können z.B. Hardwarekosten oder Lizenzgebühren fallen. Zusätzlich wird der *Installationsaufwand* bewertet. Dies bezieht sich auf die a) Personal- und Hardwareressourcen, welche zur Implementierung einer Technologie benötigt werden. In Anlehnung an GRUBER ET AL. lassen sich vier Stufen des Aufwands der Technologie-Implementierung unterscheiden: 1) es werden keine oder lediglich einfache Hilfsmittel benötigt, 2) es ist die Installation und einfache Auslegung eines zusätzlichen neuen Geräts erforderlich, 3) eine aufwendige Auslegung neuer Systemkomponenten ist erforderlich sowie 4) eine aufwendige Neuplanung eines Systems ist notwendig [GRP+13]. Darüber hinaus werden die *Betriebskosten* betrachtet. Darunter fallen a) Gemeinkosten sowie Kosten für b) Systemwartung, c) Upgrades, d) Systemmanagement und für e) Training und Weiterbildung.

Zuletzt werden *Safety & Security* bewertet. Unter dem Begriff Safety wird dabei der Schutz der Umgebung und der Handlungspersonen vor einem Objekt verstanden. Bezogen auf Technologien fallen hierunter z.B. Aspekte der Arbeitssicherheit, der Schutz vor

elektrostatischer Entladung oder die Kennzeichnung potentiell gefährlicher Elemente (vgl. [Han09, S. 1069ff.]). Der Begriff Security beschreibt hingegen den Schutz eines Systems und den darin vorhandenen Daten vor Fremdeinwirkungen durch Verschlüsselung von Daten oder komplexe Zugangs- und Anmelde-möglichkeiten. In der Literatur finden sich eine Vielzahl von Methoden zur quantitativen Messung der Security (vgl. [DDK96, S. 177ff.]). Da diese in der Regel ein tiefes Verständnis und Fachwissen voraussetzen, sind sie an dieser Stelle als Hilfsmittel ungeeignet. Daher werden in Anlehnung an SALEH und ALFANTOOKH die a) Notwendigkeit von Schulungen und Sicherheitsunterweisungen, die b) Notwendigkeit einer konstanten Überwachung und Kontrolle der Arbeitsumgebung sowie die c) Notwendigkeit der Implementierung von Warnhinweisen und Schutzmechanismen als Faktoren bewertet [SA11, S. 107ff.]. Diese Kriterien werden für die Bewertung der Safety des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios analog verwendet.

4.4.5 Phase 4: Identifikation neuer Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

Die vierte Phase wird optional durchlaufen. Voraussetzung ist, dass im bisherigen Verlauf keine geeigneten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien identifiziert werden konnten. Vor diesem Hintergrund ist das Ziel der vierten Phase, neue Anwendungsszenarien zu identifizieren. Das entsprechende Vorgehen ist in Bild 4-20 dargestellt.

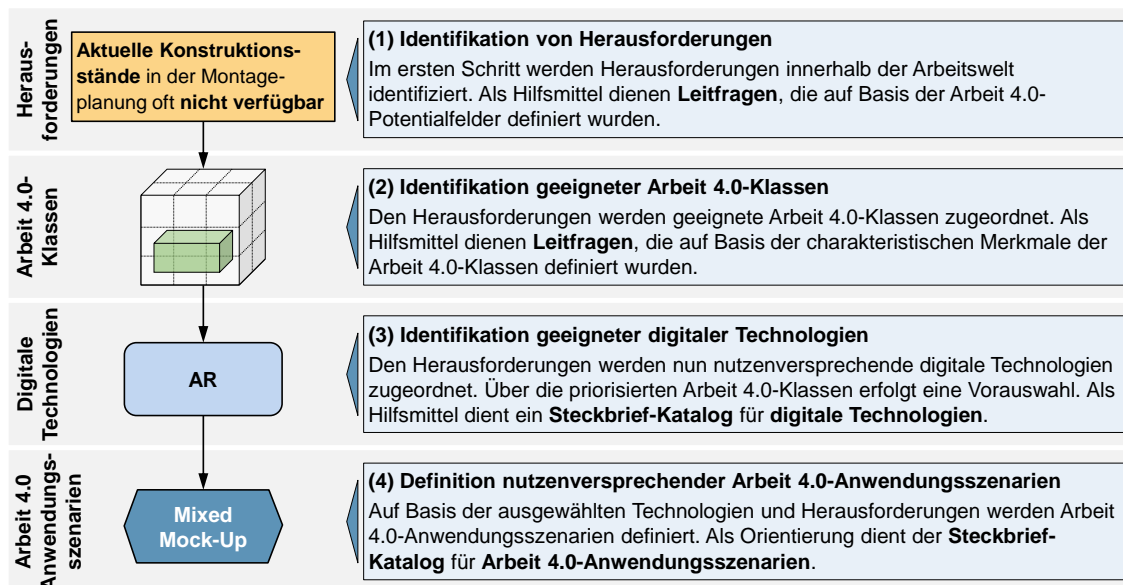


Bild 4-20: Vorgehen zur Identifikation neuer Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

Das Vorgehen und dessen Hilfsmittel dienen lediglich der Unterstützung der Kreativität bei der Identifikation neuer Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Eine tatsächliche Findung neuer Anwendungsszenarien kann nicht garantiert werden. Die folgenden Phasen werden dabei durchlaufen:

(1) Identifikation von Herausforderungen: Es wird auf die in der ersten Phase der Auswahl-systematik identifizierten Herausforderungen (vgl. Abschnitt 4.4.2) zurückgegriffen.

Es werden diejenigen Herausforderungen weiterverwendet, zu denen kein geeignetes Arbeit 4.0-Anwendungsszenario gefunden werden konnte.

(2) Identifikation geeigneter Arbeit 4.0-Klassen: Auf Basis der ausgewählten Herausforderung werden zunächst geeignete Arbeit 4.0-Klassen identifiziert. Dazu helfen Leitfragen, die auf Basis der Charakteristika der Arbeit 4.0-Klassen abgeleitet wurden. Diese sind exemplarisch für die Klasse *Smart Aide* in Bild 4-21 dargestellt.

0: keine geeignete Klasse | 4: stark geeignete Klasse

Arbeit 4.0-Klassen	Digital Supporter	Digital Manager of Action	Smart Aide	Smart Decider	Intelligent Processes	Digital Processes	Agile Ress. Mngmt.	Agile Value Systems
Herausforderung								
Aktuelle Konstruktionsstände in der Montageplanung oft nicht verfügbar	1	2	3,5	1	1,5	0	0	0

	0	1	2	3	4
▪ Werden im Kontext der Herausforderung kognitive Aufgaben ausgeführt?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
▪ Würde es helfen, bedarfsgerechte Zusatzinformationen zur Verfügung zu stellen?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

0: Nein | 1: Geringfügig | 2: Mittel | 3: Stark | 4: Sehr stark

Bild 4-21: Leitfragen zur Identifikation geeigneter Arbeit 4.0-Klassen am Beispiel *Smart Aide*

Dies wird am Beispiel der Herausforderung *Prototypen nach aktuellem Konstruktionsstand in der Montageplanung oft nicht verfügbar* verdeutlicht. Für diese Herausforderung werden die jeweiligen Leitfragen beantwortet. Diese lauten für die Klasse *Smart Aide* *Werden im Kontext der Herausforderung kognitive Aufgaben ausgeführt?* sowie *Würde es helfen, bedarfsgerechte Zusatzinformationen zur Verfügung zu stellen?* Die Fragen werden auf einer Skala von 0 (*Nein*) bis 4 (*Sehr stark*) bewertet. Bei der beispielhaften Herausforderung werden die Fragen, wie in Bild 4-21 dargestellt, mit 3 und 4 bewertet. Durch die gleiche Gewichtung der Fragen wird die Klasse mit 3,5 bewertet, d.h. sie ist grundsätzlich sehr gut geeignet, die betrachtete Herausforderung zu adressieren. Aus den Bewertungen ergibt sich eine Priorisierung der Arbeit 4.0-Klassen. Die Leitfragen der weiteren Arbeit 4.0-Klassen sind im Anhang A2.4 dargestellt.

(3) Identifikation vielversprechender digitaler Technologien: Auf Grundlage der priorisierten Arbeit 4.0-Klassen können vielversprechende digitale Technologien zugeordnet werden. Als Hilfsmittel stehen dafür Technologiesteckbriefe bereit. Diese können dem Anhang A2.5 entnommen werden. Bild 4-22 zeigt exemplarisch den Steckbrief für die Technologien Augmented/Virtual Reality.

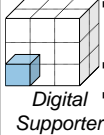
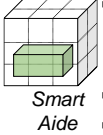

Augmented/Virtual Reality		
Kurzbeschreibung Augmented Reality erweitert die Realität durch lagerichtige Einblendung kontextspezifischer Informationen in Form von 3D-Grafiken. Bei der Virtual Reality handelt es sich um eine computergenerierte künstliche Realität.	Technologien/ Methoden <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mobile Devices ▪ Ident. Technology ▪ Gestenerkennung ▪ Displaysystem 	Reifegrad <div>Schrittmacher-technologie</div> <div>Schlüssel-technologie</div> <div>Basis-technologie</div>
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div>  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Digitale Arbeitsanleitung ▪ Pick by Vision ▪ Remote Expert </div> <div>  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Intelligente Betriebsdaten-visualisierung ▪ Mixed Mock-Up ▪ Virtuelle Konstruktion </div> <div>  </div>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> ⊕ Nutzerindividuelle Informationen ⊕ Erweiterung des Leistungsangebots um neuartige Services/Ermöglichung neuer Arbeitsweisen ⊕ Durchführung bisher nicht oder nur schwer möglicher Aufgaben 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> ⊖ Defizite bei Displaysystemen (Helligkeit, Überlagerung) ⊖ Defizite beim Tracking (Genauigkeit, eindeutige Identifikation) ⊖ Technologie noch nicht ausgereift (Sicherheitsaspekte) 	

Bild 4-22: Technologiesteckbriefe zur Identifikation geeigneter digitaler Technologien

Besonderes Merkmal der Steckbriefe ist das Feld *Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien*. Dort wird dargestellt, in welchen Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien die jeweiligen digitalen Technologien besonders häufig eingesetzt werden. Auf Basis der identifizierten, geeigneten Arbeit 4.0-Klassen kann der Steckbrief-Katalog nach nutzenversprechenden digitalen Technologien analysiert werden. Ist z.B. die Klasse *Smart Aide* als geeignet identifiziert worden, so werden alle digitalen Technologien aus dem Steckbrief dahingehend überprüft, ob sie in dieser Klasse typischerweise eingesetzt werden. Ist dies der Fall, so wird überprüft, ob die jeweilige Technologie die betrachtete Herausforderung unterstützen kann.

(4) Definition nutzenversprechender Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien: Mit Hilfe der identifizierten nutzenversprechenden digitalen Technologien wird nun versucht, Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien zu identifizieren. In Anlehnung an die Notation eines Szenarios *Digitale Technologie zur Unterstützung einer Herausforderung in der Arbeitswelt* wird dabei geprüft, ob die jeweiligen Technologien die betrachtete Herausforderung unterstützen können. Ist dies der Fall, so kann von einem neuen Arbeit 4.0-Anwendungsszenario gesprochen werden.

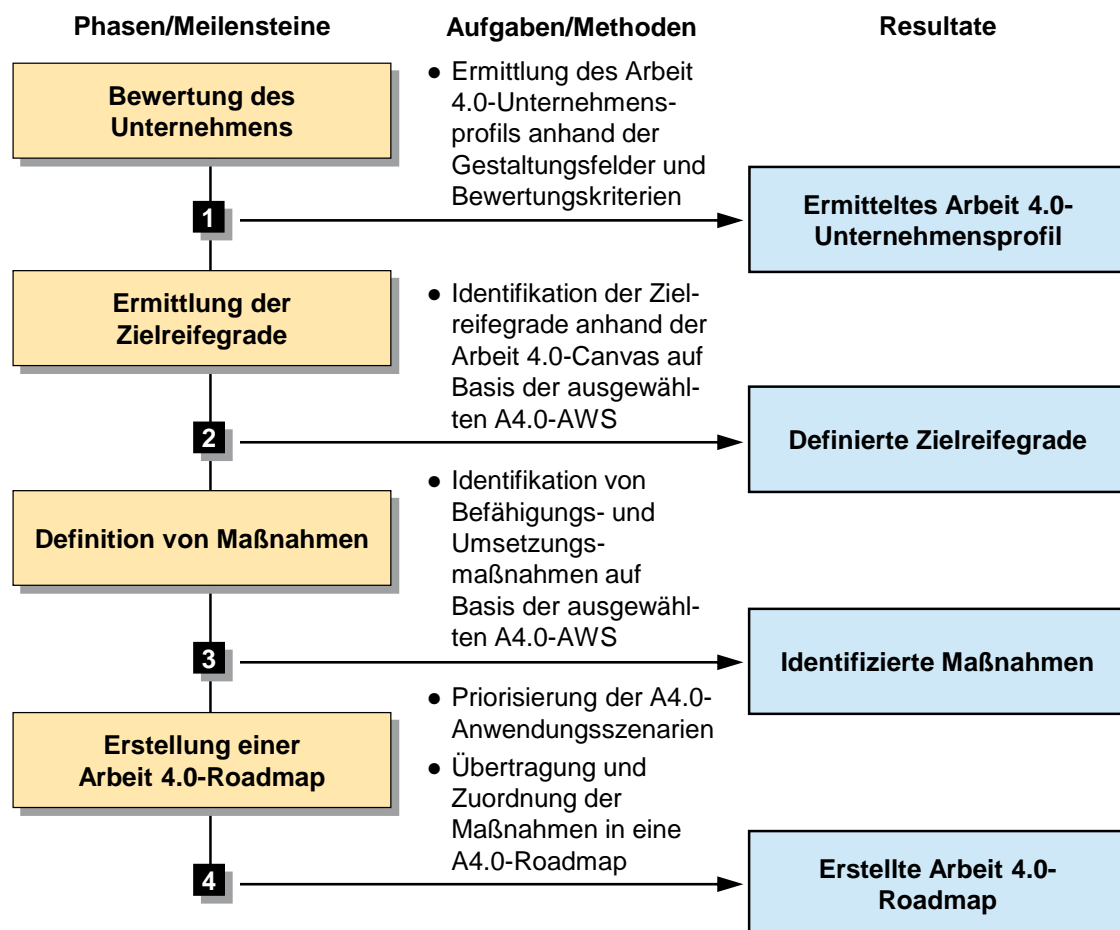
Die vorgestellten Hilfsmittel dieser Phase bieten eine Hilfestellung. Es bedarf der Kreativität der Anwender der Hilfsmittel, um zu nutzenstiftenden Lösungen zu kommen.

4.5 Planungssystematik

Die Planungssystematik unterstützt produzierende Unternehmen bei der nachhaltigen Einführung der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Neben dem Vorgehensmodell werden dabei für jede Phase dedizierte Hilfsmittel zur Verfügung gestellt. Im Folgenden werden das Vorgehensmodell und die Hilfsmittel zusammen vorgestellt. Die Ergebnisse der Auswahlssystematik (ausgewählte Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien) sind dabei der zentrale Input für die Planungssystematik.

4.5.1 Das Vorgehensmodell und die Hilfsmittel in der Übersicht

Das Vorgehensmodell besteht aus vier Phasen und ist in Bild 4-23 dargestellt. Ziel ist eine Arbeit 4.0-Roadmap, welche Maßnahmen zur nachhaltigen Einführung der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien enthält.



A4.0-AWS: Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

Bild 4-23: Das Vorgehensmodell der Planungssystematik

Phase 1 – Bewertung des Unternehmens: Gegenstand der ersten Phase ist die Ermittlung des Arbeit 4.0-Reifegrads des betrachteten Unternehmens. Dazu werden auf Basis

der in Kapitel 4.4 vorgestellten Gestaltungsfelder und Kriterien die jeweiligen Reifegrade des Unternehmens bewertet.

Phase 2 – Ermittlung der Zielreifegrade: Auf Grundlage der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien (Ergebnis der Auswahlssystematik) werden die Zielreifegrade in jedem Gestaltungsfeld ermittelt. Dazu steht als Hilfsmittel eine Arbeit 4.0-Canvas zur Ermittlung der Zielreifegrade zur Verfügung (vgl. Bild 4-25).

Phase 3 – Definition von Maßnahmen: Ziel der dritten Phase ist es, konkrete Maßnahmen zur nachhaltigen Einführung der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien zu finden. Dazu werden zunächst die Differenzen zwischen Ist- und Zielreifegraden in den jeweiligen Gestaltungsfeldern ermittelt. Auf dieser Basis können sog. Befähigungsmaßnahmen (BM) identifiziert werden. Zudem werden konkrete Umsetzungsmaßnahmen ermittelt, welche spezifisch für jedes ausgewählte Anwendungsszenario (Ergebnis der Auswahlssystematik) sind.

Phase 4 – Erstellung einer Arbeit 4.0-Roadmap: Die identifizierten Befähigungs- und Umsetzungsmaßnahmen werden in Form einer Roadmap visualisiert. Dabei liegt ein wesentlicher Fokus auf der Bestimmung der Rangfolge der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien (Ergebnis der Auswahlssystematik) und der damit zusammenhängenden Umsetzungsmaßnahmen.

4.5.2 Phasen 1 & 2: Bewertung des Unternehmens und Ermittlung der Zielreifegrade

In der ersten Phase wird der Arbeit 4.0-Reifegrad des betrachteten Unternehmens identifiziert. Dabei werden die Gestaltungsfelder unabhängig voneinander analysiert. In Workshops werden die jeweiligen Kriterien bewertet. Als Hilfsmittel stehen die Beschreibungen der Kriterien und Reifegrade zur Verfügung (vgl. Abschnitt 4.3.2). Die Bewertung der Leistungsfähigkeit eines Unternehmens in einem Gestaltungsfeld setzt sich aus dem arithmetischen Mittel der Bewertung der Kriterien zusammen. Bei Bedarf können die einzelnen Kriterien gewichtet werden. Die Berechnung der Arbeit 4.0-Reife in einem Gestaltungsfeld zeigt Gleichung 4-1:

$$R_G = \sum_i^4 g_i * K_{i_i}, \text{ mit } \sum_i^4 g_i = 1$$

Gleichung 4-1: Berechnung der Arbeit 4.0-Reife in einem Gestaltungsfeld

R_G : Arbeit 4.0-Reifegrad in einem Gestaltungsfeld

g_i : Gewichtung des Kriteriums i

K_{i_i} : Ist-Bewertung des Kriteriums i

Resultat dieser Phase ist ein ermitteltes Arbeit 4.0-Unternehmensprofil, welches sich aus den Ist-Reifegraden der 12 Gestaltungsfelder zusammensetzt. Ein solches ist exemplarisch in Bild 4-24 dargestellt.

In der zweiten Phase werden die Zielreifegrade ermittelt. Dazu wird zunächst für jedes der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien der erforderliche Zielreifegrad in jedem Gestaltungsfeld ermittelt. Der Zielreifegrad entspricht dabei den Anforderungen, welche die jeweiligen Anwendungsszenarien an die Leistungsfähigkeit der Organisation stellen. Die Gesamt-Zielreifegrade ergeben sich aus dem gewichteten Durchschnitt über alle ausgewählten Anwendungsszenarien. Die Gewichtung der Priorität der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien kann sich an der Bewertung orientieren, die im Zuge der Auswahlmethodik durchgeführt wurde (vgl. Abschnitt 4.4.4). Darüber hinaus kann sich die Priorität an der Technologiereife des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios orientieren. Je höher die Bewertung und je reifer die zu Grunde liegende Technologie, desto höher ist die Priorität zu bewerten. Bei der Bestimmung der Gesamt-Zielreifegrade werden bewusst nicht die höchsten Zielreifegrade ausgewählt, um falsche Priorisierungen zu vermeiden. Die Bewertungskriterien innerhalb der Gestaltungsfelder werden dabei nach der bereits in Phase 1 vorgenommenen Gewichtung priorisiert. Gleichung 4-2 zeigt die Berechnung des Gesamt-Zielreifegrads eines Gestaltungsfelds:

$$R_Z = \sum_j^m (g_{AWS_j} * \sum_i^4 g_i * K_{Z_{ji}}), \text{ mit } \sum_i^4 g_i = 1, \sum_j^m g_{AWS_j} = 1$$

Gleichung 4-2: Berechnung des Zielreifegrades eines Gestaltungsfelds

R_Z : Zielreifegrad eines Gestaltungsfelds

g_{AWS_j} : Gewichtung eines Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios (AWS) j

g_i : Gewichtung des Kriteriums i

$K_{Z_{ji}}$: Soll-Bewertung des Kriteriums i für das AWS j

Bild 4-24 zeigt die exemplarische Gegenüberstellung eines Arbeit 4.0-Unternehmensprofils und der Zielreifegrade. Eine solche Gegenüberstellung verdeutlicht den Handlungsbedarf zur Einführung der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Auf dieser Grundlage können dann in der dritten Phase die Maßnahmen abgeleitet werden (vgl. Abschnitt 4.5.3). Die Definition der Zielreifegrade erfolgt in interdisziplinären Workshops. Als Hilfsmittel steht eine Arbeit 4.0-Canvas zur Ermittlung der Zielreifegrade zur Verfügung. Diese zeigt Bild 4-25 in der Übersicht. Jedes Bewertungskriterium wurde in eine Leitfrage überführt, welche die Identifikation der jeweils notwendigen Reifegradstufen unterstützt. In Summe stehen so 48 Leitfragen zur Verfügung. Z.B. lautet für das Kriterium *Umgang mit rechtlichen Unsicherheiten* im Gestaltungsfeld *Rechtliche Rahmenbedingungen* die Leitfrage *Gibt es rechtliche Unklarheiten?* Die Fragen sind dabei jeweils direkt auf das ausgewählte Arbeit 4.0-Anwendungsszenario bezogen. In diesem Beispiel gilt: Je größer die rechtlichen Unsicherheiten, die mit dem betrachteten Arbeit 4.0-

Anwendungsszenario einhergehen, desto höher sind die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Organisation in dem Kriterium.

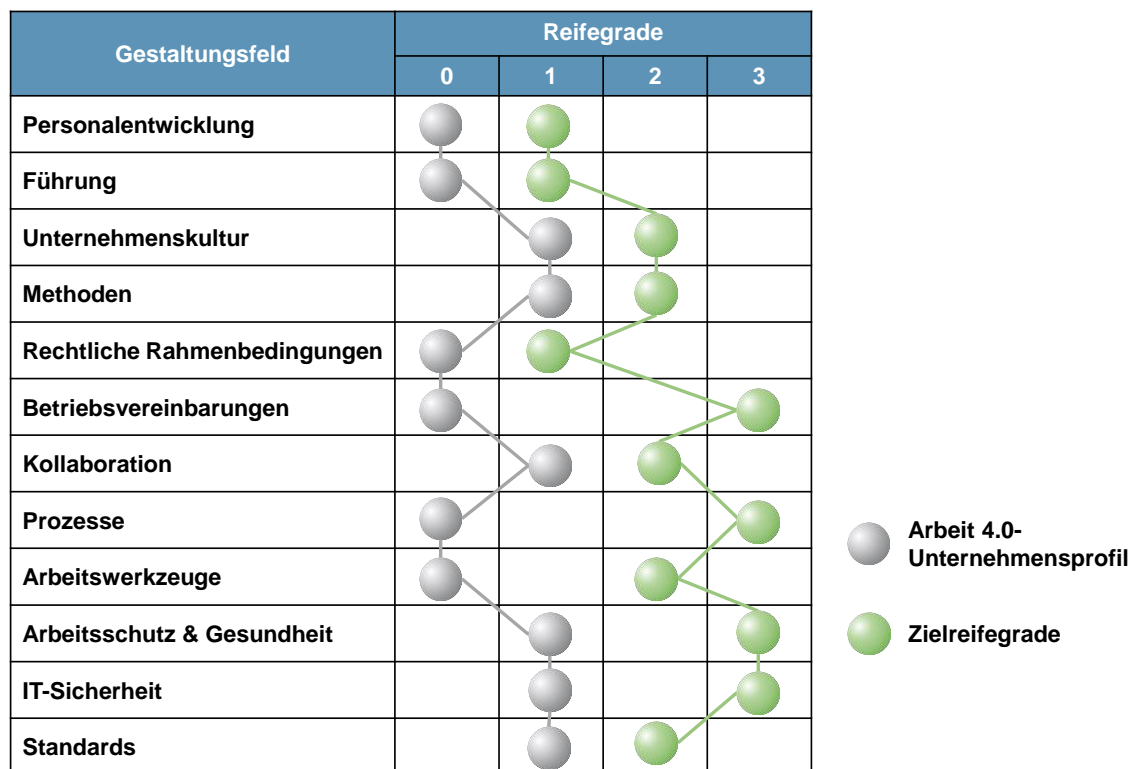


Bild 4-24: Exemplarische Darstellung der Gegenüberstellung eines Arbeit 4.0-Unternehmensprofils und der Zielreifegrade

Entscheidender Erfolgsfaktor zur Ermittlung der Zielreifegrade ist eine sinnvolle Zusammensetzung der Workshops. Diese kann in Abhängigkeit der Bewertung der Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien erfolgen, welche im Zuge der Auswahlssystematik (vgl. Abschnitt 4.4.4) vorgenommen wurde. Charakteristische Ausprägungen der Bewertung geben einen Hinweis darauf, in welchen Gestaltungsfeldern ein besonderer Handlungsbedarf besteht. Je höher der Handlungsbedarf, desto höher sind die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Organisation. Dementsprechend gilt es, dem identifizierten Handlungsbedarf entsprechende Fachexperten als Workshop-Teilnehmer auszuwählen. Ist z.B. das betrachtete Arbeit 4.0-Anwendungsszenario in den technischen Kriterien schlecht bewertet, so kann dies ein Indikator für hohen Handlungsbedarf in den Gestaltungsfeldern IT-Sicherheit, Standards, Arbeitsmittel oder rechtliche Rahmenbedingungen sein. Folglich sollten Experten aus den Bereichen IT und Labor Relations an den Workshops teilnehmen, um eine fundierte Bestimmung der Zielreifegrade in den entsprechenden Gestaltungsfeldern zu ermöglichen. Im Fall einer schlechten Bewertung eines Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios im Kriterium Qualifizierungsbedarf, deutet dies auf einen hohen Handlungsbedarf im Gestaltungsfeld Personalentwicklung hin. Dementsprechend sollten HR Business Partner sowie Vertreter aus den Bereichen Recruiting oder Personalentwicklung an Workshops zur Bestimmung der Zielreifegrade beteiligt sein.

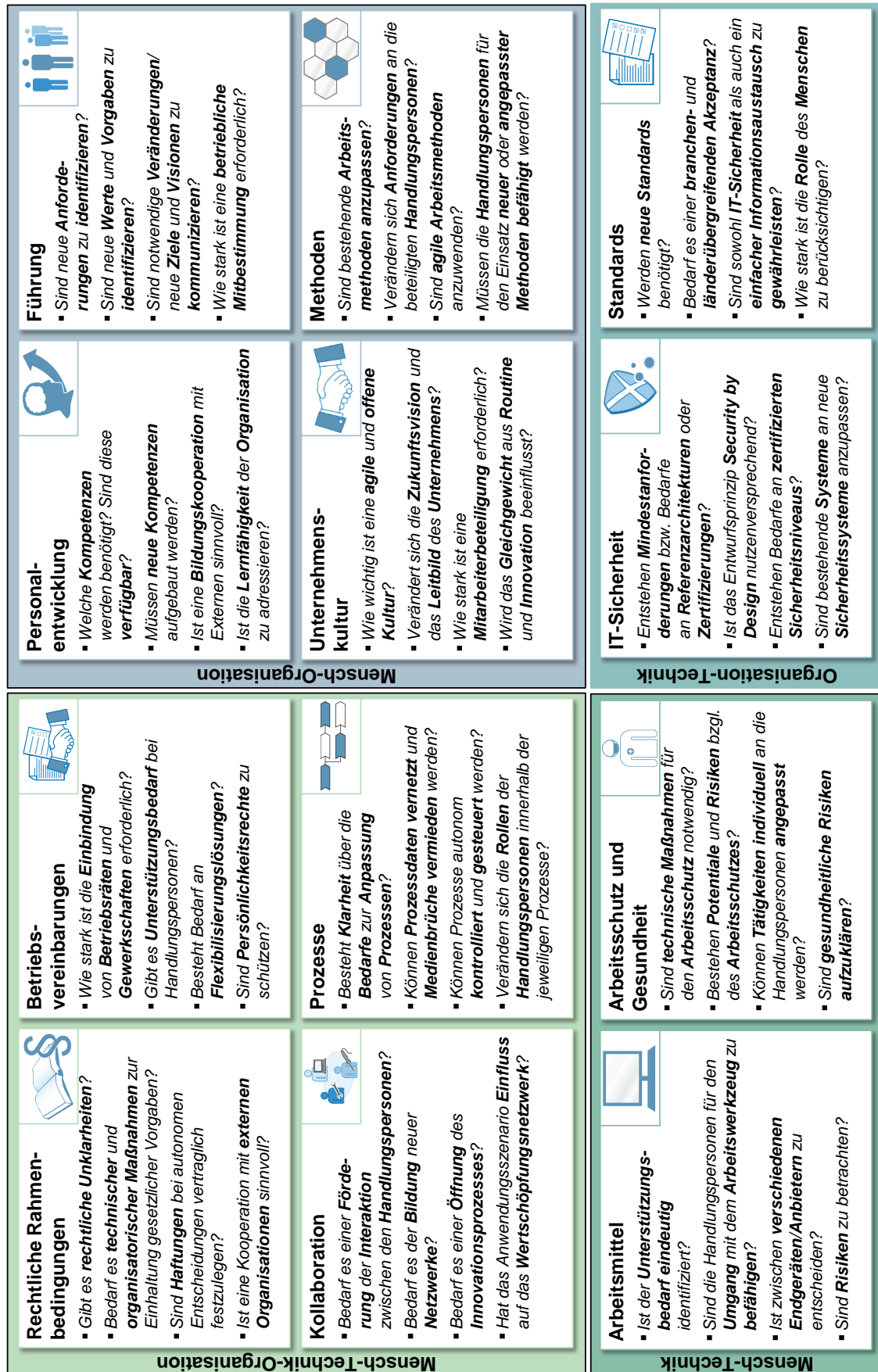


Bild 4-25: Arbeit 4.0-Canvas zur Ermittlung der Zielreifegrade

Das Bild 4-26 zeigt in der Übersicht, wie die Zusammensetzung der Workshops zur Identifikation der Zielreifegrade, auf Basis der Bewertung der Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien, vorgenommen werden kann.

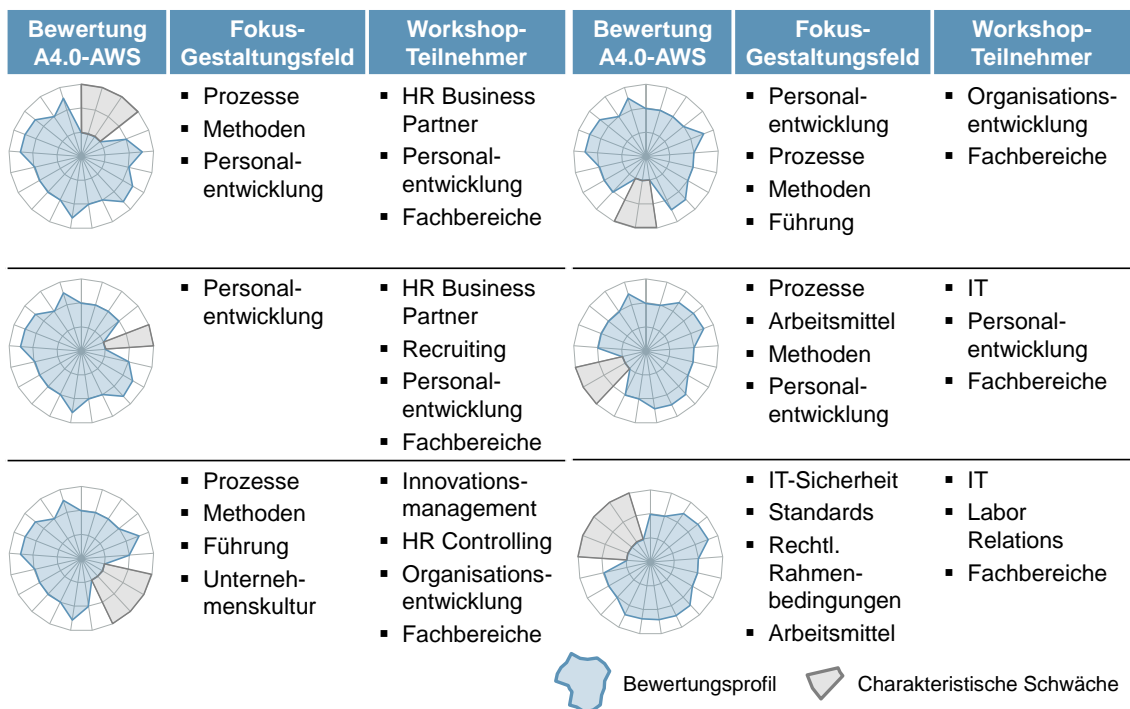


Bild 4-26: Charakteristische Bewertungsprofile als Basis der Zusammensetzung der Workshops zur Identifikation der Zielreifegrade

Dabei erfolgt eine Empfehlung für bestimmte Experten nur im Fall von ausgeprägten Schwachstellen. Im Regelfall wird eine Zusammensetzung aus den am Arbeit 4.0-Anwendungsszenario beteiligten Fachbereichen, Arbeitnehmervertretern, Vertretern aus dem Personalbereich sowie Digitalisierungs-Beauftragten empfohlen.

Insgesamt sind sechs charakteristische Bewertungsprofile identifiziert worden. Die jeweiligen Schwächen sind in Bild 4-26 in grau gekennzeichnet. So zeigt z.B. das oben links dargestellte Bewertungs-Profil ein Arbeit 4.0-Anwendungsszenario, welches negativ in den Kriterien Qualifizierungsbedarf, Handlungsspielraum, soziale Interaktion und Ganzheitlichkeit der Aufgabe bewertet wird. Dies legt einen hohen Handlungsbedarf in den Gestaltungsfeldern Prozesse, Methoden sowie Personalentwicklung nahe. Zur Identifikation der Zielreifegrade werden HR Business Partner, Personalentwicklung und die relevanten Fachbereiche als Teilnehmer entsprechender Workshops empfohlen.

Das zentrale Resultat dieser Phase ist das Soll-Profil der Arbeit 4.0-Reife des Unternehmens. Es setzt sich aus den Zielreifegraden der Gestaltungsfelder zusammen, die wiederum aus den Anforderungen der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien resultieren. Als Hilfsmittel stehen die Arbeit 4.0-Canvas zur Ermittlung der Zielreifegrade (vgl. Bild 4-25) sowie eine Empfehlung zur Zusammensetzung der Workshops zur Identifikation der Zielreifegrade (vgl. Bild 4-26) zur Verfügung.

4.5.3 Phase 3: Definition von Maßnahmen

Ziel dieser Phase sind identifizierte Maßnahmen, welche zur Einführung aller ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien erforderlich sind. Dabei werden zwei Arten von Maßnahmen unterschieden. Zum ersten gilt es sog. Befähigungsmaßnahmen zu identifizieren. Diese befähigen die Organisation zur Erreichung der angestrebten Zielreifegrade. Zum zweiten werden sog. Umsetzungsmaßnahmen unterschieden. Diese ergeben sich aus der Konkretisierung der Befähigungsmaßnahmen in Abhängigkeit spezifischer Anwendungsszenarien¹².

Zur Identifikation der Befähigungsmaßnahmen werden für jedes Gestaltungsfeld die notwendigen Reifegradsprünge ermittelt. Für jedes Kriterium ist zu überprüfen, ob es einer Befähigungsmaßnahme bedarf. Folglich können insgesamt 48 Befähigungsmaßnahmen identifiziert werden. Dies wird am Beispiel des Gestaltungsfelds Personalentwicklung verdeutlicht. Bild 4-27 zeigt die Grundidee in der Übersicht.

Für jedes der Kriterien wird der notwendige Reifegradsprung identifiziert. In dem dargestellten Beispiel ist innerhalb des Kriteriums Kompetenzanalyse ein Reifegradsprung von 0 auf 1 erforderlich. D.h. derzeit findet in dem betrachteten Unternehmen keine Kompetenzanalyse statt. Vor dem Hintergrund der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien müssen allerdings zumindest die bereits im Unternehmen vorhandenen Kompetenzen rudimentär erfasst und klassifiziert werden. Folglich bedarf es der Befähigungsmaßnahme *Erfassung und Klassifizierung vorhandener Kompetenzen*. Analog dazu sind für alle 48 Kriterien die jeweiligen grundlegenden Maßnahmen zu identifizieren, die als Befähigungsmaßnahmen bezeichnet werden. In Abhängigkeit der mit der Maßnahme angestrebten Reifegradsprünge wird dieser Maßnahme eine sog. Prioritätszahl zugeordnet. Wird durch die Befähigungsmaßnahme ein einzelner Reifegradsprung angestrebt, so wird eine Prioritätszahl von 1 zugeordnet. Bei zwei angestrebten Reifegradsprüngen wird eine 1,5 und bei drei Reifegradsprüngen ein Wert von 2 zugeordnet (vgl. Bild 4-27). Die Prioritätszahl ist eine wichtige Input-Größe für Phase 4 (vgl. Abschnitt 4.5.4).

Zur Identifikation der Umsetzungsmaßnahmen werden die Befähigungsmaßnahmen konkretisiert. Dazu wird für jedes Arbeit 4.0-Anwendungsszenario überprüft, ob die jeweiligen Befähigungsmaßnahmen relevant sind. Ist dies der Fall, wird die Befähigungsmaßnahme in Form einer Umsetzungsmaßnahme konkretisiert. So wird z.B. die Befähigungsmaßnahme *Erfassung und Klassifizierung vorhandener Kompetenzen* für das Arbeit 4.0-Anwendungsszenario *Prädiktive Wartung* (vgl. Bild A-22) durch die Umsetzungsmaßnahme *Erfassung und Klassifizierung vorhandener Kompetenzen für die prädiktive Wartung* konkretisiert. Die Identifikation von Umsetzungsmaßnahmen findet dabei in interdisziplinären Workshops statt, die identisch zu den Workshops in Phase 2 zusammengesetzt werden (vgl. Abschnitt 4.5.2).

¹² Diese Unterscheidung verdeutlicht Bild 4-29.

Gestaltungsfeld		Reifegrade			
		0	1	2	3
Personalentwicklung					
Führung					
Kriterien	IST	SOLL	Reifegrad	Befähigungs- maßnahme	P
Kompetenzanalyse <i>Identifikation vorhandener und benötigter Kompetenzen</i>	Keine Analyse Es wird keine Kompetenzanalyse durchgeführt.	Rudimentäre Analyse Vorhandene Kompetenzen werden erfasst, benötigte Kompetenzen rudimentär analysiert.	1	Kompetenzanalyse Erfassung und Klassifizierung vorhandener Kompetenzen	1
Weiterbildungskonzepte/-formate <i>Aufbau benötigter Kompetenzen</i>	Kein Kompetenzaufbau Es sind keine Weiterbildungskonzepte vorhanden.	Rudimentärer Kompetenzaufbau Es sind rudimentäre Weiterbildungskonzepte vorhanden.	1	Weiterbildungskonzepte/-formate Erarbeitung rudimentärer Weiterbildungskonzepte	1
Kooperation <i>Aufbau und Erhalt von nutzenstiftenden Kooperationen mit externen Partnern und Einrichtungen</i>	Keine Kooperation Es sind keine Kooperationen vorhanden.	Rudimentäre Kooperation Es sind lose und unregelmäßige Kooperationen ohne klares Konzept vorhanden.	1	Kooperation Etablierung von rudimentären Kooperationen mit externen Einrichtungen	1
Organisationales Lernen <i>Aufbau und Erhalt von Strukturen der organisationalen Lernfähigkeit</i>	Keine Strukturen Aspekte der organisationalen Lernfähigkeit werden nicht betrachtet.	Rudimentäre Strukturen Aspekte der organisationalen Lernfähigkeit werden rudimentär betrachtet.	1	Organisationales Lernen Erhöhung der organisationalen Lernfähigkeit	1

Bild 4-27: Ableitung von Befähigungsmaßnahmen

Zentrales Resultat dieser Phase sind identifizierte Befähigungs- und Umsetzungsmaßnahmen. Dabei können höchstens 48 Befähigungsmaßnahmen identifiziert werden. Als Hilfsmittel stehen die Tabellen zur Beschreibung der Kriterien und Reifegradstufen der Gestaltungsfelder (vgl. Abschnitt 4.3.2) zur Verfügung.

4.5.4 Phase 4: Erstellung einer Arbeit 4.0-Roadmap

Ziel dieser Phase ist eine Arbeit 4.0-Roadmap. Diese enthält alle Maßnahmen in definierter Reihenfolge, die für die nachhaltige Einführung der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien notwendig sind. Dazu werden zwei Aktivitäten durchgeführt. Zum einen wird die Rangfolge (d.h. die Reihenfolge der Einführung) der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien bestimmt. Diese steht im Fokus dieser Phase. Zum anderen ist die

Visualisierung der Maßnahmen und die Zuordnung zu den sortierten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien in Form einer Arbeit 4.0-Roadmap Bestandteil dieser Phase.

Die Rangfolge bestimmt sich zum einen aus der Technologiereife der den Anwendungsszenarien zu Grunde liegenden Technologien. Zum anderen wird sie aus der sog. Prioritätszahl abgeleitet. Diese Kennzahl berücksichtigt sowohl die Anzahl der für die jeweiligen Anwendungsszenarien erforderlichen Befähigungsmaßnahmen als auch deren Relevanz.

Bei der Bestimmung der Technologiereife wird auf das S-Kurven-Konzept nach McKinsey zurückgegriffen, wonach eine Technologie die Phasen Schrittmacher-, Schlüssel- und Basistechnologie durchläuft [GP14, S. 132f.]. Die Phasen geben Auskunft über die Reife der Technologie für die industrielle Anwendung (vgl. Abschnitt 2.3.4). Durch die Bestimmung der Technologiereife werden die Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien in drei Kategorien unterteilt. Es werden die aus technischer Sicht kurzfristig (Basistechnologie), mittelfristig (Schlüsseltechnologie) und langfristig (Schrittmachertechnologie) realisierbaren Anwendungsszenarien unterschieden.

Innerhalb dieser drei Kategorien wird die Rangfolge jeweils durch die Prioritätszahl festgelegt. Grundlage dafür ist eine Prioritätsmatrix, welche in Bild 4-28 dargestellt ist.

Prioritätsmatrix	Arbeit 4.0-AWS	Die Befähigungsmaßnahme 1 wird für das A4.0-AWS 3 in Form einer Umsetzungsmaßnahme konkretisiert.					A4.0-AWS j	Priorität (P _{BM})	gew. SUMME (S _{BM})	PRZ _{BM}
		A4.0-AWS 1	A4.0-AWS 2	A4.0-AWS 3	A4.0-AWS 4	A4.0-AWS 5				
Fragestellung: "Ist die Befähigungsmaßnahme i (Zeile) relevant für das Arbeit 4.0-Anwendungsszenario (A4.0-AWS) j (Spalte)?"										
0: nein 1: ja										
Befähigungsmaßnahmen		1	2	3	4	5	j			
Befähigungsmaßnahme 1	1	0	1	1	0	0	0	1,0	2,0	0,11
Befähigungsmaßnahme 2	2	0	0	1	0	0	0	1,0	1,0	0,06
Befähigungsmaßnahme 3	3	1	1	0	1	0	0	1,5	4,5	0,26
Befähigungsmaßnahme 4	4	0	0	1	0	0	0	2,0	2,0	0,11
Befähigungsmaßnahme 5	5	1	0	1	0	1	0	2,0	6,0	0,34
Befähigungsmaßnahme 48	48	0	0	0	0	1	1	1,0	2,0	0,11
gew. Summe (S _{AWS})	2	0,6	0,4	0,6	0,3	0,5	0,1			
PRZ _{AWS}		0,25	0,15	0,26	0,11	0,19	0,05			

P_{BM}: Priorität Befähigungsmaßnahme | S_{BM}: gewichtete Summe einer Befähigungsmaßnahme |
 PRZ_{BM}: Prioritätszahl der Befähigungsmaßnahme | S_{AWS}: Summe der Prioritätszahlen der für das A4.0-AWS relevanten BM | PRZ_{AWS}: Prioritätszahl eines A4.0-AWS

Bild 4-28: Prioritätsmatrix zur Bestimmung der Rangfolge der Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien (exemplarisch)

Dabei werden zunächst die identifizierten Befähigungsmaßnahmen in die Zeilen eingetragen. In die Spalten werden die ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien übertragen. In der Prioritätsmatrix wird bewertet, ob die Befähigungsmaßnahme i (Zeile) relevant für das Arbeit 4.0-Anwendungsszenario j (Spalte) ist, d.h. ob die Befähigungsmaßnahme in Form einer Umsetzungsmaßnahme zu konkretisieren ist. Ist dies der Fall, so wird in der entsprechenden Zelle eine 1 eingetragen. Die Anzahl der Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien, für die die betrachtete Befähigungsmaßnahme (Zeilensumme) relevant ist, wird mit der Priorität (P) der Befähigungsmaßnahme (vgl. Bild 4-28) multipliziert. Das Ergebnis wird als *gewichtete Summe* bezeichnet (S_{BM}). Dieser Wert wird durch die gewichtete Summe aller Befähigungsmaßnahmen dividiert. Das Ergebnis wird als *Prioritätszahl Befähigungsmaßnahme* bezeichnet. Es berechnet sich nach Gleichung 4-3:

$$PRZ_{BM} = \frac{P_{BM}}{\sum S_{BM}} * R_{AWS}$$

Gleichung 4-3: Berechnung der Prioritätszahl einer Befähigungsmaßnahme

PRZ_{BM} : Prioritätszahl der Befähigungsmaßnahme

P_{BM} : Priorität Maßnahme

S_{BM} : gewichtete Summe einer Befähigungsmaßnahme

R_{AWS} : Anzahl von der Befähigungsmaßnahme betroffener Arbeit 4.0-AWS

In einem nächsten Schritt wird die *Prioritätszahl der Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien* ermittelt, anhand derer die Rangfolge bestimmt wird. Dazu wird die Summe der Prioritätszahlen derjenigen Befähigungsmaßnahmen gebildet, die für das betrachtete Arbeit 4.0-Anwendungsszenario relevant sind. Diese Summe wird im Verhältnis zu allen Summen der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien normiert. Das Ergebnis bildet die *Prioritätszahl der Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien*, welche sich wie folgt berechnet:

$$PRZ_{AWS} = \frac{S_{AWS}}{\sum S_{AWS}}$$

Gleichung 4-4: Berechnung der Prioritätszahl eines Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios

PRZ_{AWS} : Prioritätszahl eines Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios

S_{AWS} : Summe der Prioritätszahlen der für das Arbeit 4.0-AWS relevanten BM

Somit berücksichtigt diese Kennzahl sowohl die Anzahl relevanter Umsetzungsmaßnahmen als auch deren Relevanz. Je höher die Prioritätszahl, desto mehr Maßnahmen gilt es umzusetzen und umso relevanter sind diese. Dementsprechend gilt, je höher die Prioritätszahl eines Anwendungsszenarios, desto höher ist dessen Einfluss auf die Umsetzungsplanung. Auf Grundlage der ermittelten Prioritätszahlen lässt sich eine Rangfolge der Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien ableiten. Dabei können drei grundsätzliche Stoßrichtungen verfolgt werden:

Langfristig: Bei dieser Stoßrichtung werden die ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien nach absteigender Prioritätszahl sortiert. Folglich werden zuerst Anwendungsszenarien eingeführt, welche mit vielen und relevanten Umsetzungsmaßnahmen einhergehen und somit mit großem Aufwand verbunden sind. Gleichzeitig bedeutet dies, dass mit zunehmender Zeit die Einführungen leichter werden, da bereits viele Befähigungsmaßnahmen initiiert wurden und die entsprechenden Strukturen etabliert sind.

Quick-Wins: Hierbei werden die Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien nach aufsteigender Prioritätszahl sortiert. Folglich werden zunächst die Anwendungsszenarien eingeführt, welche die geringsten Anforderungen an die Arbeit 4.0-Leistungsfähigkeit einer Organisation stellen. Somit können mit vergleichsweise geringem Aufwand erste Erfolge erzielt werden. Allerdings steigt der Aufwand mit jedem neu eingeführten Anwendungsszenario.

Hybrid: Diese Stoßrichtung ist eine Kombination der Beiden zuvor genannten. Daher werden sowohl Anwendungsszenarien mit der höchsten als auch mit der geringsten Prioritätszahl zu Beginn eingeführt. Die grundsätzliche Sortierung erfolgt nach absteigender Prioritätszahl. Allerdings werden wenige (ca. 1-3) Anwendungsszenarien mit der geringsten Prioritätszahl an den Beginn gestellt. Somit können während der Einführung aufwendiger Anwendungsszenarien auch erste Erfolge durch Anwendungsszenarien mit geringen Anforderungen erzielt werden.

Zuletzt werden die identifizierten Befähigungs- und Umsetzungsmaßnahmen und die ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien in Form einer Roadmap visualisiert. Dabei werden die Umsetzungsmaßnahmen den Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien zugeordnet und in die Roadmap eingetragen. Bild 4-29 zeigt das sich daraus ergebende Gesamtbild.

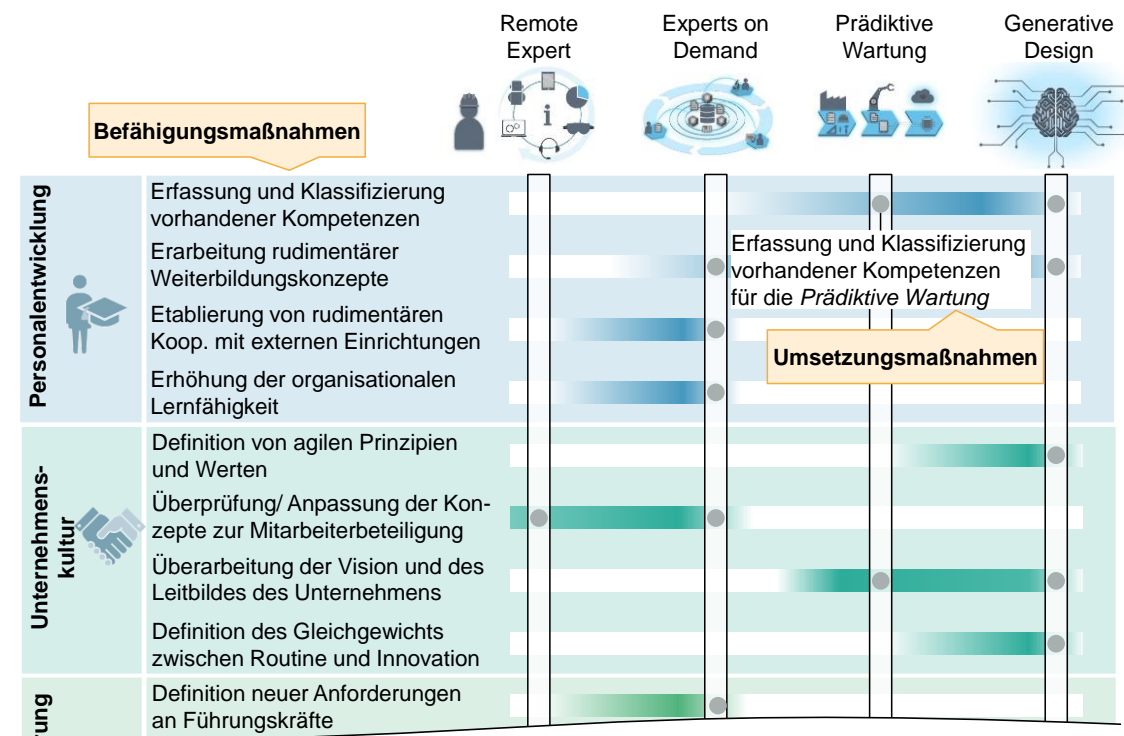


Bild 4-29: Exemplarische Arbeit 4.0-Roadmap (Auszug)

Dazu werden die Befähigungsmaßnahmen in die horizontalen Zeilen eingetragen, die Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien bilden die Spalten und werden ihrer Rangfolge nach sortiert. Sofern eine Befähigungsmaßnahme für ein Arbeit 4.0-Anwendungsszenario relevant ist, wird dies an der entsprechenden Schnittstelle durch einen grauen Punkt visualisiert. Jeder graue Punkt steht somit für eine konkrete Umsetzungsmaßnahme, die es durchzuführen gilt. Durch Farbverläufe kann zusätzlich der zeitliche Verlauf der Umsetzungsmaßnahme angedeutet werden.

Zentrales Resultat dieser Phase ist eine Arbeit 4.0-Roadmap. Dies ist gleichzeitig das finale Resultat der vorgestellten Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten. Sie enthält priorisierte Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien sowie entsprechende Maßnahmen zu deren nachhaltigen Einführung. Als Hilfsmittel steht in dieser Phase die Prioritätsmatrix zur Bestimmung der Rangfolge der ausgewählten Anwendungsszenarien (vgl. Bild 4-28) zur Verfügung.

5 Anwendung und Bewertung der Systematik

In diesem Kapitel erfolgen die Validierung und die Bewertung der *Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen*. Als Validierungsbeispiel dienen drei produzierende Unternehmen verschiedener Branchen. Die Validierung erfolgt anhand der Auswahl- und Planungssystematik. Diese greifen auf die Klassifizierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien und auf das Arbeit 4.0-Reifegradmodell zurück, sodass diese Bestandteile der Systematik nicht separat validiert werden. In Abschnitt 5.2 wird die Systematik anhand der Anforderungen aus der Problemanalyse (vgl. Abschnitt 2.7) bewertet.

5.1 Anwendungsbeispiel: Industriekreis Arbeit 4.0

Die in Abschnitt 4.4 und 4.5 vorgestellten Vorgehensmodelle zur Auswahl und Umsetzungsplanung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien werden am Beispiel des Industriekreises Arbeit 4.0 validiert. Ziel des Industriekreises war eine Roadmap zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten. Diese wurde in 12 unternehmensübergreifenden Workshops mit drei produzierenden Unternehmen erarbeitet. Das Projekt wurde in vier Arbeitspakete unterteilt. Ziel des ersten Arbeitspakets war die Auswahl nutzenversprechender Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Dazu wurde die Auswahlssystematik angewendet. Dies wird in Abschnitt 5.1.1 beschrieben. Ziel des zweiten Arbeitspakets war die Identifikation von Gestaltungsfeldern auf Basis der Analyse der Auswirkungen der identifizierten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Auf dieser Grundlage erfolgte die Validierung der Gestaltungsfelder und Kriterien des Arbeit 4.0-Reifegradmodells (vgl. Abschnitt 4.3.3). Ziel des dritten Arbeitspakets war die Identifikation von Maßnahmen, das vierte hatte die Visualisierung der Ergebnisse in Form einer Arbeit 4.0-Roadmap zum Ziel. Dazu wurde die Planungssystematik angewendet, was Gegenstand von Abschnitt 5.1.2 ist.

5.1.1 Anwendung der Auswahlssystematik

Ziel der Auswahlssystematik ist die Identifikation, Bewertung und Auswahl nutzenversprechender Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Dazu erfolgt die Identifikation sowohl auf Basis des Steckbrief-Katalogs als auch durch die Identifikation neuer Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien (vgl. Abschnitt 4.4.5). Im Rahmen des Industriekreises Arbeit 4.0 wurden vier unternehmensübergreifende Workshops durchgeführt, um Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien zu identifizieren. Dabei wurden die vier Unternehmensbereiche Engineering, Shopfloor, Vertrieb/Service sowie Administration/Organisation/Human Resources unterschieden. Dazu wurden jeweils die vier Phasen der Auswahlssystematik durchlaufen:

Phase 1 – Identifikation von Herausforderungen: Im Rahmen des Industriekreises Arbeit 4.0 wurden für die vier Bereiche Herausforderungen identifiziert, mit denen die Unternehmen in der Arbeitswelt konfrontiert sind. Auf Grundlage der Leitfragen wurden

insgesamt über 100 Herausforderungen identifiziert und innerhalb des Klassifikationschemas eingeordnet. Bild 5-1 zeigt einen Auszug.

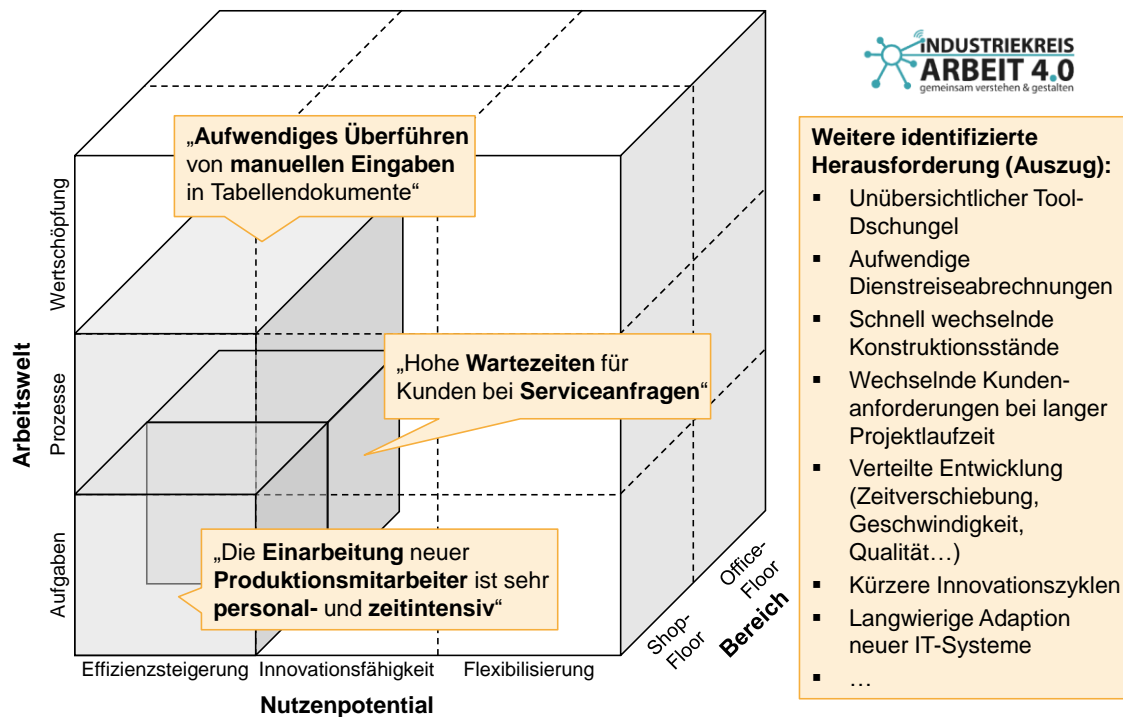


Bild 5-1: Klassifizierung der identifizierten Herausforderungen (Auszug)

So wurde z.B. im Bereich Shopfloor die Herausforderung *Die Einarbeitung neuer Produktionsmitarbeiter ist sehr personal- und zeitintensiv* identifiziert. Die zu Grunde liegende Leitfrage lautete *Bei welchen Arbeitstätigkeiten liegen Ineffizienzen vor?* Die Herausforderung adressiert die Ebene der Arbeitstätigkeiten und zielt auf eine Effizienzsteigerung im Bereich des Shopfloors ab. Daher wird sie wie in Bild 5-1 gezeigt, im Klassifikationsschema unten links eingeordnet. Analog dazu wurden u.a. die Herausforderungen *Hohe Wartezeiten für Kunden bei Serviceanfragen* sowie *Aufwendiges Überführen von manuellen Eingaben in Tabellendokumente* in das Klassifikationsschema eingeordnet. Insgesamt konnten über 100 Herausforderungen identifiziert werden, die in Bild 5-1 im Auszug dargestellt sind.

Phase 2 – Vorauswahl: Im zweiten Schritt wurden den Herausforderungen mögliche Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien zugeordnet. Dabei wurde auf den Steckbrief-Katalog bestehender Szenarien zurückgegriffen. So konnte z.B. der Herausforderung *Die Einarbeitung neuer Produktionsmitarbeiter ist sehr personal- und zeitintensiv* das Arbeit 4.0-Anwendungsszenario *Digitale Arbeitsanleitung* (vgl. Bild A-14) zugeordnet werden. Wie in Bild 5-2 dargestellt, sind sowohl die Herausforderung als auch das Arbeit 4.0-Anwendungsszenario im Klassifikationsschema unten links eingeordnet. Die notwendige Plausibilitätsprüfung führt zu dem Ergebnis, dass das Anwendungsszenario in die Vorauswahl übernommen werden kann. Durch das Vorliegen von Arbeitsanleitungen in digitaler Form, kann das entsprechende Wissen kontextsensitiv an neue Mitarbeiter herangetragen

werden. Zudem entfällt die Notwendigkeit, dass erfahrene Mitarbeiter bei der Anlernung unterstützen müssen. Folglich adressiert das Anwendungsszenario die betrachtete Herausforderung. Analog dazu konnte der Herausforderung *Hohe Wartezeiten für Kunden bei Serviceanfragen* das Anwendungsszenario *Hybrider Service-Bot* (vgl. Bild A-20) zugeordnet werden. Die Herausforderung *Aufwendiges Überführen von manuellen Eingaben in Tabellendokumente* kann durch das Anwendungsszenario *Automatisierung der Workflows wiederkehrender Arbeitsabläufe* (vgl. Bild A-15) adressiert werden.

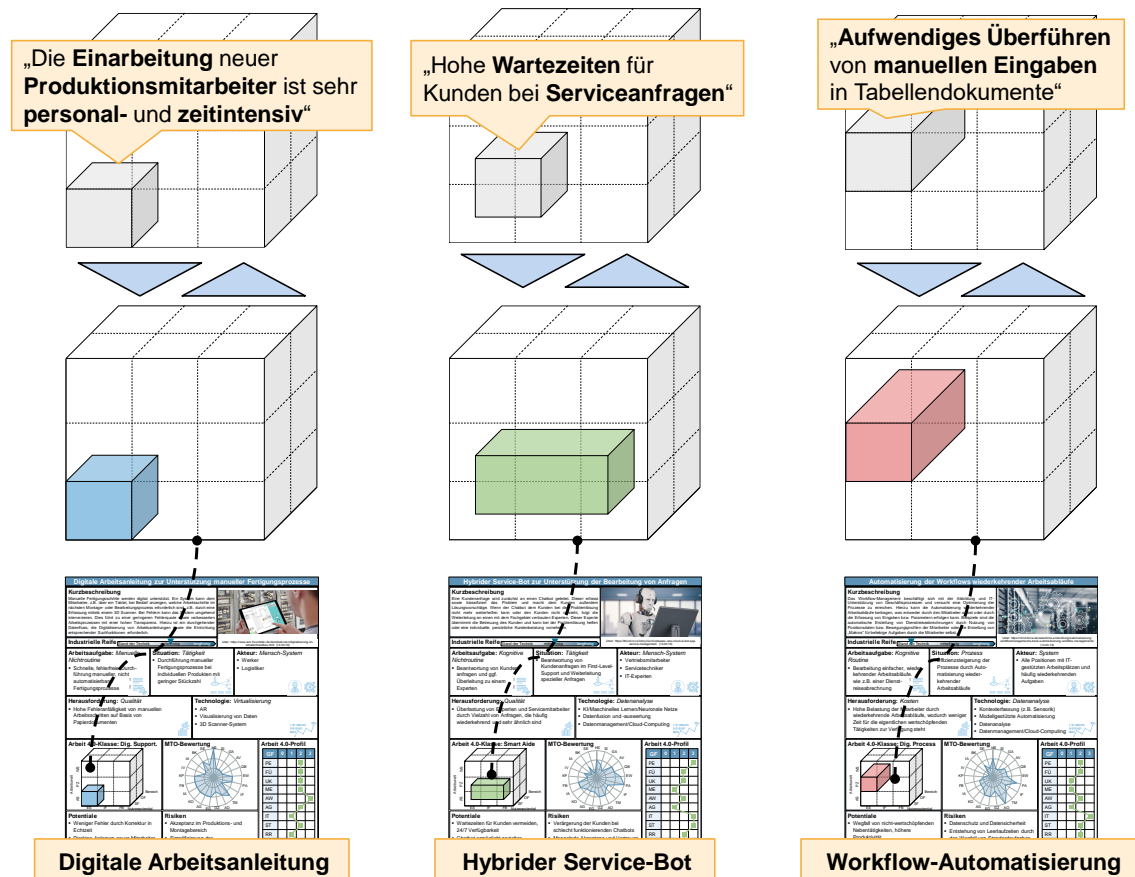


Bild 5-2: Zuordnung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien zu den Herausforderungen

Der Mehrzahl der identifizierten Herausforderungen konnte kein Arbeit 4.0-Anwendungsszenario aus dem bestehenden Steckbrief-Katalog zugeordnet werden. Folglich wurden diese Herausforderungen im Rahmen der Phase 4 betrachtet.

Phase 3 – Bewertung und Auswahl: Die vorausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien wurden mit Hilfe des Kriterien-Katalogs hinsichtlich des Nutzens und des Aufwands bewertet. Bild 5-3 zeigt die exemplarische Bewertung der Anwendungsszenarien *Mixed Mock-Up* (vgl. Bild A-10). Die Bewertung wurde von dem Unternehmen Hella vorgenommen. Das Anwendungsszenario wurde im Durchschnitt mit 3,36 bewertet und wird somit zur Einführung empfohlen.

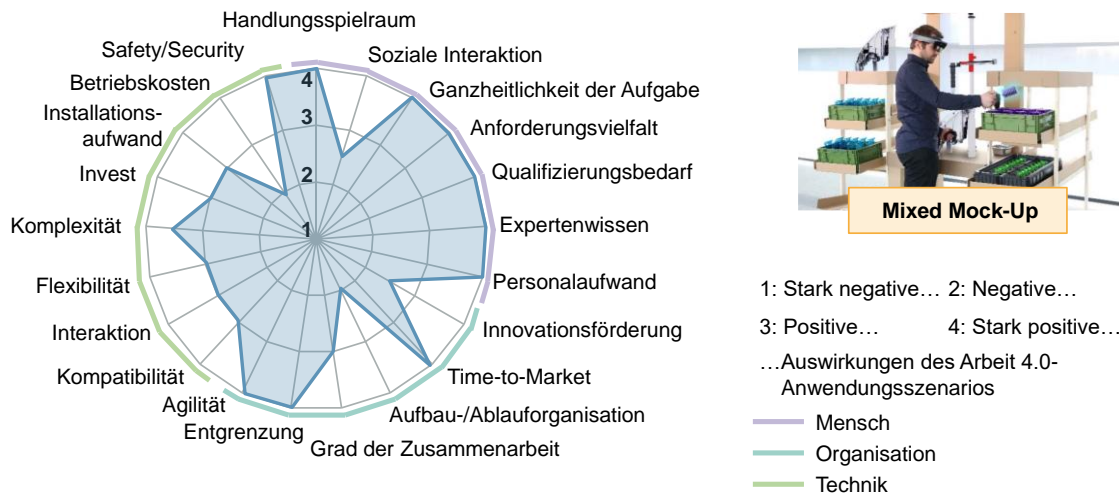


Bild 5-3: Bewertung des Mixed Mock-Ups im Rahmen des Forschungsprojekts IviPep

Dabei sind insbesondere die Bewertungskriterien im Bereich Mensch als stark positiv bewertet worden. Lediglich die *soziale Interaktion* wurde nicht mit voller Punktzahl bewertet, da diese durch die Interaktion mit der AR-Brille beeinträchtigt werden kann. Daher stellt das Anwendungsszenario u.a. im Kriterium *Auswahl und Gestaltung* im Gestaltungsfeld *Arbeitsmittel* hohe Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Organisation.

Phase 4 – Definition neuer Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien: Nicht alle der identifizierten Herausforderungen konnten durch ein definiertes Szenario adressiert werden. Folglich wurde die optionale vierte Phase durchgeführt. Dabei kamen die Leitfragen zur Identifikation von geeigneten Arbeit 4.0-Klassen sowie der Steckbrief-Katalog digitaler Technologien zum Einsatz. Bild 5-4 zeigt einen Auszug der Workshop-Dokumentation zur Identifikation neuer Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. So wurde z.B. für die Herausforderung *Mangelnde Verfügbarkeit von Informationen bei der Vorbereitung von Abstimmungsterminen* die Arbeit 4.0-Klasse *Smart Aide* am höchsten priorisiert. Die entsprechenden Leitfragen *Werden im Kontext der Herausforderung kognitive Aufgaben ausgeführt?* sowie *Würde es helfen, bedarfsgerechte Zusatzinformationen zur Verfügung zu stellen?* wurden jeweils mit 4 Punkten bewertet (sehr stark). Beim Screening der Steckbriefe digitaler Technologien wurde die Technologie *Location Based Services (Beacons)* als vielversprechend identifiziert. Diese ermöglicht eine sog. *kontextsensitive Informationsbereitstellung*. Dabei werden in Abhängigkeit von Ort und Ereignissen definierte Nachrichten und Dokumente auf Wearables zur Verfügung gestellt. Konkret bedeutet das, dass für Abstimmungstermine benötigte Unterlagen und Dokumente den Teilnehmern bei Betreten des Raumes auf personalisierten Devices zur Verfügung gestellt werden. Analog zu diesem Vorgehen konnten u.a. die Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien *Remote Experte* (Herausforderung: Geringe Verfügbarkeit von Expertenwissen), *Crowd-basierte Wissensgenerierung* (Herausforderung: „Schmoren im eigenen Saft“ bei der Ideenfindung) sowie *Automatisierte Qualitätskontrolle und Dokumentation* (Herausforderung: Aufwendige Werkstückprüfung und Prozessüberwachung) identifiziert werden.

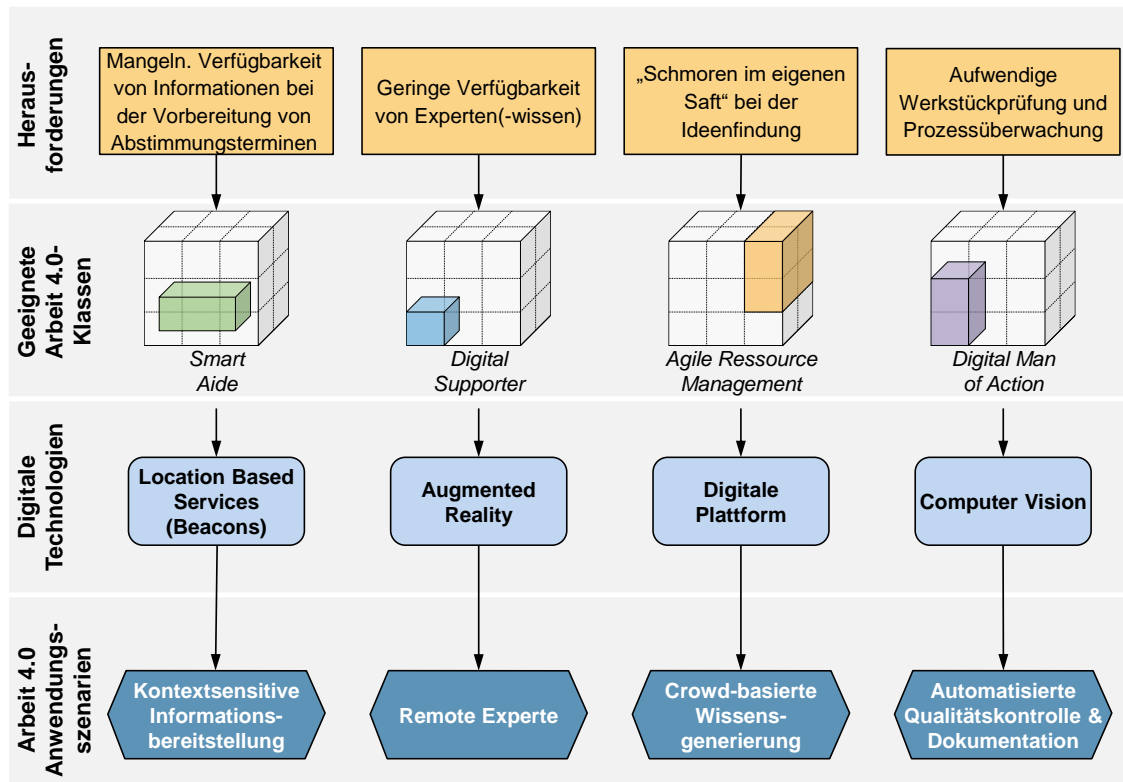


Bild 5-4: Identifikation neuer Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien (Auszug)

Insgesamt wurden in den Phasen 2) Vorauswahl und 4) Identifikation neuer Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien sowie in der sich jeweils anschließenden Phase 3) Bewertung und Auswahl 40 Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien als nutzenversprechend identifiziert und ausgewählt. Die entsprechende Übersicht zeigt Bild 5-5. Dabei wurden die ausgewählten Anwendungsszenarien zum einen nach den Bereichen Vertrieb/Service, Shopfloor, Engineering sowie Administration/Organisation/Human Resources unterschieden. Darüber hinaus gibt es einen Bereich, der bereichsübergreifende Anwendungsszenarien enthält. Zum anderen wurden die Anwendungsszenarien nach der Reife der zu Grunde liegenden Technologien sortiert (vgl. Abschnitt 2.3.4). Dabei umfasst der innerste Kreis die Schrittmachertechnologien, der mittlere Kreis die Schlüsseltechnologien und der äußere Kreis die Basistechnologien. Je weiter entfernt sich ein Anwendungsszenario vom Mittelpunkt des Kreises befindet, desto höher ist die Reife für die industrielle Anwendung. So konnten z.B. für den Bereich Administration/Organisation/Human Resources drei Anwendungsszenarien ausgewählt werden, die auf einer Basistechnologie basieren (u.a. Digitale Recruiting Plattform, Digitale Skill-Matrix). Dementsprechend ist die industrielle Reife sehr hoch. Im Bereich Engineering wurden fünf Anwendungsszenarien identifiziert, denen eine Schlüssel- oder Schrittmachertechnologie zu Grunde liegt (u.a. Generative Design, Entwicklungs-Communities). Diese sind z.T. noch nicht reif für die industrielle Anwendung. Insgesamt lässt sich beobachten, dass insbesondere für die indirekten Bereiche (Administration/Organisation/Human Resources) und den Shopfloor Anwendungsszenarien

mit einem hohen technologischen Reifegrad für die industrielle Anwendung leichter zu finden sind.

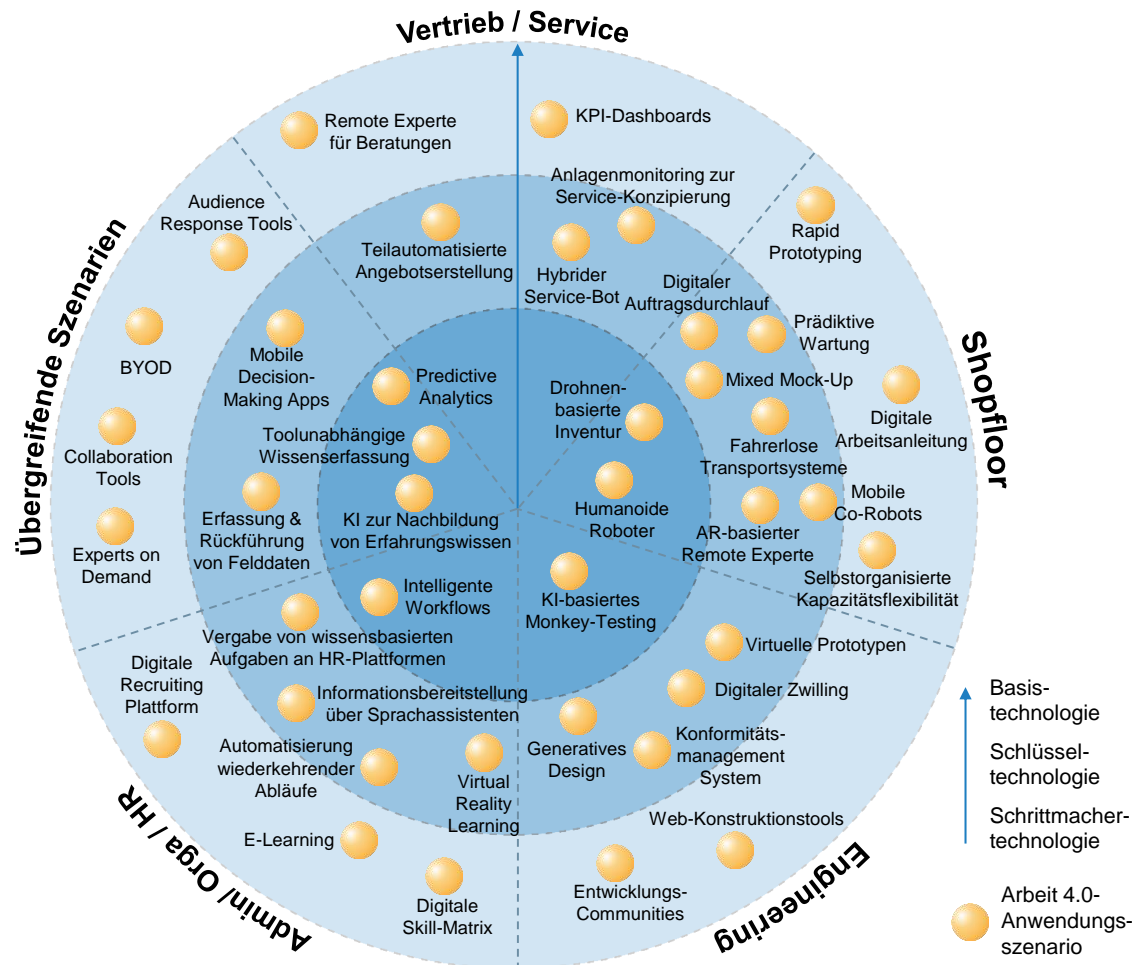


Bild 5-5: Übersicht der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

Zentrales Resultat der Auswahlssystematik sind zur Implementierung ausgewählte Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Diese stellen den Input für die Planungssystematik dar.

5.1.2 Anwendung der Planungssystematik

Ziel der Planungssystematik ist die Erstellung einer Arbeit 4.0-Roadmap, welche alle Maßnahmen zur Einführung der in der Auswahlssystematik ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien enthält und in eine Rangfolge bringt. Dabei kommt insbesondere das Reifegradmodell zum Einsatz (vgl. Abschnitt 4.3). Im Rahmen des Industriekreises Arbeit 4.0 wurden unternehmensindividuelle Workshops durchgeführt, in denen die vier Phasen der Planungssystematik durchlaufen wurden.

Phase 1 – Bewertung des Unternehmens: Zu Beginn wurde die Bewertung der Arbeit 4.0-Reife vorgenommen. Auf Grundlage der Beschreibungen der Leistungsstufen aus

dem Arbeit 4.0-Reifegradmodell wurde die Leistungsfähigkeit der drei betrachteten Unternehmen in allen Kriterien bewertet. In interdisziplinären Workshops wurden die Kriterien schrittweise abgefragt und die Leistungsfähigkeit der Organisation eingeschätzt. Das Resultat ist der Ist-Reifegrad, welcher exemplarisch für ein Unternehmen in Bild 5-7 dargestellt ist.

Phase 2 – Ermittlung der Zielreifegrade: In dieser Phase werden die Zielreifegrade ermittelt. Dazu wird für jedes Arbeit 4.0-Anwendungsszenario analysiert, welche Anforderungen es an die Arbeit 4.0-Reife der Organisation stellt. Bild 5-6 erläutert das Prinzip am Beispiel des Hybriden Service-Bots und des Gestaltungsfelds Personalentwicklung.

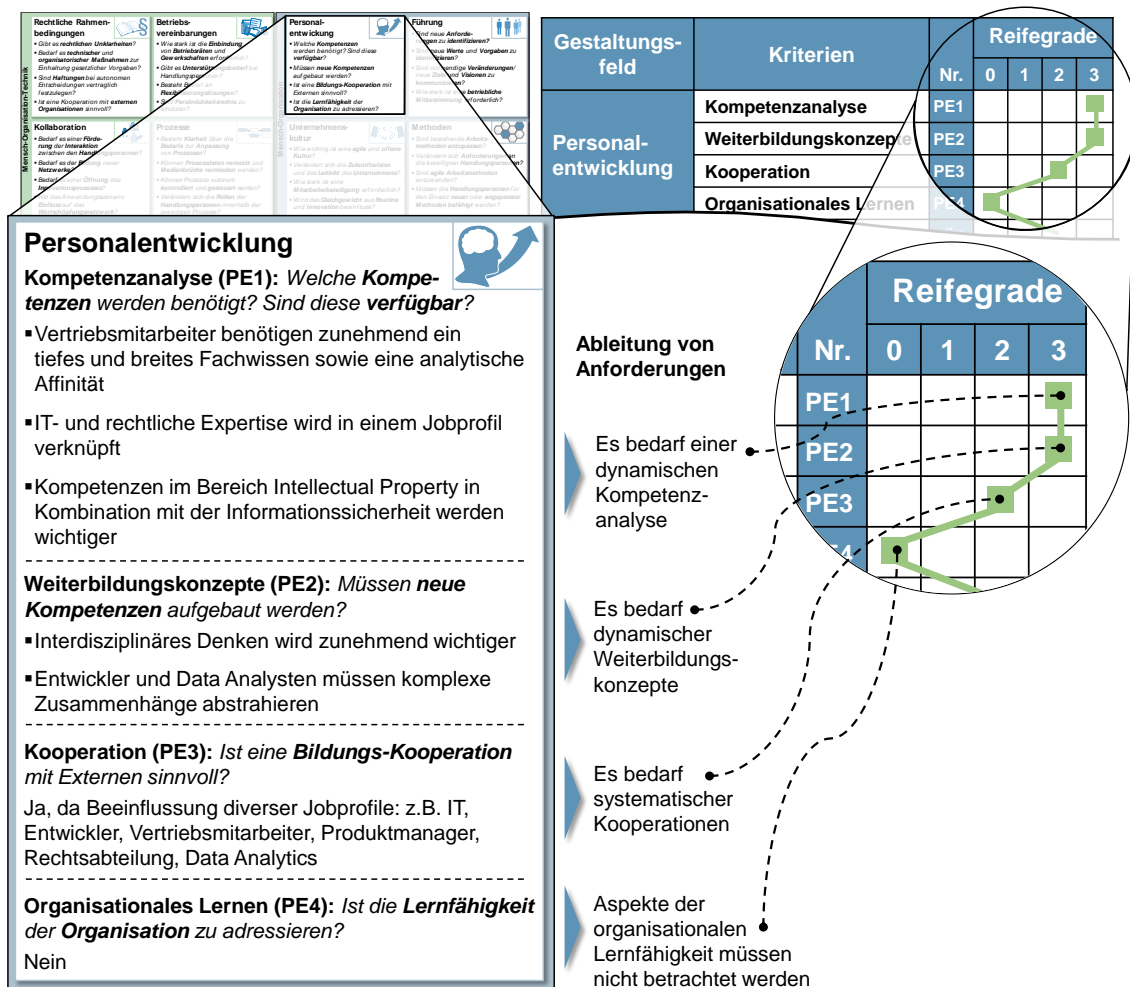


Bild 5-6: Ermittlung der Zielreifegrade am Beispiel des Hybriden Service-Bots im Gestaltungsfeld Personalentwicklung

Mit Hilfe der Canvas zur Ermittlung der Zielreifegrade (vgl. Bild 4-25) werden die Anforderungen identifiziert, welche der Hybride Service-Bot an die Leistungsfähigkeit der Organisation stellt. Im Handlungselement Kompetenzanalyse lässt sich feststellen, dass bei Vertriebsmitarbeitern einfache Tätigkeiten zunehmend entfallen. Vielmehr wird ein ausgeprägtes Fachwissen und ein hohes analytisches Denkvermögen benötigt. Zudem

werden zunehmend fachbereichsübergreifende Kenntnisse benötigt, wie z.B. in den Bereichen IT sowie Recht (z.B. zur Gewährleistung der IT-Sicherheit für den Schutz von Intellectual Property). Dieser tiefgreifende Wandel im Kompetenzprofil eines Vertriebsmitarbeiters erfordert den höchsten Reifegrad im Handlungselement Kompetenzanalyse. Die im Unternehmen bereits vorhandenen Kompetenzen müssen erfasst und mit frühzeitig identifizierten zukünftigen Bedarfen abgeglichen werden. Die Identifikation zukünftiger Bedarfe ist dabei dynamisch durchzuführen, um der Schnelllebigkeit neuer digitaler Lösungen für die Arbeitswelt gerecht zu werden. Analog dazu ist auch im Handlungselement Weiterbildungskonzepte der höchste Reifegrad erforderlich. Aus der Vielzahl der Anforderungen an die Kompetenzen der Handlungspersonen lässt sich ableiten, dass es Weiterbildungskonzepte bedarf, die u.a. auf eine Verbesserung des Verständnisses für interdisziplinäre Ansätze und Denkweisen sowie der Abstraktionsfähigkeit abzielen. Darüber hinaus konnte identifiziert werden, dass viele Jobprofile durch das Anwendungsszenario beeinflusst werden, u.a. IT-Mitarbeiter, Entwickler, Vertriebsmitarbeiter, Produktmanager, Juristen sowie Data Analysten. Dies deutet darauf hin, dass es vieler spezialisierter Lerninhalte für jeweils wenige Handlungspersonen bedarf. Vor diesem Hintergrund ist eine Kooperation mit Partnern sinnvoll. Die hierdurch zu erzielenden Synergien können eine wirtschaftliche Befähigung der Handlungspersonen ermöglichen. Dies entspricht der Leistungsstufe drei im Handlungselement Kooperation. An die Lernfähigkeit der Organisation gibt es keine Anforderungen (Leistungsstufe 0). Analog dazu wurden die Anforderungen an die Leistungsfähigkeit der Organisation in den weiteren Gestaltungsfeldern definiert. Dies zeigt Bild 5-7.



Bild 5-7: Übersicht der Ist- und Zielreifegrade auf Kriterien-Ebene

Durch den Abgleich der Ist- und Zielreifegrade auf Kriterien-Ebene wird der Handlungsbedarf deutlich. Auf dieser Grundlage lassen sich die Befähigungsmaßnahmen ableiten.

Phase 3 – Definition von Maßnahmen: Ziel dieser Phase sind identifizierte Befähigungs- sowie Umsetzungsmaßnahmen. Die Befähigungsmaßnahmen werden auf Basis des Vergleichs von Ist- und Zielreifegraden identifiziert. Bild 5-8 zeigt die Herleitung von Befähigungsmaßnahmen am Beispiel des Gestaltungsfelds Personalentwicklung.

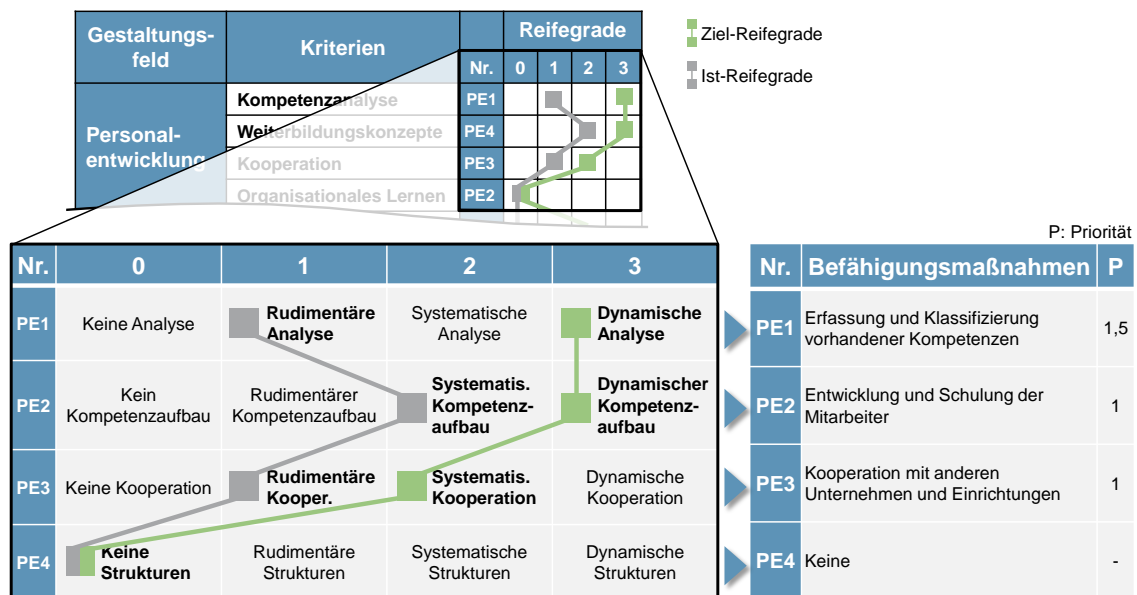


Bild 5-8: Identifikation von Befähigungsmaßnahmen

Dabei wird für das Kriterium Kompetenzanalyse die Leistungsstufe eins identifiziert, d.h. die Analyse bestehender Kompetenzen erfolgt rudimentär. Allerdings wird ein Ziel-Reifegrad von drei definiert, d.h. es bedarf einer dynamischen Analyse vorhandener Kompetenzen (vgl. Phase 2). Zur Vollziehung dieses Reifegradsprungs wird die Befähigungsmaßnahme *Erfassung und Klassifizierung vorhandener Kompetenzen* identifiziert. Da zwei Reifegradsprünge zu vollziehen sind, wird dieser Befähigungsmaßnahme die Priorität 1,5 zugeordnet. Im Kriterium Weiterbildungskonzepte erfolgt bereits ein systematischer Kompetenzaufbau, allerdings bedarf es eines dynamischen Kompetenzaufbaus. Dies entspricht einem Reifegradsprung von zwei auf drei. Als entsprechende Befähigungsmaßnahme wird *Entwicklung und Schulung der Mitarbeiter* identifiziert (Priorität 1). Im Kriterium Kooperation ist ein Reifegradsprung von rudimentärer zu systematischer Kooperation erforderlich. Dieser soll durch die Befähigungsmaßnahme *Kooperation mit anderen Unternehmen und Einrichtungen* erzielt werden (Priorität 1). Im Kriterium organisationales Lernen ist keine Befähigungsmaßnahme erforderlich. Analog dazu wurden für die weiteren 44 Handlungselemente die entsprechenden Befähigungsmaßnahmen identifiziert.

Auf dieser Grundlage konnten für die ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien die konkreten Umsetzungsmaßnahmen identifiziert werden. Mit Hilfe des Maßnahmen-

Steckbriefs wird für alle Befähigungsmaßnahmen überprüft, für welche Anwendungsszenarien diese in Form von Umsetzungsmaßnahmen zu konkretisieren sind. Bild 5-9 zeigt dies am Beispiel der Befähigungsmaßnahme *Erfassung und Klassifizierung vorhandener Kompetenzen*. Diese wird für das Anwendungsszenario *Remote Experte* in die Umsetzungsmaßnahme *Bestandsaufnahme der vorhandenen Kompetenzen für das Anwendungsszenario „Remote Experte“* konkretisiert. Der in Bild 5-9 dargestellte Steckbrief fasst das Ziel, die Beschreibung, die Verantwortlichen, die Voraussetzungen und die Dauer der Maßnahmen übersichtlich zusammen.

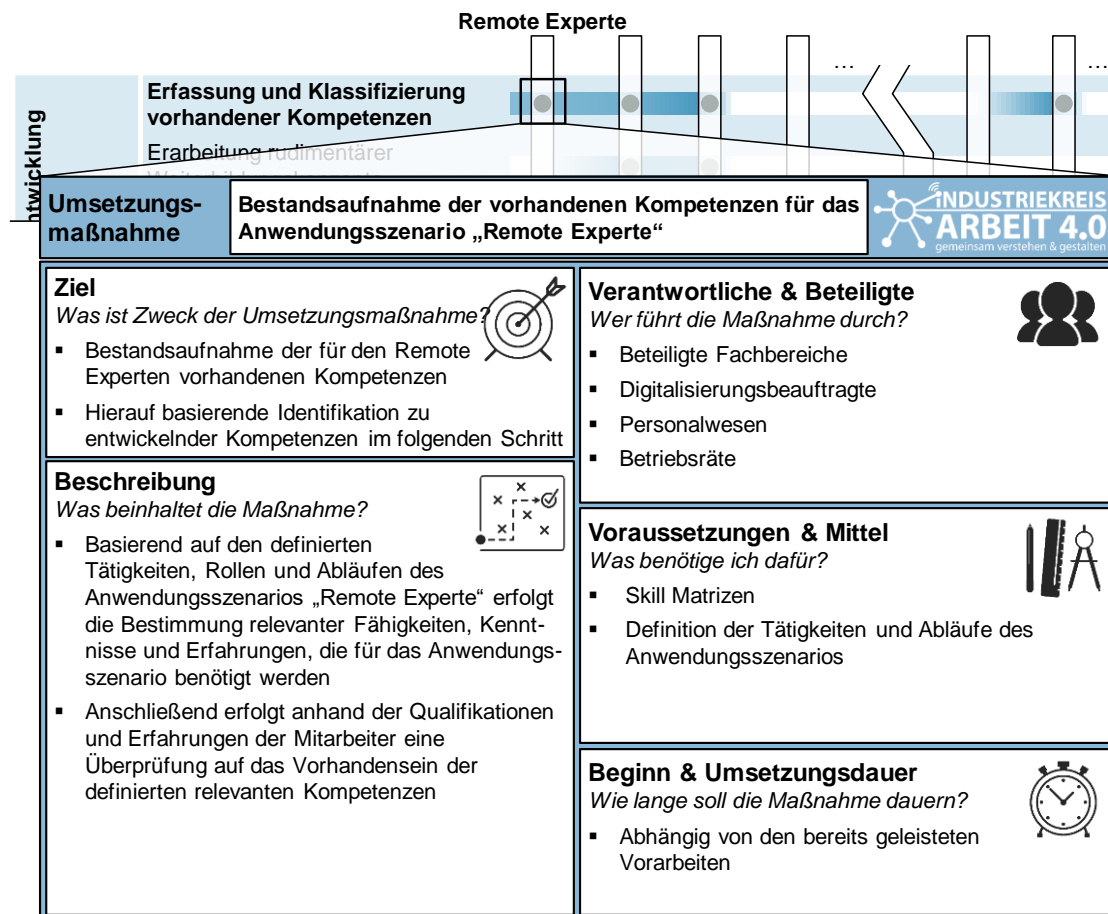
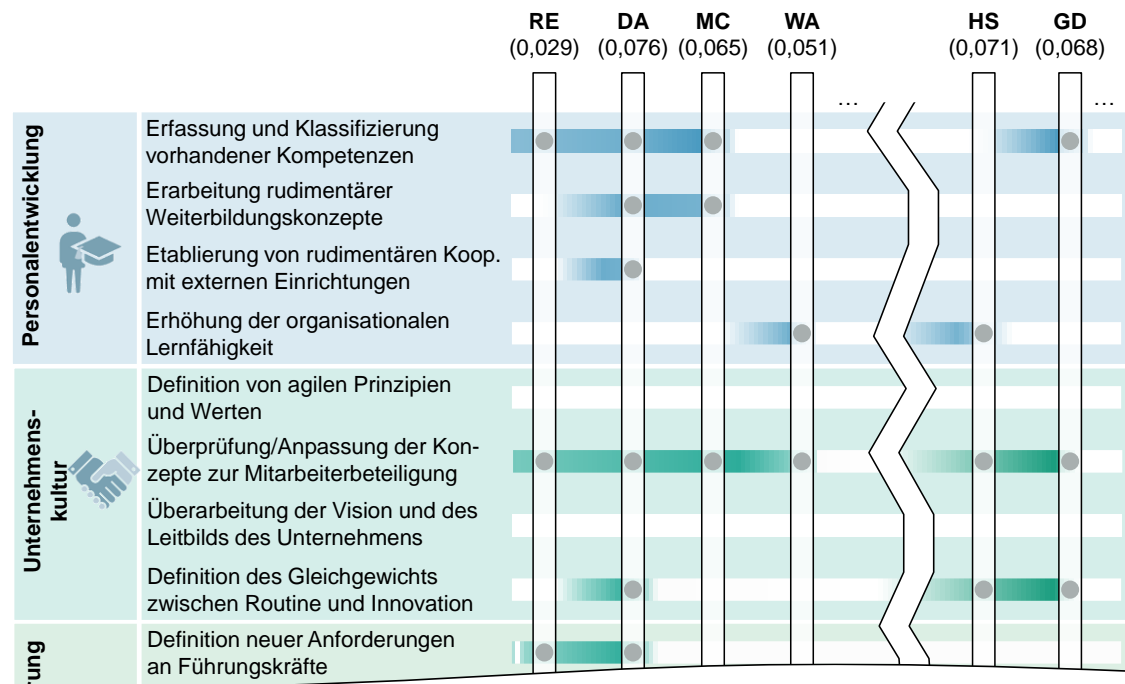


Bild 5-9: Identifikation von Umsetzungsmaßnahmen

Analog dazu werden die weiteren Befähigungsmaßnahmen für alle Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien überprüft und ggf. konkretisiert. Nicht in allen Fällen ist eine Befähigungsmaßnahme für ein Anwendungsszenario relevant, in diesem Fall ist keine Umsetzungsmaßnahme notwendig.

Phase 4 – Erstellung einer Arbeit 4.0-Roadmap: Ziel dieser Phase ist eine Arbeit 4.0-Roadmap. Dabei werden alle Maßnahmen zur Einführung der insgesamt 17 ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien in Form einer Roadmap visualisiert. Dies zeigt Bild 5-10. In der Vertikalen sind die Befähigungsmaßnahmen aufgetragen. Horizontal werden

die Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien abgebildet. Diese sind dabei nach der Technologiereife und der Prioritätszahl sortiert. Dabei wird eine hybride Strategie gefahren (vgl. Abschnitt 4.5.4). Daher wird mit dem Remote Experten zunächst das Anwendungsszenario eingeführt, welches die geringste Prioritätszahl (PRZ: 0,029) aufweist. Der geringe Wert ist ein Hinweis darauf, dass das Anwendungsszenario mit vergleichsweise wenigen und wenig relevanten Anwendungsszenarien einhergeht. Dementsprechend kann so ein Quick-Win erzielt werden. Es folgen die Anwendungsszenarien mit den höchsten Prioritätszahlen.



RE: Remote Experte | DA: Digitale Arbeitsanleitung | MC: Mobile Co-Robots | WA: Workflow-Automatisierung | HS: Hybrider Service-Bot | GD: Generative Design | (0,029): Prioritätskennzahl

Bild 5-10: Arbeit 4.0-Roadmap

Die Sortierung nach den Prioritätszahlen erfolgt dabei individuell für jeden der drei zeitlichen Bereiche kurzfristig (Basistechnologien), mittelfristig (Schlüsseltechnologien) und langfristig (Schrittmachertechnologien). Die Trennung zwischen kurz- und mittelfristig einzuführenden Anwendungsszenarien ist in Bild 5-10 durch die gezackten Linien angedeutet. Insgesamt wurden 40 Befähigungsmaßnahmen identifiziert, welche für die 17 Anwendungsszenarien in Form von 136 Umsetzungsmaßnahmen konkretisiert wurden.

5.2 Bewertung der Systematik anhand der Anforderungen

In diesem Abschnitt erfolgt die Bewertung der erarbeiteten *Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen* anhand der in Abschnitt 2.7 definierten Anforderungen. Dazu wird für jede Anforderung erläutert, inwiefern diese

durch die Bestandteile der Systematik erfüllt wird. Bild 5-11 zeigt einen Überblick der Anforderungen und ihren Bezug zur Systematik.

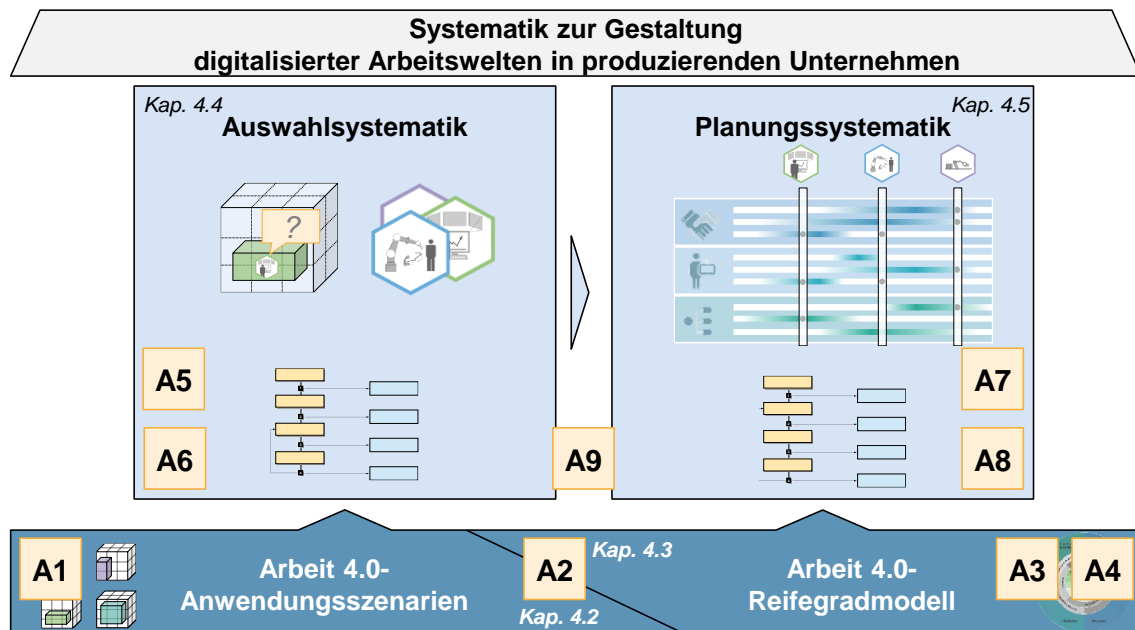


Bild 5-11: Erfüllung der Anforderungen durch die Systematik

Anforderungen an eine Strukturierung der Nutzenpotentiale von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

A1) Allgemeingültigkeit für produzierende Unternehmen: Die entwickelte Referenzarchitektur (vgl. Abschnitt 4.2.1) ist ein allgemeingültiges Muster, welches alle Merkmale von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien enthält. Auf dieser Grundlage konnten 100 Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien analysiert werden. Dies ermöglichte die Identifikation von allgemeingültigen Arbeit 4.0-Klassen, welche ähnliche Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien umfassen (vgl. Abschnitt 4.2.2). Darüber hinaus wurden die Nutzenpotentiale der untersuchten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien zu übergeordneten Nutzenversprechen zusammengefasst. Auf dieser Basis wurde ein Klassifikationsschema des Mehrwerts von Arbeit 4.0 erarbeitet, in welches die Arbeit 4.0-Klassen eingeordnet wurden (vgl. Abschnitt 4.2.3). Dies ermöglicht eine klare Strukturierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien und den damit einhergehenden Nutzenpotentialen.

A2) Berücksichtigung aller Betrachtungsebenen der Arbeitswelt: Die drei Betrachtungsebenen der Arbeitswelt fließen in verschiedene Bestandteile der Systematik ein. So bildet die Referenzarchitektur die Betrachtungsebene als ein Element ab (vgl. Abschnitt 4.2.1). Darüber hinaus bilden die Betrachtungsebenen ein zentrales Element des Klassifikationsschemas des Mehrwerts von Arbeit 4.0 (vgl. Abschnitt 4.2.3). Zudem gehen die Gestaltungsfelder indirekt auf die verschiedenen Betrachtungsebenen ein (vgl. Abschnitt 4.3.1). Dadurch ist die Berücksichtigung aller Betrachtungsebenen der Arbeitswelt gewährleistet.

Anforderungen an einen Ordnungsrahmen zur Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

A3) Berücksichtigung der Perspektiven Mensch, Technik und Organisation: Die Perspektiven Mensch, Technik und Organisation bilden die Grundlage der Arbeit 4.0-Gestaltungsfelder (vgl. Abschnitt 4.3.1). So werden der Schnittstelle Mensch-Organisation die Gestaltungsfelder Personalentwicklung, Unternehmenskultur, Führung sowie Methoden zugeordnet. Die Schnittstelle Organisation-Technik wird durch die Gestaltungsfelder Standards und IT-Sicherheit repräsentiert. Die Gestaltungsfelder Arbeitsschutz und Gesundheit sowie Arbeitswerkzeuge bilden die Schnittstelle Mensch-Technik ab. Darüber hinaus werden die Perspektiven in den Kriterien zur Aufwand/Nutzen-Bewertung der Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien aufgegriffen (vgl. Abschnitt 4.4.4).

A4) Integraler Bestandteil von produzierenden Unternehmen: Elementarer Bestandteil der Planungssystematik sind die Befähigungsmaßnahmen (vgl. Abschnitt 4.5.3), welche sich den Gestaltungsfeldern zuordnen lassen. Die Gestaltungsfelder sind so gewählt und zugeschnitten, dass diese den Funktionsbereichen produzierender Unternehmen eindeutig zugeordnet werden können (vgl. Abschnitt 4.3.1). Damit geht auch die Möglichkeit einher, konkrete Verantwortlichkeiten zuzuweisen. Dadurch ist die Anwendung der Systematik in produzierenden Unternehmen möglich.

Anforderungen an eine unternehmensspezifische Bedarfsanalyse und Auswahl von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

A5) Identifikation von unternehmensspezifischen Bedarfen: Die Identifikation von unternehmensspezifischen Bedarfen wird durch die Auswahlssystematik gewährleistet (vgl. Abschnitt 4.4). Dabei werden auf Grundlage der Hilfsmittel unternehmensspezifische Herausforderungen innerhalb der Arbeitswelten identifiziert (vgl. Abschnitt 4.4.2). Darüber hinaus ermöglichen die Bewertungskriterien eine unternehmensindividuelle Einschätzung des Nutzens und des Aufwands von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien (vgl. Abschnitt 4.4.4).

A6) Soziotechnische Bewertung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien: Kernbestandteil der Auswahlssystematik sind Kriterien zur Bewertung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien (vgl. Abschnitt 4.4.4). Dabei werden Aufwand und Nutzen explizit in den Dimensionen Mensch, Technik und Organisation bewertet.

Anforderungen an eine unternehmensspezifische Planung der Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

A7) Berücksichtigung der Arbeit 4.0-Reife der Organisation: Das Arbeit 4.0-Reifegradmodell gewährleistet die Berücksichtigung der Arbeit 4.0-Reife des Unternehmens. Durch die definierten Reifegradstufen wird eine Bewertung der Arbeit 4.0-Reife ermöglicht (vgl. Abschnitt 4.5.2). Die Planungssystematik unterstützt zudem die Identifikation der Zielreifegrade (vgl. Abschnitt 4.5.2).

A8) Systematische Vorgehensweise: Die entwickelte Auswahl- und Planungssystematik gewährleistet eine systematische Vorgehensweise. Dabei werden die Aufgaben und Resultate der jeweils vier aufeinanderfolgenden Phasen transparent beschrieben und der Einsatz von Hilfsmitteln vorgeschlagen. Die Auswahlssystematik ermöglicht eine systematische Identifikation und Auswahl nutzenversprechender Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien (vgl. Abschnitt 4.4). Durch die Planungssystematik wird die systematische Erstellung einer Arbeit 4.0-Roadmap unterstützt, welche Befähigungsmaßnahmen und priorisierte Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien sowie dazugehörige Umsetzungsmaßnahmen enthält (vgl. Abschnitt 4.5).

Übergeordnete Anforderung

A9) Praxisnahe Anwendbarkeit: Die praxisnahe Anwendbarkeit der Systematik wurde im Rahmen des Industriekreises Arbeit 4.0 belegt (vgl. Abschnitt 5.1). Dazu tragen insbesondere die einfach zu handhabenden Hilfsmittel bei, welche ohne Einarbeitungszeit einsetzbar sind.

Die vorgestellte *Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen* erfüllt somit alle Anforderungen in vollem Umfang. Die Systematik ermöglicht zum einen die Auswahl nutzenversprechender Arbeit 4.0 Anwendungsszenarien. Zum anderen ermöglicht die Systematik, die derzeitige Arbeit 4.0-Reife eines Unternehmens zu erfassen und auf Basis der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien die erforderlichen Zielreifegrade zu ermitteln. Darüber hinaus wird die Identifikation von Befähigungsmaßnahmen zur Vollziehung der notwendigen Reifegradsprünge sowie von konkreten Umsetzungsmaßnahmen zur Einführung der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien ermöglicht. Die Systematik wurde mit Erfolg im Rahmen des Industriekreises Arbeit 4.0 mit drei produzierenden Unternehmen verschiedener Branchen validiert.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Technologien der Digitalisierung bergen großes Potential, die Art und Weise, wie wir wirtschaften und arbeiten, grundlegend zu verändern. Der Begriff Arbeit 4.0 bringt dies zum Ausdruck. Der Einzug von digitalen Technologien in die Arbeitswelt lässt sich zunehmend in der Praxis beobachten: Der Einsatz von Datenbrillen in der Produktion, Konzepte wie Big Data für die Gestaltung leistungsfähiger PLM-Systeme oder intelligente Algorithmen zur Entscheidungsunterstützung sind prominente Beispiele dafür. In diesem Zusammenhang sprechen wir von technologie-induzierten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Produzierende Unternehmen erkennen zunehmend die damit einhergehenden Nutzenpotentiale.

Aufgrund der Vielzahl, der Heterogenität sowie der unzähligen Kombinationsmöglichkeiten der digitalen Technologien ergibt sich eine unüberschaubare Vielfalt an Anwendungen in der Arbeitswelt. Unklar ist, wie Anwendungen von Arbeit 4.0 strukturiert und „greifbar“ gemacht werden können. Ohne eine entsprechende Strukturierung und Klassifizierung ist eine nachhaltige Einführung von Anwendungen von Arbeit 4.0 und die Erschließung der damit einhergehenden Nutzenpotentiale nur schwer möglich. Bei der Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien stehen Unternehmen zudem vor sozio-technischen Umsetzungsbarrieren. Dabei ist produzierenden Unternehmen oft unklar, über welche Leistungsfähigkeit sie im Kontext von Arbeit 4.0 bereits verfügen und wie die notwendige Arbeit 4.0-Reife aussieht. In diesem Zusammenhang ist oft nicht klar, in welchen Gestaltungsfeldern die Steigerung der Leistungsfähigkeit angegangen werden kann und welche Maßnahmen zur nachhaltigen Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien, in welcher Reihenfolge, anzugehen sind.

Um diese Herausforderungen zu adressieren, sind vier Handlungsfelder zu erschließen. Es bedarf einer *Strukturierung der Nutzenpotentiale von technologie-induzierten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien*, welche eine Handhabung der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten digitaler Technologien für die Arbeitswelt und den damit einhergehenden Nutzenpotentialen ermöglicht. Zudem wird ein *Arbeit 4.0-Reifegradmodell* benötigt, welches die Gestaltungsfelder für Arbeit 4.0 sowie die jeweiligen Kriterien zur Bewertung der Arbeit 4.0-Leistungsfähigkeit produzierender Unternehmen enthält. Für eine *unternehmensspezifische Bedarfsanalyse und Auswahl von Lösungen* bedarf es eines Vorgehensmodells und entsprechender Hilfsmittel, welche die Auswahl von nutzenversprechenden Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien unterstützen. Zuletzt bedarf es einer *Roadmap-basierten Planungssystematik*. Diese soll in Form eines Vorgehensmodells und unter Verwendung von Hilfsmitteln die Planung der Einführung strukturieren.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden zunächst Ansätze zur Strukturierung von Digitalisierungslösungen vorgestellt. Dabei sind insbesondere die Industrie 4.0-Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0 hervorzuheben, welche einen umfassenden Überblick des

Mehrwerts von Lösungen aus dem Kontext der Digitalisierung für produzierende Unternehmen geben. Zudem wurden Ansätze zur Gestaltung von Arbeit im Kontext der Digitalisierung betrachtet. Dabei wurde zum einen auf Ansätze zur Beschreibung und Analyse von Arbeit eingegangen. Hervorzuheben ist das Beschreibungsmodell „Arbeitswelt Industrie 4.0“ nach BAUER ET AL. Dieses stellt einen pragmatischen und praktisch anwendbaren Ansatz zur Einschätzung von Veränderungen in der Arbeitswelt durch Industrie 4.0-Anwendungsfälle dar. Zum anderen wurden Ansätze zur Bestimmung der digitalen Reife produzierender Unternehmen betrachtet. So ermöglicht der Industrie 4.0 Maturity Index nach SCHUH ET AL. Unternehmen die Identifikation von Maßnahmen zur Erschließung von Nutzenpotentialen der Industrie 4.0 auf Basis unternehmensspezifischer Fähigkeiten in definierten Gestaltungsfeldern. Des Weiteren wurden Ansätze zur Bewertung und Auswahl von Digitalisierungslösungen untersucht. So geben z.B. SCHUH ET AL. einen umfassenden Überblick über Methoden der Technologiebewertung. Zuletzt wurden Ansätze vorgestellt, die Unternehmen bei der Gestaltung der digitalen Transformation unterstützen. Diese geben einen umfassenden Überblick über relevante Themenfelder, bleiben aber insbesondere bei der Ableitung von konkreten Maßnahmen zu generisch. Insgesamt wird deutlich, dass zwar einzelne Ansätze und Methoden partielle Beiträge bei der Auswahl und Einführung digitaler Lösungen für die Arbeitswelt leisten können. Allerdings existiert keine Systematik, die alle notwendigen Handlungsfelder abdeckt.

Vor diesem Hintergrund besteht ein Handlungsbedarf für eine *Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen*.

Die Systematik greift ausgewählte Ansätze und Überlegungen aus dem Stand der Technik auf, überträgt sie auf die Auswahl und Einführung digitaler Lösungen für die Arbeitswelt und ergänzt sie um neu entwickelte Ansätze und Hilfsmittel. Die resultierende Systematik besteht aus einer Wissensbasis und zwei daraus abgeleiteten Vorgehensmodellen:

- Der erste Teil der Wissensbasis umfasst die **Strukturierung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien** und der damit einhergehenden Nutzenpotentiale. Die Strukturierung basiert auf einer Referenzarchitektur für Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien und einer Analyse von 100 Beispielen aus Forschung und Praxis.
- Den zweiten Teil der Wissensbasis bildet das **Arbeit 4.0-Reifegradmodell**. Es beinhaltet Gestaltungsfelder zur nachhaltigen Umsetzung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien sowie Kriterien zur Erfassung der Arbeit 4.0-Reife der Unternehmen in den jeweiligen Gestaltungsfeldern.
- Die **Auswahlssystematik** umfasst ein Vorgehensmodell und Hilfsmittel zur Identifikation und Auswahl nutzenversprechender Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien.
- Die **Planungssystematik** besteht aus einem Vorgehensmodell und entsprechenden Hilfsmitteln zur Identifikation und Priorisierung relevanter Maßnahmen zur nachhaltigen Einführung der ausgewählten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien.

Die Validierung der Systematik erfolgte anhand des Industriekreises Arbeit 4.0. Dabei wurden sowohl die Auswahl- als auch die Planungssystematik durchlaufen und die entsprechenden Hilfsmittel angewendet. Die Validierung zeigt, dass die entwickelte *Systematik zur Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten in produzierenden Unternehmen* die an sie gestellten Anforderungen in vollem Umfang erfüllt.

Im Hinblick auf die Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten besteht weiterer Forschungsbedarf. Dabei lassen sich kurz-, mittel- und langfristige Forschungsbedarfe unterscheiden. Kurzfristig sollte eine durchgängige Werkzeugunterstützung sowohl über die Auswahl- als auch die Planungssystematik erarbeitet werden. So kann z.B. die Identifikation von geeigneten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien oder geeigneter digitaler Technologien auf Basis identifizierter Herausforderungen automatisiert werden. Zudem sollten insbesondere die Potentiale und Auswirkungen künstlicher Intelligenz für die Arbeitswelt stärker untersucht werden. Darüber hinaus sollten die Befähigungsmaßnahmen standardisiert werden. Auch sollten die Kataloge der digitalen Technologien und der Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien laufend erweitert werden.

Mittelfristig sollte der Zusammenhang zwischen den Gestaltungsfeldern untersucht werden, sodass die entsprechenden Abhängigkeiten zwischen den Handlungselementen berücksichtigt werden können. Dies verspricht Synergieeffekte bei der Umsetzungsplanung identifizierter Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien. Des Weiteren sollte die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien stärker fokussiert werden. Zudem bedarf es einer kontinuierlichen Aktualisierung der Gestaltungsfelder und Handlungselemente in Abhängigkeit der technologischen Weiterentwicklung. Ein weiterer mittelfristiger Forschungsbedarf besteht in der Übertragbarkeit der Systematik auf Unternehmen über die produzierende Industrie hinaus.

Langfristig sollten die Auswirkungen einer verstärkten und branchenübergreifenden Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien auf gesellschaftliche Zusammenhänge untersucht werden, um dem ganzheitlichen Charakter digitalisierter Arbeitswelten gerecht zu werden.

7 Abkürzungsverzeichnis

A4.0	Arbeit 4.0
AR	Augmented Reality
AWS	Anwendungsszenario
BAuA	Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
BM	Befähigungsmaßnahme
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
B2B	Business-to-Business
ca.	circa
CPS	Cyber-physisches System
d.h.	das heißt
EU-DSGVO	Europäische Datenschutz-Grundverordnung
etc.	et cetera
ggf.	gegebenenfalls
HF	Handlungsfeld
HR	Human Resources
inkl.	inklusive
i.S.v.	im Sinne von
KI	Künstliche Intelligenz
MTO	Mensch, Technik, Organisation
RPA	Robotic Process Automation
REP	Ressourceneffizienzpotential
SMAC	Social, Mobile, Analytics, Cloud
sog.	sogenannte
TTM	Time-to-Market
u.a.	unter anderem

VR	Virtual Reality
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V.
WDQ	Work-Design Questionnaire
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

8 Literaturverzeichnis

- [AA11] ACEMOGLU, D.; AUTOR, D.: Skills, Tasks and Technologies: Implications for Employment and Earnings. In: Ashenfelter, O.; Card, D. (Hrsg.): Handbook of Labor Economics, 4b, 2011, S. 1043-1171
- [Aca16a] ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN (Hrsg.): Innovationspotenziale der Mensch-Maschine-Interaktion (acatech IMPULS). Herbert Utz Verlag, München, 2016
- [Aca16b] ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN (Hrsg.): Kompetenzentwicklungsstudie Industrie 4.0 – Erste Ergebnisse und Schlussfolgerungen. München, 2016
- [AD13] AUTOR, D.; DORN, D.: The Growth of Low-Skill Service Jobs and the Polarization of the US Labor Market. In: American Economic Review, 103(5), 2013, S. 1553-1597
- [Agi17-ol] AGILOX (Hrsg.): Systemspezifikation AGILOX IGV V4, 2017, unter: <https://pek3.com/wp-content/uploads/2018/01/1062-Systemspezifikation-AGILOX-IGV-V7.pdf> (23.09.2019)
- [AGJ+16] ARNTZ, M.; GREGORY, T.; JANSEN, S.; ZIERAHN, U.: Tätigkeitswandel und Weiterbildungsbedarf in der digitalen Transformation. Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH, 2016
- [AGZ16] ARNTZ, M.; GREGORY, T.; ZIERAHN, U.: The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis. OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 189. OECD Publishing, Paris, 2016
- [AGZ18] ARNTZ, M.; GREGORY, T.; ZIERAHN, U.: Digitalisierung und die Zukunft der Arbeit: Makroökonomische Auswirkungen auf Beschäftigung, Arbeitslosigkeit und Löhne von morgen. Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung GmbH, 2018
- [ALM03] AUTOR, D.H.; LEVY, F.; MURNANE, R.J.: The Skill Content of Recent Technological Change: An Empirical Exploration. The Quarterly Journal of Economics, 118, 2003, S. 1279-1333
- [Ama19a-ol] AMAZON (Hrsg.): Amazon Mechanical Turk - Access a global, on-demand, 24x7 workforce, 2019, unter: <https://www.mturk.com/> (23.09.2019)
- [Ama19b-ol] AMAZON (Hrsg.): Alexa for Business, 2019, unter: <https://aws.amazon.com/de/alexafor-business/> (23.09.2019)
- [AOE19-ol] AOE (Hrsg.): Agile Methoden & Prozesse in Unternehmen, 2019, unter: <https://www.aoe.com/de/agile.html> (25.06.2019)
- [ARB+15] ALBERS, A.; REIB, N.; BURSAC, N.; WALTER, B.; GLADYSZ, B.: InnoFox - Situationsspezifische Methodenempfehlung im Produktentstehungsprozess. In: Stuttgarter Symposium für Produktentwicklung, IPEK, KIT, 2015
- [Aut19-ol] AUTODESK INVENTOR (Hrsg.): Reparaturumgebung, 2019, unter: <https://knowledge.autodesk.com/de/support/inventor-lt/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/DEU/InventorLT-Help/files/GUID-B36ABA30-537E-4B15-B4DB-5D23202E1E1F-htm.html> (05.10.19)
- [BAD+17] BANSMANN, M.; ALTEMEIER, R.; DIETRICH, O.; DUMITRESCU, R.; NETTELSTROTH, W.: Auf dem Weg zu Industrie 4.0: Gestaltung digitalisierter Arbeitswelten, 2017
- [Bai82] BAINBRIDGE, L.: Ironies of Automation. In: Analysis, Design and Evaluation of Man-Machine Systems. Proceedings of the IFAC/IFIP/IFORS/IEA Conference, Baden-Baden, 1982, S. 129-135
- [Bal16] BALZEREIT, J.: Praxisleitfaden Arbeit 4.0. Der Mensch ist entscheiden. IHK Regensburg. Erhardi Druck GmbH, Regensburg, 2016

- [Ban17] BANTHIEN, H.: Plattform Industrie 4.0 – Mitgestalter der digitalen Transformation der Industrie. In: LUCKS, K. (Hrsg.): Praxishandbuch Industrie 4.0 – Branchen, Unternehmen, M&A. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2017, S. 625-629
- [Bas17] BASTEN, D.: Gamification. In: IEEE Software, 34(5), 2017, S. 76-81
- [Bau10] BAUER, W.: Flexibilisierung und Virtualisierung von Arbeit – Segen und Fluch zugleich, In: Organisator, 2010, Nr.1-2, S. 21-23
- [Bau17] BUNDESANSTALT FÜR ARBEITSSCHUTZ UND ARBEITSMEDIZIN (BAUA) (Hrsg.): Psychische Gesundheit in der Arbeitswelt – Wissenschaftliche Standortbestimmung. Kettler, Bönen, 2017
- [Bau18] BAUER, W.: Smarter Company – innovative und integrierte Unternehmenskonzepte. In: Blaeser-Benfer, A.; Pollety, W. (Hrsg.): Digitalisierung – betriebliche Handlungsfelder der Unternehmensentwicklung. 2. Auflage, Frankfurter Allgemeine Buch, Frankfurt am Main, 2018, S. 120-133
- [BBK17] BERGHAUS, S.; BACK, A.; KALTENRIEDER, B.: Digital Maturity & Transformation Report 2017. Universität St.Gallen, Crosswalk Management Consultants, St. Gallen, 2017
- [Bcg15] THE BOSTON CONSULTING GROUP (Hrsg.): Industry 4.0. The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. BCG, 2015
- [BD17] BITKOM E.V.; DEUTSCHES FORSCHUNGSZENTRUM FÜR KÜNSTLICHE INTELLIGENZ GMBH (Hrsg.): Künstliche Intelligenz – Wirtschaftliche Bedeutung, gesellschaftliche Herausforderungen, menschliche Verantwortung. Bitkom, 2017
- [Ber15] ROLAND BERGER STRATEGY CONSULTANTS GMBH; BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN INDUSTRIE (Hrsg.): Die digitale Transformation der Industrie. Roland Berger, BDI, 2015
- [BEU09] BUKVA, S.; ENSTE, U.; UECKER, F.: Selbstkonfiguration und automatisiertes Änderungsmanagement von MES-Systemen. In: atp magazin, 50(8), 2009, S. 70-79
- [Bey15] BEYERER, J. (Hrsg.): Aus dem Handgelenk geschüttelt – Qualitätskontrolle per Handzeichen. In: visIT - optische Technologien, Fraunhofer IOSB, Karlsruhe, 2015, S. 6-7
- [BG10] BEA, F.X.; GÖBEL, E. (Hrsg.): Organisation. Theorie und Gestaltung. 4. Auflage, Lucius & Lucius, Stuttgart, 2010
- [BGG+15] BECHTHOLD, J.; GOOS, E.; GROSS, H.; LAUENSTEIN, C.: Vom Hype zum Handeln: Die Industrie 4.0 für bessere Arbeit und Wohlstand nutzen. Capgemini Consulting, 2015
- [BGK+19] BANSMANN, M.; GABRIEL, S.; KÜHN, A.; DUMITRESCU, R.: Maturity model-based Implementation of Scenarios of Digitized Work. In: Proceedings of the 30th ISPIM Innovation Conference, Florenz, Italien, 2019
- [BH18] BANSMANN, M.; HARTING, K.: Arbeitsplatz-Planung mit Augmented Reality: Vom Papp-Prototypen zum Mixed Mock-Up. In: elektrotechnik, Frühjahr 2018
- [BHB+18] BAUER, W.; HÄMMERLE, M.; BAUERNHANS, T.; ZIMMERMANN, T.: Future Work Lab. Arbeitswelt der Zukunft. In: Neugebauer, R. (Hrsg.): Digitalisierung. Schlüsseltechnologien für Wirtschaft und Gesellschaft. Springer, Berlin, Heidelberg, 2018, S. 179-195
- [Bin14] BINNER, H.F.: Industrie 4.0 bestimmt die Arbeitswelt der Zukunft. In: Elektrotechnik und Informationstechnik, 131(7), 2014, S. 230-236
- [Bin18] BINNER, H.F.: Organisation 4.0 – von der funktionsorientierten zur prozessorientierten Organisationsstruktur. In: Blaeser-Benfer, A.; Pollety, W. (Hrsg.): Digitalisierung – betriebliche Handlungsfelder der Unternehmensentwicklung. 2. Auflage, Frankfurter Allgemeine Buch, Frankfurt am Main, 2018, S. 222-253
- [Bit13] BITKOM E.V. (Hrsg.): Bring Your Own Device. Bitkom, 2013

- [Bit14] BITKOME.V. (Hrsg.): Industrie 4.0 – Volkswirtschaftliches Potential für Deutschland. Studie, Berlin, 2014
- [Bit17] BITKOM E.V.; DFKI (Hrsg.): Entscheidungsunterstützung mit Künstlicher Intelligenz. Wirtschaftliche Bedeutung, gesellschaftliche Herausforderungen, menschliche Verantwortung. Berlin, Kaiserslautern, 2017
- [Bit19-ol] BITNAMIC (Hrsg.): Mobile weltweite Zusammenarbeit in Wartung und Service, 2019, unter: <https://www.bitnamic.net> (23.09.2019)
- [BK96] BINDER, V., KANTOWSKY, J.: Technologiepotentiale. Neuausrichtung der Gestaltungsfelder des strategischen Technologiemanagements. DUV, Wiesbaden, 1996
- [BLK+14] BECHTHOLD, J.; LAUENSTEIN, C.; KERN, A.; BERNHOFER, L.: Industry 4.0 – The Capgemini Consulting View. Sharpening the Picture beyond the Hype. Capgemini Consulting, 2014
- [BM14] BRYNJOLFSSON, E.; MCAFEE, A.: The Second Machine Age: Work, Progress, and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies. WW Norton & Co., New York City, USA, 2014
- [BM15] BARTZ, M.; SCHMUTZER, T.: “New World of Work”-Transformationen – Herausforderungen auf dem Weg zum Unternehmen der nächsten Generation. In: Widuckel, W.; Molina, K.; Ringlstetter, M.; Frey, D. (Hrsg.): Arbeitskultur 2020. Herausforderungen und Best Practices der Arbeitswelt der Zukunft. Springer, Wiesbaden, 2015, S. 181-197
- [BMA16a] BUNDESMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES (BMAS) (Hrsg.): Grünbuch Arbeit 4.0. Berlin, 2016
- [BMA16b] BUNDESMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES (BMAS) (Hrsg.): Foresight Studie – „Digitale Arbeitswelt“. Forschungsbericht 463. Institut für Innovation und Technik, Berlin, 2016
- [BMA16c] BUNDESMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES (BMAS) (Hrsg.): Wertewelten Arbeiten 4.0, 2016
- [BMA17] BUNDESMINISTERIUM FÜR ARBEIT UND SOZIALES (BMAS) (Hrsg.): Weißbuch Arbeiten 4.0. Arbeit weiter denken. Berlin, 2017
- [BMW16a] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWi) (Hrsg.): Fortschreibung der Anwendungsszenarien der Plattform Industrie 4.0. Ergebnispapier der Arbeitsgruppe Forschung und Innovation der Plattform Industrie 4.0. PRpetuum GmbH, München, 2016
- [BMW16b] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWi) (Hrsg.): Autonomik für Industrie 4.0. Ergebnisse. Berlin, 2016
- [BMW17] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWi) (Hrsg.): Monitoring-Report kompakt. Wirtschaft DIGITAL 2017, 2017
- [Bra15] BRAUCKMANN, O.: Smart Production. Wertschöpfung durch Geschäftsmodelle. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2015
- [Bre08] BREM, A.: The Boundaries of Innovation and Entrepreneurship. Conceptual Background and Essays on Selected Theoretical and Empirical Aspects. GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, 2008
- [Bro03] BROCKHAUS (Hrsg.): Brockhaus – Naturwissenschaft und Technik. Bibliographisches Institut & F.A. Brockhaus AG, Mannheim, 2003
- [Bro18] BROEKEL, T.: Measuring technological complexity - Current approaches and a new measure of structural complexity. Unter: https://www.researchgate.net/publication/319271937_Measuring_technological_complexity_-_Current_approaches_and_a_new_measure_of_structural_complexity (4.5.2019)
- [Bru14] BRUCKER, W.: Technologiepartnerschaft macht die Intralogistik effizienter. In: Maschinen-Markt, Nr. 35, 2014

- [BS14] BILDSTEIN, A.; SEIDELMANN, J.: Industrie 4.0-Readiness: Migration zur Industrie 4.0-Fertigung. In: Bauernhansl, T.; ten Hompel, M.; Vogel-Heuser, B. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2014, S. 581-597
- [BS18] BAUER, W.; SCHLUND, S.: Wandel der Arbeit in indirekten Bereichen: Planung und Engineering. In: Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P.; Niehaus, J. (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. 2. Auflage, Nomos, Baden-Baden, 2018, S. 81-98
- [BSS18] BAUER, W.; SCHLUND, S.; STRÖLIN, T.: Modellierungsansatz für ein arbeitsplatznahes Beschreibungsmodell der „Arbeitswelt Industrie 4.0“. In: Wischmann S., Hartmann E. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2018, S. 147-158
- [BT01] BYRD, T.A.; TURNER, D.E.: An Exploratory Analysis of the Value of the skills of IT Personnel: Their Relationship to IS Infrastructure and Competitive Advantage. In: Decision Sciences, 32(1), 2001, S. 21-54
- [Büc17-ol] BÜCHNER, S.: Fallsoftware als digitale Dokumentation – Zur Unterscheidung einer Arbeits- und Organisationsperspektive auf digitale Dokumentation, 2017, unter: <https://pub.uni-bielefeld.de/download/2910546/2916841> (27.09.2019)
- [Bul15] BULLMANN, E.: Kompetenzentwicklung als Motor für soziale Innovation. In: Schlick, C. M. (Hrsg.): Arbeit in der digitalisierten Welt. Beiträge der Fachtagung des BMBF 2015, Campus Verlag, Berlin, 2015, S. 75-79
- [BVS11] BOOS, W.; VÖLKER, M.; SCHUH, G.: Grundlagen des Managements produzierender Unternehmen. In: Schuh, G.; Kampker, A. (Hrsg.): Strategie und Management produzierender Unternehmen. Handbuch Produktion und Management 1. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, S. 1-62
- [BVZ15] BITKOM E.V.; VDMA E.V.; ZVEI E.V. (Hrsg.): Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. Ergebnisbericht der Plattform Industrie 4.0, 2015
- [Cam19-ol] CAMOS (Hrsg.): Flexible und individuelle Angebotserstellung, 2019, unter: <https://www.camos.de/de/cpq-loesung/camos-cpq/camos-quotation/> (23.09.2019)
- [CB12] CANIELS, M. C. J.; BAKENS, R. J. J. M.: The effects of Project Management Information Systems on decision making in a multi project environment. In: International Journal of Project Management, 30(2), 2012, S. 162-175
- [CE14] CORVER, Q.; ELKHUIZEN, G.: A Framework for Digital Business Transformation. Cognizant Business Consulting Benelux, 2014
- [CKL16] CHABANNE, H.; KEUFFER, J.; LESCUYER, R.: A Verifiable System for Automated Face Identification. In: International Conference of the Biometrics Special Interest Group (BIOSIG), 2016
- [CL18] CERNAVIN, O.; LEMME, G.: Technologische Dimensionen der 4.0-Prozesse. In: Cernavin, O.; Schröter, W.; Stowasser, S. (Hrsg.): Prävention 4.0. Analysen und Handlungsempfehlungen für eine produktive und gesunde Arbeit 4.0. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2018, S. 21-55
- [Cle00] CLEGG, C.W.: Sociotechnical principles for system design. In: Applied Ergonomics, 31, 2000, S. 463-477
- [Col02] COLDEWEY, J.: Agile Entwicklung Web-basierter Systeme. Einführung und Überblick. In: Wirtschaftsinformatik, 44(3), 2002, S. 237-248
- [Com02] COMPUTERWOCHE (Hrsg.): Eine Plattform soll allen Unternehmensbereichen genügen. Eon-Beschaffung: zentral und dezentral zugleich. In: Computerwoche, Nr. 40, 2002, S. 31

- [Com12] MAGAZIN FÜR COMPUTERTECHNIK (Hrsg.): Virtuelle Prototypen. In: Magazin für Computertechnik, Nr. 17, 2012, S. 37
- [Com14] COMPUTERWOCHE (Hrsg.): SAP will mit Fiori die Softwarenutzung einfacher und mobiler machen. In: Computerwoche, Nr. 46, 2014
- [Cor19-ol] CORPORATE WORDING (Hrsg.): Markenstarke und kundennahe Texte, 2019, unter: <https://wording.de/tools> (30.09.2019)
- [CT13] CALVAGNA, A.; TRAMONTANA, E.: Automated Conformance Testing of Java Virtual Machines. In: Proceedings of the seventh International Conference on Complex, Intelligent and Software Intensive Systems, Taiwan, 2013, S. 547-552
- [Dah18] DAHM, R.: Datenschutz und Datensicherheit in kleinen und mittleren Unternehmen. In: Blaeser-Benfer, A.; Pollety, W. (Hrsg.): Digitalisierung – betriebliche Handlungsfelder der Unternehmensentwicklung. 2. Auflage, Frankfurter Allgemeine Buch, Frankfurt am Main, 2018, S. 270-281
- [Däu18] DÄUBLER, W.: Digitalisierung und Arbeitsrecht. Internet, Arbeit 4.0 und Crowdwork. 6. Auflage, Bund-Verlag, Frankfurt am Main, 2018
- [DBL18] KONFERENZ DER UNABHÄNGIGEN DATENSCHUTZBEHÖRDEN DES BUNDES UND DER LÄNDER (Hrsg.): Das Standard-Datenschutzmodell. Eine Methode der Datenschutzberatung und -prüfung auf der Basis einheitlicher Gewährleistungsziele. 95. Konferenz der unabhängigen Datenschutzbehörden, Düsseldorf, 2018
- [DBW+15] DEUSE, J.; BUSCH, F.; WEISNER, K.; STEFFEN, M.: Differenzielle Arbeitsgestaltung durch hybride Automatisierung. In: Schlick, C. M. (Hrsg.): Arbeit in der digitalisierten Welt. Beiträge der Fachtagung des BMBF 2015, Campus Verlag, Berlin, 2015, S. 235-245
- [DD18] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.; DKE DEUTSCHE KOMMISSION ELEKTROTECHNIK ELEKTRONIK INFORMATIONSTECHNIK IN DIN UND VDE (Hrsg.): Deutsche Normungsmroadmap Industrie 4.0. Version 3, Berlin, 2018
- [DDA+15] DICHEVA, D.; DICHEV, C.; AGRE, G.; ANGELOVA, G.: Gamification in Education: A Systematic Mapping Study. In: Educational Technology & Society, 18(3), 2015, S. 75-88
- [DDK96] DACIER, M.; DESWARTE, Y.; KAÂNICHE, M.: Models and tools for quantitative assessment of operational security. In: Katsikas S.K., Gritzalis D. (Hrsg.): Information Systems Security. SEC 1996. IFIP Advances in Information and Communication Technology. Springer, Boston, MA, 1996, S. 177-186
- [Del17] DELOITTE (Hrsg.): Growth: the cost and digital imperative. The Deloitte Global Chief Procurement Office Survey 2017. Deloitte, 2017
- [DIH15] DEUTSCHER INDUSTRIE- UND HANDELSKAMMERTAG E.V. (Hrsg.): Wirtschaft 4.0: Große Chancen, viel zu tun. Das IHK-Unternehmensbarometer zur Digitalisierung. Berlin, Brüssel, 2015
- [DIN61508] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (DIN): Funktionale Sicherheit sicherheitsbezogener elektrischer/elektronischer/programmierbarer elektronischer Systeme - Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 61508-1:2010); Deutsche Fassung EN 61508-1:2010
- [DIN10218] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (DIN): Industrieroboter - Sicherheitsanforderungen - Teil 1: Roboter (ISO 10218-1:2011); Deutsche Fassung EN ISO 10218-1:2011
- [DJ17] DÜRKOP, L.; JASPERNEITE, J.: „Plug & Produce“ als Anwendungsfall von Industrie 4.0. In: Vogel-Heuser, B.; Bauernhansel, T.; ten Hompel, M. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0 Band 2. Automatisierung. 2. Auflage, Springer Vieweg, Berlin, 2017, S. 59-71
- [DKF+18] DOMBROWSKI, U.; KRENKEL, P.; FALKNER, A.; PLACZEK, F.; HOFFMANN, T.: Prozessorientierte Potenzialanalyse von Industrie 4.0-Technologien. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 113(3), 2018, S. 107-111

- [DM15] DENGLER, K.; MATTHES, B.: Folgen der Digitalisierung für die Arbeitswelt. Substituierbarkeitspotentiale von Berufen in Deutschland. IAB Forschungsbericht 11/2015, Nürnberg, 2015
- [Dok19-ol] DOKS (Hrsg.): inventoryX - Automatisierte Bestandserfassung mit Drohnen, 2019, unter: <https://www.doks-innovation.com/> (27.09.2019)
- [Dol08] DOLATA, U.: Soziotechnischer Wandel, Nachhaltigkeit und politische Gestaltungsfähigkeit. In: Lange, H. (Hrsg.): Nachhaltigkeit als radikaler Wandel. Die Quadratur des Kreises. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden, 2008, S. 261-286
- [DRE14] DOMBROWSKI, U., RIECHEL, C., EVERS, M.: Industrie 4.0 – Die Rolle des Menschen in der vierten industriellen Revolution. In: Kersten, W.; Koller, H.; Lödding, H. (Hrsg.): Industrie 4.0. Wie intelligente Vernetzung und kognitive Systeme unsere Arbeit verändern. GITO mbH Verlag, Berlin, 2014, S. 129-153
- [DRS15] DIELS, F.; RUDOLF, S.; SCHUH, G.: Highly Iterative Product Development Process for Engineering Projects. In: Applied Mechanics and Materials, Vol. 794, 2015, S. 532-539
- [DTB20] DUMITRESCU, R.; TSCHIRNER, C.; BANSMANN, M.: Systems Engineering als Grundlage der Gestaltung digitaler Arbeitswelten in der Produktentstehung. In: Meyer, G.; Engels, G.; Steffen, E. (Hrsg.): Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten. Springer, Berlin, Heidelberg, 2020, S. 405-432
- [Dül13] DÜLL, N. (Hrsg.): Arbeitsmarkt 2030 – Fachexpertisen und Szenarien: Trendanalysen und qualitative Vorausschau. Bertelsmann Verlag, Bielefeld, 2013
- [Dum10] DUMITRESCU, R.: Entwicklungssystematik zur Integration kognitiver Funktionen in fortschrittliche mechatronische Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 286, Paderborn, 2010
- [Dum12] DUMBILL, E.: What Is Big Data? In: Dumbill, E. (Hrsg.): Planning for Big Data. A CIO's Handbook to the Changing Data Landscape. O'Reilly Media, Sebastopol, 2012
- [Dun95] DUNCAN, N.B.: Capturing Flexibility of Information Technology Infrastructure: A Study of Resource Characteristics and Their Measure. In: Journal of Management Information Systems, 12(2), 1995, S. 37-57
- [EBG10] ENGEL, M.; BUERKNER, S.; GÜNTHER, U.: Referenzmodell zur durchgängigen digitalen Planung komplexer Produktionssysteme. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 105(3), 2010, S. 173-177
- [EG16] EVANS, P.C.; GAWER, A.: The rise of the Platform Enterprise. A Global Survey. The Center for Global Enterprise, New York City, USA, 2016
- [EGH16] EBERSBACH, A.; GLASER, M.; HEIGL, R. Social Web. 3. Auflage, UKV, Konstanz, München, 2016
- [Eie18] EIERMANN, H.: Sicherheit bei der Verarbeitung personenbezogener Daten im Unternehmen. In: Pollety, W.; Blaeser-Benfer, A. (Hrsg.): Digitalisierung. Betriebliche Handlungsfelder der Unternehmensentwicklung. 2. Auflage, Frankfurter Allgemeine Buch, Frankfurt am Main, 2018, S. 282-287
- [EIU12] ECONOMIST INTELLIGENCE UNIT (Hrsg.): Big Data and the democratization of decisions. A report from the Economist Intelligence Unit. The Economist, 2012
- [Fel18] FELLNER, D. W.: Virtuelle Realität in Medien und Technik. Digitalisierung von Kulturartefakten und industriellen Produktionsprozessen. In: Neugebauer, R. (Hrsg.): Digitalisierung. Schlüsseltechnologien für Wirtschaft und Gesellschaft. Springer, Berlin, Heidelberg, 2018, S. 19-42
- [FG13] FELDHOUSEN, J.; GROTE K.-H. (Hrsg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2013

- [FGH18] FAY, A.; GAUSEMEIER, J.; TEN HOMPEL, M. (Hrsg.): Einordnung der Beispiele der Industrie 4.0-Landkarte in die Anwendungsszenarien. Plattform Industrie 4.0, 2018
- [FH18] FISCHER, S.; HÄUSLING, A.: Agilität und Arbeit 4.0. In: Werther, S.; Bruckner, L. (Hrsg.): Arbeit 4.0 aktiv gestalten. Die Zukunft der Arbeit zwischen Agilität, People Analytics und Digitalisierung. Springer, Berlin, Heidelberg, 2018, S. 88-107
- [Fiz19-ol] FIZ KARLSRUHE - LEIBNITZ-INSTITUT FÜR INFORMATIONENINFRASTRUKTUR (Hrsg.): FIZ Search Service, 2019, unter: <https://www.fiz-karlsruhe.de/de/produkte-und-dienstleistungen/fiz-search-service> (05.10.19)
- [FKB+13] FITZGERALD, M.; KRUSCHWITZ, N.; BONNET, D.; WELCH, M.: Embracing Digital Technology – A New Strategic Imperative. Research Report, 2013
- [Flü15] FLÜTER-HOFFMANN, C.: Ausbalancierte Flexibilität – Wie werden Anforderungen und Angebote zu einer echten Win-win-Situation für Betriebe und Beschäftigte? In: Schlick, C. M. (Hrsg.): Arbeit in der digitalisierten Welt. Beiträge der Fachtagung des BMBF 2015, Campus Verlag, Berlin, 2015, S. 127-133
- [Fro04] FROST, J.: Aufbau- und Ablauforganisation. In: Schreyögg, G.; Werder, D. (Hrsg.): Handwörterbuch Unternehmensführung und Organisation. 4. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2004, S. 45-53
- [Fuj16] FUJITSU TECHNOLOGY SOLUTIONS (Hrsg.): Der digitale Drahtseilakt: Eine Studie von Fujitsu. Fujitsu Technology Solutions, München, 2016
- [Gäd15] GÄDE-BUTZLAFF, V.: Arbeiten in der digitalen Welt. In: Schlick, C.M. (Hrsg.): Arbeit in der digitalisierten Welt. Beiträge der Fachtagung des BMBF 2015. Campus Verlag, Berlin, 2015, S. 11-20
- [Gai04] GAITANIDES, M.: Prozessorganisation. In: Schreyögg, G.; Werder, D. (Hrsg.): Handwörterbuch Unternehmensführung und Organisation. 4. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2004, S. 1208-1218
- [Gau10] GAUSEMEIER, J.: Maschinenbau braucht Systems Engineering – In: Konstruktion, Ausgabe 12/2010, Springer VDI-Verlag, Düsseldorf, 2010
- [GBR19] GABRIEL, S.; BANSMANN, M. (Betreuer); RÖLTGEN, D. (Betreuer): Identifikation von organisatorischen Gestaltungsfeldern zur Einführung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien in der produzierenden Industrie. Universität Paderborn, Heinz Nixdorf Institut, Fachgruppe Strategische Produktplanung und Systems Engineering, unveröffentlichte Studienarbeit, 2019
- [GBR+09] GÜNTHER, W. A.; BLOMEYER, N.; REIF, R.; SCHEDLBAUER, M.: Pick-by-Vision: Augmented Reality unterstützte Kommissionierung. Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik, Technische Universität München, 2009
- [GFK17] GUDERGAN, G.; FEIGE, B.A.; KRECHTING, D.: Ordnungsrahmen für den Prozess der Business-Transformation. In: Blaeser-Benfer, A.; Pollety, W. (Hrsg.): Digitalisierung – betriebliche Handlungsfelder der Unternehmensentwicklung. Frankfurter Allgemeine Buch, Frankfurt am Main, 2017, S. 155-172
- [GGG+15] GRÖTSCH, A.; GEILEN, J.; GRAUEL, B.M.; WISCHNIEWSKI, S.; ADOLPH, L.: Chancen und Herausforderungen der zunehmenden Digitalisierung in der Arbeitswelt. In: Schlick, C.M. (Hrsg.): Arbeit in der digitalisierten Welt. Beiträge der Fachtagung des BMBF 2015. Campus Verlag, Berlin, 2015, S. 83-93
- [GH15] GEORG, A.; HELLINGER, A.: Soziale und technische Innovationen in der Industrie 4.0 gestalten. In: Schlick, C.M. (Hrsg.): Arbeit in der digitalisierten Welt. Beiträge der Fachtagung des BMBF 2015. Campus Verlag, Berlin, 2015, S. 57-65
- [GJK+17] GRUNDKE, R.; JAMET, S.; KALAMOVA, M.; KESLAIR, F.; SQUICCIARINI, M.: Skills and global value chains: A characterization. OECD Science, Technology and Industry Working Papers, 2017/05. OECD Publishing, Paris, 2017

- [GKW19] GREFF, T.; KAPPEL, T.; WERTH, D.: Wie digitale Technologien neue Formen der Unternehmensberatung ermöglichen – Self-Service Consulting am Beispiel von Chat-Bot-Systemen. IM: die Fachzeitschrift für Information, Management & Consulting, 34(1), 2019, S. 46-49
- [GL15] GUNN, P.; LOY, D.: Use of Interactive Electronic Audience Response Tools to Evaluate Knowledge Gained in Extension Programming. In: Journal of Extension, 53(6), 2015
- [Got16] GOTTMANN, J.: Produktionscontrolling. Wertströme und Kosten optimieren. Springer Gabler, Wiesbaden, 2016
- [GP14] GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. 2. Auflage, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 2014
- [Gro09] GROTE, G.: Die Grenzen der Kontrollierbarkeit komplexer Systeme. In: Weyer, J.; Schulz-Schaeffer, I. (Hrsg.): Management komplexer Systeme. Konzepte für die Bewältigung von Intransparenz, Unsicherheit und Chaos. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 2009, S. 149-168
- [GRP+13] GRUBER, A.; VON ROON, S.; PELLINGER, C.; BUBER, T.; SCHMID, T.: Lastflexibilisierung in der Industrie in Konkurrenz zu weiteren funktionalen Speichern. In: VDI Expertenforum: Wie „smart“ managen wir Energie wirklich, 2013
- [GS19a-ol] GS LEXIKON (Hrsg.): Rapid-Prototyping, 2019, unter: https://www.gruenderszene.de/lexikon/begriffe/rapid-prototyping?interstitial_click (23.09.2019)
- [GS19b-ol] GS LEXIKON (Hrsg.): Microblogging, 2019, unter: https://www.gruenderszene.de/lexikon/begriffe/microblogging?interstitial_click (23.09.2019)
- [Hac69] HACKMANN, J. R.: Toward Understanding the Role of Tasks in Behavioral Research. In: Acta Psychologica, 31, Amsterdam, 1969, S. 97-128
- [Hac10] HACKER, W.: Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten. In: Kleinbeck, U.; Schmidt, K.-H. (Hrsg.): Arbeitspsychologie. Hogrefe Verlag, Göttingen, 2010
- [Han09] HANSSON, S.O.: Risk and Safety in Technology. In: Philosophy of Technology and Engineering Sciences, Elsevier, Amsterdam, 2009, S. 1069-1102
- [Har15] HARTMANN, E.: Arbeitsgestaltung für Industrie 4.0: Alte Wahrheiten, neue Herausforderungen. In: Botthof A., Hartmann E. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Springer, Berlin, Heidelberg, 2015, S. 9-20
- [HB17] HARTMANN, E.; BURGHARDT, Y.: Spezialisten von außen schließen interne Wissenslücken in Unternehmen. In: Venture Capital Magazin, Nr. 7-8, 2017, S. 24
- [HBR06] HARTMANN, D.M.; BRENTTEL, H.; ROHN, H.: Lern- und Innovationsfähigkeit von Unternehmen und Organisationen. Kriterien und Indikatoren. Wuppertal Institut in Kooperation mit der Trifolium-Beratungsgesellschaft, Wuppertal Paper Nr. 156, Wuppertal, 2006
- [Hes19] HESS, T.: Digitale Transformation strategisch steuern. Vom Zufallstreffer zum systematischen Vorgehen. Springer, Wiesbaden, 2019
- [HH12] HAMMON, L.; HIPPER, H.: Crowdsourcing. In: Wirtschaftsinformatik, 54(3), 2012, S. 165-168
- [HH17] HENKE, M.; HEGMANN, T.: Geschäftsmodelle für die Logistik 4.0 – Herausforderungen und Handlungsfelder einer grundlegenden Transformation. In: Vogel-Heuser, B.; Bauernhansel, T.; ten Hompel, M. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0 Band 3. Logistik. 2. Auflage, Springer Vieweg, Berlin, 2017, S. 335-345
- [HHI16] HIRSCH-KREINSEN, H.; TEN HOMPEL, M.; ITTERMANN, P.; NIEHAUS, J.; DREGGER, J.: Social Manufacturing and Logistics. Konturen eines Leitbildes digitaler Industriearbeit. Bericht des Forschungsprojektes „SoMaLI“, TU Dortmund, 2016

- [Hir15] HIRSCH-KREINSEN, H.: Entwicklungsperspektiven von Produktionsarbeit. In: Botthof A., Hartmann E. (Hrsg.): Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0. Springer, Berlin, Heidelberg, 2015, S. 89-98
- [HKL18] HIPPMANN, S.; KLINGNER, R.; LEIS, M.: Digitalisierung – Anwendungsfelder und Forschungsfragen. In: Neugebauer, R. (Hrsg.): Digitalisierung. Schlüsseltechnologien für Wirtschaft und Gesellschaft. Springer, Berlin, Heidelberg, 2018, S. 9-18
- [HMS+18] HASSELMANN, O.; MEYN, C.; SCHRÖDER, J.; SAREIKA, C.: Gesundheit in der Arbeitswelt 4.0. In: Cernavin, O.; Schröter, W.; Stowasser, S. (Hrsg.): Prävention 4.0. Analysen und Handlungsempfehlungen für eine produktive und gesunde Arbeit 4.0. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2018, S. 231-268
- [HO76] HACKMAN, R.; OLDHAM, G.R.: Motivation through the design of work: test of a theory. In: Organizational Behavior and Human Performance, 16, 1976, S. 250-279
- [Hof16] HOFMANN, J.: Die 12 Enabler für Industrie 4.0. In: Industrieanzeiger 16.15/2016, S. 44-49
- [How06] HOWE, J.: The Rise of Crowdsourcing. In: Wired, 14(6), 2006, S. 1-5
- [HR01] HECKMAN, J. J.; RUBINSTEIN, Y.: The importance of noncognitive skills: Lessons from the GED testing program. In: American Economic Review, 91(2), 2001, S. 145-149
- [HR20] HÖRMANN, T.; RÜCKERT, U.: Vernetzte Arbeitsumgebungen. In: Maier, G.; Engels G.; Steffen, E. (Hrsg.): Handbuch Gestaltung digitaler und vernetzter Arbeitswelten. Springer, Berlin, Heidelberg, 2020, S. 203-222
- [HSK+11] HAAG, C.; SCHUH, G.; KREYSA, J.; SCHMELTER, K.: Technologiebewertung. In: Schuh, G.; Klappert, S. (Hrsg.): Handbuch Produktion und Management 2: Technologiemanagement, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2. Auflage, 2011
- [HSU06] HECKMAN, J. J., STIXRUD, J.; URZUA, S.: The effects of cognitive and noncognitive abilities on labor market outcomes and social behavior. In: Journal of Labor Economics, 24(3), 2006, S. 411-482
- [HTZ+19] HANEKE, U.; TRAHASH, S.; ZIMMER, M.; FELDEN, C. (Hrsg.): Data Science. Grundlagen, Architekturen und Anwendungen. dpunkt-Verlag, Heidelberg, 2019
- [HW08] HANUSHEK, E. A.; WOESSMANN, L.: The role of cognitive skills in economic development. In: Journal of Economic Literature, 46(3), 2008, S. 607-668
- [HW14] HIRSCH-KREINSEN, H.; WEYER, J.: Wandel von Produktionsarbeit – „Industrie 4.0“ – Soziologisches Arbeitspapier Nr. 38/2014. Technische Universität Dortmund, Dortmund, 2014
- [HWO+18] HOBERG, P.; WELZ, B.; OSWALD, G.; KRCMAR, H.: Digitale Transformation aus Sicht von IT-Entscheidern. In: Oswald, G.; Krcmar, H. (Hrsg.): Digitale Transformation. Fallbeispiele und Branchenanalysen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2018, S. 65-72
- [IAB15] INSTITUT FÜR ARBEITSMARKT- UND BERUFSFORSCHUNG (Hrsg.): Industrie 4.0 und die Folgen für Arbeitsmarkt und Wirtschaft. IAB-Forschungsbericht, 2015
- [IAO19-ol] FRAUNHOFER IAO (Hrsg.): KapaflexCy – Maßgeschneiderte Beschäftigung für die flexible Produktion, 2019, unter: <https://www.kapaflexcy.de/> (27.09.2019)
- [ID10] IHLENBURG, D.; DANZINGER, F.: Kundeninteraktion in der frühen Phase des Innovationsprozesses durch viertuelle Interaktionsplattformen. In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, 47(3), 2010, S. 66-77
- [IFF16-ol] FRAUNHOFER IFF (Hrsg.): Mobile Assistenzrobotik, 2016, unter: <https://www.iff.fraunhofer.de/content/dam/iff/de/dokumente/publikationen/mobile-assistenzrobotik-fraunhofer-iff.pdf> (23.09.2019)
- [Ifo15] IFO INSTITUT (Hrsg.): Industrie 4.0: Digitale Wirtschaft – Herausforderung und Chance für Unternehmen und Arbeitswelt. Ifo Schnelldienst 10/2015, 2015

- [IHT+12] ISENHARDT, I.; HABERSTROH, M.; TUMMEL, C.; KUNZE, R.; SCHEIFF, M.; HAUCK, E.: Agile Werte im Innovationsmanagement. In: Pfeiffer, S.; Schütt, P.; Wühr, D. (Hrsg.): Smarte Innovationen. Ergebnisse und neue Ansätze im Maschinen- und Anlagenbau. Springer-Verlag, Wiesbaden, 2012, S. 263-270
- [Ind17] INDUSTRIEANZEIGER (Hrsg.): Sensoren übernehmen neue Aufgaben in der smarten Fabrik. Die Sinnesorgane der gesamten Fertigung. In: Industrieanzeiger, Nr. 10, 2017, S. 54
- [INH15] ITTERMANN, P.; NIEHAUS, J.; HIRSCH-KREINSEN, H.: Arbeiten in der Industrie 4.0. Trendbestimmung und arbeitspolitische Handlungsfelder. Hans-Boeckler-Stiftung, Düsseldorf, 2015
- [IPA16-ol] FRAUNHOFER IPA (Hrsg.): Kompetenz im Bereich Exoskelett: Für die körperliche Entlastung, 2016, unter: https://www.ipa.fraunhofer.de/content/dam/ipa/de/documents/Kompetenzen/Biomechatronische-Systeme/Kompetenz_Bereich_Exoskelett_fuer_koerperliche_Entlastung.pdf (23.09.2019)
- [JBF+18] JENDERNY, S.; BANSMANN, M.; FOULLOIS, M.; KATO-BEIDERWIEDEN, A.; WÖSTE, L.; LAMB, J.; MAIER, G.; RÖCKER, C.: Development of an instrument for the assessment of scenarios of work 4.0 based on socio-technical criteria. In: Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments, Corfu, 2018
- [JKS17] JACOBS, J.C.; KAGERMANN, H.; SPATH, D. (Hrsg.): Arbeit in der digitalen Transformation – Agilität, lebenslanges Lernen und Betriebspartner im Wandel. Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, Jacobs Foundation, München, 2017
- [JSB16] JODLBAUER, H.; SCHAGERL, M.; BRUNNER, M.: Reifegradmodell Industrie 4.0 – Unternehmen durch Industrie 4.0 stärken. In: Industrie 4.0 Management: Gegenwart und Zukunft industrieller Geschäftsprozesse, 32(5), 2016, S. 49-52
- [Kat17] KATKO, P.: Rechtliche Herausforderungen der Industrie 4.0. In: LUCKS, K. (Hrsg.): Praxishandbuch Industrie 4.0 – Branchen, Unternehmen, M&A. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2017, S. 149-158
- [KBS+17] KROLL, C.; BOEING, L.; SCHMIDT, T.; VOGG, M.; THÖLE, B.; LENGFELD, C.; RAUCH, R.: Agile Organizations. An Approach for a successful journey towards more agility in daily business. Capgemini Consulting, 2017
- [KDV16] KRIEHEL, B.; DÜLL, N.; VOGLER-LUDWIG, K.: Arbeitsmarkt 2030. Wirtschaft und Arbeitsmarkt im digitalen Zeitalter. Prognose 2016. Bertelsmann Verlag, Bielefeld, 2016
- [Ker14-ol] KERKMANN, C.: Skype wird zum Dolmetscher. Wirtschaftswoche online, 2014, unter: <https://www.wiwo.de/technologie/digitale-welt/microsoft-projekt-skype-wird-zum-dolmetscher/9963366.html> (30.09.19)
- [KG17] KLEEMANN, C.; GLAS, F.: Einkauf 4.0 – Digitale Transformation der Beschaffung. Springer Gabler, Wiesbaden, 2017
- [KHD+14] KAUTZ, T.; HECKMAN, J. J.; DIRIS, R.; WEEL, B. T.; BORGHANS, L.: Fostering and measuring skills: Improving cognitive and non-cognitive skills to promote lifetime success. NBER Working Paper No. w20749. National Bureau of Economic Research, 2014
- [Kie02] KIEF, L.: Eine Methode zur Ermittlung statistisch abgesicherter Montagezeiten im Produktentwicklungsprozess. Dissertation, Universität Dortmund, 2002
- [Kin13] KING, S.: Big Data – Potential und Barrieren der Nutzung im Unternehmenskontext. Dissertation, Universität Innsbruck, Springer, München, 2013
- [Kit18-ol] KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (Hrsg.): Der humanoide Roboter ARMAR-6, 2018, unter: <https://www.sek.kit.edu/downloads/datenblatt-amar-6.pdf> (27.09.2019)
- [KJP15] KRZYWZDINSKI, M.; JÜRGENS, U.; PFEIFFER, S.: Die vierte Revolution – Wandel der Produktionsarbeit im Digitalisierungszeitalter. WZB-Mitteilungen, Heft 149, Berlin, 2015, S. 6-9

- [Kon18-ol] KONRADIN MEDIENGRUPPE (Hrsg.): Arbeitsplatzgestaltung in der Produktion, 2018, unter: <https://industrie.de/top/6798/> (23.09.2019)
- [Kos76] KOSIOL, E.: Organisation der Unternehmung. 2. Auflage, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1976
- [KP15] KNEIPS, F.; PFAFF, H. (Hrsg.): BKK Gesundheitsreport 2015. MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Berlin, 2015
- [Kre85-ol] KREUDER, C.: Künstliche Intelligenz – Aufbau eigener Expertensysteme erfordert Userfreundliche Umgebung. Computerwoche, 1985, unter: <https://www.computerwoche.de/a/aufbau-eigener-expertensysteme-erfordert-user-freundliche-umgebungen,1168468> (23.09.2019)
- [KTY+17] KIANG, L., FEN, F.P.; TAH, A.C.; YINGHUI, X.; ONG, B.; FOO, C.; HAUSER, A.; TAN, J.: The Singapore Smart Industry Readiness Index – Catalysing the transformation of manufacturing. Singapore Economics Development Board, TÜV SÜD, Singapore, 2017
- [Kun15-ol] KUNZE, S.: Pilotprojekte für Industrie 4.0 bringen Doodle in die Fabrik. In: elektrotechnik, 2015, unter: <https://www.elektrotechnik.vogel.de/pilotprojekte-fuer-industrie-40-bringen-doodle-in-die-fabrik-a-507756/> (29.09.2019)
- [Küp12] KÜPPER, W.: Konsequenter Verzicht auf Papier reduziert Produktionszeit um 20 %. In: MaschinenMarkt, Nr. 37, 2012, S. 40-43
- [Kur14] KURZ, C.: Industrie 4.0 verändert die Arbeitswelt. Gewerkschaftliche Gestaltungsimpulse für „bessere“ Arbeit. In: Schröter, W. (Hrsg.): Identität in der Virtualität. Einblicke in neue Arbeitswelten und Industrie 4.0. Talheimer Verlag, Mössingen, 2014, S. 106-111
- [KW10] KIESER, A.; WALGENBACH, P.: Organisation. 6.Auflage, Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2010
- [KW18] KUNATH, M.; WINKLER, H.: Integrating the Digital Twin of the manufacturing system into a decision support system for improving the order management process. In: Procedia CIRP 72, Elsevier, 2018, S. 225-231
- [KWH13] KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J.: Deutschland als Produktionsstandort sichern. Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, 2013
- [LBR+18] LIPSMEIER, A.; BANSMANN M.; DANIEL, R.; KUERPICK, C.: Framework für the identification and demand-orientated classification of digital technologies. In: Proceedings of IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions Conference, Marrakech, Morocco, 2018
- [Lee08] LEE, E.A.: Cyber Physical Systems: Design Challenges. Technical Report No. UCB/EECS-2008-8, Electrical Engineering and Computer Sciences, University of California at Berkley, Berkley, USA, 2008
- [LGH+15] LENNINGS, F.; GÄRNER, R.; HARDE, J.; HASSE, F.; LACKER, T.: Auswirkungen und Chancen der Digitalisierung für KMU. In: Schlick, C.M. (Hrsg.): Arbeit in der digitalisierten Welt. Beiträge der Fachtagung des BMBF 2015. Campus Verlag, Berlin, 2015, S. 193-204
- [Lin18] LINDER, I.: IT hilft bei manueller Montage. Produktion, Verlag moderne Industrie GmbH, Landsberg, Nr. 22, 2018, S. 18
- [Liv19-ol] LIVINGDATA (Hrsg.): Digital & Effizient: Posteingangsmanagement, 2019, unter: <https://www.livingdata.de/produkte-services/dokumentenmanagement/posteingangsmanagement> (29.09.2019)
- [LKZ15] LEIMEISTER, J.M.; KLEBE, T.; ZOGAJ, S.: Digital Working und Crowd Working: Neue Arbeits- und Beschäftigungsformen jetzt und für die Zukunft. In: Schlick, C.M. (Hrsg.): Arbeit in der digitalisierten Welt. Beiträge der Fachtagung des BMBF 2015. Campus Verlag, Berlin, 2015, S. 107-116

- [LLS+17] LEUBNER, T.; LIEBERT, K.; SIEBEL, J.; KINSCHER, M.; KUNZ, C.: Digitale Arbeitswelt 4.0: Umsetzung in der Aus- und Weiterbildung. In: Lucks, K. (Hrsg.): Praxishandbuch Industrie 4.0. Branchen, Unternehmen, M&A. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2017, S. 237-246
- [LM13] LEVY, F.; MURNANE, R.: Dancing with robots: Human Skills for Computerized Work. Third Way, 2013
- [Loe06] LOEBBECKE, C.: Digitalisierung – Technologien und Unternehmensstrategien. In: Scholz, C. (Hrsg.): Handbuch Medienmanagement. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2006, S. 357-373
- [Löw18] LÖWER, C.: So geht Mitarbeitertraining heute. VDI Nachrichten, Nr. 22, 2018, S. 31
- [LS09] LEE, J.D.; SEPPELT, B.D.: Human Factors in Automation Design. In: Nof, S.Y. (Hrsg.): Springer Handbook of Automation. Springer, Berlin, Heidelberg, 2009, S. 417-436
- [LSB+15] LICHTBLAU, K.; STICH, V.; BERTENRATH, R.; BLUM, M.; BLEIDER, M.; MILLACK, A.; SCHMITT, K.; SCHMITZ, E.; SCHRÖTER, M.: Industrie 4.0-Readiness. Aachen, Köln, IMPULS-Stiftung für den Maschinenbau, Anlagenbau und die Informationstechnik, 2015
- [Luc17] LUCKS, K.: Grundlagen und Definitionen einer Industrie 4.0. In: Lucks, K. (Hrsg.): Praxishandbuch Industrie 4.0. Branchen, Unternehmen, M&A. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2017, S. 3-16
- [LWW17] LI, Z.; WANG, Y.; WANG, K.-S.: Intelligent predictive maintenance for fault diagnosis and prognosis in machine centers: Industry 4.0 scenario. In: Advances in Manufacturing, 5(4), 2017, S. 377-387
- [LX13] LIN, M.; XIAO, Y.: RFID-based Tracking and Tracing Information Platform of Logistics. In: IEEE conference anthology, New Jersey, USA, 2013
- [LZD+15] LEIMEISTER, J.M.; ZOGAJ, S.; DURWARD, D.; BRETSCHNEIDER, U.: Neue Geschäftsfelder durch Crowdsourcing: Crowd-basierte Start-ups als Arbeitsmodell der Zukunft. In: Hoffmann, R.; Bogedan, C. (Hrsg.): Arbeit der Zukunft. Möglichkeiten nutzen – Grenzen setzen. Campus Verlag, Frankfurt am Main, 2015, S. 141-158
- [MAH+17] METTERNICH, J.; ADOLPH, S.; HAMBACH, J.; HERTLE, C.; MEUDT, T.; WANK, A.: Lean 4.0: Durch Digitalisierung die nächste Stufe der Exzellenz erreichen – der Darmstädter Ansatz. In: Lucks, K. (Hrsg.): Praxishandbuch Industrie 4.0 – Branchen, Unternehmen, M&A. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2017, S. 193-215
- [Man94] MANN, S.: Wearable computing as a means for personal empowerment. Proceedings of the First International Conference on Wearable Computing (ICWC), Fairfax, VA, 1994
- [Mar14a] MARTINEZ-TORRES, M.R.: Analysis of open innovation communities from perspective of social network analysis. In: Technology Analysis & Strategic Management, 26(4), S. 435-451
- [Mar14b] MARTIN, A.: 2D und 3D Gesten-Interaktion mit einem Assistenzsystem am Arbeitsplatz für leistungsgeminderte Arbeiter. Diplomarbeit, Institut für Visualisierung und Interaktive Systeme, Universität Stuttgart, 2014
- [Mau18] MAUERER, J.: Predictive Analytics 2018 - Datenbasierte Entscheidungen lösen das Bauchgefühl ab. In: Computerwoche, Nr. 30, 2018
- [Mav19] MAV MASCHINEN ANLAGEN VERFAHREN (Hrsg.): Intelligente Instandhaltung. Smarte Kunststoffkomponenten erhöhen Standzeiten von Werkzeugmaschinen. Nr. 9, 2019, S. 192
- [MBW+18] MÜLLER, S.; BÖHM, M.; WELPE, I.; KRCMAR, H.: Thought-Leader der Digitalisierung. In: Oswald, G.; Krcmar, H. (Hrsg.): Digitale Transformation. Fallbeispiele und Branchenanalysen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2018, S. 87-98
- [MC03] MORGESON, F. P.; CAMPION, M. A.: Work design. In: Borman, W.C.; Ilgen, D.R.; R. J. Klimoski, R. J. (Hrsg.): Handbook of psychology: Industrial and organizational psychology, Vol. 12. Wiley, Hoboken, USA, 2003, S. 423-452

- [MDN75] MICKLER, O.; DITTRICH, E.; NEUMANN, U.: Technik, Arbeitsorganisation und Arbeit: Eine empirische Untersuchung in der automatisierten Produktion. Soziologisches Forschungsinstitut, Göttingen 1975
- [Mee19-ol] MEETINGBOOSTER (Hrsg.): Professionelle Meeting-Protokollsoftware für Ihr Unternehmen, 2019, unter: <https://www.meetingbooster.com/de/meeting-protokoll.php> (30.09.2019)
- [MFB+17] MASONIA, R.; FERRISEB, F.; BORDEGONIB, M.; GATTULLOC, M.; UVAC, A.E.; FIORENTINOC, M.; CARRABBA, E.; DONATOE, M.D.: Supporting Remote Maintenance in Industry 4.0 through Augmented Reality. In: *Procedia Manufacturing*, 11, 2017, S. 1296-1302
- [MFO+15] MALCHER, P. R. C.; FERREIRA, D. A. L.; OLIVEIRA, S. R. B.; VASCONCELOS, A. M. L.: A Systematic Mapping on Supporting Approaches for Requirements Traceability in the Context of Software Projects. *Revista de Sistemas de Informacao da FSMA*, 1(16), 2015, S. 3-15
- [MH06] MORGESON, F.P.; HUMPHREY, S.E.: The Work Design Questionnaire (WDQ): Developing and Validating a Comprehensive Measure for Assessing Job Design and the Nature of Work. In: *Journal of Applied Psychology*, 91(6), 2006, S. 1321-1339
- [Mkc18] MCKINSEY & COMPANY (Hrsg.): Skill Shift. Automation and the Future of the Workforce. Discussion Paper, 2018
- [MMM+13] MICHAELIDES, R.; MORTON, S. C.; MICHAELIDES, Z.; LYONS, A. C.; LIU, W.: Collaboration networks and collaboration tools: a match for SMEs? In: *International Journal of Production Research*, 51(7), 2013, S. 2034-2048
- [MPB+18] MLEKUS, L.; PARUZEL, A.; BENTLER, D.; JENDERNY, S.; FOULLOIS, M.; BANSMANN, M.; WOESTE, L.; RÖCKER, C.; MAIER, G.W.: Development of a Change Management Instrument for the Implementation of Technologies. In: *Technologies*, 6(4), 2018
- [MPD+11] MEYN, C.; PETER, G.; DECHMANN, U.; GEORG, A.; KATENKAMP, O. (Hrsg.): Arbeitssituationsanalyse. Band 2: Praxisbeispiel und Methoden. Springer, Wiesbaden, 2011
- [MSE+14] MACDONALD, E.; SALAS, R.; ESPALIN, D.; PEREZ, M.; AGUILERA, E.; MUSE, D.; WICKER, R. B.: 3D Printing for the Rapid Prototyping of Structural Electronics. In: *IEEE Access*, 2, 2014, S. 234-242
- [Mue11] MUELLER, D.: A cost calculation model for the optimal design of size ranges. In: *Journal of Engineering Design*, 22(7), 2011, S. 467-485
- [Mum00] MUMFORD, E.: A Socio-Technical Approach to Systems Design. In: *Journal of Requirements Engineering*, 5, 2000, S. 125-133
- [MW15] MASCHKE, M.; WERNER, N.: Arbeiten 4.0 – Diskurs und Praxis in Betriebsvereinbarungen. Mitbestimmungsförderung Report Nr. 14. Hans-Böckler-Stiftung, Düsseldorf, 2015
- [NA17] THE NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, MEDICINE (Hrsg.): Information Technology and the U.S. Workforce. Where Are We and Where Do We Go from Here? The National Academies Press, 2017
- [NAH13] NEDBAL, D.; AUINGER, A.; HOCHMEIER, A.: Addressing Transparency, Communication and Participation in Enterprise 2.0 Projects. In: *Procedia Technology*, 9, 2013, S. 676-686
- [NBS19] NERDINGER, F.-W.; BLICKLE, G.; SCHAPER, N.: Arbeits- und Organisationspsychologie. 4. Auflage, Springer Verlag, Berlin, 2019
- [Net16-ol] NETMEDIAEUROPE (Hrsg.): CeBIT 2016 - Hewlett Packard Enterprise zeigt den automatisierten Meetingraum CollaborateCube, 2016, unter: <https://www.zdnet.de/88262129/cebit-2016-hewlett-packard-enterprise-demonstriert-den-automatisierten-meetingraum-collaboratecube/> (05.10.19)
- [Nin19-ol] NINTEX (Hrsg.): Nintex-Plattform - Management und Automatisierung der Workflows, 2019, unter: <https://www.nintex.de/prozessplattform/> (23.09.2019)

- [Nis11] THE NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (HRSG.): The NIST Definition of Cloud Computing. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. Special Publication 800-145, 2011
- [NKK+18] NAJMURROKHMAN, A.; KUSNANDAR, K.; KRAMA, A. B.; DJAMAL, E. C.; RAHIM, R.: Development of a secured room access system based on face recognition using Raspberry PI and Android based smartphone. In: MATEC Web of conferences, 197, 2018
- [Nor18] NORDIN, A.: Challenges in the industrial implementation of generative design systems – an exploratory study. In: Artificial Intelligence for Engineering Design, Analysis and Manufacturing, 32(1), 2018, S. 16-31
- [NZ15] NAVIMPOUR, N. J.; ZAREIE, B.: A model for assessing the impact of e-learning systems on employees' satisfaction. In: Computers in Human Behaviour, 53, 2015, S. 475-485
- [Oes99] OESTERREICH, R.: VERA: Verfahren zur Ermittlung von Regulationserfordernissen. In: Dünkel, H. (Hrsg.): Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren. Schriftenreihe Mensch, Technik, Organisation, Band 14. Zürich, vdf Hochschulverlag, 1999, S. 539-557
- [Opt19-ol] OPTIMIZE GMBH (Hrsg.): Übertreffen Sie Ihre Konkurrenz mit digitalen Experimenten, 2019, unter: <https://www.optimize.com/de/> (30.09.2019)
- [ORM17] OKOH, C.; ROY, R.; MEHNEN, J.: Maintenance Informatics Dashboard Design for Through-Life Engineering Services. In: Procedia CIRP, 5th International Conference on Through-Life Engineering Service, 59, Elsevier, 2017, S. 166-171
- [PCH10] PEREZ, I.J.; CABRERIZO, F.J.; HERRERA-VIEDMA, E.: A Mobile Decision Support System for Dynamic Group Decision-Making Problems. In: IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics – Part A Systems and Humans, 40(6), 2010, S. 1244-1256
- [PDL+15] PARRA, E.; DIMOU, C.; LLORENS, J.; MORENO, V.; FRAGA, A.: A methodology for the classification of quality of requirements using machine learning techniques. In: Information and Software Technology, 67, Elsevier, 2015, S. 180-195
- [Pel17] PELZER, B.: Beteiligung, Partizipation – Schlüssel zum Erfolg. In: Lucks, K. (Hrsg.): Praxis-handbuch Industrie 4.0 – Branchen, Unternehmen, M&A. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2017, S. 223-236
- [Per15] PERSIN, D.: Always online – Chance und Gefahr zugleich. In: Schlick, C.M. (Hrsg.): Arbeit in der digitalisierten Welt. Beiträge der Fachtagung des BMBF 2015, Campus Verlag, Berlin, 2015, S. 94-103
- [PH15] PORTER, M.; HEPPELMANN, J.: How Smart, Connected Products Are Transforming Companies. In: Harvard Business Review, 2015
- [PHH17] PAYDAR, S.; HOUSHMAND, M.; HAYERI, E.: Experimental Study on the Importance and Effectiveness of Monkey Testing for Android Applications. In: Proceedings of the International Symposium on Computer Science and Software Engineering Conference, Shiraz, Iran, 2017, S. 73-79
- [PKM+06] PAPPA, M.; KARABATSOU, V.; MAVRIKIOS, D.; CHRYSSOLOURIS, G.: Development of a web-based collaboration platform for manufacturing product and process design evaluation using virtual reality techniques. In: International Journal of Computer Integrated Manufacturing, 19(8), 2006, S. 805-814
- [PKM+16] PRINZ, C.; KREGGENFELD, N.; MINNIG, E.; WENZLER, D.; DUMONT, T.; FALING, N.; FREITAG, K.: Auf dem Weg zu Industrie 4.0. Sind intelligente Assistenz- und Wissenssysteme schon angekommen? In: IM+io - Das Magazin für Innovation, Organisation und Management, Nr. 4, 2016, S. 88-92
- [Pla19a-ol] PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 (Hrsg.): Industrie 4.0 Trainingsumgebung. Cyber System Connector (CSC) – Technische Dokumentation intelligent erstellen und nutzen, 2019, unter: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Anwendungsbeispiele/424-ips-cyber-system-connector/beitrag-ips-csc.html> (19.11.2019)

- [Pla19b-ol] PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 (Hrsg.): Assemble-by-Light: Belegloser Montagearbeitsplatz, 2019, unter: <https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Anwendungsbeispiele/381-gpio-assemble-by-light/beitrag-gpio-pick-by-light.html?view=render> (30.09.2019)
- [Pla19c-ol] PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 (Hrsg.): EffiLink: Remote Service System, 2019, unter: [https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Anwendungsbeispiele/232-effilink-remote-service-system-bosch/beitrag-effilink-remote-service-system-bosch.html?view=render\[Detail\]](https://www.plattform-i40.de/PI40/Redaktion/DE/Anwendungsbeispiele/232-effilink-remote-service-system-bosch/beitrag-effilink-remote-service-system-bosch.html?view=render[Detail]) (05.10.19)
- [PN13] PICOT, A.; NEUBURGER, R. (Hrsg.): Arbeit in der digitalen Welt. Zusammenfassung der Ergebnisse der AG1-Projektgruppe anlässlich des IT-Gipfel-Prozesses 2013. Münchner Kreis, München, 2013
- [Por14] PORTER, M.E.: Wettbewerbsvorteile. Spitzenleistungen erreichen und behaupten. 8. Auflage, Campus Verlag, Frankfurt, New York, 2014
- [Pro14] PRODUKTION (Hrsg.): Auf Knopfdruck zum NC-Programm. In: Produktion, Nr. 42, 2014, S. 27
- [Pro16] PROGNOS (Hrsg.): Lage und Zukunft der deutschen Industrie (Perspektive 2030). Projekt Nr. 19/15, München, 2016
- [Pro17] PRODUKTION (Hrsg.): Konstruktionsprozess online gestalten. In: Produktion, Nr. 40, 2017, S. 22
- [Pro19] PRODUKTION (Hrsg.): Tachoeasy: Digitales Fahrtenbuch spart Zeit. In: Produktion, Nr. 15-16, 2019, S. 37
- [PRW03] PICOT, A.; REICHWALD, R.; WIGAND, R.T: Die grenzenlose Unternehmung. Information, Organisation und Management. Lehrbuch zur Unternehmensführung im Informationszeitalter. 5. Auflage, Gabler, Wiesbaden, 2003
- [PS15] PFEIFFER, S.; SUPHAN, A.: Der AV-Index. Lebendiges Arbeitsvermögen und Erfahrung als Ressourcen auf dem Weg zu Industrie 4.0. Working Paper 2015, Finalfassung, Universität Hohenheim, 2015
- [PS18] PFEIFFER, S.; SUPHAN, A.: Industrie 4.0 und Erfahrung – das unterschätzte Innovations- und Gestaltungspotential der Beschäftigten im Maschinen- und Automobilbau. In: Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P.; Niehaus, J. (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. 2. Auflage, Nomos, Baden-Baden, 2018, S. 275-301
- [PSZ+16] PFEIFFER, S.; SUPHAN, A.; ZIRNING, C.; KOSTADINOVA, D.: Die digitale Arbeitswelt in Nordrhein-Westfalen heute. Eine deskriptive Untersuchung aus der Sicht der Beschäftigten. FWG-Studie Digitalisierung von Arbeit 01, Düsseldorf, 2016
- [Ram03] RAMMERT, W.: Technik in Aktion: verteiltes Handeln in soziotechnischen Konstellationen. TUTS – Working Papers, 2-2003. Technische Universität Berlin, Fak. VI Planen, Bauen, Umwelt, Institut für Soziologie Fachgebiet Techniksoziologie, Berlin, 2003
- [RB08] RAISCH, S.; BIRKINSHAW, J.: Organizational Ambidexterity: Antecedents, Outcomes, and Moderators. In: Journal of Management, 34(3), 2008, S. 375-409
- [RBN+18] RÖLTGEN, D.; BANSMANN, M.; NICKCHEN, D.; WORTMANN, F.; DUMITRESCU, R.: Datenbrillen als Arbeitshilfe in der Industrie 4.0 – Bewertung von Anwendungsszenarien von Augmented Reality auf Basis einer Technologie-Roadmap. In: Gausemeier, J. (Hrsg.): 14. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung. 8.-9. November 2018, HNI-Verlagschriftenreihe, Band 374, Paderborn, 2018
- [RDH09] RAITHEL, J., DOLLINGER, B., HÖRMANN, G.: Einführung Pädagogik. Begriffe – Strömungen – Klassiker – Fachrichtungen. 3. Auflage, VS Verlag für Sozialwissenschaften, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, 2009

- [Ref91] VERBAND FÜR ARBEITSSTUDIEN UND BETRIEBSORGANISATION (REFA) (Hrsg.): Methodenlehre der Betriebsorganisation. Planung und Steuerung. Teil 1. Carl Hanser, München, 1991
- [Rei91] REIBNITZ, U.: Szenario-Technik – Instrumente für die unternehmerische und persönliche Erfolgsplanung. Gabler, Wiesbaden, 1991
- [RG17] RÜEGG-STURM, J.; GRAND, S.: Das St. Galler Management-Modell. 3., überarbeitete und weiterentwickelte Auflage. Haupt Verlag, Bern, 2017
- [Ric63] RICE, A.: The Enterprise and its Environment. A System Theory of Management Organization. Tavistock, London, 1963
- [RL79] ROHMERT, W.; LANDAU, K.: Das Arbeitswissenschaftliche Erhebungsverfahren zur Tätigkeitsanalyse (AET). Handbuch mit Merkmalsheft. Hans Huber Verlag, Bern, Stuttgart, Wien, 1979
- [RMQ+17] RAZZAQ, M.A.; MEMON, K.H.; QURESHI, M.A.; ULLAH, S.: A Survey on User Interfaces for Interaction with Human and Machines. In: International Journal of Advanced Computer Science and Application, 8(7), 2017, S. 462-467
- [Rop99] ROPOHL, G.: Philosophy of Socio-Technical Systems. In: Techné: Research in Philosophy and Technology, 4(3), 1999, S. 186-194
- [Rot15] VON ROTTKAY, K.: Arbeiten 4.0 – Mehr Eigenverantwortung wagen. In: Sattelberger, T.; Welp, I.; Boes, A. (Hrsg.): Das demokratische Unternehmen – Neue Arbeits- und Führungskulturen im Zeitalter digitaler Wirtschaft. Haufe, Freiburg, 2015, S. 249-259
- [RRC88] RAUNER, F.; RASMUSSEN, L.; CORBETT, J.M.: The Social Shaping of Technology and Work: Human Centred CIM systems. In: AI & Society, 2, 1988, S. 47-61
- [RRS+16] RANGANAYAKULU, S. V.; RAVI KIRAN, M. N. V. S.; SHIVA RAJU, J.; RAMESH KUMAR, B.: Studies of Acoustic Emission Signatures for Quality Assurance of SS 316L Welded Samples under Dynamic Load Conditions. In: Journal of Engineering Science and Technology, 11(10), 2016, S. 1499-1517
- [RS02] RAMMERT, W.; SCHULZ-SCHÄFFER, I.: Technik und Handeln – wenn soziales Handeln sich auf menschliches Verhalten und technische Artefakte verteilt. TUTS – Working Papers, 4.2002, Technische Universität Berlin, 2002
- [RS04] RÜEGG-STÜRM, J.: Das neue St. Galler Management-Modell. Einführung in die Managementlehre. Haupt Verlag, Bern, 2004
- [RT13] ROHRBACH-SCHMIDT, D.; TIEMANN, M.: Changes in workplace tasks in Germany evaluating skill and task measures. In: Journal for Labor Market Research, 46(3), 2013, S. 215-237
- [RU97] RIMANN, M.; UDRIS, I.: Subjektive Arbeitsanalyse: der Fragebogen SALSA. In: Strohm, O.; Ulich, E. (Hrsg.): Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten. Schriftenreihe Mensch, Technik, Organisation, Band 10. vdf Hochschulverlag, Zürich, 1997, S. 281-298
- [Rüb16] RÜBBELKE, R.: Systematik zur innovationsorientierten Kompetenzplanung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 350, Paderborn, 2016
- [RW08] RAMMER, C.; WEIBENFELD, B.: Innovationsverhalten der Unternehmen in Deutschland 2006. Aktuelle Entwicklungen und ein internationaler Vergleich. Studien zum deutschen Innovationssystem. Nr. 04-2008, Mannheim, 2008
- [SA11] SALEH, M.S.; ALFANTOOKH, A.: A new comprehensive framework for enterprise information security risk management. In: Applied Computing and Informatics, 9(2), 2011, S. 107-118
- [SAC+16] SCHEBEK, L.; ABELE, E.; CAMPITELLI, A.; BECKER, B. JOSHI, M.: Praxisleitfaden: Ressourceneffizienz in der Produktion – Zerspanungsprozesse. Hessen Trade & Invest. GmbH, Wiesbaden, Band 17 der Schriftenreihe der Technologielinie Hessen-Umwelttech, 2016

- [SAG+17] SCHUH, G., ANDERL, R., GAUSEMEIER J., TEN HOMPEL, M., WAHLSTER, W. (Hrsg.): Industrie 4.0 Maturity Index. Die digitale Transformation von Unternehmen gestalten. acatech Studie. Herbert Utz Verlag, München, 2017
- [SB08] STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.): Klassifikation der Wirtschaftszweige – Mit Erläuterungen. Wiesbaden, 2008
- [SB15] STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.): Anteil der Industrie am BIP seit 20 Jahren nahezu konstant, Pressemitteilung vom 08.04.15 – 124/15. Wiesbaden, 2015
- [SB16] STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.): Produzierendes Gewerbe – Betriebe, Tätige Personen und Umsatz des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden nach Beschäftigtengrößenklassen. Fachserie 4, Reihe 4.1.2, Wiesbaden, 2016
- [SBB+18] STÖCKLEIN, J.; BANSMANN, M.; BERSSENBRÜGGE, J.; FOULLOIS, M.: AR-basierte Arbeitsplatzgestaltung für manuelle Montageabläufe. In: Proceedings of GI VR/AR Workshop 2018, Düsseldorf, 2018
- [SBL10] SCHLICK, C.; BRUDER, L.; LUCZAK, H.: Arbeitswissenschaft. 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 2010
- [SBR+16] SCHUH, G.; BLUM, M.; RESCHKE, J.; BIRKMEIER, M.: Der Digitale Schatten in der Auftragsabwicklung. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 111, Ausgabe 1-2, 2016, S. 48-51
- [Sch02] SCHMIDT, F. L.: The Role of General Cognitive Ability and Job Performance: Why There Cannot Be a Debate. In: Human Performance, 15(1-2), 2002 S. 187-210
- [Sch10] Schein, E.H.: Organizational Culture and Leadership. 4. Auflage, Jossey-Bass, San Francisco, 2010
- [Sch13] SCHUH, G.: Lean Innovation. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013
- [Sch15] SCHRÖDER, L.: Wie sich die Digitalisierung entwickelt und warum die Zukunft in der Guten Arbeit liegt. In: Schlick, C.M. (Hrsg.): Arbeit in der digitalisierten Welt. Beiträge der Fachtagung des BMBF 2015. Campus Verlag, Berlin, 2015, S. 44-54
- [Sch19-ol] SCHERER, C.: Digitales Recruiting – Trendige Wege zum Wunschkandidaten, Personalpraxis24.de, 2019, unter: <https://www.personalpraxis24.de/aktuelles/thema-der-woche/archiv-themen-der-woche/digitales-recruiting-trendige-wege-zum-wunschkandidaten/> (23.09.2019)
- [SCY+18] SUN, G.; CUI, T.; YONG, J.; SHEN, J.; CHEN, S.: MLaaS: A Cloud-Based System for Delivering Adaptive Micro Learning in Mobile MOOC Learning. In: IEEE Transactions on Services Computing, 11(2), 2018, S. 292-304
- [SDU+10] STEGMANN, S.; VAN DICK, R.; ULLRICH, J.; CHARALAMBOUS, J.; MENZEL, B.; EGOLD, N.; WU, TINA TAI-CHI: Der Work Design Questionnaire. Vorstellung und erste Validierung einer deutschen Version. Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie, 54, 2010, S. 1-28
- [SGG+13] SPATH, D.; GANSCHAR, O.; GERLACH, S.; HÄMMERLE, M.; KRAUSE, T.; SCHLUND, S.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Studie. Fraunhofer Verlag, Fraunhofer IAO, Stuttgart, 2013
- [SH04] SCHMIDT, F. L.; HUNTER, J.: General mental ability in the world of work: occupational attainment and job performance. In: Journal of Personality and Social Psychology, 86(1), 2004, S. 162
- [SHM+18] SOTO SETZKE, D.; HOBERG, P.; MURGOCI, A.; FRANZBONENKAMP, S.; GAß, J.; WOLFF, T.; KRCMAR, H.: Digitale Transformation bei den Berliner Philharmonikern. In: Oswald, G.; Kremer, H. (Hrsg.): Digitale Transformation. Fallbeispiele und Branchenanalysen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2018, S. 121-145

- [Sil14] DA SILVA, A. R.: Quality of Requirements Specifications: A Preliminary Overview of an Automatic Validation Approach. In: Proceedings of the 29th Annual ACM Symposium on Applied Computing, Gyeongju, Republic of Korea, 2014, S. 1021-1022
- [SK17] VON SEE, B.; KERSTEN, W.: Digitale Transformation des Arbeitsumfelds. Identifikation und Analyse von Handlungsfeldern am Beispiel der Logistik. In: Gronau, N. (Hrsg.): Industrial Internet of Things in der Arbeits- und Betriebsorganisation. Gito Verlag, Berlin, 2017, S. 91-117
- [SKS+11] SCHUH, G.; KLAPPERT, S.; SCHUBERT, J.; NOLLAU, S.: Grundlagen zum Technologiemanagement. In: Schuh, G.; Klappert, S. (Hrsg.): Handbuch Produktion und Management 2: Technologiemanagement. 2. Auflage, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 2011, S. 33-54
- [Sli19-ol] SLIDO (Hrsg.): Explore Slido, 2019, unter: <https://www.sli.do/product> (23.09.2019)
- [SLS+15] SCHINDEL, W. D.; LEWIS, S. A.; SHEREY, J. J.; SANYAL, S. K.: Accelerating MBSE Impacts Across the Enterprise: Model-Based S*Patterns. In: 24th Annual INCOSE International Symposium, 25(1), Seattle, USA, 2015, S. 1159-1176
- [SLV+17] SCHUH, G.; LAU, F.; VOGT, F.; ZIMMERMANN, R.: Gestaltung von Corporate Inkubatoren. Whitepaper – Empirische Studie. Fraunhofer IPT, 2017
- [Sol19-ol] SOLYTIC (Hrsg.): PV Monitoring & Analyse, 2019, unter: <https://www.solytic.com/produkt/> (23.09.2019)
- [Sou19-ol] SOUNDTEC (Hrsg.): End of line Test durch Akustik- und Schwingungsmessung, 2019, unter: <https://www.soundtec.eu/produkte/weitere-produkte/sitest/> (27.09.2019)
- [SPR+17] SCHUH, G.; POTENTE, T.; REUTER, C.; HAUPTVOGEL, A.: Steigerung der Kollaborationsproduktivität durch cyber-physische Systeme. In: Vogel-Heuser, B.; Bauernhansel, T.; ten Hompel, M. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0 Band 2. Automatisierung. 2. Auflage, Springer Vieweg, Berlin, 2017, S. 75-92
- [SS15] SCHWEER, D.; SEIDEMANN, S.: Die neue Macht – digitale Freiräume. In: Sattelberger, T.; Welp, I.; Boes, A. (Hrsg.): Das demokratische Unternehmen – Neue Arbeits- und Führungskulturen im Zeitalter digitaler Wirtschaft. Haufe, Freiburg, 2015, S. 129-134
- [SS18] SÜNNETCIOGLU, A.; STARK, R.: Using Transitive Relations for Automatic Creation of Consistent Traceability in Model-based Systems Engineering. In: Procedia Manufacturing, 4th International Conference on System-Integrated Intelligence, 24, Elsevier, 2018, S. 311-318
- [SSS+12] SCHROECK, M.; SHOCKLEY, R.; SMART, J.; ROMERO-MORALES, D.; TUFANO, S.: Analytics: The real world use of big data. How innovative enterprises extract value from uncertain data. IBM Corporation, New York, 2012
- [ST18] SCHIERSMANN, C.; THIEL, H.: Organisationsentwicklung. Prinzipien und Strategien von Veränderungsprozessen. 5. Auflage, Springer, Wiesbaden, 2018
- [Sto10] STOCK-HOMBURG, R.: Personalmanagement. Theorien – Konzepte – Instrumente. 2. Auflage, Gabler, Wiesbaden, 2010
- [Sto18] STOCKHINGER, J.: Digitalisierung im Spiegel der Diskussion etablierter Managementberatungen. In: Drews, P.; Funk, B.; Niemeyer, P.; Xie, L. (Hrsg.): Tagungsband Multikonferenz Wirtschaftsinformatik 2018. Data driven X – Turning Data into Value, Lüneburg, 2018, S. 1285-1296
- [SWB15] SATTELBERGER, T.; WELPE, I.; BOES, A. (Hrsg.): Das demokratische Unternehmen. Neue Arbeits- und Führungskulturen im Zeitalter digitaler Wirtschaft. Haufe, Freiburg, 2015
- [SWS08] SAMMERL, N.; WIRTZ, B.W.; SCHILKE, O.: Innovationsfähigkeit von Unternehmen. In: Die Betriebswirtschaft (DBW), 68(2), 2008, S. 131-158
- [Syd85] SYDOW, J.: Der soziotechnische Ansatz der Arbeits- und Organisationsgestaltung. Darstellung, Kritik, Weiterentwicklung. Campus, Frankfurt, 1985

- [SZ16] SZELKA, J.; WRONA, Z.: Knowledge Discovery in Data in Construction Projects. In: Archives of Civil Engineering, De Gruyter, 62(2), 2016, S. 217-228
- [TB51] TRIST, E.; BAMFORTH, K.: Some social and psychological consequences of the long wall method of coal-getting. In: Human Relations, 4(1) 1951, S. 3-38
- [Tie16] TIEMANN, J.: Mensch-Maschine-Interaktion. In: Fromm, J.; Weber, M. (Hrsg.): ÖFIT-Trendschau: Öffentliche Informationstechnologie in der digitalisierten Gesellschaft. Kompetenzzentrum Öffentliche IT, Berlin, 2016
- [Tri63] TRIST, E.L.: Organizational choice: Capabilities of groups at the coal face under changing technologies. The loss rediscovery and transformation of a work tradition. Tavistock Publications, London, 1963
- [Tri81] TRIST, E.: The evolution of socio-technical systems – a conceptual framework and an action research program. Ontario Ministry of Labour, Ontario, 2, 1981
- [Uli97] ULICH, E.: Mensch, Technik, Organisation: ein europäisches Produktionskonzept. In: Strohm, O.; Ulich, E. (Hrsg.): Unternehmen arbeitspsychologisch bewerten. Schriftenreihe Mensch, Technik, Organisation, Band 10. vdf Hochschulverlag, Zürich, 1997, S. 5-17
- [Uli11] ULICH, E.: Arbeitspsychologie. 7. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2011
- [Uli13] ULICH, E.: Arbeitssysteme als Soziotechnische Systeme – eine Erinnerung. In: Journal Psychologie des Alltagshandelns, 6(1), 2013, S. 4-12
- [Ulr84] ULRICH, H.: Management. Haupt, Bern, 1984
- [VDI15] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE E.V. (VDI) (Hrsg.): Industrie 4.0 – Technical Assets. Grundlegende Begriffe, Konzepte, Lebenszyklen und Verwaltung. VDI/VDE Statusreport, 2015
- [VDI16] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE E.V. (VDI) (Hrsg.): Arbeitswelt Industrie 4.0. VDI/VDE Statusreport, 2016
- [VDI17] VERBAND DEUTSCHER INGENIEURE ZRE (Hrsg.): Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 – Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes. Studie. Bonifatius, Paderborn, 2017
- [VDM15] VERBAND DEUTSCHER MASCHINEN- UND ANLAGENBAU (VDMA) (Hrsg.): Leitfaden Industrie 4.0. Orientierungshilfe zur Einführung in den Mittelstand. VDMA Verlag, Frankfurt am Main, 2015
- [Ves17-ol] VERSTERLUND SORENSSEN, H.: Die mobile Roboterflotte – Mit dem MiR100 zur vollständig automatisierten Fabrik, KENext.de, 2017, unter: <https://www.ke-next.de/automation/automatisierungstechnik/mit-dem-mir100-zur-vollstaendig-automatisierten-fabrik-378.html> (23.09.2019)
- [VZ15] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE E.V. (VDI); ZENTRALVERBAND ELEKTROTECHNIK UND ELEKTRONIKINDUSTRIE E.V. (ZWEI) (Hrsg.): Referenzmodell Industrie 4.0 (RAMI4.0). Statusreport, 2015
- [WB10] WOLF, H.; BLEEK, W.-G.: Agile Softwareentwicklung – Werte, Konzepte und Methoden. 2. aktualisierte und erweiterte Auflage, dpunkt-Verlag, Heidelberg, 2010
- [WCB+11] WESTERMAN, G.; CALMÉJANE, C.; BONNET, D.; FERRARIS, P.; MCAFEE, A.: Digital Transformation: A Roadmap for Billion-Dollar Organizations. Study, MIT Center for Digital Business and Capgemini Consulting, 2011
- [WD18] WINDELBAND, L.; DWORSCHAK, B.: Arbeit und Kompetenzen in der Industrie 4.0. Anwendungsszenarien Instandhaltung und Leichtbaurobotik. In: Hirsch-Kreinsen, H.; Ittermann, P.; Niehaus, J. (Hrsg.): Digitalisierung industrieller Arbeit. Die Vision Industrie 4.0 und ihre sozialen Herausforderungen. 2. Auflage, Nomos, Baden-Baden, 2018, S. 61-80
- [WDD03] WRZESNIEWSKI, A.; DUTTON, J.E.; DEBEDE, G.: Interpersonal Sensemaking and the Meaning of work. In: Research in Organizational Behavior, 25, 2003, S. 93-135

- [Wea12] WEAVER, B.: Coordination, cooperation, and collaboration: Defining the C3 framework. Honors Projects in Management. Paper 13, Bryant University, Smithfield, RI, USA, 2012
- [Wei01] WEINERT, F.E.: Vergleichende Leistungsmessung in Schulen – eine umstrittene Selbstverständlichkeit. In: Weinert, Franz E. (Hrsg.): Leistungsmessungen in Schulen. 2. Auflage, Beltz, Weinheim, Basel, 2001
- [Wei17] WEIDNER, I.: Lernen in Communities ist für Entwickler unersetzlich. In: Computerwoche, Nr. 23, 2017
- [Wet15] WETZEL, D.: Arbeit 4.0. Was Beschäftigte und Unternehmen verändern müssen. Herder, Freiburg, 2015
- [Wic17] WICKEL, M. C.: Änderungen besser managen – Eine datenbasierte Methodik zur Analyse technischer Änderungen. Dissertation, TU München, 2017
- [Win92] WINSTON, P.H.: Artificial Intelligence. 3. Auflage, Addison-Wesley, Reading, 1992
- [WK16] WILLEKE, S.; KASSELMANN, S.: Einführung interaktiver Assistenzsysteme über Reifegradmodelle. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, 111(11), 2016, S. 691-695
- [Woe14] WÖLFLE, M.: Kontextsensitive Arbeitsassistenzsysteme zur Informationsbereitstellung in der Intralogistik. Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, Technische Universität München, München, 2014
- [Wol97] WOLF, H.: Das dezentrale Unternehmen als imaginäre Institution. In: Rehberg, K.-S. (Hrsg.): Differenz und Integration. Die Zukunft moderner Gesellschaften. 28. Kongress der Deutschen Gesellschaft für Soziologie – Dresden 1996. Campus-Verlag, Frankfurt, 1997, S. 153-157
- [WPH+14] WILD, F.; PEREY, C.; HELIN, K.; DAVIES, P.; RYAN P.: Advanced Manufacturing with Augmented Reality. Proceedings of the 1st AMAR Workshop, München, 2014
- [WS17] WIEBUS, C.; SCHULZ-KAMM, E.: Sicherheit und Datenschutz in einer voll vernetzten Welt. In: LUCKS, K. (Hrsg.): Praxishandbuch Industrie 4.0 – Branchen, Unternehmen, M&A. Schäffer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2017, S. 501-509
- [Zim17] ZIMMERMANN, V.: Digitalisierung der Wirtschaft: breite Basis, vielfältige Hemmnisse. Unternehmensbefragung. KfW Bankengruppe, Frankfurt am Main, 2017
- [Zit18] ZITTLAU, K.: Sicherheit in der Arbeitswelt 4.0. In: Cernavin, O.; Schröter, W.; Stowasser, S. (Hrsg.): Prävention 4.0. Analysen und Handlungsempfehlungen für eine produktive und gesunde Arbeit 4.0. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2018, S. 269-286
- [ZÖ18-ol] ZEIDLER, O.; ÖZBEK, H.-B.: Leitfaden zum Technischen Monitoring von öffentlichen Gebäuden zur Betriebsoptimierung und Effizienzsteigerung, 2018, unter: http://www.stadtentwicklung.berlin.de/bauen/nachhaltiges_bauen/download/technisches_monitoring/Leitfaden_zum_technischen_Monitoring-2018.pdf (27.09.2019)
- [Zub88] ZUBOFF, S.: In The Age Of The Smart Machine: The Future of Work and Power. Heinemann, Oxford, 1988

Anhang

Inhaltsverzeichnis	Seite
A1 Übersicht der analysierten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien	A-1
A2 Hilfsmittel der Auswahlssystematik	A-7
A2.1 Leitfragen-Katalog zur Identifikation von Herausforderungen in der Arbeitswelt.....	A-7
A2.2 Steckbrief-Katalog Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien	A-10
A2.3 Kriterien-Katalog zur soziotechnischen Bewertung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien	A-30
A2.4 Leitfragen zur Identifikation geeigneter Arbeit 4.0-Klassen	A-61
A2.5 Steckbrief-Katalog Digitale Technologien	A-65
A3 Leitfragen zur Identifikation der Auswirkungen von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien	A-76

A1 Übersicht der analysierten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

Nr.	Titel	Quelle	Digitale Technol.	Akteur	Arbeitsaufgabe	Situation	Herausford.
1	Mixed Mock-Up	[Kon18-ol]	Virtua-lisierung	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Zeit
2	Remote Experte zur Wartungsunterstützung (AR)	[MFB+17]	Kommuni-kation	Mensch-System	Manuelle Routine	Tätigkeit	Kosten
3	Vergabe von wissensbasierten Aufgaben an Plattformen	[Ama19a-ol]	Vernetzung	Mensch-System	Kognitive Routine	Struktur	Kosten
4	Virtuelle Lernumgebungen (VLE)	[Löw18]	Virtua-lisierung	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
5	Digit. Arbeitsanleitung zur Unterst. manueller Fertigungsprozesse	[Lin18]	Kommuni-kation	Mensch-System	Manuelle Routine	Tätigkeit	Qualität
6	Automatisierung der Workflows wiederkehrender Arbeitsabl.	[Nin19-ol]	Vernetzung	System	Kognitive Routine	Prozess	Kosten
7	Experts on Demand	[HB17]	Vernetzung	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Struktur	Qualität
8	Selbstorganisierte Kapazitätsflexibilität (KapaflexCy)	[IAO19-ol]	Vernetzung	Mensch-System	Kognitive Routine	Struktur	Qualität
9	Digitale Skill-Matrix für die Projektplanung	[HB17]	Virtua-lisierung	Mensch-System	Kognitive Routine	Struktur	Qualität
10	Mobile Co-Robots zur manuellen Montageunterstützung	[IFF16-ol]	Kommuni-kation	Mensch-System	Manuelle Routine	Tätigkeit	Kosten
11	Hybrider Service-Bot (Bearbeitung von Service-Anfragen)	[GKW19]	Datenanalyse	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
12	Generative Design zur Unterstützung von Konstrukteuren	[Nor18]	Datenanalyse	System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
13	Prädiktive Wartung mittels digitaler Anlagenüberwachung	[ZÖ18-ol]	Datenanalyse	System	Kognitive Nichtroutine	Prozess	Qualität
14	Audience Response Tools in Workshops und Meetings	[GL15]	Virtua-lisierung	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
15	Digitale Erfassung und Rückführung von Felddaten	[PH15]	Vernetzung	System	Kognitive Routine	Struktur	Qualität
16	Informationsbereitstellung über Sprachassistenten	[Ama19b-ol]	Kommuni-kation	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Zeit
17	Humanoide Roboter zur Unterstützung von Hebetätigkeiten	[KIT18-ol]	Kommuni-kation	System	Manuelle Routine	Tätigkeit	Kosten

Bild A-1: Übersicht der analysierten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien 1/6

Nr.	Titel	Quelle	Digitale Technol.	Akteur	Arbeitsaufgabe	Situation	Herausford.
18	Predictive Analytics zur Entscheidungsunterstützung (z.B. Einkauf)	[KG17]	Datenanalyse	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
19	Licht-gesteuerte fahrerlose Transportsysteme	[Agi17-ol]	Kommunikation	System	Manuelle Routine	Tätigkeit	Kosten
20	Entwicklungs-Communities in offenen Innovationsprozessen	[Mar14a]	Vernetzung	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Struktur	Qualität
21	Dienstleistungssystem zum Konformitätsmanagement	[CT13]	Datenanalyse	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Zeit
22	Digitale Dokumentation des Produktionsfortschritts	[Büc17-ol]	Vernetzung	System	Manuelle Routine	Prozess	Kosten
23	Mobile Co-Robots zur automatisierten Fertigung	[Ves17-ol]	Kommunikation	Mensch-System	Manuelle Routine	Tätigkeit	Kosten
24	Qualitätskontrolle durch Gestenerkennung	[Bey15]	Virtualisierung	Mensch-System	Manuelle Routine	Tätigkeit	Zeit
25	Rapid Prototyping	[GS19a-ol]	Kommunikation	System	Manuelle Nichtroutine	Tätigkeit	Zeit
26	Exo-Skelett zur Entlastung bei Hebetätigkeiten	[IPA16-ol]	Kommunikation	Mensch-System	Manuelle Routine	Tätigkeit	Qualität
27	Digitale Recruiting Plattformen	[Sch19-ol]	Vernetzung	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Struktur	Qualität
28	Anlagenmonitoring beim Kunden zur Service-Konzipierung	[Sol19-ol]	Datenanalyse	System	Kognitive Nichtroutine	Struktur	Qualität
29	Enterprise Microblog. zur Ideenentwicklung und Vernetzung	[GS19b-ol]	Vernetzung	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Struktur	Qualität
30	Modellb. Entwicklung zur Unterst. der Traceability von Anforder.	[MFO+15]	Datenanalyse	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Prozess	Qualität
31	Collaboration Tools zur Unterstützung der Kommunikation	[MMM+13]	Kommunikation	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
32	E-Learning zur bedarfsgerechten und flexiblen Schulung	[NZ15]	Datenanalyse	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
33	KI zur Nachbildung von Erfahrungswissen	[BD17]	Datenanalyse	System	Kognitive Nichtroutine	Prozess	Qualität
34	Remote Experte (Beratungsdienstleistungen; ohne AR)	[Bit19-ol]	Kommunikation	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
35	BYOD-basierte Kommunikationsmittel im Projektgeschäft	[Bit13]	Kommunikation	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Zeit
36	Teilautomatisierte Angebotserstellung im B2B	[Cam19-ol]	Datenanalyse	Mensch-System	Kognitive Routine	Prozess	Qualität

Bild A-2: Übersicht der analysierten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien 2/6

Nr.	Titel	Quelle	Digitale Technol.	Akteur	Arbeitsaufgabe	Situation	Herausford.
37	Automatisierte Definition von Montagezeiten	[Kie02]	Datenanalyse	System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Zeit
38	Modellb. Stakeholder-spezifische Informationsbereitstellung	[ID10]	Virtua-lisierung	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
39	KI-basiertes Expertensystem	[Kre85-ol]	Datenanalyse	System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
40	Dig. Fahrtenbuch zur Unterstütz. von Dienst-reiseabrechnungen	[Pro19]	Vernetzung	System	Kognitive Routine	Prozess	Kosten
41	Modellb. Informations-bereitstellung für das Multi-Projektmgmt.	[CB12]	Datenanalyse	System	Kognitive Nichtroutine	Prozess	Qualität
42	Slido zur Unterstützung der Entscheidungsfindung in Workshops	[Sli19-ol]	Virtua-lisierung	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
43	Intelligente Vertreterregelung (z.B. zur E-Mail Weiterleitung)	[Liv19-ol]	Datenanalyse	System	Kognitive Routine	Prozess	Qualität
44	Mobile Workflows (z.B. zur schnelleren Entscheidungs-freigabe)	[Nin19-ol]	Vernetzung	System	Kognitive Routine	Prozess	Kosten
45	Gamification-basiertes E-Learning	[DDA+15]	Virtua-lisierung	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
46	Gamifaction-basierte Assistenzsysteme	[Bas17]	Virtua-lisierung	Mensch-System	Manuelle Routine	Tätigkeit	Qualität
47	Plattform zur dezentralen Beschaffung von kleinvolumigen Teilen	[Com02]	Vernetzung	System	Kognitive Routine	Struktur	Kosten
48	Mobile Decision Making Apps (Bewertung von Ideen/Vorschlägen)	[PCH10]	Kommuni-kation	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
49	KI-basiertes Monkey-Testing	[PHH17]	Datenanalyse	System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
50	Vergabe von kreativen Tätigkeiten an HR-Plattformen	[Ama19a-ol]	Vernetzung	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Struktur	Qualität
51	Predictive Analytics zur automatisierten Entscheidungsfindung	[Mau18]	Datenanalyse	System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
52	Drohnen-basierte Inventur	[Dok19-ol]	Kommuni-kation	System	Manuelle Routine	Tätigkeit	Kosten
53	Digitaler Auftragsdurchlauf	[SBR+16]	Vernetzung	System	Manuelle Routine	Prozess	Kosten
54	SAP Fiori zur Dokumentenverwaltung (z.B. Dienstreise)	[Com14]	Vernetzung	System	Manuelle Routine	Prozess	Kosten
55	Virtuelle Prototypen	[Com12]	Datenanalyse	System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität

Bild A-3: Übersicht der analysierten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien 3/6

Nr.	Titel	Quelle	Digitale Technol.	Akteur	Arbeitsaufgabe	Situation	Herausford.
56	Digitaler Zwilling	[KW18]	Datenanalyse	System	Kognitive Nichtroutine	Prozess	Qualität
57	Kundenbezogene Web-Konstruktionstools	[Pro17]	Datenanalyse	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
58	Intelligente Lagersysteme	[Bru14]	Kommunikation	System	Manuelle Routine	Tätigkeit	Kosten
59	RFID-basiertes Tracking und Tracing von Ladehilfsmitteln	[LX13]	Datenanalyse	System	Kognitive Nichtroutine	Prozess	Qualität
60	Maschinen-Frühwarnsysteme mittels Anomalie-Erkennung	[Ind17]	Datenanalyse	System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
61	Selbstkonfigurierende Fertigungsanlagen	[BEU09]	Datenanalyse	System	Kognitive Routine	Prozess	Qualität
62	Digitale Fertigungsunterlagen	[Küp12]	Kommunikation	Mensch-System	Manuelle Routine	Tätigkeit	Kosten
63	Internes Crowdsourcing	[HH12]	Vernetzung	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Struktur	Kosten
64	Mobile MOOC Learning	[SCY+18]	Virtualisierung	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Prozess	Qualität
65	Dashboard zum Monitoring von Anlagen	[ORM17]	Vernetzung	System	Kognitive Routine	Prozess	Kosten
66	Robotic Process-Automation	[ABH18]	Vernetzung	System	Kognitive Routine	Prozess	Kosten
67	Toolunabhängige Wissenserfassung	[SZ16]	Datenanalyse	System	Kognitive Nichtroutine	Struktur	Qualität
68	Assistenzsysteme für das Wissensmanagement	[PKM+16]	Virtualisierung	Mensch-System	Kognitive Routine	Tätigkeit	Qualität
69	Virtuelle Konferenz zur Entwicklung neuer Produkte (Design Rev.)	[Wat 10]	Kommunikation	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Zeit
70	Zugangskontrollen für Entwicklungsbereiche durch FaceID	[NKK+18]	Datenanalyse	Mensch-System	Manuelle Routine	Tätigkeit	Qualität
71	Akustische Qualitätskontrolle im Testing durch Audio Identificat.	[RRS+16]	Datenanalyse	System	Kognitive Routine	Tätigkeit	Qualität
72	Automatisierte Meeting Protokollierung	[Mee19-ol]	Virtualisierung	Mensch-System	Kognitive Routine	Tätigkeit	Zeit
73	Konten und Rechtekontrolle durch FaceID	[CKL16]	Datenanalyse	System	Manuelle Routine	Tätigkeit	Qualität
74	Akustische End of Line Tests	[Sou19-ol]	Datenanalyse	System	Manuelle Routine	Tätigkeit	Qualität

Bild A-4: Übersicht der analysierten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien 4/6

Nr.	Titel	Quelle	Digitale Technol.	Akteur	Arbeitsaufgabe	Situation	Herausford.
75	Intelligente Instandhaltungspläne von Maschinen & Anlagen	[MAV19]	Datenanalyse	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Prozess	Qualität
76	Intellig. Rückführung von Fehlerfällen in die Systemmodellierung	[Aut19-ol]	Datenanalyse	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Struktur	Qualität
77	Automatis. Kontrolle von Tracelinks in der Systemmodellierung	[SS18]	Datenanalyse	System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
78	Qualitätsbewertung von Anforderungen	[PDL+15]	Datenanalyse	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
79	Echtzeit-Dolmetscher für Meetings	[Ker14-ol]	Datenanalyse	Mensch-System	Kognitive Routine	Tätigkeit	Zeit
80	Teilautomatisierte Technologierecherche	[Fiz19-ol]	Datenanalyse	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
81	Regelbasierte Methodenbereitstellung für Problemstellungen	[ARB+15]	Datenanalyse	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
82	Automatisierte Dokumentenbereitstellung in Meeting Räumen	[Net16-ol]	Virtualisierung	System	Kognitive Routine	Tätigkeit	Zeit
83	Intelligente technische Dokumentation	[Pla19a-ol]	Datenanalyse	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Zeit
84	Modellbasierte Anforderungsmuster	[SLS+15]	Datenanalyse	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
85	Corporate Wording Assistenz	[Cor19-ol]	Datenanalyse	Mensch-System	Kognitive Routine	Tätigkeit	Qualität
86	Teilautomatis. Design-to-Cost auf Basis des Systemmodells	[Mue11]	Datenanalyse	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Zeit
87	Prototypenbau mit 3D Druck	[MSE+14]	Datenanalyse	System	Manuelle Nichtroutine	Tätigkeit	Zeit
88	Änderungsnachverfolgung im Systemmodell	[Wic17]	Datenanalyse	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
89	Generative Design zur Erstellung von Systemmodellen	[Nor18]	Datenanalyse	System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
90	Automatische Anomalieerkennung bei der Produktverifikation	[Sil14]	Datenanalyse	System	Kognitive Nichtroutine	Tätigkeit	Qualität
91	Durchgängige digitale Planung einer Elektroinstallation	[EBG10]	Vernetzung	Mensch-System	Kognitive Routine	Prozess	Kosten
92	Automat. Erzeugung von NC-Program. auf Basis von 3D-Bauteilen	[Pro14]	Datenanalyse	System	Kognitive Routine	Tätigkeit	Zeit
93	VR-basierte Kollaboration in der Entwicklung	[PKM+06]	Kommunikation	Mensch-System	Kognitive Routine	Tätigkeit	Qualität

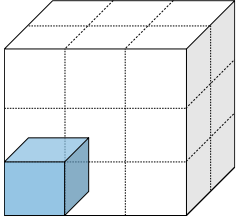
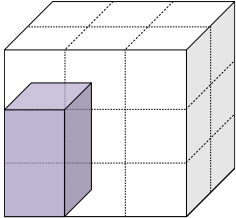
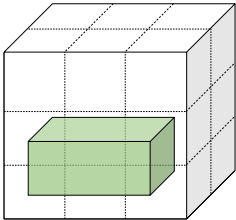
Bild A-5: Übersicht der analysierten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien 5/6

Nr.	Titel	Quelle	Digitale Technol.	Akteur	Arbeitsaufgabe	Situation	Herausford.
94	B2B Plattform für industrielles Testen	[Opt19-ol]	Vernetzung	Mensch-System	Kognitive Nichtroutine	Struktur	Zeit
95	Belegloser Montagearbeitsplatz durch Assemble-by-Light	[Pla19b-ol]	Kommunikation	Mensch-System	Manuelle Routine	Tätigkeit	Kosten
96	Plattform zur Weiterbildung von Talenten	[Wei17]	Vernetzung	System	Kognitive Nichtroutine	Struktur	Qualität
97	Fertigungsassistenzsysteme (sozio-cyberphys. Produktionssyst.)	[THB+14]	Kommunikation	Mensch-System	Kognitive Routine	Tätigkeit	Qualität
98	Augmented Reality zur Unterstützung von Verpackungstätigkeiten	[GBR+09]	Virtualisierung	Mensch-System	Manuelle Routine	Tätigkeit	Qualität
99	Remote-Zugriff auf installierte Sicherheitssysteme	[Pla19c-ol]	Vernetzung	Mensch-System	Kognitive Routine	Struktur	Zeit
100	Montage-Assistenzsystem auf Basis von Bewegungserkennung	[Mar14b]	Kommunikation	Mensch-System	Manuelle Routine	Tätigkeit	Qualität

Bild A-6: Übersicht der analysierten Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien 6/6

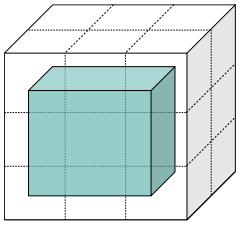
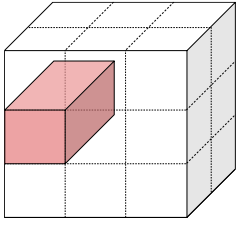
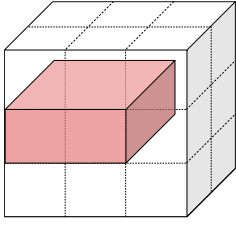
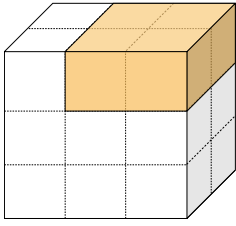
A2 Hilfsmittel der Auswahlssystematik

A2.1 Leitfragen-Katalog zur Identifikation von Herausforderungen in der Arbeitswelt

Klasse	Leitfrage	ES	IV	FL
 Digital Supporter	<ul style="list-style-type: none"> Bei welchen Arbeitstätigkeiten liegen Ineffizienzen vor? Welche Arbeitstätigkeiten beinhalten einen hohen Routinegrad? Mit welchen Arbeitswerkzeugen werden diese durchgeführt? Welche Methoden kommen dabei zur Anwendung? Können belastende/ stressverursachende Tätigkeiten unterstützt werden? Wie ändert sich die Mensch-Maschine Kommunikation? 	X X X X X X		
 Digital Man of Action	<ul style="list-style-type: none"> Welche Arbeitstätigkeiten beinhalten einen hohen manuellen Routinegrad? Welche Tätigkeiten sind besonders anfällig für menschliche Fehler? Welche Tätigkeiten sind besonders anfällig für Arbeitsunfälle? Welche Tätigkeiten beinhalten einen hohen Anteil an unergonomischen Tätigkeiten? 	X X X X		
 Smart Aide	<ul style="list-style-type: none"> Welche Arbeitstätigkeiten beinhalten einen hohen Grad an kognitiver Nichtroutine? Welche Rahmenbedingungen führen zu zeitlichen Verzögerungen? Sind die Kunden-/Unternehmensziele deckungsgleich? Wie flexibel ist die Kunden-Lieferanten-Beziehung ausgestaltet? Wie ändert sich die Mensch-Maschine Kommunikation? Sind Mitarbeiter bereit, ihr Wissen zu teilen? Wie ist das Wissensmanagement organisiert? Wer sind die Innovationsträger? Wie hoch ist die digitale Prozessunterstützung? 	X X X X X	 X X X X	

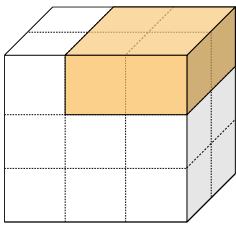
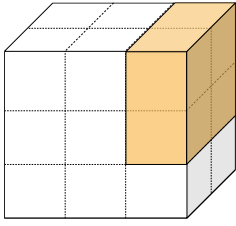
ES: Effizienzsteigerung | IV: Innovationsfähigkeit | FL: Flexibilisierung

Bild A-7: Leitfragen-Katalog 1/3

Klasse	Leitfrage	ES	IV	FL
 Smart Decider	<ul style="list-style-type: none"> Welche Arbeitstätigkeiten beinhalten einen hohen kognitiven Routine- als auch Nichtroutinegrad? Welche Tätigkeiten sind besonders anfällig für menschliche Fehler? Welche Tätigkeiten beinhalten einen hohen Anteil an unergonomischen Tätigkeiten? Wie wird getestet? Kann die Zeit durch Simulation verkürzt werden? Welche Mittel zur Datenerhebung und Auswertung gibt es? Wie effizient und flexibel ist die Innovationsorganisation? 	X X X	 X X	
 Digital Processes	<ul style="list-style-type: none"> Welche Arbeitstätigkeiten besitzen einen hohen Routinegrad? Werden Methoden der Waren- und Materialflussanalyse angewendet? Können die Beziehungen zu Lieferanten oder zu Kunden verbessert werden? Sind Mitarbeiter bereit, ihr Wissen zu teilen? Wie ist das Wissensmanagement organisiert? Wer sind die Innovationsträger? Wie hoch ist die digitale Prozessunterstützung? 	X X X	 X X X X	
 Intelligent Processes	<ul style="list-style-type: none"> Wie stark wird der Kunde in den PEP integriert? Wo wird für wen entwickelt? Wie ist die Time-to-Market? Wie erfolgt die Kooperation mit Wertschöpfungspartnern? Wie ist das Prozesswissen? Welche Mittel zur Datenerhebung und -auswertung gibt es? Werden Systems Engineering-Ansätze verwendet? Wie hoch ist die digitale Prozessunterstützung in der Entwicklung? Wird Eigeninitiative gefördert? 	X X X X	 X X X	
 Agile Ressource Management 1/2	<ul style="list-style-type: none"> Wie attraktiv ist der Arbeitgeber? Gibt es Exzellenzprogramme? Wird Eigeninitiative gefördert? Wie sind interne Promotionsstrukturen aufgebaut? Wie wird auf schwankende Personalbedarfe reagiert? 		X X X X	 X

ES: Effizienzsteigerung | IV: Innovationsfähigkeit | FL: Flexibilisierung

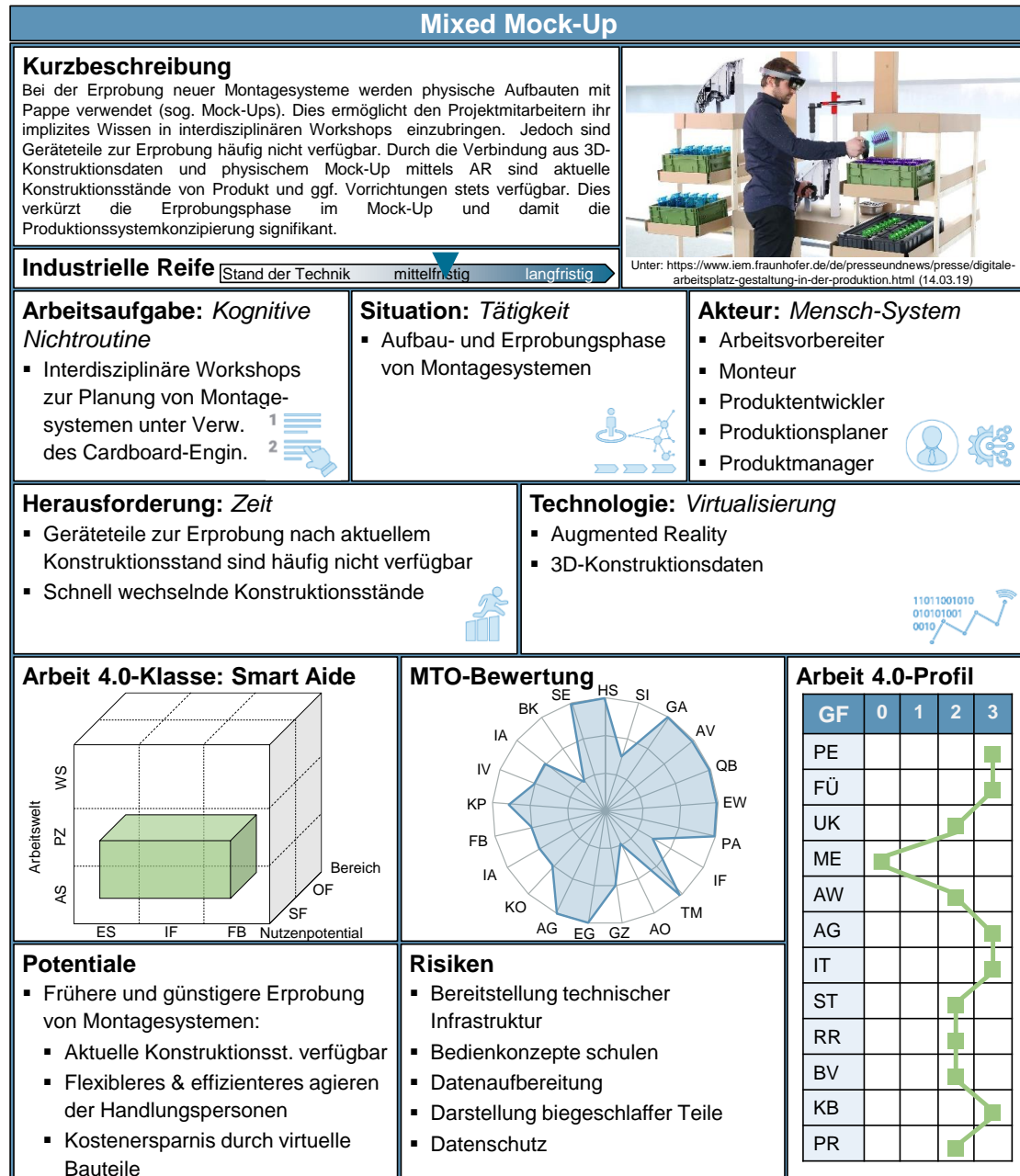
Bild A-8: Leitfragen-Katalog 2/3

Klasse	Leitfrage	ES	IV	FL
 Agile Ressource Management 2/2	<ul style="list-style-type: none"> Wie werden Betriebsrat und Gewerkschaften bei der Einführung neuer Technologien eingebunden? Wie entwickelt sich das Arbeitnehmer-/Arbeitgeberverhältnis? Welche Arbeitszeitmodelle gibt es? Gibt es Schulungsmöglichkeiten für anzulernende Arbeitskräfte? 			X X X X
 Agile Value Systems	<ul style="list-style-type: none"> Sind die Teams agil? Arbeiten Ingenieure bereichsübergreifend? Gibt es interdisziplinäre Teams? Gibt es Möglichkeiten zur Remote Problem-analyse/Intervention? Wie hoch sind operative Betriebskosten der Konkurrenz? Wo in der Wertschöpfungskette entsteht die meiste Wertschöpfung? 			X X X X X

ES: Effizienzsteigerung | IV: Innovationsfähigkeit | FL: Flexibilisierung

Bild A-9: Leitfragen-Katalog 3/3

A2.2 Steckbrief-Katalog Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien



Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-10: Steckbrief „Mixed Mock-Up“

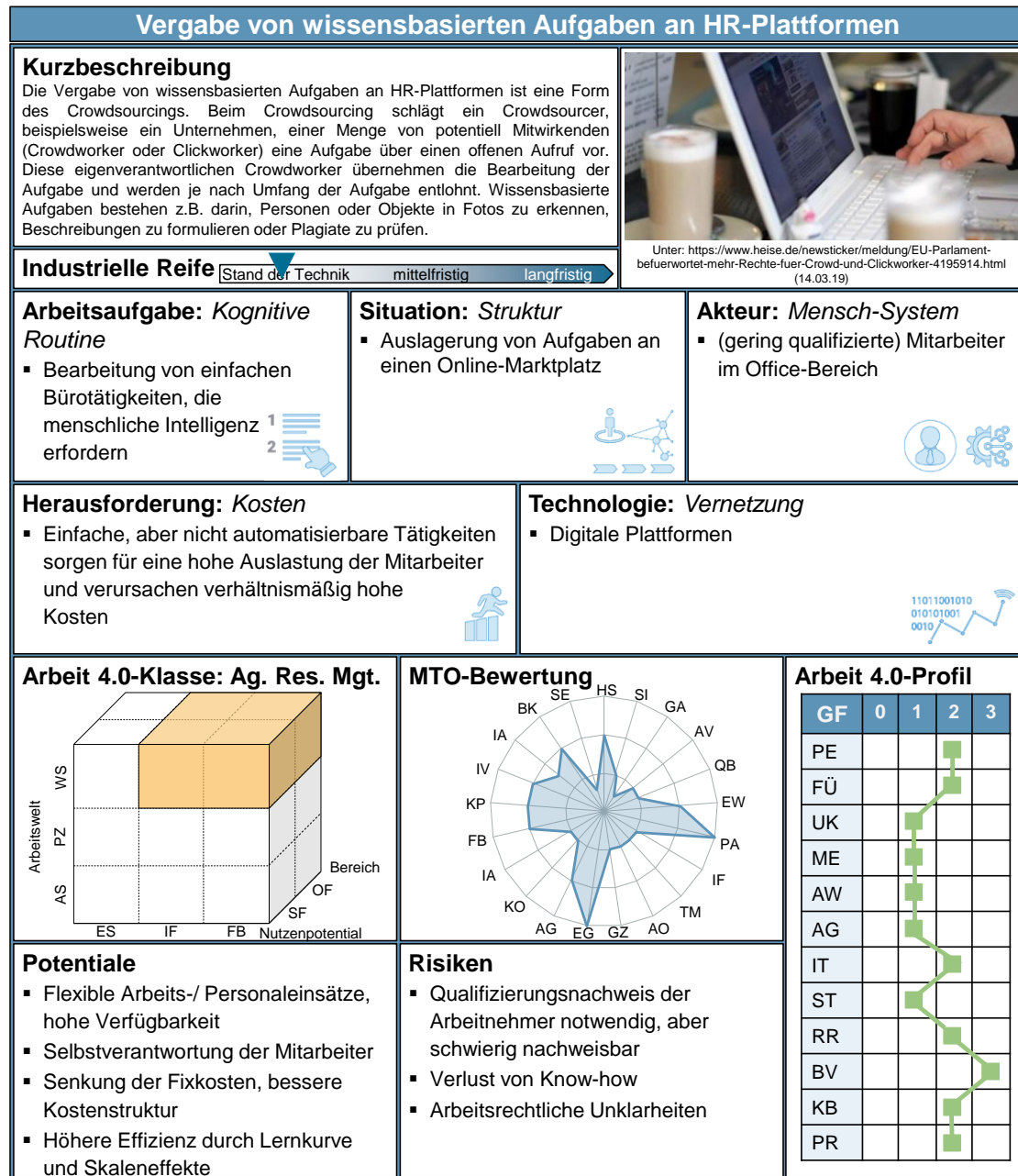


Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-11: Steckbrief „Remote Experte zur AR-basierten Wartungsunterstützung“

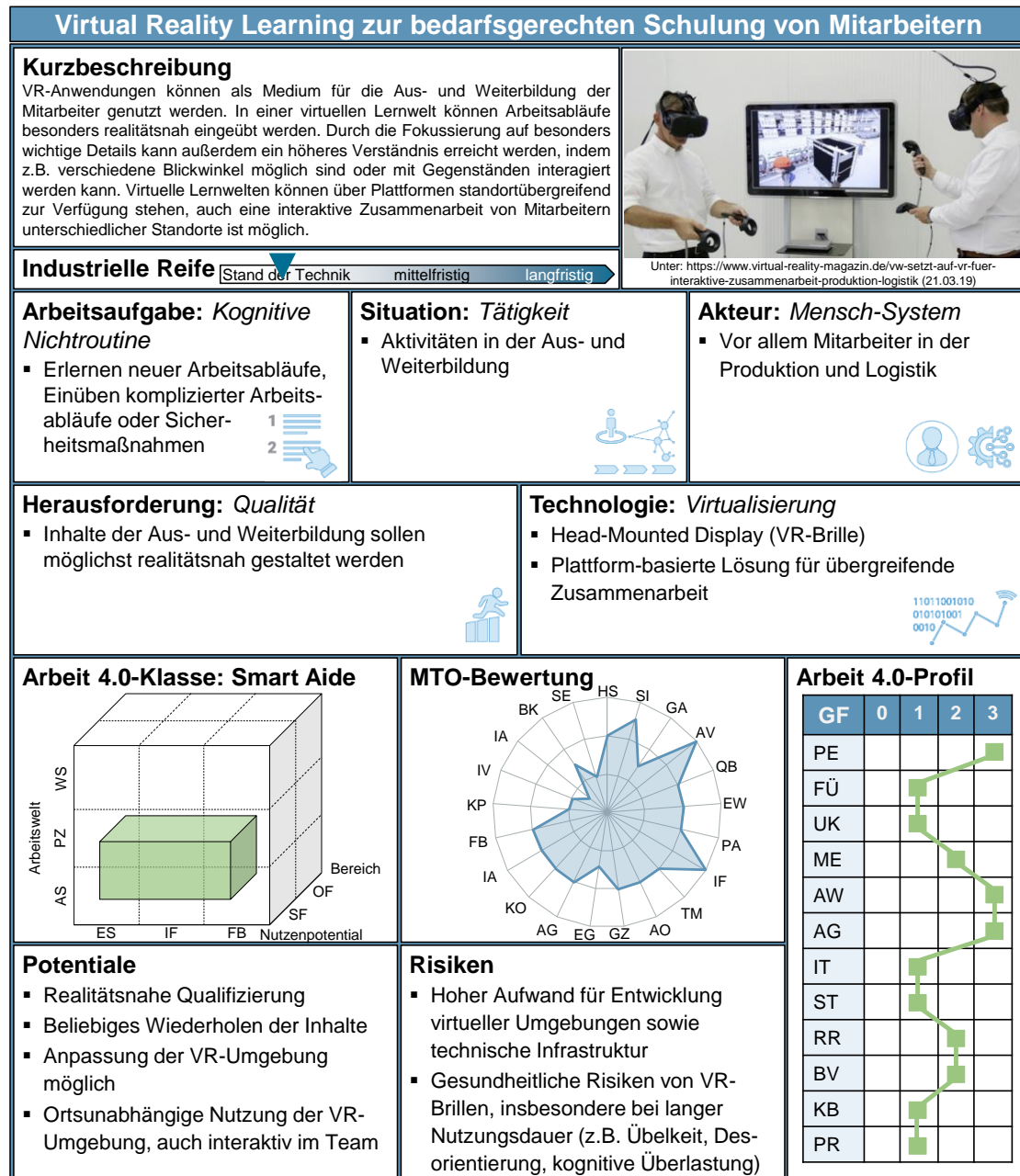


Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-12: Steckbrief „Vergabe von wissensbasierten Aufgaben an HR-Plattformen“

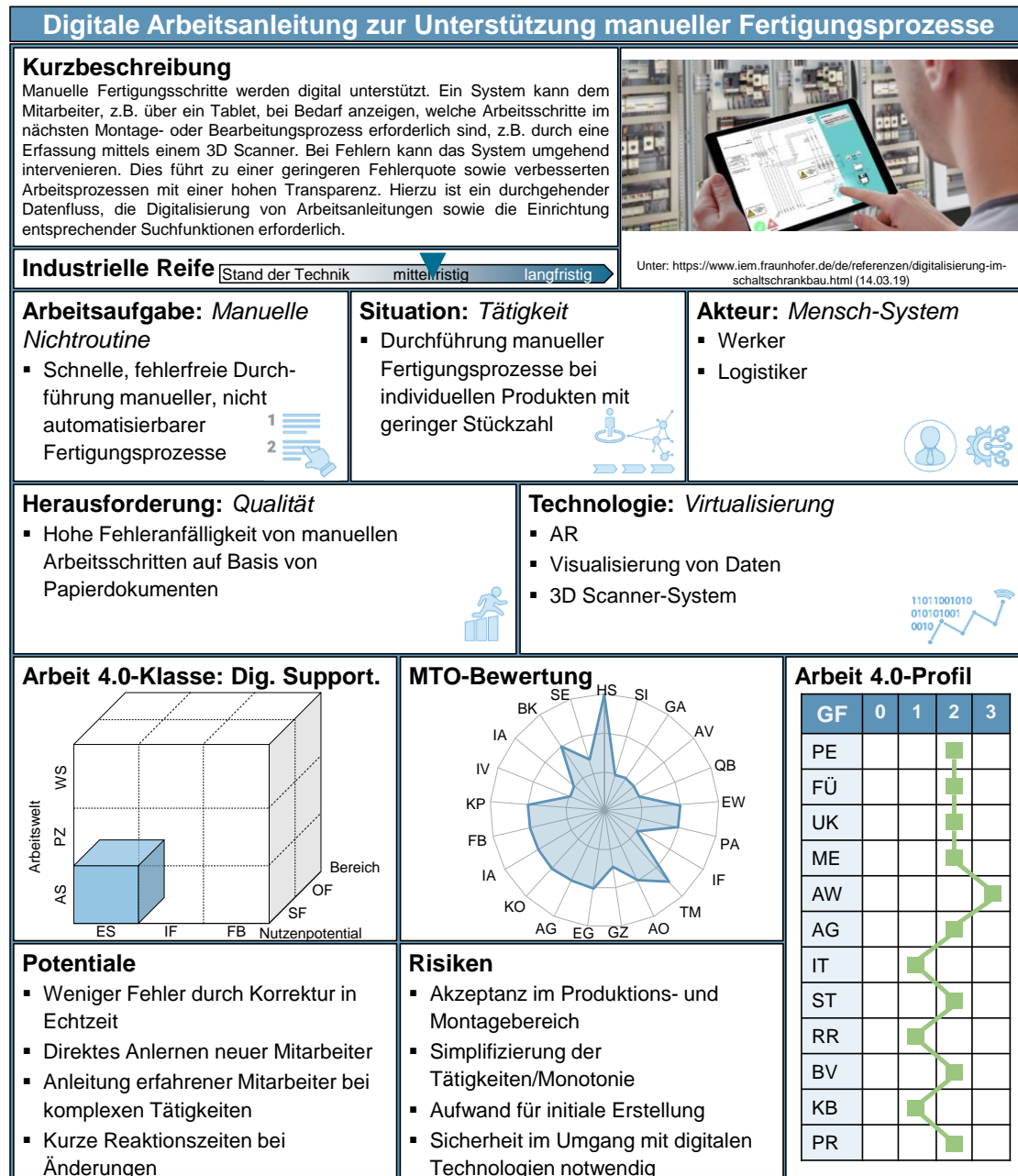


Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-13: Steckbrief „Virtual Reality Learning zur bedarfsgerechten Schulung von Mitarbeitern“



Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-14: Steckbrief „Digitale Arbeitsanleitung zur Unterstützung manueller Fertigungsprozesse“

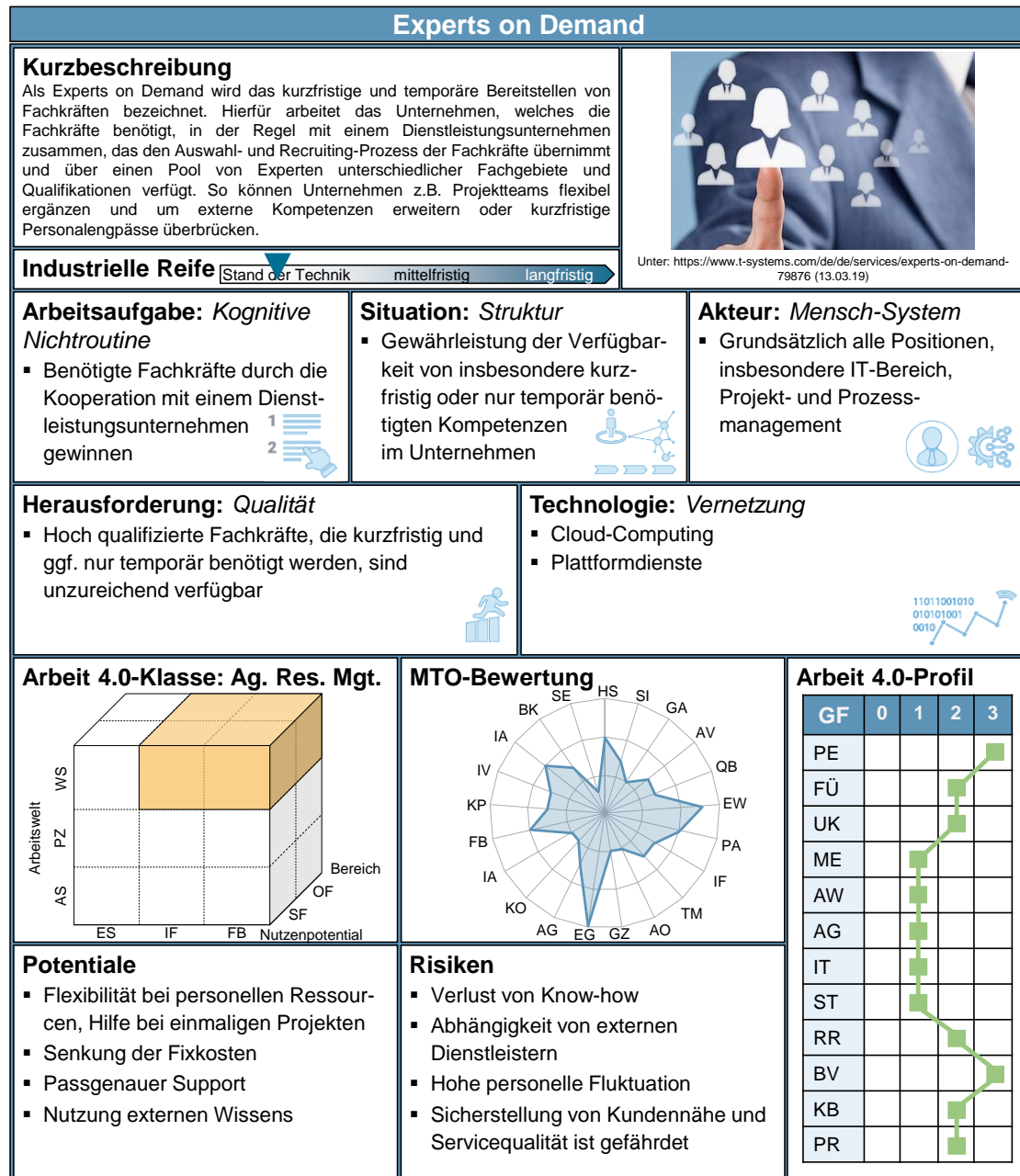


Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-15: Steckbrief „Automatisierung der Workflows wiederkehrender Arbeitsabläufe“

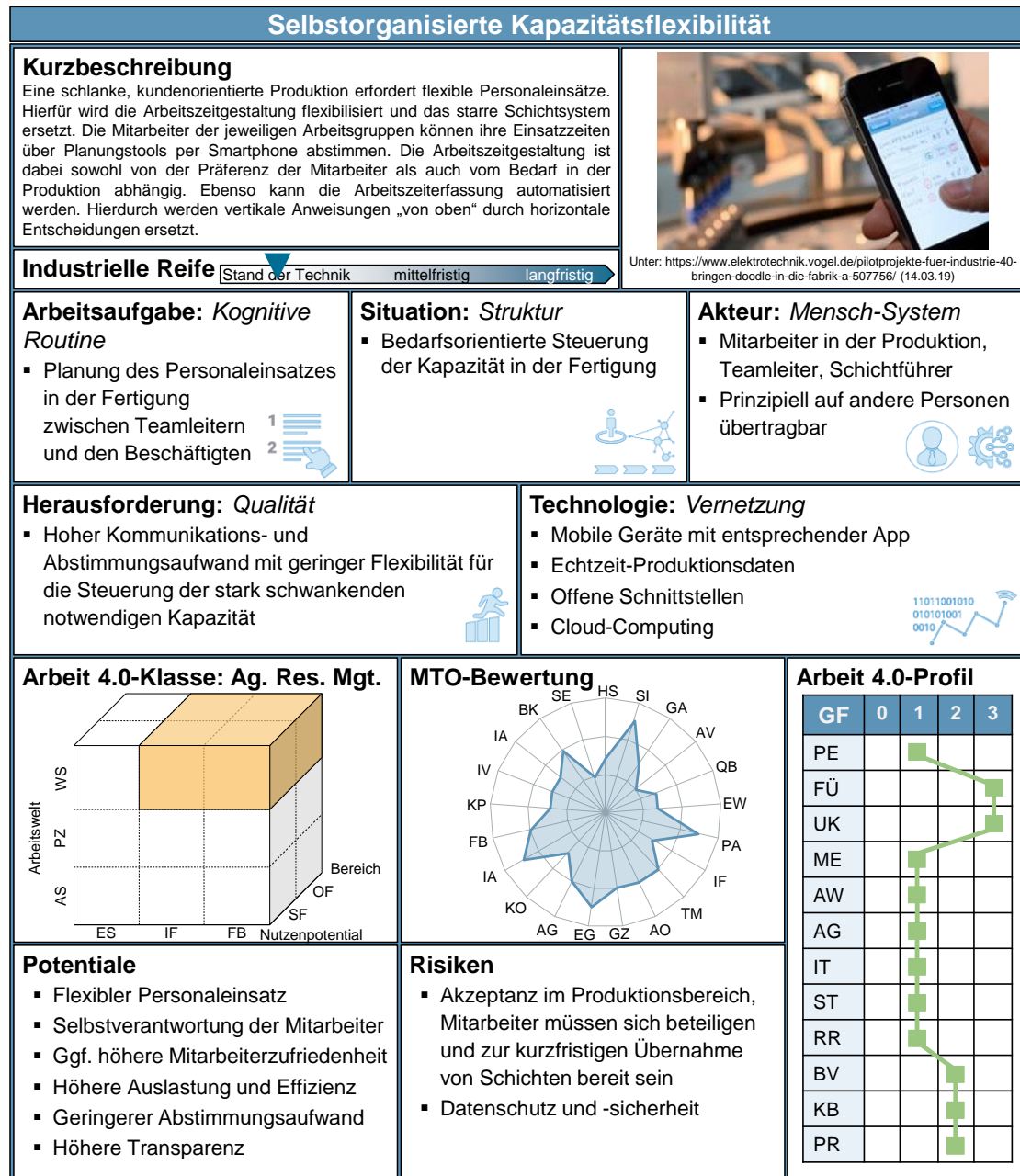


Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-16: Steckbrief „Experts on Demand“



Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-17: Steckbrief „Selbstorganisierte Kapazitätsflexibilität“

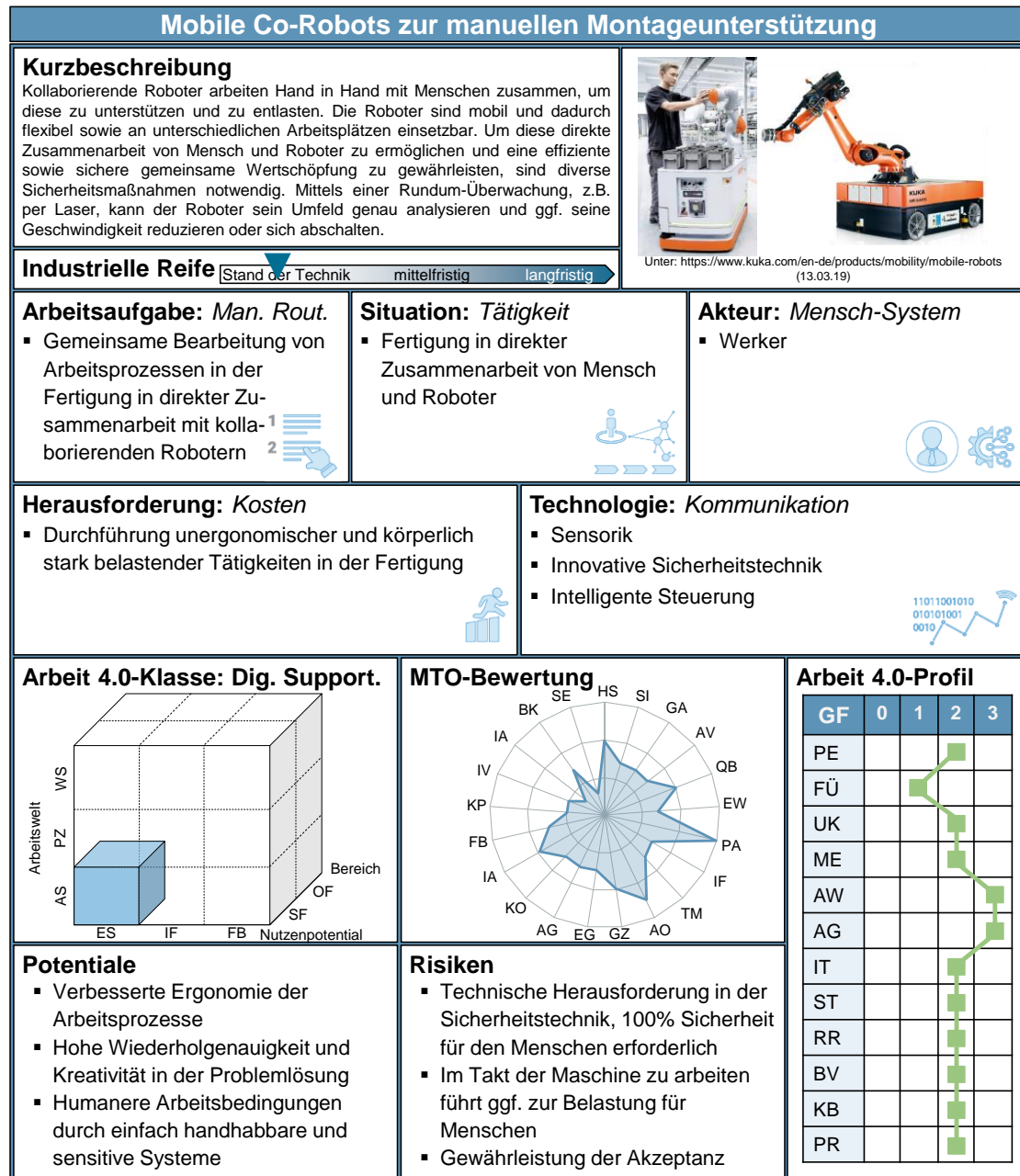


Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-18: Steckbrief „Digitale Skill-Matrix“

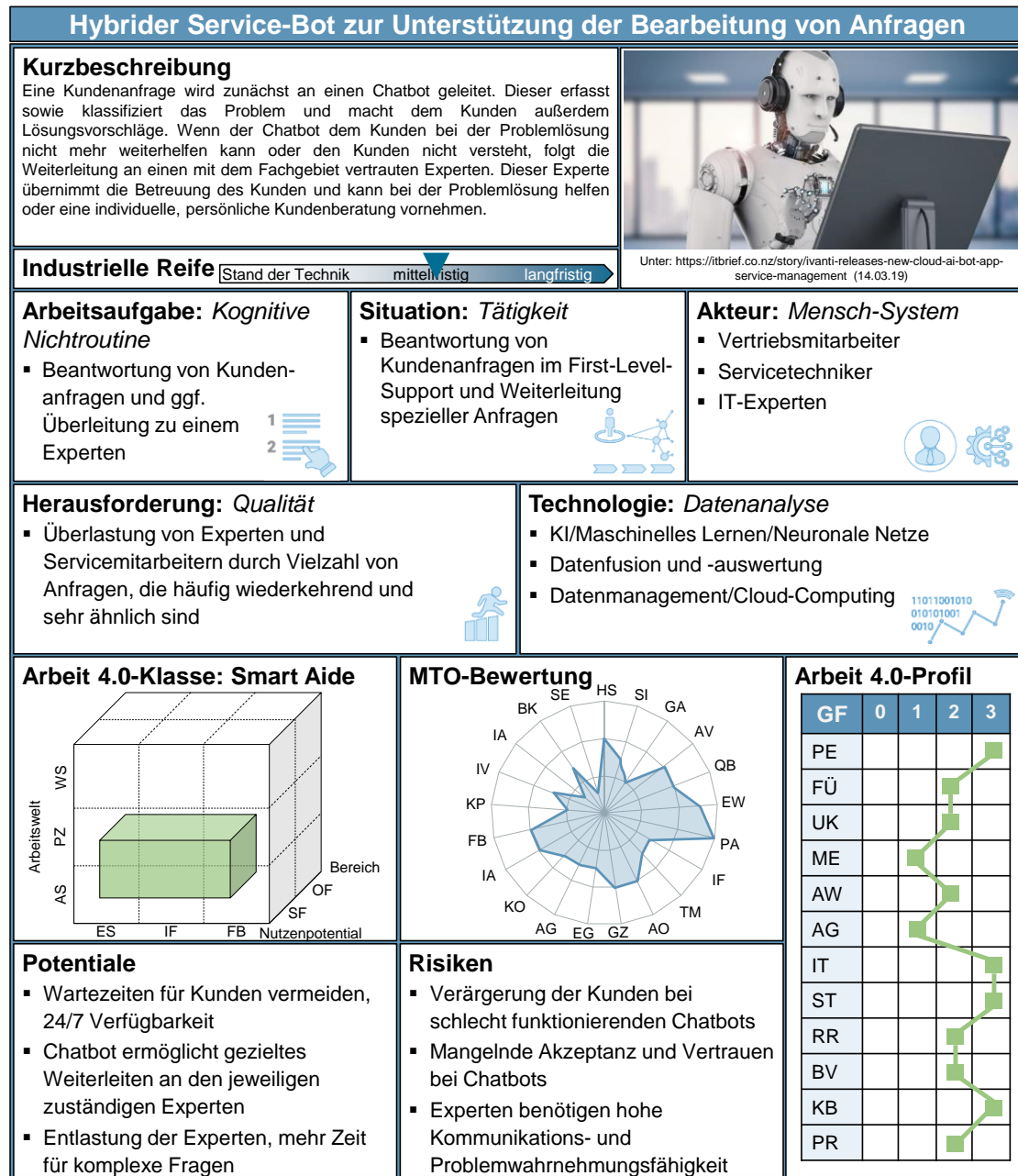


Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-19: Steckbrief „Mobile Co-Robots zur manuellen Montageunterstützung“

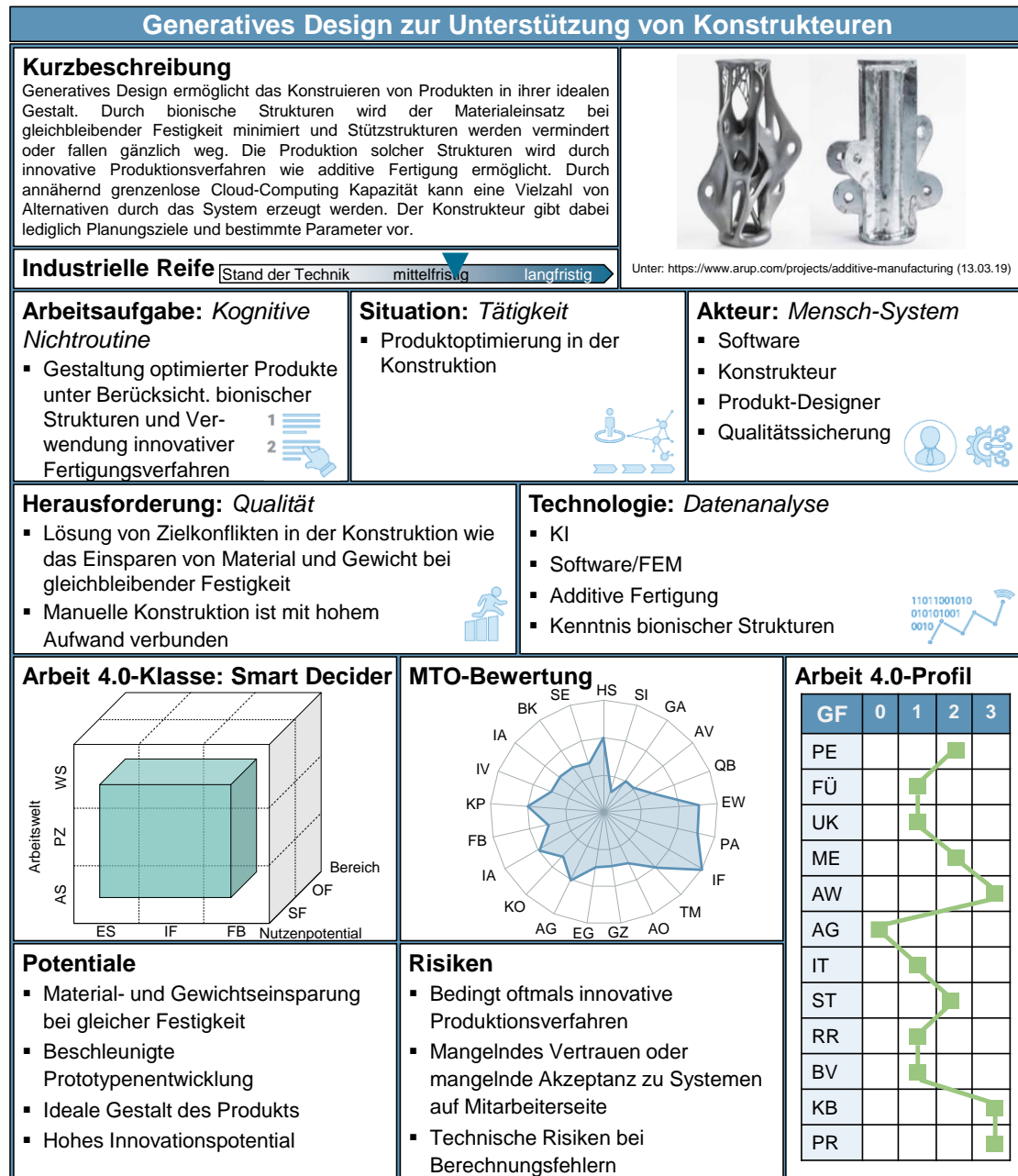


Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-20: Steckbrief „Hybrider Service-Bot zur Unterstützung der Bearbeitung von Anfragen“

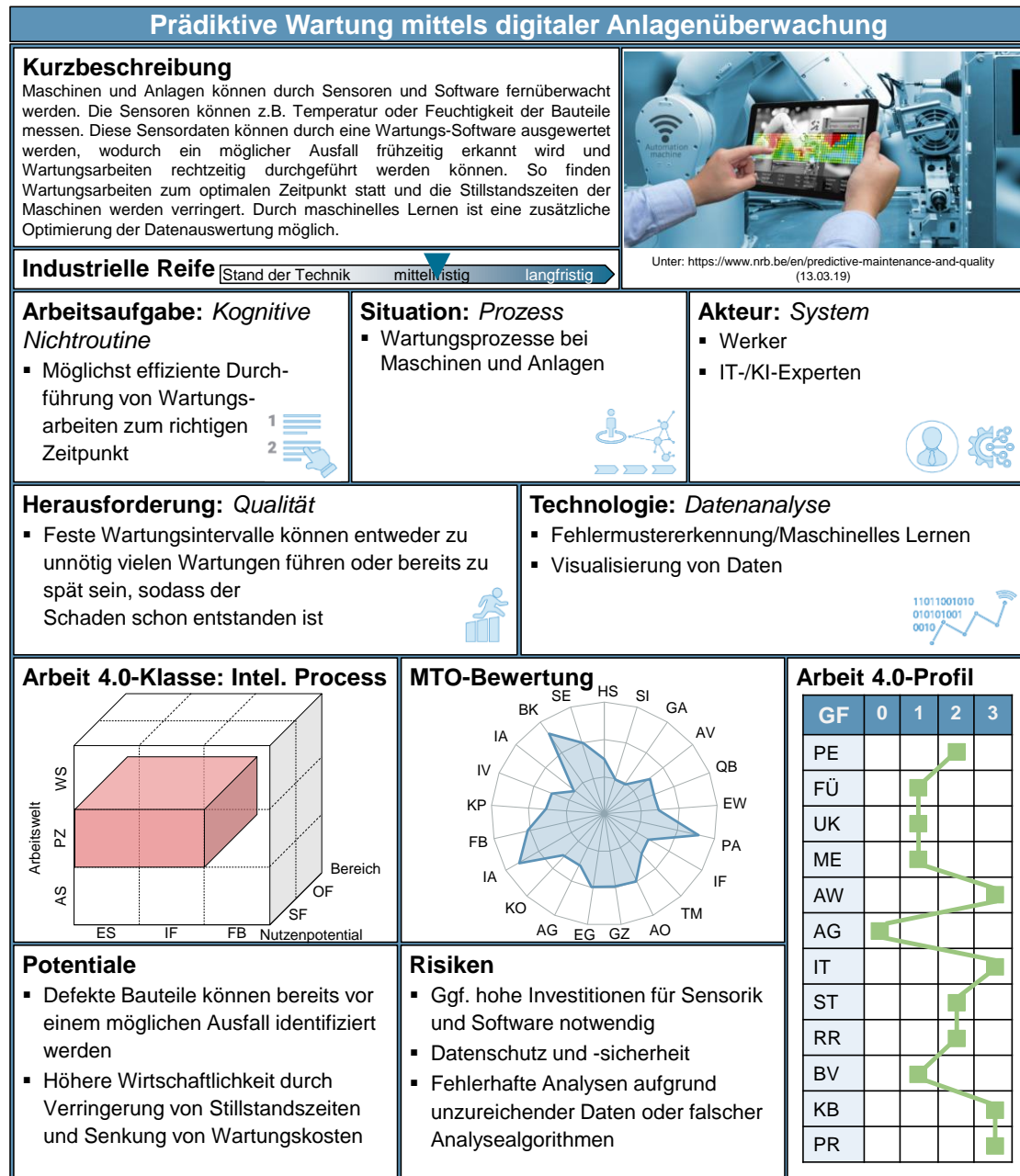


Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-21: Steckbrief „Generatives Design zur Unterstützung von Konstrukteuren“

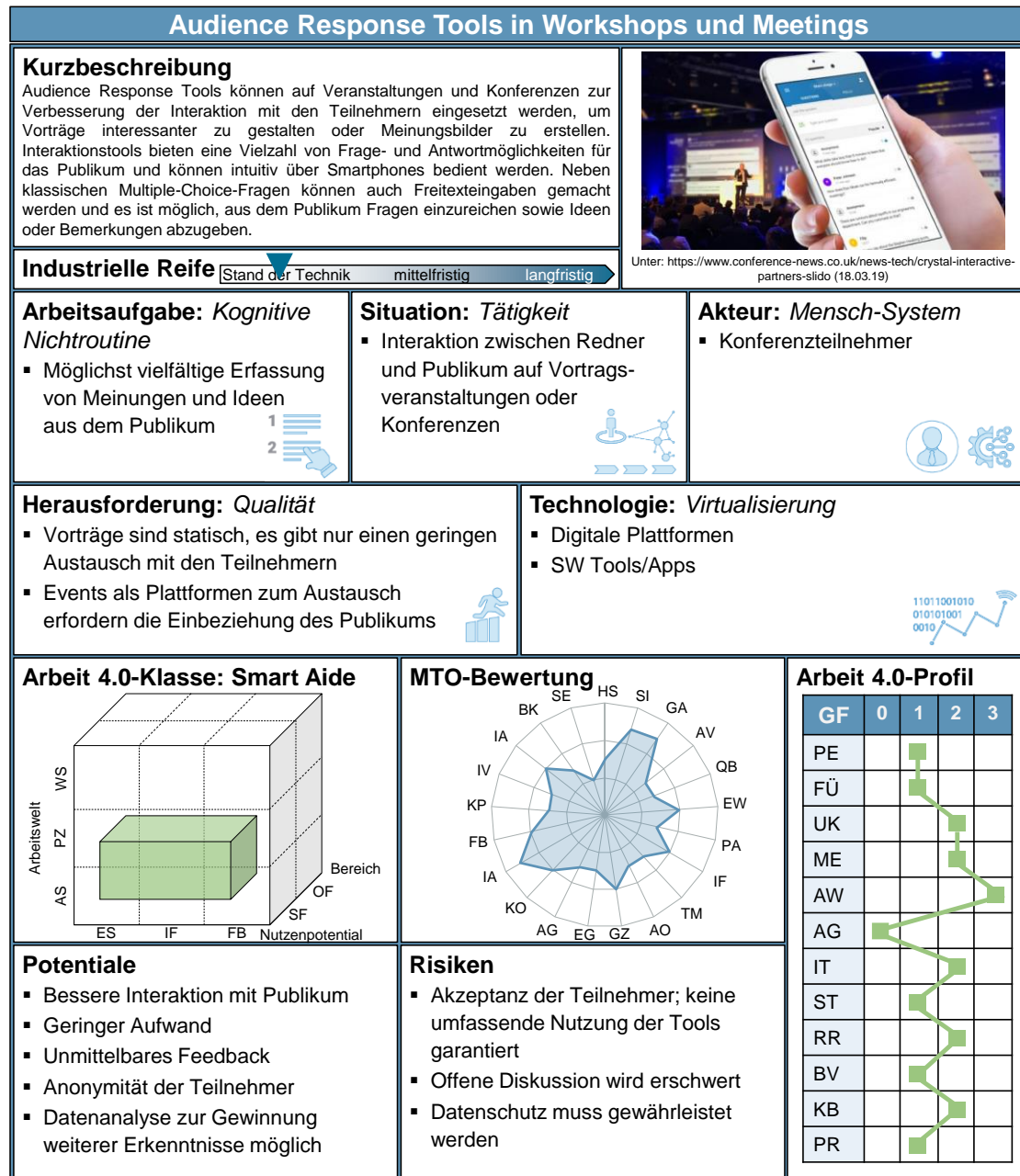


Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-22: Steckbrief „Prädiktive Wartung mittels digitaler Anlagenüberwachung“

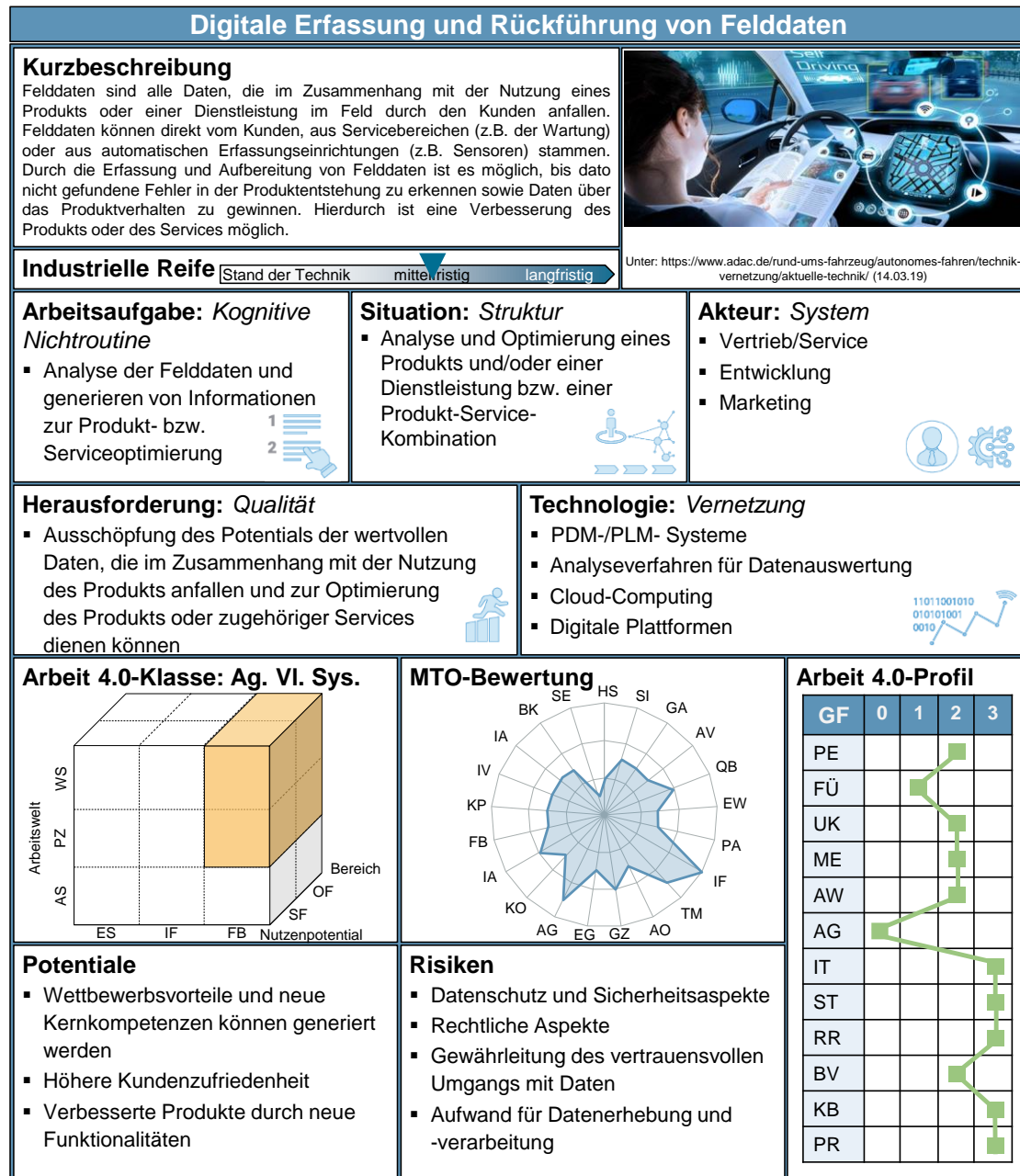


Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-23: Steckbrief „Audience Response Tools in Workshops und Meetings“



Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-24: Steckbrief „Digitale Erfassung und Rückführung von Felddaten“

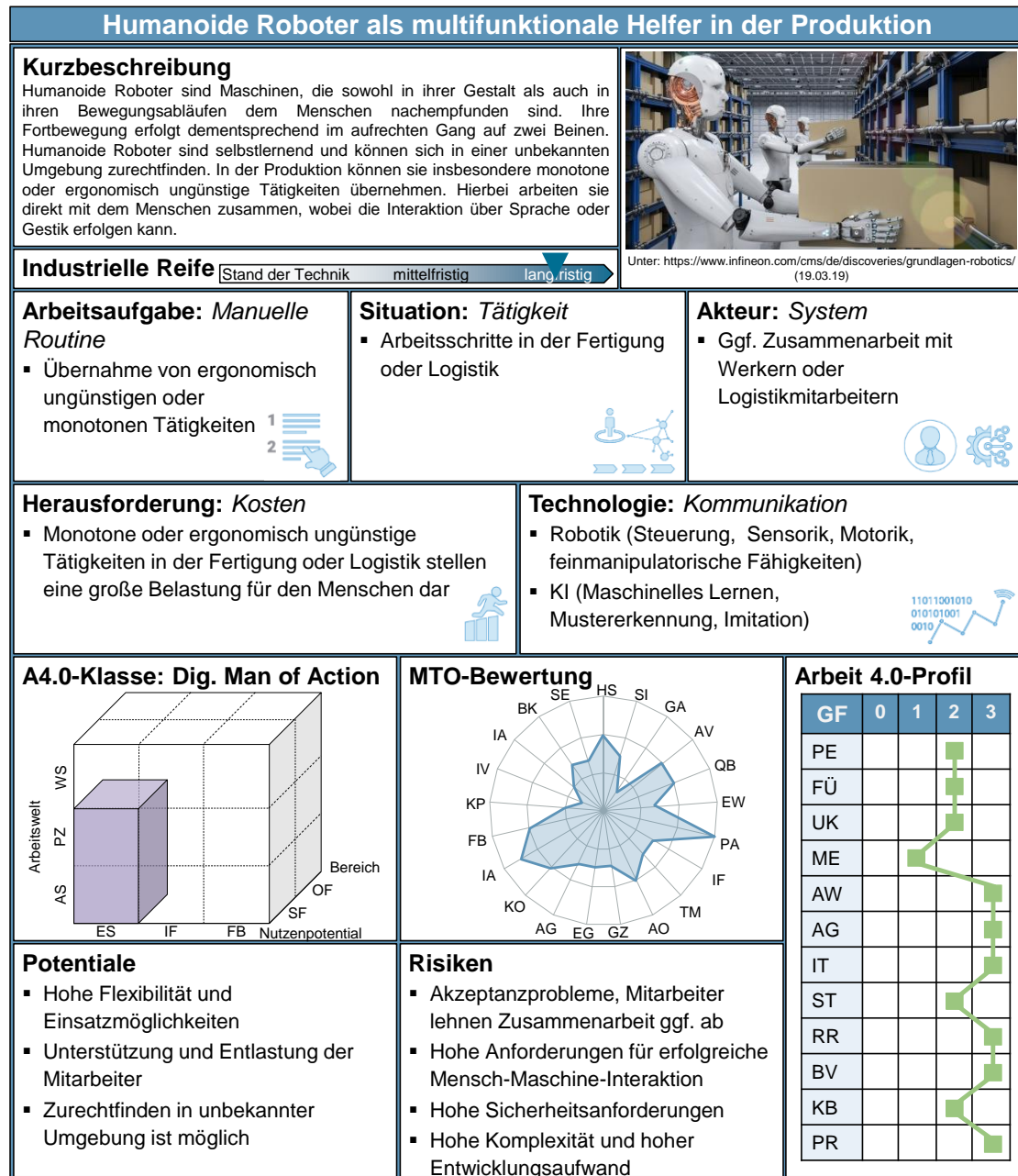


Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-25: Steckbrief „Informationsbereitstellung über Sprachassistenten“



Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-26: Steckbrief „Humanoide Roboter als multifunktionale Helfer in der Produktion“

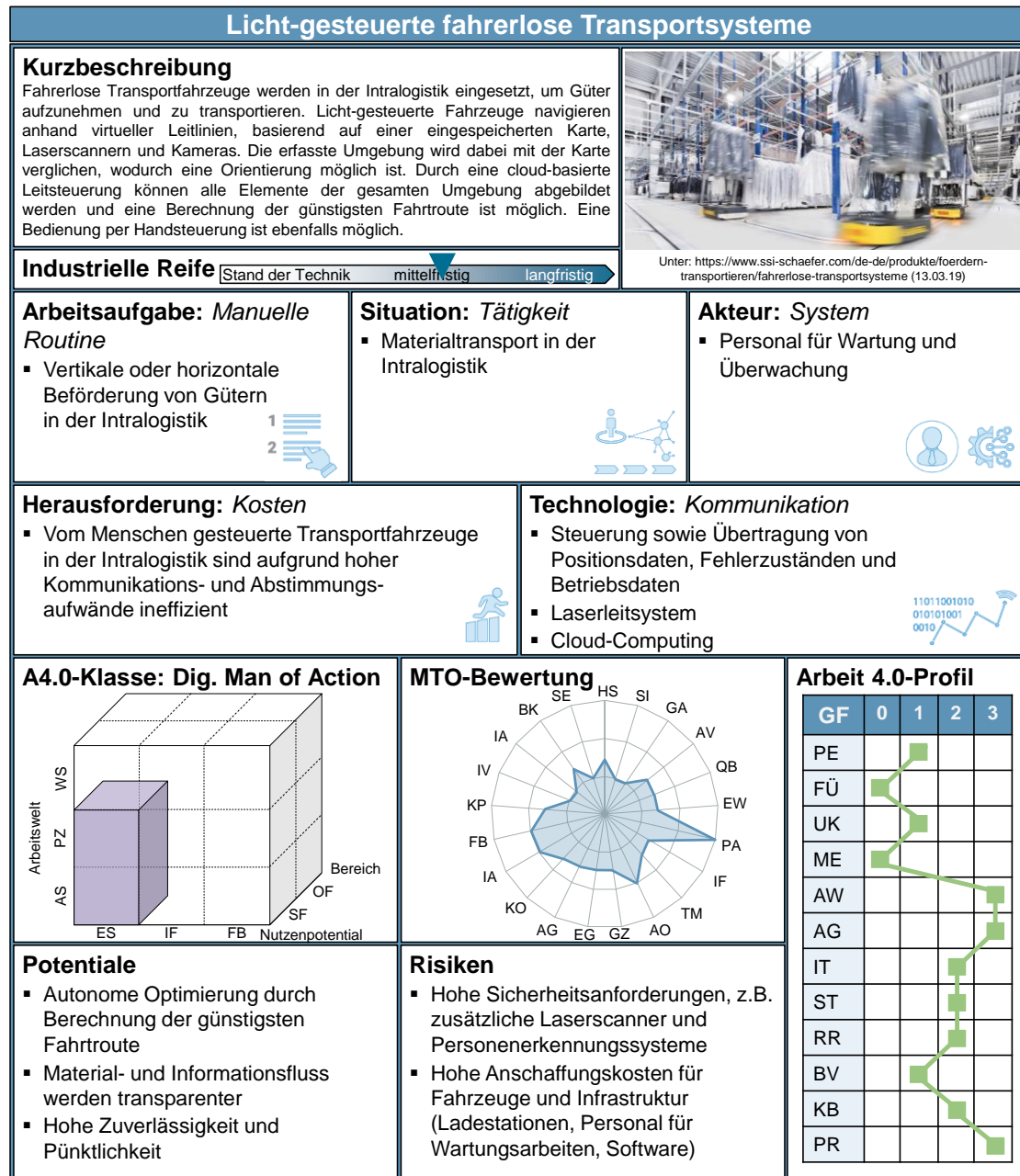


Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-27: Steckbrief „Predictive Analytics zur Entscheidungsunterstützung“

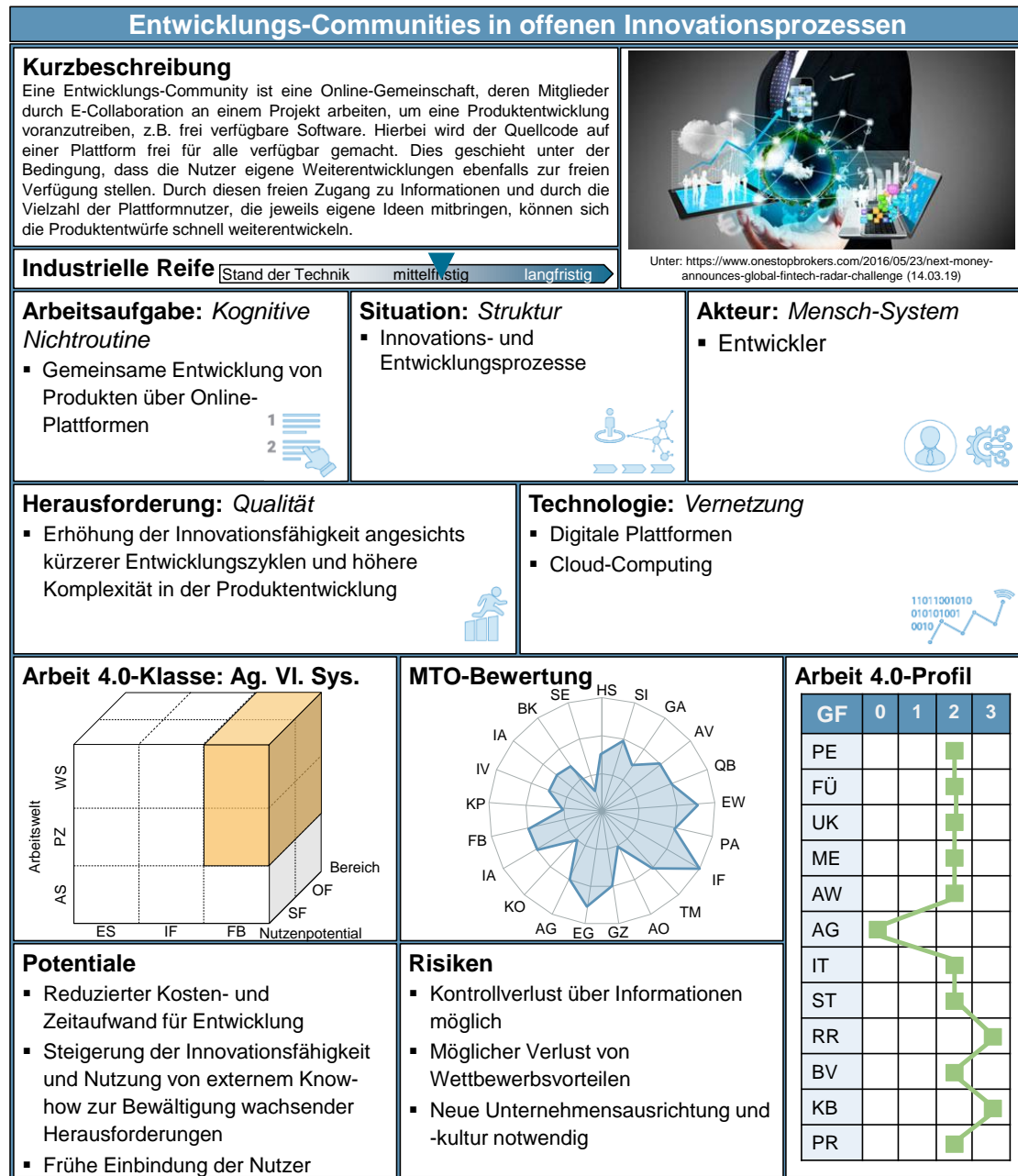


Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-28: Steckbrief „Licht-gesteuerte fahrerlose Transportsysteme“



Arbeit 4.0-Klasse (vgl. Bild 4-8): AS: Arbeitssystem | PZ: Prozesse | WS: Wertschöpfung | ES: Effizienzsteigerung | IF: Innovationsfähigkeit | FB: Flexibilisierung | SF: Shopfloor | OF: Officefloor

MTO-Bewertung (vgl. Bild 4-19): HS: Handlungsspielraum | SI: Soziale Interaktion | GA: Ganzheitlichkeit der Aufgabe | AV: Anforderungsvielfalt | QB: Qualifizierungsbedarf | EW: Expertenwissen | PA: Personalaufwand | IF: Innovationsförderung | TM: Time-to-Market | AO: Aufbau-/Ablauforganisation | GZ: Grad der Zusammenarbeit | EG: Entgrenzung | AG: Agilität | KO: Kompatibilität | IA: Interaktion | FB: Flexibilität | KP: Komplexität | IV: Invest | IA: Installationsaufwand | BK: Betriebskosten | SE: Safety & Security | Äußerer Radius: Stark positive Auswirkungen des Arbeit 4.0-Anwendungsszenarios auf das Kriterium

Arbeit 4.0-Profil (vgl. Bild 4-24): GF: Gestaltungsfeld | PE: Personalentwicklung | FÜ: Führung | UK: Unternehmenskultur | ME: Methoden | AW: Arbeitswerkzeuge | AG: Arbeitsschutz & Gesundheit | IT: IT-Sicherheit | ST: Standards | RR: Rechtliche Rahmenbedingungen | BV: Betriebsvereinbarungen | KB: Kollaboration | PR: Prozesse | 0: Das Anwendungsszenario stellt keine Anforderungen an das Gestaltungsfeld ... 3: Das Anwendungsszenario stellt hohe Anforderungen an das Gestaltungsfeld

Bild A-29: Steckbrief „Entwicklungs-Communities in offenen Innovationsprozessen“

A2.3 Kriterien-Katalog zur soziotechnischen Bewertung von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien¹³

Handlungsspielraum

Definition: Der Handlungsspielraum bezieht sich auf die Freiheit und Unabhängigkeit in Bezug auf die Möglichkeiten (1) Zeitpunkt und Reihenfolge der Erledigung von Teiltätigkeiten zu planen, (2) selbstständig Entscheidungen zu treffen und (3) die Arbeitsmethoden selbst zu wählen [SDU+10, S. 3].

Bewertung:

Tabelle A-1: Bewertungssitems des Kriteriums „Handlungsspielraum“

Wie sehr treffen die Aussagen zu?						
a)	Die Arbeit ist selbstständig planbar.	1	2	3	4	NB
b)	Viele Entscheidungen bei der Arbeit sind selbstständig zu treffen.	1	2	3	4	NB
c)	Es bestehen viele Freiheiten in der Art und Weise, wie die Arbeit verrichtet wird.	1	2	3	4	NB

1: Trifft nicht zu | 2: Trifft eher nicht zu | 3: Trifft eher zu | 4: Trifft zu | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfe Item a)

(1) Die Planung wird innerhalb des Szenarios von dem Vorgesetzten übernommen. (Bsp. Shopfloor: Genaue Vorgabe wie ein Werkstück zu bearbeiten ist/Bsp. Officefloor: Genaue Vorgabe, wie ein Dokument zu erstellen ist.)

(4) Die handelnde Person bekommt innerhalb des Szenarios lediglich Zielvorgaben. Die Planung der Realisierung übernimmt sie selbst (z.B. freie Entscheidung über Termine und die Annahme von Aufträgen).

Bewertungshilfe Item b)

(1) Die Arbeit innerhalb des Szenarios erlaubt keine eigenen Entscheidungen. Sowohl die Arbeitsziele als auch die Wege und die Reihenfolge der Arbeitsschritte sind festgelegt.

(4) Innerhalb des Szenarios kann die handelnde Person sowohl über die Ziele wie auch über die Auswahl einzelner Arbeitsschritte, ihre Reihenfolge und den zeitlichen Rahmen mitbestimmen.

¹³ Der Kriterien-Katalog wurde im Rahmen des BMBF-Verbundprojektes IviPep erarbeitet und veröffentlicht [MPB+18]. An der Erstellung waren neben BANSMANN zudem MLEKUS, PARUZEL, BENTLER, JENDERNY, FOULLOIS und WOESTE beteiligt.

Bewertungshilfe Item c)

(1) Für die Erledigung der Arbeitsaufgaben innerhalb des Szenarios ist jeweils ein bestimmtes Vorgehen vorgegeben.

(4) Die Handlungsperson kann das Vorgehen innerhalb des Szenarios insgesamt selbst bestimmen.

Ergebnisinterpretation:

1,0-1,4: Geringer Handlungsspielraum

1,5-2,4: Eher geringer Handlungsspielraum

2,5-3,4: Eher hoher Handlungsspielraum

3,5-4,0: Hoher Handlungsspielraum

Soziale Interaktion

Definition: Möglichkeiten der sozialen Interaktion (Aufgabenmerkmal) sind gegeben, wenn der Austausch von Informationen zwischen Handlungspersonen und gegenseitige Unterstützung möglich sind. Zudem können sie helfen, Belastungen besser zu ertragen. Dieses Merkmal kann durch Aufgaben, deren Bewältigung Zusammenarbeit nahelegt oder voraussetzt, realisiert werden [Uli11, S. 205].

Bewertung:

Tabelle A-2: Bewertungsitems des Kriteriums „Soziale Interaktion“

Wie sehr treffen die Aussagen zu?						
a)	Der Austausch mit anderen Menschen am Arbeitsplatz ist gegeben.	1	2	3	4	NB
b)	Es wird häufig mit Personen, die nicht in der Organisation arbeiten, kommuniziert.	1	2	3	4	NB
c)	Die Arbeitsaufgaben sind stark von der Arbeit anderer Personen abhängig.	1	2	3	4	NB
d)	Bevor die Arbeit der handelnden Person nicht fertig ist, können andere ihre Arbeit nicht erledigen.	1	2	3	4	NB

1: Trifft nicht zu | 2: Trifft eher nicht zu | 3: Trifft eher zu | 4: Trifft zu | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfen:**Bewertungshilfe Item a)**

(1) Es besteht innerhalb des Szenarios keine Möglichkeit sich mit anderen auszutauschen (isolierter Arbeitsplatz).

(4) Innerhalb des Szenarios wird direkt und intensiv mit anderen Menschen zusammengearbeitet (z.B.: Es wird als Team über einer Aufgabe diskutiert).

Bewertungshilfe Item b)

(1) Es besteht kein Kontakt innerhalb des Szenarios zu Personen außerhalb der Organisation (z.B. Kunden, Zulieferern).

(4) Ein Großteil der Aufgaben innerhalb des Szenarios besteht darin, mit Personen außerhalb der Organisation zu kommunizieren.

Bewertungshilfe Item c)

(1) Die Arbeitsaufgaben innerhalb des Szenarios können unabhängig von anderen Personen bearbeitet werden.

(4) Die Arbeitsaufgaben innerhalb des Szenarios können erst dann bearbeitet werden, wenn andere ihre Aufgaben vollständig fertiggestellt haben und hängen von deren Qualität ab (z.B.: Die handelnde Person ist auf Informationen, Analysedaten anderer angewiesen).

Bewertungshilfe Item d)

(1) Die Arbeit innerhalb des Szenarios kann unabhängig von anderen Personen bearbeitet werden.

(4) Andere können ihre Arbeit erst dann bearbeiten, wenn die handelnde Person die Aufgaben innerhalb des Szenarios vollständig fertiggestellt hat (z.B.: Andere sind auf Informationen der handelnden Person angewiesen).

Ergebnisinterpretation:

1,0-1,4: wenige Möglichkeiten zur sozialen Interaktion

1,5-2,4: eher wenige Möglichkeiten zur sozialen Interaktion

2,5-3,4: eher viele Möglichkeiten zur sozialen Interaktion

3,5-4,0: viele Möglichkeiten zur sozialen Interaktion

Ganzheitlichkeit der Aufgabe

Definition: Das Aufgabenmerkmal Ganzheitlichkeit der Aufgabe bedeutet, dass Beschäftigte die Bedeutung und den Stellenwert ihrer Tätigkeit erkennen können und Rückmeldung über den Arbeitsfortschritt erhalten. Aufgaben sind ganzheitlich, wenn sie planende, ausführende und kontrollierende Elemente enthalten und die Beschäftigten prüfen können, ob ihre Ergebnisse mit den gestellten Anforderungen übereinstimmen [Uli11, S. 206].

Bewertung:*Tabelle A-3: Bewertungsitems des Kriteriums „Ganzheitlichkeit der Aufgabe“*

Wie sehr treffen die Aussagen zu?						
a)	Das Ergebnis der Arbeit hat einen großen Einfluss auf andere Menschen.	1	2	3	4	NB
b)	Bei der Arbeit kann zu Ende gebracht werden, was begonnen wurde.	1	2	3	4	NB
c)	Durch die Tätigkeit selbst erhält man automatische Rückmeldung (durch eigene Kontrolltätigkeit und/oder die Hilfe von technischen Komponenten) über die Leistung.	1	2	3	4	NB

1: Trifft nicht zu | 2: Trifft eher nicht zu | 3: Trifft eher zu | 4: Trifft zu | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfen:**Bewertungshilfe Item a)**

(1) Die Arbeit innerhalb des Szenarios beeinflusst weder die Arbeit anderer Menschen innerhalb noch außerhalb der Organisation.

(4) Die Arbeit innerhalb des Szenarios beeinflusst die Arbeit anderer Menschen innerhalb und außerhalb der Organisation.

Bewertungshilfe Item b)

(1) Die handelnde Person bearbeitet innerhalb des Szenarios nur eine Teilaufgabe eines großen Ganzen. Die Arbeit beinhaltet in keiner Weise das Erstellen von vollständigen, in sich abgeschlossenen Produkten oder Dienstleistungen.

(4) Die handelnde Person bearbeitet innerhalb des Szenarios einen Arbeitsvorgang von Anfang bis Ende. Das Ergebnis der Arbeit ist ein vollständiges, abgeschlossenes Produkt/Dienstleistung.

Bewertungshilfe Item c)

(1) Es ist der handelnden Person innerhalb des Szenarios nicht möglich zu erkennen, wie gut sie die Arbeit qualitativ und/oder quantitativ erledigt hat. Sie kann weder durch Kontrolltätigkeiten noch durch die Hilfe von technischen Komponenten feststellen, in welchem Umfang sie ihr Ziel erreicht hat.

(4) Der Arbeitsplatz und die Aufgabe innerhalb des Szenarios sind so gestaltet, dass die handelnde Person direkt und deutlich erkennt, wie gut sie die Arbeit qualitativ und/oder quantitativ erledigt. Diese Rückmeldung kann sie erhalten, indem sie z.B. selbst Kontrolltätigkeiten oder passive Kontrollen durch technische Komponenten (z.B.: Computer, Maschinen oder Prozessfunktionen) durchführt.

Ergebnisinterpretation:

1,0-1,4: Wenig ganzheitlich

1,5-2,4: Eher wenig ganzheitlich

2,5-3,4: Eher ganzheitlich

3,5-4,0: Sehr ganzheitlich

Anforderungsvielfalt

Definition: Das Aufgabenmerkmal Anforderungsvielfalt meint, dass unterschiedliche Fähigkeiten, Kenntnisse und Fertigkeiten eingesetzt werden können. Dadurch kann eine einseitige Beanspruchung vermieden werden. Eine hohe Anforderungsvielfalt kann durch Aufgaben mit unterschiedlichen Anforderungen an Körperfunktionen und Sinnesorgane realisiert werden [Uli11, S. 206]. Wissensmerkmale umfassen Anforderungen an Wissen, Fähigkeiten und Skills, die ein Arbeitsplatz an die Handlungsperson stellt [SDU+10, S. 3].

Bewertung:*Tabelle A-4: Bewertungitems des Kriteriums „Anforderungsvielfalt“*

Wie sehr treffen die Aussagen zu?						
a)	Die Arbeit ist sehr abwechslungsreich.	1	2	3	4	NB
b)	Die Aufgaben sind einfach und unkompliziert. (invertiert)	1	2	3	4	NB
c)	Bei der Arbeit werden sehr viele Informationen verarbeitet.	1	2	3	4	NB
d)	Die Arbeit verlangt ungewöhnliche Ideen oder Problemlösungen.	1	2	3	4	NB
e)	Die Arbeit erfordert eine Fülle von Fertigkeiten.	1	2	3	4	NB
f)	Die verwendeten Werkzeuge, Prozeduren und Materialien sind speziell auf die Tätigkeit angepasst.	1	2	3	4	NB

1: Trifft nicht zu | 2: Trifft eher nicht zu | 3: Trifft eher zu | 4: Trifft zu | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfen:**Bewertungshilfe Item a)**

(1) Innerhalb des Szenarios bearbeitet die handelnde Person nur eine Art von Aufgaben.

(4) Innerhalb des Szenarios macht die Person sehr viele verschiedene Dinge und immer mal wieder etwas Neues; sie bearbeitet somit eine Vielfalt von Aufgaben.

Bewertungshilfe Item b)

(1) Die Arbeit innerhalb des Szenarios ist nicht sehr anspruchsvoll, daher kann fast jeder die Arbeit ohne große Einarbeitung machen. Es wird nur eine Aufgabe zur gleichen Zeit gemacht.

(4) Die Arbeit innerhalb des Szenarios ist sehr anspruchsvoll. Es müssen z.B. viele Aufgaben zur gleichen Zeit gemacht werden.

Bewertungshilfe Item c)

(1) Die handelnde Person muss innerhalb des Szenarios nur wenige Informationen zur gleichen Zeit im Auge behalten und miteinander verknüpfen. Die Tätigkeit erfordert wenig Denkarbeit.

(4) Innerhalb des Szenarios muss die handelnde Person eine Vielzahl an Informationen im Auge behalten und sich um viele Dinge gleichzeitig kümmern. Die Tätigkeit erfordert viel Denkarbeit.

Bewertungshilfe Item d)

(1) Innerhalb des Szenarios muss die handelnde Person keine Probleme lösen und wenn, gibt es einen vorgegebenen Lösungsweg.

(4) Die handelnde Person muss innerhalb des Szenarios mit neuen Problemen umgehen und Probleme lösen, für die es keine eindeutige Lösung gibt. Für die Arbeit ist Kreativität sehr wichtig.

Bewertungshilfe Item e)

(1) Die Arbeit innerhalb des Szenarios erfordert keine anspruchsvollen und wenig verschiedene Fertigkeiten. Die handelnde Person braucht keine unterschiedlichen Kompetenzen bei der Arbeit.

(4) Bei der Arbeit innerhalb des Szenarios setzt die handelnde Person viele verschiedene Kompetenzen ein und kann somit viele ihrer Talente nutzen.

Bewertungshilfe Item f)

(1) Keine der Tätigkeiten innerhalb des Szenarios erfordert spezifische Fertigkeiten oder ein hohes Maß an Fachwissen.

(4) Einige Tätigkeiten innerhalb des Szenarios erfordern sehr spezifische Fertigkeiten und ein hohes Maß an Fachwissen ist vonnöten. Die Tätigkeiten können nur Spezialisten machen.

Ergebnisinterpretation:

Achtung: Item 2 ist invertiert, d.h. die Skala muss für die Berechnung des Mittelwerts umgedreht werden.

1,0-1,4: Niedrige Anforderungsvielfalt

1,5-2,4: Eher niedrige Anforderungsvielfalt

2,5-3,4: Eher hohe Anforderungsvielfalt

3,5-4,0: Hohe Anforderungsvielfalt

Qualifizierungsbedarf

Definition: Der Qualifizierungsbedarf ergibt sich durch einen Abgleich zwischen den Anforderungen an die Beschäftigten, z.B. aufgrund technologischer oder organisatorischer Veränderungen (Soll-Qualifikation), den vorhandenen Qualifikationen der Mitarbeiter (Ist-Qualifikation) und den Entwicklungswünschen und -interessen der Mitarbeiter.

Bewertung:

Tabelle A-5: Bewertungssitems des Kriteriums „Qualifizierungsbedarf“

Wie sehr treffen die Aussagen zu?						
a)	Es besteht Qualifizierungsbedarf.	1	2	3	4	NB
b)	Welche Art der Qualifizierungsmaßnahme ist am passendsten? <i>Bitte wählen Sie die Maßnahme aus, die Ihrer Meinung nach am ehesten zutrifft.</i> (Einfachauswahl)					
1	Selbstständige Einarbeitung durch Handbuch und Hilfefunktion					
2	Einarbeitung durch Kollegen					
3	Schulung im Rahmen eines Workshops					
4	Mehrtägige Schulung (Einmalig)					
5	Mehrtägige Schulung (Mehrere Male über einen längeren Zeitraum)					

1: Gering | 2: Eher gering | 3: Eher hoch | 4: Hoch | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfe Item a)

(1) Ein geringer Qualifizierungsbedarf bedeutet, dass die Mitarbeiter selbstständig mit einfachen Methoden wie ausprobieren, Kollegen fragen oder in der Hilfe/im Handbuch lesen, die im Szenario ausgeführte Arbeit erlernen können. Hierbei sind der Zeitaufwand, der personelle Aufwand und die Formalisierung gering.

(4) Ein hoher Qualifizierungsbedarf besteht, wenn über einen längeren Zeitraum, mehrmals und mit hohem Zeitaufwand geschult werden muss. Die Qualifizierung findet formalisiert z.B. über Seminare statt.

Expertenwissen

Definition: Die vierte industrielle Revolution verändert nicht nur die bestehenden Wertschöpfungsmodelle und die Industrieproduktion nachhaltig, sondern auch die Arbeitswelt, die Organisationsformen in den Unternehmen sowie die Kompetenz- und Qualifikationsanforderungen an die Belegschaften. Die Entwicklungsperspektiven für die Arbeit der Zukunft, die Kompetenzprofile der Beschäftigten sowie die Auswirkungen auf die Beschäftigung werden dabei jedoch unterschiedlich eingeschätzt [Hir15, S. 89ff.], [Aca16b, S. 12ff.].

Bewertung:

Tabelle A-6: Bewertungsskizzen des Kriteriums „Expertenwissen“

	Welche Experten werden benötigt?			
a)	Technologie-/Datenorientiert			
a1)	Datenauswertung und -analyse	1	2	NB
a2)	IT-Sicherheit	1	2	NB
a3)	Cloud-Architekturen	1	2	NB
a4)	Künstliche Intelligenz	1	2	NB
a5)	User-Support/Service Technik	1	2	NB
a6)	Data Scientist	1	2	NB
a7)	Experte spez. Technologie	1	2	NB
b)	Prozess-/Kundenorientiert			
b1)	Prozessmanagement	1	2	NB
b2)	Kundenbeziehungsmanagement	1	2	NB
b3)	IT-Geschäftsanalysen	1	2	NB
b4)	eCommerce/Online-Marketing	1	2	NB
b5)	Beratung	1	2	NB
b6)	SE-Spezialist	1	2	NB
c)	Infrastruktur-/Organisationsorientiert			
c1)	Umgang mit spez. IT-Systemen	1	2	NB
c2)	Netzwerk-/Datenbankadministration	1	2	NB
c3)	IT-Architekturen	1	2	NB
c4)	Datenschutz	1	2	NB

1: Wird für die Einführung des Szenarios benötigt |
2: Wird für die Durchführung des Szenarios benötigt | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfen:

Sowohl für die Einführung als auch für die Durchführung eines Szenarios digitaler Arbeit wird aus jedem der drei Bereiche (Technologie-/Datenorientiert, Prozess-/Kundenorientiert und Infrastruktur-/Organisationsorientiert) mindestens ein Experte benötigt. Daher muss aus jedem Bereich mindestens ein Experte ausgewählt werden.

Ergebnisinterpretation:

Die Top 2 Nennungen jeder Kategorie

Personalaufwand

Definition: Der Personal-Aufwandsschätzung kommt im Projektmanagement eine zentrale Rolle zu. Von ihr ist der Erfolg oder Misserfolg eines Projekts maßgeblich abhängig. Gelingt es rechtzeitig eine realistische Aufwandsschätzung durchzuführen, können die richtigen Entscheidungen getroffen werden. Das bedeutet, dass unrentable Projekte rechtzeitig eingestellt werden können, bevor unnötige Kosten und Ressourcen verbraucht werden. Andererseits können rentable Projekte frühzeitig erkannt und entsprechend gefördert werden. Eine gute Aufwandsschätzung ist auch die Grundlage zur Erstellung eines tragfähigen Business Cases.

Bewertung:

Tabelle A-7: Bewertungssitems des Kriteriums „Personalaufwand“

Wie sehr treffen die Aussagen zu? Das Arbeit 4.0-Anwendungsszenario...						
a)	...hat viele unterschiedliche Aktivitäten.	1	2	3	4	NB
b)	...hat komplexe Aktivitäten.	1	2	3	4	NB
c)	...muss von vielen Personen durchgeführt werden.	1	2	3	4	NB
d)	...muss von überregional verteilten Personen durchgeführt werden.	1	2	3	4	NB
e)	...bedarf einer langen Einarbeitungszeit.	1	2	3	4	NB

1: Trifft nicht zu | 2: Trifft eher nicht zu | 3: Trifft eher zu | 4: Trifft zu | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfen:**Bewertungshilfe Item a)**

(1) Der Ablauf des Szenarios besteht aus wenigen Aktivitäten. Die Projektbeteiligten müssen dementsprechend wenige Handlungen zur Durchführung des Szenarios tätigen.

(4) Der Ablauf des Szenarios besteht aus vielen unterschiedlichen Aktivitäten. Die Projektbeteiligten müssen dementsprechend viele verschiedene Handlungen zur Durchführung des Szenarios tätigen.

Bewertungshilfe Item b)

(1) Der Ablauf des Szenarios besteht aus simplen Aktivitäten. Die einzelnen Handlungen des Szenarios benötigen dementsprechend wenig Zeit für die Durchführung.

(4) Der Ablauf des Szenarios besteht aus komplexen Aktivitäten. Die einzelnen Handlungen des Szenarios benötigen dementsprechend viel Zeit für die Durchführung.

Bewertungshilfe Item c)

(1) Für die Durchführung des Szenarios digitaler Arbeit werden wenige (1-2) Personen benötigt.

(4) Für die Durchführung des Szenarios digitaler Arbeit werden viele (mehr als 6) Personen benötigt.

Bewertungshilfe Item d)

(1) Für die Durchführung des Szenarios müssen keine Personen anreisen.

(4) Für die Durchführung des Szenarios müssen viele Personen eine weite Anreise antreten.

Bewertungshilfe Item e)

(1) Es ist keine Einarbeitung in die Durchführung des Szenarios notwendig.

(4) Die Einarbeitungszeit in die Durchführung des Szenarios dauert lange.

Ergebnisinterpretation:

1,0-1,4: Geringer Personalaufwand im operativen Betrieb

1,5-2,4: Eher geringer Personalaufwand im operativen Betrieb

2,5-3,4: Eher hoher Personalaufwand im operativen Betrieb

3,5-4,0: Hoher Personalaufwand im operativen Betrieb

Innovationsförderung

Definition: Hierunter wird die Eigenschaft eines Unternehmens gefasst, eine gewisse Flexibilität in Hinblick auf die Suche nach neuen Nischen und Erweiterungen (am Markt) aufzuweisen. Zu den innovationsfähigkeitsfördernden Ansätzen werden u.a. Faktoren, wie die Kreation neuer und geeigneter Unternehmenskulturen, eine innovationsorientierte Kompetenzplanung oder die Implementierung von Methoden des Technologie- und Innovationsmanagements gezählt. Auch kann die Innovationsbereitschaft durch Faktoren,

wie z.B. der Schaffung eines innovationsfreundlichen Klimas in Unternehmen gesteigert und gefördert werden.

Bewertung:

Tabelle A-8: Bewertungsitems des Kriteriums „Innovationsförderung“

Wie sehr treffen die Aussagen zu? Das Arbeit 4.0-Anwendungsszenario...						
a)	...erhöht die Produktorientierung des Unternehmens.	1	2	3	4	NB
b)	...erhöht die Markt- und Kundenorientierung des Unternehmens.	1	2	3	4	NB
c)	...verbessert das Wissensmanagement des Unternehmens.	1	2	3	4	NB
d)	...erhöht die Lernroutinen im Unternehmen.	1	2	3	4	NB

1: Trifft nicht zu | 2: Trifft eher nicht zu | 3: Trifft eher zu | 4: Trifft zu | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfen:

Bewertungshilfe Item a)

(1) Bei einer niedrigen Produktorientierung werden Investitionen hinsichtlich Produktinnovationen kaum getätigt.

(4) Bei einer hohen Produktorientierung sind die Innovationsaktivitäten des Unternehmens stark auf Produktinnovationen ausgerichtet, innerhalb der Innovationsaufwendungen spielen Investitionen eine deutlich höhere Rolle.

Bewertungshilfe Item b)

(1) Bei niedrigen Innovationsaktivitäten im Unternehmen werden kaum Informationsquellen für Innovationen genutzt.

(4) Eine hohe Marktorientierung im Kontext von Innovationsaktivitäten ist dadurch charakterisiert, dass Kunden und Messen als Informationsquelle für Innovationen eine deutlich stärkere Rolle spielen und Innovationsaktivitäten mehr auf marktnahe Tätigkeiten wie Konstruktion, Design und Produktionsvorbereitung fokussiert sind [RW08, S. 8].

Bewertungshilfe Item c)

(1) Das Wissen und die Erfahrungen der Beschäftigten werden nicht effizient für Innovationen umgesetzt. Es werden keine bis wenig Instrumente und Methoden für die Realisierung neuer Innovationsideen genutzt, Bildung von Arbeitsgruppen und eine sorgfältige Dokumentation mit relevanten Potentialen werden vernachlässigt.

(4) Das Wissen der Beschäftigten ist effizient für die Entwicklung von Innovationen nutzbar. Entsprechende Instrumente und Methoden werden genutzt.

Bewertungshilfe Item d)

(1) Unternehmen mit weniger ausgeprägten Lernroutinen haben Schwierigkeiten Lösungen für ein bestimmtes Problem zu finden, der aktuelle Zustand wird kaum hinterfragt. Die zukünftigen Marktanforderungen und die Unternehmensperformance harmonisieren wenig miteinander, sodass die Findung einer Problemlösung erschwert wird.

(4) Unternehmen mit stark ausgeprägten Lernroutinen sind permanent auf der Suche nach neuen, besseren Lösungen und hinterfragen stetig den Status quo. Dadurch können u.a. Diskrepanzen zwischen zukünftigen Marktanforderungen und den Unternehmensleistungen frühzeitig erkannt werden. Darüber hinaus erhöhen ausgeprägte Lernroutinen die Wahrscheinlichkeit für innovative Problemlösungen [SWS08, S. 136].

Ergebnisinterpretation:

1,0-1,4: Geringe Innovationsaktivitäten des Unternehmens

1,5-2,4: Eher geringe Innovationsaktivitäten des Unternehmens

2,5-3,4: Eher hohe Innovationsaktivitäten des Unternehmens

3,5-4,0: Hohe Innovationsaktivitäten des Unternehmens

Time-to-Market

Definition: Unter dem Begriff Time-to-Market (TTM) wird die Dauer von der Produktentwicklung bis zur endgültigen Platzierung des Produkts am Markt verstanden. Breiter gefasst schließt diese Phase des Produktentstehungsprozesses sämtliche Stationen ein, in welchen für das Unternehmen Kosten entstehen, ohne das Gewinne durch das jeweilige Produkt verzeichnet werden können. Hierzu gehören u.a. Forschung und Entwicklung, Marketing, HR, Vertrieb, Produktmanagement sowie die Buchhaltung des Unternehmens (vgl. [Bre08, S. 115ff.]).

Bewertung:

Tabelle A-9: Bewertungsitems des Kriteriums „Time-to-Market“

Wie sehr treffen die Aussagen zu? Das Arbeit 4.0-Anwendungsszenario...						
a)	...verkürzt die Time-to-Market (TTM) durch eine Verbesserung der Prozesskontrolle.	1	2	3	4	NB
b)	...verkürzt die TTM durch eine Verbesserung des Produktentstehungsprozesses.	1	2	3	4	NB
c)	...verkürzt die TTM durch eine Anpassung der Unternehmensarchitektur.	1	2	3	4	NB
d)	...verkürzt die TTM durch eine Stärkung der Zusammenarbeit zwischen den Fachbereichen.	1	2	3	4	NB

1: Trifft nicht zu | 2: Trifft eher nicht zu | 3: Trifft eher zu | 4: Trifft zu | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfen:**Bewertungshilfe Item a)**

(1) Bei einer geringen Prozesskontrolle werden dokumentierte Prozesse zwischen den Prozessbeteiligten nicht effektiv ausgetauscht. Die Folge sind meist unerwünschte Warteschleifen, Fehler und die daraus resultierende Nacharbeit.

(4) Durch die Einhaltung von Prozessdisziplin können formell dokumentierte Prozesse effizienter und in hoher Qualität an den Schnittstellen zwischen den Prozessbeteiligten gelebt werden. Warteschleifen, Schleifen wegen unklarer Übergabe, Fehler und resultierende Nacharbeit aus unklaren „Requirement Definitions“ werden reduziert.

Bewertungshilfe Item b)

(1) Bei einer geringen Prozessoptimierung wird wenig Wert auf die vor- und nachgelagerten Schritte im Entwicklungsprozess gelegt. Als Resultat büßt die Qualität ein und die Fehleranfälligkeit steigt, was zu einer Verlangsamung des Prozesses führt.

(4) Bei Prozessoptimierung werden Entwicklungsprozesse und vor- und nachgelagerte Schritte nachhaltig verändert. Ziel ist eine deutliche Beschleunigung und Qualitätssicherung zur Vermeidung von Schleifen und zur frühzeitigen Erkennung von Fehlern und Inkonsistenzen.

Bewertungshilfe Item c)

(1) Die Unternehmensarchitektur entspricht nicht den Geschäftsanforderungen, TTM-Verkürzungen lassen sich nicht realisieren.

(4) Durch Anpassungen der Unternehmensarchitektur an die Geschäftsanforderungen lassen sich mittel- bis langfristig wirksame TTM-Verkürzungen erreichen. Die Produkt- oder Projektkategorien, die aus Sicht des Unternehmens besonders rasch und flexibel von den Mitarbeitern des jeweiligen Szenarios geliefert werden müssen, können dann mit besonders schnellen Design- und Lieferverfahren bereitgestellt werden. Voraussetzung sind transparente Anforderungen und Einigkeit darüber, bei welchen Arten von Produkten, Diensten, Tarifen und Prozessen Geschwindigkeit und Flexibilität der Entwicklung mittelfristig kritisch für den Erfolg des Unternehmens sind.

Bewertungshilfe Item d)

(1) Eine schwache Zusammenarbeit zwischen den Fachbereichen, folgt aus einer schwachen Organisation und mangelnder Abstimmung der Schnittstellen zwischen dem jeweiligen Bereich und anderen Fachbereichen. Resultat ist eine reduzierte TTM-Performance eines Unternehmens.

(4) Langfristig verbessert die organisatorische und kulturelle Anpassung der Schnittstelle zwischen dem jeweiligen Bereich und anderen Fachbereichen die TTM-Performance eines Unternehmens. Dazu braucht ein Unternehmen eine klare strategische Perspektive

und eine konsistente Formulierung und Priorisierung der Anforderungen genauso sehr wie effektive Organisationsstrukturen.

Ergebnisinterpretation:

1,0-1,4: Geringe Verringerung der TTM

1,5-2,4: Eher geringe Verringerung der TTM

2,5-3,4: Eher hohe Verringerung der TTM

3,5-4,0: Hohe Verringerung der TTM

Aufbau-/Ablauforganisation

Definition: Die Aufbauorganisation beschreibt die Gliederung einer Organisation als ein System arbeitsteiliger Organisationseinheiten und deren Beziehungen untereinander [SBL10, S. 436]. Die Ablauforganisation regelt das räumliche, zeitliche und inhaltliche Zusammenwirken von Arbeitsaufgaben, Tätigkeiten, Arbeitsobjekten, Arbeitsmitteln, Arbeitspersonen sowie den weiteren Rahmenbedingungen des Arbeitssystems. Gemeinsam mit der Aufbauorganisation umfasst sie die Planung, Gestaltung und Steuerung von Arbeitssystemen mit dem Ziel der Schaffung eines wirtschaftlichen und humanen Betriebsgeschehens [Ref91, S. 12].

Bewertung:

Tabelle A-10: Bewertungssitems des Kriteriums „Aufbau-/Ablauforganisation“

Wie sehr treffen die Aussagen zu? Das Arbeit 4.0-Anwendungsszenario...						
a)	...hat starke Auswirkungen auf angrenzende/ andere Prozesse.	1	2	3	4	NB
b)	...hat starke Auswirkungen auf angrenzende/ andere Organisationseinheiten.	1	2	3	4	NB
c)	...hat starke Auswirkungen auf angrenzende/ andere Kunden oder Zulieferer.	1	2	3	4	NB

1: Trifft nicht zu | 2: Trifft eher nicht zu | 3: Trifft eher zu | 4: Trifft zu | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfen:

Bewertungshilfe Item a)

(1) Es handelt sich bei dem Szenario um ein isoliertes Vorgehen (z.B. ein Verwaltungs- oder Organisationsschritt), welcher keine angrenzenden/anderen Prozesse beeinflusst.

(4) Es handelt sich bei dem Szenario um ein Vorgehen, welches viele angrenzende/andere Prozesse langfristig beeinflusst.

Bewertungshilfe Item b)

(1) Es handelt sich bei dem Szenario um ein isoliertes Vorgehen (z.B. ein Verwaltungs- oder Organisationsschritt), welcher allein eine Arbeitsgruppe oder eine Organisationseinheit betrifft.

(4) Es handelt sich bei dem Szenario um ein Vorgehen, welches viele angrenzende/ andere Organisationseinheiten langfristig beeinflusst.

Bewertungshilfe Item c)

(1) Das Szenario ist ein unternehmensinternes Vorgehen, welches keine angrenzenden/anderen Kunden oder Zulieferer beeinflusst.

(4) Das Szenario geht über die Unternehmensgrenzen hinaus und beeinflusst viele angrenzende/andere Kunden oder Zulieferer langfristig.

Ergebnisinterpretation:

1,0-1,4: Geringe Änderung in der Aufbau-/Ablauforganisation

1,5-2,4: Eher geringe Änderung in der Aufbau-/Ablauforganisation

2,5-3,4: Eher hohe Änderung in der Aufbau-/Ablauforganisation

3,5-4,0: Hohe Änderung in der Aufbau-/Ablauforganisation

Grad der Zusammenarbeit

Definition: Hierunter fällt die Verteilung von Entscheidungsfreiheiten/-gewalten innerhalb eines Unternehmens. Hierbei kann der Fokus beispielsweise auf der Erreichung interner Ziele, wie z.B. Vorgaben für Arbeitsgruppen oder der Abschluss einzelner Projekte oder aber auf der Erreichung und Setzung globaler Ziele liegen. Bei einem geringen Grad an Zusammenarbeit liegen Entscheidungsgewalt, Beratung und Ausführung bei Einzelpersonen oder kleinen Gruppen. Ein höherer Grad an Zusammenarbeit auf der anderen Seite äußert sich u.a. durch eine Kombination von Fach- und Prozessberatung, methodischem Projektmanagement, Expertenberatung und Selbststeuerungsansätzen.

Bewertung:

Tabelle A-11: Bewertungssitems des Kriteriums „Grad der Zusammenarbeit“

	Wie sehr treffen die Aussagen zu? Das Arbeit 4.0-Anwendungsszenario...					
a)	... begünstigt eine offene und flexible Aufbauorganisation.	1	2	3	4	NB
b)	... begünstigt eine wechselseitige Unternehmensleitung.	1	2	3	4	NB

1: Trifft nicht zu | 2: Trifft eher nicht zu | 3: Trifft eher zu | 4: Trifft zu | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfen:**Bewertungshilfe Item a)**

(1) Bei einer geringen Offenheit und Flexibilität der Aufbauorganisation im Unternehmen, hat jede Person eine zugewiesene Rolle und unterliegt einer hierarchischen Ordnung. Jeder Beschäftigte hat einen direkten Vorgesetzten.

(4) Bei einer hohen Offenheit und Flexibilität der Aufbauorganisation im Unternehmen, hat jeder Mitarbeiter mehrere unmittelbare Vorgesetzte. Die Personen sind nicht an strenge Festsetzungen gebunden und sind frei in ihrem Handeln.

Bewertungshilfe Item b)

(1) Bei einer gering wechselseitigen Unternehmensleitung entscheidet vorwiegend der Vorgesetzte. Klare Anweisungen kommen von oben, die von den Mitarbeitern befolgt werden müssen. Ideen oder Vorschläge werden von Mitarbeitern nicht erwartet.

(4) Bei einer hohen wechselseitigen Unternehmensleitung wird den Beschäftigten ein großer Handlungsspielraum an Entscheidungen gewährt. Die Personen dürfen weitestgehend frei über die Arbeitsmethoden entscheiden, um das Ziel zu erreichen. Verbesserungsvorschläge von Mitarbeitern sind erwünscht.

Ergebnisinterpretation:

1,0-2,4 (Item a) und 1,0-2,4 (Item b): Kooperation

1,0-2,4 (Item a) und 2,5-4,0 (Item b): Koordination

2,5-4,0 (Item a) und 1,0-2,4 (Item b): Koexistenz

2,5-4,0 (Item a) und 2,5-4,0 (Item b): Kollaboration

Interpretationshilfe:

Bei **Koexistenz** ist keine bis sehr wenig Interaktion zwischen den verschiedenen Individuen vorhanden. Die Aktivitäten im Prozess sind aufgabenbezogen, ressourcenorientiert und streng überwacht.

Bei **Kooperation** liegt das Hauptaugenmerk auf dem Individuum. Jede Person hat eine ihr zugewiesene Rolle. Die Rollen und der hiermit verbundene Dialog der Personen untereinander folgen hierbei einer festgelegten hierarchischen Ordnung. Ein dualistisches Denken (klare Trennungen „Ich/Team“, „Meine Aufgaben/Unsere Aufgaben“) steht hierbei im Fokus und die Aufgaben stehen von Anfang an fest.

In der **Koordination** liegt der Fokus der Beziehung der Individuen untereinander im gemeinsamen Dialog. Innerhalb der definierten Parameter werden Entscheidungen gemeinsam getroffen und alle Personen sind im gemeinsamen Problemlösen involviert und offen für Innovationen und Neuerungen.

Bei einer Zusammenarbeit in Form einer **Kollaboration** sind die verschiedenen Individuen in ihrem Handeln nicht durch Regeln oder Handlungsweisen limitiert. Hierbei ist die Verantwortung unter den Personen verteilt, die Personen stehen im konstanten Dialog und haben ein nicht-dualistisches Denken (keine Trennung zwischen Ich/Mein Team) adaptiert.

Entgrenzung

Definition: Die Entgrenzung eines Unternehmens bezieht sich auf die Auflösung „traditioneller“ Strukturen betrieblich organisierter Arbeit. Dies umfasst zum einen eine verstärkte Dynamik entlang gewohnter betriebsorganisatorischer Grenzen in Form von Outsourcing, Netzworkebildung oder Virtualisierung [PRW03, S. 287ff.]. Zum anderen fällt hierunter die Veränderung innerorganisatorischer Strukturen z.B. durch eine Dezentralisierung der Organisation (z.B. Verteilung von Produktions- und Entwicklungsstandorten) oder einem Hierarchieabbau im Unternehmen [Wol97, S. 153ff.].

Bewertung:

Tabelle A-12: Bewertungsitems des Kriteriums „Entgrenzung“

Wie sehr treffen die Aussagen zu? Das Arbeit 4.0-Anwendungsszenario...						
a)	...begünstigt eine Dezentralisierung der Unternehmensorganisation.	1	2	3	4	NB
b)	...flexibilisiert und individualisiert die bisherigen Arbeitszeitstrukturen.	1	2	3	4	NB
c)	...rückt zeitlich und räumlich flexible Arten der Projektarbeit in den Vordergrund.	1	2	3	4	NB
d)	...begünstigt die Abflachung von Hierarchien/den Verantwortungstransfer auf die operative Ebene.	1	2	3	4	NB

1: Trifft nicht zu | 2: Trifft eher nicht zu | 3: Trifft eher zu | 4: Trifft zu | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfen:

Bewertungshilfe Item a)

(1) Strategische Entscheidungen werden von der zentralen Unternehmensführung getroffen. Auf Veränderungen kann nur langsam reagiert werden, da die unterste Geschäftseinheit keiner Autonomie und Eigenverantwortung ermächtigt ist.

(4) Dezentralisierung ist durch eine Stärkung der Autonomie und Eigenverantwortung sowie durch Auslagerung von Prozessen und Kooperationen mit Externen (Unternehmen, Dienstleistern, etc.) gekennzeichnet.

Bewertungshilfe Item b)

(1) Bei mangelnder Flexibilisierung und Individualisierung der Arbeitszeitstrukturen, haben die Beschäftigten Schwierigkeiten sich an ein verändertes Umfeld anzupassen. Ebenso fehlt es den Mitarbeitern an Freiräumen zum Denken und Handeln.

(4) Arbeitszeitindividualisierung und -flexibilisierung wird ermöglicht und als strategischer Erfolgsfaktor betrachtet.

Bewertungshilfe Item c)

(1) Projektmitarbeiter sind zeitlich und räumlich gebunden, eine flexible Arbeitszeitgestaltung der einzelnen Mitarbeiter ist nicht möglich. Unternehmen müssen ihre Ressourcen auf die Industrie- und Wirtschaftsstandorte konzentrieren. Der Reiseaufwand der Mitarbeiter ist deutlich erhöht.

(4) Zeitlich und räumlich flexible Arten der Projektarbeit ermöglichen Projektarbeitern außerhalb von Firmenbüros mobil zu arbeiten und sich ihre Zeit selbstständiger einzuteilen [BM15, S. 183]. Entscheidend ist dabei die Fähigkeit zur selbstständigen Organisation, um auch in wechselnden Umgebungen effektiv das Projektziel zu erreichen.

Bewertungshilfe Item d)

(1) Ein Mangel an Selbstorganisation und Eigenständigkeit auf der operativen Ebene ist durch eine hierarchische Aufbauorganisation im Unternehmen bedingt.

(4) Eine zunehmende Selbstorganisation wird durch eine Abflachung von Hierarchien und einen Verantwortungstransfer auf die operative Ebene ermöglicht.

Ergebnisinterpretation:

1,0-1,4: Geringe Entgrenzung im Unternehmen

1,5-2,4: Eher geringe Entgrenzung im Unternehmen

2,5-3,4: Eher hohe Entgrenzung im Unternehmen

3,5-4,0: Hohe Entgrenzung im Unternehmen

Agilität

Definition: Die Agilität eines Unternehmens bezieht sich auf die Fähigkeit, sich einem dynamischen Umfeld flexibel anzupassen. Dies kann sich u.a. in der Bereitschaft äußern, neue Technologien im Unternehmen zu implementieren. Die Agilität und Flexibilität des Unternehmens werden als Schlüsselfaktoren im Hinblick auf die Fähigkeit sich am Markt zu etablieren, sich anzupassen und dem Wettbewerb standzuhalten gesehen.

Bewertung:*Tabelle A-13: Bewertungsitems des Kriteriums „Agilität“*

Wie sehr treffen die Aussagen zu? Das Arbeit 4.0-Anwendungsszenario...						
a)	...begünstigt Kundenorientierung und Partizipation in dynamischen Projekten.	1	2	3	4	NB
b)	...begünstigt Transparenz in Projekten.	1	2	3	4	NB
c)	...begünstigt ein Aufbrechen des Bereichsdenkens.	1	2	3	4	NB
d)	...begünstigt eine Dezentralisierung der Entscheidungsfindung.	1	2	3	4	NB

1: Trifft nicht zu | 2: Trifft eher nicht zu | 3: Trifft eher zu | 4: Trifft zu | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfen:**Bewertungshilfe Item a)**

(1) Beim Projektstart können keine präzisen Kundenanforderungen gestellt werden, erst im Laufe des Projekts stellen sich die genauen Projektziele heraus. Eine Reorganisation des Ablaufs und der damit verbundene Zeitaufwand sind meist die Folge.

(4) Komplexe Projekte werden mit agilen Methoden umgesetzt. Da die Kunden zu Projektbeginn ihre Wünsche und Anforderungen nicht klar formulieren können, sind Änderungen nach Projektstart zu erwarten. Der Einsatz agiler Methoden ermöglicht vor diesem Hintergrund die enge Einbindung der Kunden.

Bewertungshilfe Item b)

(1) Fehlende Transparenz im Unternehmen erschwert den Durchblick über den Arbeitsstand in einem laufenden Projekt. Hindernisse und technische Probleme bleiben unbekannt, es wird nicht deutlich wer oder was das Projekt verzögert.

(4) Ein Merkmal agiler Projekte ist die hohe Transparenz der aktuellen Arbeitsstände und Herausforderungen. Je offener die Unternehmenskultur, desto besser können agile Projekte umgesetzt werden.

Bewertungshilfe Item c)

(1) Beim klassischen Projektmanagement wird häufig ein Vorhaben über lange Zeit durch verschiedene Unternehmensabteilungen bearbeitet, also etwa von der Entwicklungsabteilung zur Testabteilung und anschließend zur Produktionsvorbereitung.

(4) Agile Projektarbeit ist durch fachdisziplinübergreifende Zusammenarbeit charakterisiert. Eine Orientierung an starren Unternehmensarchitekturen ist daher weniger im Fokus. Dies hat entsprechenden Einfluss auf das sog. „Bereichsdenken“.

Bewertungshilfe Item d)

(1) Die Entscheidungsfindung findet nur auf der Führungsebene statt. Strategien, Ziele, Maßnahmen und die benötigten Ressourcen werden in der Unternehmensführung festgelegt.

(4) Eine dezentralisierte Entscheidungsfindung erlaubt den Mitarbeitern in den unteren Ebenen Entscheidungen für das Management zu empfehlen bzw. zu treffen. Dies führt zu einer größeren Eigenverantwortung der Mitarbeiter, die mehr Engagement hervorruft.

Ergebnisinterpretation:

1,0-1,4: Geringe Agilität im Unternehmen

1,5-2,4: Eher geringe Agilität im Unternehmen

2,5-3,4: Eher hohe Agilität im Unternehmen

3,5-4,0: Hohe Agilität im Unternehmen

Kompatibilität

Definition: Die Kompatibilität und die Kopplungsmöglichkeiten einer Technologie beziehen sich auf die Anbindung der Technologie an externe Systeme durch vorhandene Schnittstellen. Hierunter versteht man Datenanbindungen, wie z.B. USB, Bluetooth, TCP-IP aber auch die Anbindung und die Kommunikation mit anderen Systemen, wie z.B. die Unterstützung von OPC-UA-Kommunikationsprotokollen.

Bewertung:

Tabelle A-14: Bewertungssitems des Kriteriums „Kompatibilität“

	Treffen die folgenden Aussagen zu?			
a)	Das System erlaubt Interoperabilität mit anderen mobilen Geräten.	0	1	NB
b)	Das System erlaubt Interoperabilität mit anderen stationären Geräten.	0	1	NB
c)	Das System bietet die Möglichkeit personalisierter Services.	0	1	NB
d)	Das System bietet situationsbezogene Services.	0	1	NB
e)	Das System bietet zeitbezogene Services.	0	1	NB
f)	Das System bietet ortsbezogene Services.	0	1	NB
g)	Softwareapplikationen können auf verschiedene andere Plattformen transportiert und dort genutzt werden.	0	1	NB

0: Nein | 1: Ja | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfe:**Bewertungshilfe Item a)**

(Ja) Beispiel: Nutzer können mit mobilen Endgeräten wie Handy, PDA oder Netbook auf Anwendungen und Dienste der Technologie über ein Netzwerk (Internet/Intranet) zugreifen.

Bewertungshilfe Item b)

(Ja) Beispiel: Nutzer können mit anderen stationär angeschlossenen Geräten (z.B. einem anderen Computer, der über ein Netzkabel verbunden ist, USB-Geräte, etc.) auf Anwendungen und Dienste der Technologie zugreifen.

Bewertungshilfe Item c)

(Ja) Das System bietet die Möglichkeit personalisierter Services, wie z.B. auf das Nutzerverhalten abgestimmte Suchinhalte, das Anlegen persönlicher Profile, die Speicherung von Präferenzen sowie Aktionsvorschläge basierend auf vorhergehenden Handlungen.

Bewertungshilfe Item d)

(Ja) Das System bietet kontextsensitive Informationen, wie z.B. Warnungen bei hohem Energieverbrauch oder Aktionsvorschläge für gerade verbundene Geräte.

Bewertungshilfe Item e)

(Ja) Das System bietet die Möglichkeit, Daten zeitbezogen zu speichern, diese miteinander zu vergleichen (z.B. in Form einer Vorher-Nachher-Analyse) oder Zukunftstrends, basierend auf den vorhandenen Daten, zu ermitteln.

Bewertungshilfe Item f)

(Ja) Hierunter können Services verstanden werden, welche an bestimmte geographische Punkte gebunden werden. Z.B. das Lokalisieren eines Supermarktes, basierend auf der geographischen Nähe zum Nutzer oder das Finden anderer Geräte und Nutzer im Umfeld.

Bewertungshilfe Item g)

(Ja) Das System ist auf andere Geräte, welche mit unterschiedlichen Betriebssystemen funktionieren übertragbar. Ein Beispiel hierfür ist der Intel vPro-Remote Client, welcher betriebssystemunabhängig interagieren kann.

Ergebnisinterpretation:

0-1 Mal „Ja“: Geringe Kompatibilität (1 Punkt)

2-3 Mal „Ja“: Eher geringe Kompatibilität (2 Punkte)

4-5 Mal „Ja“: Eher hohe Kompatibilität (3 Punkte)

6-7 Mal „Ja“: Hohe Kompatibilität (4 Punkte)

Interaktionsform

Definition: Unter dem Begriff Interaktionsform fallen die Möglichkeiten verschiedener Ein- und Ausgabemodalitäten. Hierzu gehören die Modalitäten durch welche die Technologie dem Nutzer Informationen anzeigt. Dies kann beispielsweise in textueller, audiotiver oder visueller Form erfolgen. Zudem beinhaltet die Interaktionsform die Steuerung und Bedienung der Technologie durch verschiedene Schnittstellen (z.B. Sprachsteuerung, Gestenerkennung, etc.), wobei auch neue Interaktionsformen, wie beispielsweise die Gedankensteuerung (vgl. Emotiv) oder die Steuerung durch Augenbewegungen (vgl. Tobii Eyetracker) relevant sein können.

Bewertung:

Tabelle A-15: Bewertungssitems des Kriteriums „Interaktionsform“

	Treffen die folgenden Aussagen zu?			
a)	Das System nutzt die Interaktion durch „Information Tags“ (RFID/NFC).	0	1	NB
b)	Das System nutzt die Interaktion durch optische Erkennung von „Visual Codes“ (z.B. Bar- oder QR-Codes).	0	1	NB
c)	Das System nutzt Möglichkeiten der direkten taktilen Eingabe (z.B. Eingabe durch Berührung am Display oder Gebrauch von Touchpads).	0	1	NB
d)	Das System nutzt Möglichkeiten der textuellen Eingabe (z.B. über Tastatur oder Nummernpads).	0	1	NB
e)	Das System nutzt akustische Interaktion (z.B. Sprachsteuerung).	0	1	NB
f)	Das System nutzt Interaktion mit der Kamera (z.B. Gestenerkennung, Gesichtserkennung).	0	1	NB

0: Nein | 1: Ja | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfe:

Bewertungshilfe Item a)

(Ja) Ein „Information Tag“ ist eine Auszeichnung eines Datenbestands mit zusätzlichen Informationen. Hierbei geht es um die Möglichkeit, Informationen durch Technologien wie beispielsweise RFID oder NFC zu hinterlegen und auslesen zu können. Eine häufige Verwendung für RFID Tags ist der Logistik-Bereich, in welchem sämtliche Prozessinformationen eines Produkts (Lieferdatum, Art des Produkts, benötigte Weiterverarbeitung, Absender, etc.) von einem RFID Tag abgelesen aber auch neu beschrieben bzw. konfiguriert werden können.

Bewertungshilfe Item b)

(Ja) Ein „Visual Code“ ist eine optische und maschinenlesbare Form von Daten, die zur Identifizierung von Objekten verwendet wird. Diese ermöglicht einer Maschine, eine

große Menge an Informationen über ein Objekt abzurufen, sobald das Objekt durch ein einzigartiges visuelles Codeformat identifiziert wird, das durch das Zeichnen benachbarter Linien mit variablen Breiten und Abständen erzeugt wird.

Bewertungshilfe Item c)

(Ja) Unter taktilen Eingabegeräten versteht man berührungssensitive Bildschirme, welche die Auswahl von Kommandos aus einem Menü durch Berührung der entsprechenden Bildschirmposition mit dem Finger oder einem spitzen Gegenstand erlauben.

Bewertungshilfe Item d)

(Ja) Hierunter fallen sämtliche Eingabegeräte, welche als Bedien- und Steuerelement eine Anzahl, von mit den Fingern zu drückenden Tasten enthalten. Neben Tastaturen schließt dies auch u.a. Fernbedienungen oder Nummernpads ein.

Bewertungshilfe Item e)

(Ja) Hierunter fallen sämtliche Geräte zur Übermittlung von Befehlen an technische Geräte per Stimme oder anderen akustischen Signalen. Grundsätzlich kann das Prinzip der Sprachsteuerung bei einer sehr großen Zahl von Gerätetypen zum Einsatz kommen. Voraussetzung ist, dass es ein Modul für Spracherkennung gibt, das sprachliche Äußerungen aufnehmen und interpretieren kann.

Bewertungshilfe Item f)

(Ja) Hierunter fällt die automatische Erkennung von durch Menschen ausgeführte Gesten mittels eines Computers. Jede Körperhaltung und Körperbewegung kann dabei prinzipiell eine Geste darstellen. Die größte Bedeutung hat jedoch die Erkennung von Hand- und Kopfgesten.

Ergebnisinterpretation:

0-0,25: Geringe Interaktionsmöglichkeiten (1 Punkt)

>0,25-0,5: Eher geringe Interaktionsmöglichkeiten (2 Punkte)

>0,5-0,55: Eher hohe Interaktionsmöglichkeiten (3 Punkte)

>0,75: Hohe Interaktionsmöglichkeiten (4 Punkte)

Flexibilität

Definition: Die Flexibilität einer Technologie bezieht sich auf die Möglichkeiten, rasche Anpassungen der Kapazitäten (z.B. Fertigungskapazität einer Montagelinie) vorzunehmen oder die Technologie in einem anderen als dem ursprünglich vorgesehenen Kontext zu verwenden. Diese Anpassungen können z.B. Systemfeatures, wie Sprache und Design der Nutzerschnittstelle betreffen.

Bewertung:*Tabelle A-16: Bewertungsitems des Kriteriums „Flexibilität“*

Wie sehr treffen die Aussagen zu?						
a)	Die im Szenario genutzte Technologie weist eine hohe Konnektivität auf.	1	2	3	4	NB
b)	Die im Szenario genutzte Technologie weist eine hohe Kompatibilität auf.	1	2	3	4	NB
c)	Die im Szenario genutzte Technologie weist eine hohe Modularität auf.	1	2	3	4	NB

1: Trifft nicht zu | 2: Trifft eher nicht zu | 3: Trifft eher zu | 4: Trifft zu | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfe:**Bewertungshilfe Item a)**

Konnektivität beschreibt die Möglichkeiten der Technologie und ihrer einzelnen Komponenten mit anderen Systemen und Systemkomponenten außerhalb des eigentlichen Anwendungsfalls zu kommunizieren.

(1) Technologien mit geringer Konnektivität bedienen nur für den Anwendungsfall benötigte Schnittstellen. Weitere Schnittstellen sind wenig bis gar nicht vorhanden und müssen ggf. speziell für den Einsatz in anderen Szenarien entwickelt werden.

(4) Technologien mit hoher Konnektivität bedienen bereits eine große Anzahl an Schnittstellen (z.B. notwendige Kommunikationsprotokolle) und können problemlos mit anderen Systemen verbunden werden.

Bewertungshilfe Item b)

Kompatibilität ist die Möglichkeit, beliebige Arten von Informationen über beliebige Technologiekomponenten hinweg zu teilen.

(1) In Systemen mit geringer Kompatibilität können nur begrenzt Daten, wie beispielsweise einfache Textnachrichten geteilt werden.

(4) In Systemen mit hoher Kompatibilität kann jedes Dokument, jeder Prozess, jeder Dienst, jedes Video, jedes Bild, jeder Text, jedes Audio oder eine Kombination davon von jedem anderen System unabhängig vom Hersteller verwendet werden.

Bewertungshilfe Item c)

Modularität ist die Fähigkeit, Software-, Hardware- oder Datenkomponenten der Infrastruktur zu manipulieren und konfigurieren. Modularität bezieht sich auch auf den Grad, in dem IT-Software, Hardware und Daten entweder nahtlos oder mühelos in die Infrastruktur diffundieren oder leicht von der Infrastruktur unterstützt werden können.

(1) Bei geringer Modularität unterstützt die Technologie starre Hierarchien und Strukturen, welche nur teilweise bis gar nicht durch den Nutzer manipuliert werden können.

(4) Bei einer Technologie mit hoher Modularität lassen sich die Datenkomponenten einfach und ohne größere Auswirkungen ergänzen, ändern und entfernen.

Ergebnisinterpretation:

1,0-1,4: Geringe Flexibilität

1,5-2,4: Eher geringe Flexibilität

2,5-3,4: Eher hohe Flexibilität

3,5-4,0: Hohe Flexibilität

Komplexität

Definition: Der Komplexitätsgrad einer Technologie hängt von der Ausprägung verschiedener Aspekte ab. Zum einen ist hiermit die Schwierigkeit der Beschreibung der vorhandenen Technologie verbunden. Je einfacher eine Technologie und ihre Wirkungsmechanismen beschrieben werden können, desto geringer ist der Komplexitätsgrad. Hiermit verbunden ist auch der Grad der Organisation der Technologie. Ist eine Technologie beispielsweise in wenige Ebenen und Funktionen gegliedert, herrscht ein geringerer Komplexitätsgrad als bei Technologien mit zahlreichen Funktionen, dazugehörigen Ebenen und Verknüpfungen, welche miteinander interagieren und voneinander abhängig sein können.

Bewertung:

Tabelle A-17: Bewertungssitems des Kriteriums „Komplexität“

Wie sehr treffen die Aussagen zu?						
a)	Die im Szenario genutzte Technologie besitzt eine großräumig vernetzte technische Infrastruktur.	1	2	3	4	NB
b)	Die im Szenario genutzte Technologie erlaubt einen hohen Grad an technischem Mithandeln.	1	2	3	4	NB
c)	Die im Szenario genutzte Technologie ist sehr spezifisch für den jeweiligen Anwendungsfall.	1	2	3	4	NB

1: Trifft nicht zu | 2: Trifft eher nicht zu | 3: Trifft eher zu | 4: Trifft zu | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfe:

Bewertungshilfe Item a)

(1) Bei der Technologie handelt es sich um ein kleinformatiges und dezentral prozessierendes Technikfeld, wie etwa eine autarke und individuelle Anwendung, welche keine weitere Vernetzung für die Ausführung ihrer Aufgabe benötigt.

(4) Bei der Technologie handelt es sich um ein großräumig vernetztes technisches (Infrastruktur-)System, wie etwa eine prozess- und personenübergreifende Dokumentationssoftware, welche mit vielen verschiedenen Instanzen des Unternehmens kommuniziert und verbunden ist.

Bewertungshilfe Item b)

(1) Hierbei handelt es sich um eine passive, auf ihre reine Objektrolle reduzierbare Technik, wie etwa Mittel der Datenübertragung (Festplatten, Router, etc.) oder Darstellungsgeräte (Monitor, Projektor), mit welchen der Benutzer nicht direkt interagieren kann.

(4) Hierbei handelt es sich um eine aktive, interaktive oder transaktive Technologie, in der Handlungsträgerschaft auf menschliche und nichtmenschliche Instanzen verteilt ist. Beispiele hierfür sind kollaborative Roboter oder kontextsensitive Technologien, wie etwa (Fahr-)Assistenzsysteme.

Bewertungshilfe Item c)

(1) Hierbei handelt es sich um eine heterogen strukturierte Querschnittstechnologie, die in verschiedenen Zusammenhängen entsteht und in verschiedenen Sektoren jeweils spezifisch genutzt werden kann (z.B. eine Datenbrille, welche sowohl in der Produktentwicklung als auch in der Montage oder dem Kundensupport genutzt werden kann).

(4) Hierbei handelt es sich um eine Technik mit einem klar eingrenzbaeren Entstehungs- und Funktionsbezug, wie etwa eine Großtechnik, die sich individueller Handhabung und Umnutzung völlig entzieht und nur in dem angesprochenen Anwendungsfall von Nutzen ist.

Ergebnisinterpretation:

1,0-1,4: Geringe Komplexität

1,5-2,4: Eher geringe Komplexität

2,5-3,4: Eher hohe Komplexität

3,5-4,0: Hohe Komplexität

Invest

Definition: Zu den Anschaffungskosten einer Technologie zählen neben den reinen Hard- oder Softwarekosten Leasingkosten sowie Softwarelizenzen, Abonnements, Wartungsverträge, erweiterte Garantien, Einrichtungsgebühren, Verbrauchsmaterialien und Ersatzteile.

Bewertung:*Tabelle A-18: Bewertungssitems des Kriteriums „Invest“*

	Wie hoch sind die Anschaffungskosten der Technologie?	
a)	< 1 T€	
b)	1-5 T€	
c)	5-10 T€	
d)	> 10 T€	

Ergebnisinterpretation:

< 1 T€: Geringe Anschaffungskosten (4 Punkte)

1-5 T€: Eher geringe Anschaffungskosten (3 Punkte)

5-10 T€: Eher hohe Anschaffungskosten (2 Punkte)

> 10 T€: Hohe Anschaffungskosten (1 Punkt)

Installationsaufwand

Definition: Der Installationsaufwand einer Technologie umfasst sämtliche Personal- und Hardwarekosten, welche benötigt werden, um die Technologie in einem System zu implementieren. Hierzu gehört die benötigte Vernetzung, die Anschaffung weiterer Systemkomponenten oder weitere infrastrukturelle Veränderungen.

Bewertung:*Tabelle A-19: Bewertungssitems des Kriteriums „Installationsaufwand“*

	Die Installation der im Anwendungsszenario angewendeten Technologie...	
a)	...erfordert einfache bis keine Hilfsmittel mit geringem Auslegungsaufwand.	
b)	...erfordert eine Installation und einfache Auslegung eines zusätzlichen, neuen Geräts.	
c)	...erfordert eine aufwendige Auslegung neuer Systemkomponenten, aber keine weiteren Systemanpassungen oder Umbauten.	
d)	...erfordert eine aufwendige Neuplanung und Umbauten einer Anlage/eines Systems.	

Bewertungshilfe Item a)

Die Technologie kann im Regelfall ohne aufwendige Installation direkt genutzt werden (Plug and Play). Hierbei kann auf vorhandene Hardware (z.B. bereits installierte Computer und Bildschirme) zurückgegriffen werden.

Bewertungshilfe Item b)

Die Technologie muss auf den Systemen installiert und ggf. konfiguriert werden. Für eine Installation des Systems sind zudem weitere Komponenten, wie neue Eingabegeräte oder Router zur Vernetzung notwendig.

Bewertungshilfe Item c)

Neben einer Installation des Systems sind aufwendige Konfigurationen an weiteren betroffenen IT-Komponenten notwendig. Hierzu gehören u.a. das Aufsetzen neuer Sicherheitsparameter (z.B. Firewall), die Anschaffung zusätzlicher Hardware (z.B. Server) sowie die Installation von Ein- und Ausgabegeräten.

Bewertungshilfe Item d)

Eine Installation der Technologie erfordert grundlegende Umbauten in der Infrastruktur. Dies betrifft zum einen die physische Infrastruktur, wie etwa das Verlegen von Kommunikations- und Stromleitungen oder den Umbau von Räumlichkeiten. Zum anderen sind hierbei auch Änderungen in der IT-Infrastruktur, wie etwa der Datentransfer, angebundene Server sowie die Implementierung neuartiger Schnittstellen betroffen.

Bewertung:

- a: Geringer Installationsaufwand (4 Punkte)
- b: Eher geringer Installationsaufwand (3 Punkte)
- c: Eher hoher Installationsaufwand (2 Punkte)
- d: Hoher Installationsaufwand (1 Punkt)

Betriebskosten

Definition: Die Betriebskosten einer Technologie beschreiben sämtliche Kosten, welche nach erfolgreicher Inbetriebnahme der Technologie anfallen. Eine genaue Aufschlüsselung der Kosten ist in der Bewertungshilfe zu finden.

Bewertung:*Tabelle A-20: Bewertungsitems des Kriteriums „Betriebskosten“*

Wie hoch sind die Kosten des Anwendungsszenarios in Bezug auf...						
a)	...Gemeinkosten?	1	2	3	4	NB
b)	...Systemwartung?	1	2	3	4	NB
c)	...Upgrades?	1	2	3	4	NB
d)	...Systemmanagement?	1	2	3	4	NB
e)	...Training und Weiterbildung?	1	2	3	4	NB

1: Sehr hoch | 2: Hoch | 3: Niedrig | 4: Sehr niedrig | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfe:

Gemeinkosten: Die Gemeinkosten umfassen sämtliche indirekte Kosten, welche für den Betrieb des Systems anfallen, wie etwa Strom- und weiterer Ressourcenverbrauch oder Miete für Geräte und Räumlichkeiten.

Systemwartung: Wartung einschließlich Backups, Logfile-Analyse, Storage-Umstrukturierung.

Upgrades: Regelmäßige Konfiguration und Tests des Systems, Beschaffung von zusätzlichen Artikeln, wie Softwarelizenzen, Speichern, Festplatten oder CPU Erweiterungen.

Systemmanagement: Die regelmäßige Verwaltung des Systems, Identifizierung bevorstehender Probleme und der Optimierung von Leistung und Betrieb.

Trainings- und Weiterbildungsbedarf: Administrative Schulung von (IT-)Mitarbeitern, welche für die Wartung zuständig sind, zu neuen oder geänderten Prozessen und Funktionalitäten sowie Entwicklung und Vertrieb von Benutzerschulungen und Updates.

Ergebnisinterpretation:

1,0-1,4: Geringe Betriebskosten

1,5-2,4: Eher geringe Betriebskosten

2,5-3,4: Eher hohe Betriebskosten

3,5-4,0: Hohe Betriebskosten

Safety/Security

Definition: Safety bezieht sich auf den Schutz der Umgebung und der Nutzer vor einem Objekt. In Hinblick auf Technologien fallen hierunter die Faktoren Arbeitssicherheit, ESD-Schutz, die Kennzeichnung potentiell gefährlicher Elemente (z.B. Säure, Starkstrom, etc.). Security beschreibt den Schutz der Technologie und der darin vorhandenen Daten vor seiner Umgebung. Hierunter versteht man die Möglichkeiten der Verteidigung gegenüber Fremdeinwirkung (z.B. Cyberattacken), den Grad der Verschlüsselung der vorhandenen Daten und der Komplexität der Zugangs- und Anmelde-möglichkeiten (Kennwort, RFID-Tag, Fingerabdruck, etc.).

Bewertung:

Tabelle A-21: Bewertungsitems des Kriteriums „Safety/Security“

Wie sehr treffen die Aussagen zu? Das Anwendungsszenario...					
a)	...erfordert ein hohes Maß an Sicherheitsunterweisungen der Mitarbeiter.	1	2	3	4 NB
b)	...erfordert eine konstante Überwachung und Kontrolle der Arbeitsumgebung.	1	2	3	4 NB
c)	...erfordert die Implementierung von Warnhinweisen und Schutzmechanismen.	1	2	3	4 NB
d)	...erfordert ein hohes Maß an Schulung der Mitarbeiter.	1	2	3	4 NB
e)	...erfordert eine konstante Überwachung und Dokumentation der Arbeitsumgebung.	1	2	3	4 NB
f)	...erfordert die Implementierung von Sicherheitstechnologien.	1	2	3	4 NB

1: Trifft nicht zu | 2: Trifft eher nicht zu | 3: Trifft eher zu | 4: Trifft zu | NB: Nicht bewertbar

Bewertungshilfe:

Bewertungshilfe Item a)

(1) Die Technologie im Szenario erfordert keine besondere Schulung im Hinblick auf die Gefährdung am Arbeitsplatz.

(4) Die Technologie stellt bei falschem Gebrauch ein enorm hohes Risiko für die Handlungsperson und ihre Umgebung dar. Regelmäßige Schulungen zum Thema Arbeitssicherheit und korrektem Gebrauch der Technologie sind unerlässlich.

Bewertungshilfe Item b)

(1) Die Arbeitsumgebung muss wenig bis gar nicht überwacht werden, da a) keine sicherheitsrelevanten Fehler begangen werden können und/oder b) Fehler keine Auswirkungen auf die Sicherheit am Arbeitsplatz haben.

(4) Die Arbeitsumgebung muss konstant überwacht werden. Gründe hierfür können sein, dass a) eine hohe Anzahl an potentiellen Fehlerquellen besteht, b) Fehler gravierende

Auswirkungen auf die Sicherheit haben können und/oder c) das Risiko bewusster Fehler (z.B. Sabotage) extrem hoch ist.

Bewertungshilfe Item c)

(1) Die Implementierung zusätzlicher Sicherheitstechnologien (z.B. Einhausung von Geräten) ist nicht notwendig, da die Geräte keine Gefährdung der Sicherheit darstellen.

(4) Die Geräte erfordern einen sensiblen Umgang und bieten viele potentielle Fehlerquellen. Für den Personenschutz ist die Implementierung von Sicherheitstechnologien (z.B. Lichtschranken, Einhausung von Geräten, adäquate Beschilderung) unabdinglich.

Bewertungshilfe Item d)

(1) Die im Szenario anfallenden Daten erfordern keinen bis wenig zusätzlichen Schulungsbedarf. Dies kommt z.B. bei wenig sicherheitsrelevanten Daten vor.

(4) Die Mitarbeiter haben vollen Zugriff auf sicherheitsrelevante Daten. Es werden regelmäßige einschlägige Schulungen durchgeführt. Diese schließen Verantwortlichkeiten der Mitarbeiter und Auftragnehmer im Umgang mit vertraulichen Informationen, einschließlich der Überprüfung von Geheimhaltungsvereinbarungen mit Arbeitnehmern sowie geeignete Methoden zum Schutz sensibler Informationen auf Computersystemen ein.

Bewertungshilfe Item e)

(1) Die Arbeitsumgebung muss wenig bis gar nicht überwacht werden, da a) keine sicherheitskritischen Daten anfallen, b) die Mitarbeiter keinen Zugang zu den Daten haben und/oder c) keine technischen Möglichkeiten des Datentransfers (z.B. die Möglichkeit Daten auf externe Geräte zu kopieren) besteht. Eine Dokumentation der Prozesse ist wenig bis gar nicht notwendig, da a) nur marginale verwertbare Prozessdaten anfallen und/oder b) die Prozessdaten nicht relevant für die Sicherheit des Systems sind.

(4) Die Arbeitsumgebung muss konstant überwacht werden. Gründe hierfür können sein a) extrem sicherheitskritische Daten, b) eine hohe Fluktuation an Mitarbeitern und externen Personen, c) ein hohes Maß an Zugriff auf die Daten von Seiten der Mitarbeiter und/oder d) eine hohe Anzahl an Möglichkeiten des Datentransfers und entsprechende Möglichkeiten die Daten über diese Kanäle zu erlangen. Eine konstante Dokumentation der Daten und des Datentransfers ist erforderlich, da a) eine hohe Menge an sicherheitsrelevanten Daten anfallen, b) Verantwortlichkeiten zugewiesen werden müssen, c) eine Rückführbarkeit im Fall eines Sicherheitsrisikos unerlässlich ist.

Bewertungshilfe Item f)

(1) Nutzer können oft bedingungslosen Zugriff auf die Daten erhalten, eine Identifikation der Nutzer erfolgt lediglich durch simple Sicherheitsmechanismen

(4) Sicherheitskritische Daten erfordern die Implementierung weiterer Technologien, wie etwa Software, welche das Überspielen der Daten auf externe Geräte verhindert.

Ergebnisinterpretation:

1,0-1,4: Geringer Aufwand für Safety/Security erforderlich (4 Punkte)









1,5-2,4: Eher geringer Aufwand für Safety/Security erforderlich (3 Punkte)

2,5-3,4: Eher hoher Aufwand für Safety/Security erforderlich (3 Punkte)

3,5-4,0: Hoher Aufwand für Safety/Security erforderlich (1 Punkt)

A2.4 Leitfragen zur Identifikation geeigneter Arbeit 4.0-Klassen

0: Keine geeignete Klasse | 4: Stark geeignete Klasse









Arbeit 4.0-Klassen Herausforderung	 Digital Supporter	 Digital Man of Action	 Smart Aide	 Smart Decoder	 Intelligent Processes	 Digital Processes	 Agile Ress. Mngmt.	 Agile Value Systems
Aktuelle Konstruktionsstände in der Montageplanung oft nicht verfügbar	1	-	-	-	-	-	-	-

- | | | | | | |
|---|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ▪ Werden im Kontext der Herausforderung motorische Aufgaben ausgeführt? | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ Würde ein haptisches Feedback, visuelle Unterstützung oder die Zuschaltung von Fern-Experten helfen? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

0: Nein | 1: Geringfügig | 2: Mittel | 3: Stark | 4: Sehr stark

Bild A-30: Leitfragen zur Überprüfung der Eignung der Klasse „Digital Supporter“

0: Keine geeignete Klasse | 4: Stark geeignete Klasse

Arbeit 4.0-Klassen Herausforderung	 Digital Supporter	 Digital Man of Action	 Smart Aide	 Smart Decoder	 Intelligent Processes	 Digital Processes	 Agile Ress. Mngmt.	 Agile Value Systems
Aktuelle Konstruktionsstände in der Montageplanung oft nicht verfügbar	1	0	-	-	-	-	-	-

- | | | | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ▪ Werden im Kontext der Herausforderung Aufgaben durchgeführt, die (körperlich) belastend sind? | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ Werden im Kontext der Herausforderung motorische und körperliche Aufgaben ausgeführt? | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

0: Nein | 1: Geringfügig | 2: Mittel | 3: Stark | 4: Sehr stark

Bild A-31: Leitfragen zur Überprüfung der Eignung der Klasse „Digital Man of Action“

0: Keine geeignete Klasse | 4: Stark geeignete Klasse

Arbeit 4.0-Klassen Herausforderung	Digital Supporter	Digital Man of Action	Smart Aide	Smart Decider	Intelligent Processes	Digital Processes	Agile Ress. Mngmt.	Agile Value Systems
Aktuelle Konstruktionsstände in der Montageplanung oft nicht verfügbar	1	2	3,5	-	-	-	-	-

- | | | | | | |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ▪ Werden im Kontext der Herausforderung kognitive Aufgaben ausgeführt? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ Würde es helfen, bedarfsgerechte Zusatzinformationen zur Verfügung zu stellen? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> |

0: Nein | 1: Geringfügig | 2: Mittel | 3: Stark | 4: Sehr stark

Bild A-32: Leitfragen zur Überprüfung der Eignung der Klasse „Smart Aide“

0: Keine geeignete Klasse | 4: Stark geeignete Klasse

Arbeit 4.0-Klassen Herausforderung	Digital Supporter	Digital Man of Action	Smart Aide	Smart Decider	Intelligent Processes	Digital Processes	Agile Ress. Mngmt.	Agile Value Systems
Aktuelle Konstruktionsstände in der Montageplanung oft nicht verfügbar	1	2	4	1	-	-	-	-

- | | | | | | |
|---|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ▪ Werden im Kontext der Herausforderung kognitive Aufgaben ausgeführt? | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ Werden Entscheidungen getroffen oder kreative Aufgaben gelöst, welche ein Assistenzsystem übernehmen könnte? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

0: Nein | 1: Geringfügig | 2: Mittel | 3: Stark | 4: Sehr stark

Bild A-33: Leitfragen zur Überprüfung der Eignung der Klasse „Smart Decider“

0: Keine geeignete Klasse | 4: Stark geeignete Klasse

Arbeit 4.0-Klassen Herausforderung	Digital Supporter	Digital Man of Action	Smart Aide	Smart Decider	Intelligent Processes	Digital Processes	Agile Ress. Mngmt.	Agile Value Systems
Aktuelle Konstruktionsstände in der Montageplanung oft nicht verfügbar	1	2	4	3	0,5	-	-	-

- | | | | | | |
|---|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ▪ Könnte im Kontext der Herausforderung die Nutzung von Daten helfen, die intelligent erfasst und aufbereitet werden? | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ Adressiert die Herausforderung tätigkeitsübergreifende Abläufe? | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

0: Nein | 1: Geringfügig | 2: Mittel | 3: Stark | 4: Sehr stark

Bild A-34: Leitfragen zur Überprüfung der Eignung der Klasse „Intelligent Processes“

0: Keine geeignete Klasse | 4: Stark geeignete Klasse

Arbeit 4.0-Klassen Herausforderung	Digital Supporter	Digital Man of Action	Smart Aide	Smart Decider	Intelligent Processes	Digital Processes	Agile Ress. Mngmt.	Agile Value Systems
Aktuelle Konstruktionsstände in der Montageplanung oft nicht verfügbar	1	2	4	3	2	0	-	-

- | | | | | | |
|---|-------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| ▪ Finden im Kontext der Herausforderung einfache Abläufe statt, welche digital abgebildet (z.B. in Form von Workflows) werden können? | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| ▪ ... | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

0: Nein | 1: Geringfügig | 2: Mittel | 3: Stark | 4: Sehr stark

Bild A-35: Leitfragen zur Überprüfung der Eignung der Klasse „Digital Processes“

0: Keine geeignete Klasse | 4: Stark geeignete Klasse

Arbeit 4.0-Klassen Herausforderung	Digital Supporter	Digital Man of Action	Smart Aide	Smart Decider	Intelligent Processes	Digital Processes	Agile Ress. Mngmt.	Agile Value Systems
Aktuelle Konstruktionsstände in der Montageplanung oft nicht verfügbar	1	2	4	3	2	2	0	-

	0	1	2	3	4
▪ Könnte im Kontext der Herausforderung die Flexibilisierung interner Abläufe und Strukturen helfen?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
▪ ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

0: Nein | 1: Geringfügig | 2: Mittel | 3: Stark | 4: Sehr stark

Bild A-36: Leitfragen zur Überprüfung der Eignung der Klasse „Agile Ressource Management“

0: Keine geeignete Klasse | 4: Stark geeignete Klasse

Arbeit 4.0-Klassen Herausforderung	Digital Supporter	Digital Man of Action	Smart Aide	Smart Decider	Intelligent Processes	Digital Processes	Agile Ress. Mngmt.	Agile Value Systems
Aktuelle Konstruktionsstände in der Montageplanung oft nicht verfügbar	1	2	4	3	2	2	3	0

	0	1	2	3	4
▪ Könnte im Kontext der Herausforderung die Flexibilisierung von Lieferanten- und Kundenbeziehungen helfen?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
▪ ...	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

0: Nein | 1: Geringfügig | 2: Mittel | 3: Stark | 4: Sehr stark

Bild A-37: Leitfragen zur Überprüfung der Eignung der Klasse „Agile Value Systems“

A2.5 Steckbrief-Katalog Digitale Technologien

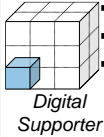
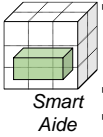

Augmented/Virtual Reality		
Kurzbeschreibung Augmented Reality erweitert die Realität durch lagerichtige Einblendung kontextspezifischer Informationen in Form von 3D-Grafiken. Bei der Virtual Reality handelt es sich um eine computergenerierte künstliche Realität.	Technologien/Methoden <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mobile Devices ▪ Ident. Technology ▪ Gestenerkennung ▪ Displaysystem 	Reifegrad <div>Schrittmacher-technologie</div> <div>Schlüssel-technologie</div> <div>Basis-technologie</div>
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div>  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Pick by Vision ▪ Remote Expert ▪ Mixed Mock-Up <p>Digital Supporter</p> </div> <div>  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Intelligente Betriebsdaten-visualisierung ▪ Digitale Anleitungen ▪ Virtuelle Konstruktion <p>Smart Aide</p> </div> <div>  <p>Virtual Engineering</p> </div>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> ⊕ Nutzerindividuelle Informationen ⊕ Erweiterung des Leistungsangebots um neuartige Services/Ermöglichung neuer Arbeitsweisen ⊕ Durchführung bisher nicht oder nur schwer möglicher Aufgaben 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> ⊖ Defizite bei Displaysystemen (Helligkeit, Überlagerung) ⊖ Defizite beim Tracking (Genauigkeit, eindeutige Identifikation) ⊖ Technologie noch nicht ausgereift (Sicherheitsaspekte) 	

Bild A-38: Steckbrief „Augmented/Virtual Reality“

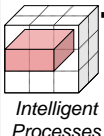
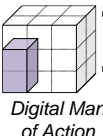

Autonomous Guided Vehicles (AGV)		
Kurzbeschreibung Autonome Flurfördergeräte sind mit Sensorik zur Erfassung der Umgebung ausgestattet und stellen einen unfallfreien Transport der Güter sicher. Eine übergeordnete Optimierung basierend auf Simulationstechnik integriert in einer Plattformlösung ermöglicht die permanente Verbesserung von komplexen Materialflüssen.	Technologien/Methoden <ul style="list-style-type: none"> ▪ (Optische) Sensorik ▪ Leitsysteme ▪ Automatisierte Lagerhaltung 	Reifegrad <div>Schrittmacher-technologie</div> <div>Schlüssel-technologie</div> <div>Basis-technologie</div>
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div>  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Autonome Intralogistik <p>Intelligent Processes</p> </div> <div>  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Drohnenbasierte Inventur ▪ (Personen-)Transport auf dem Werksgelände <p>Digital Man of Action</p> </div> <div>  <p>Autonome Intralogistik</p> </div>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> ⊕ Hohe Reproduzierbarkeit der Materialflüsse ⊕ Hoher Auslastungsgrad der Systeme ⊕ Optimale Materialflüsse auf Basis kontinuierlicher Simulation ⊕ Weniger Arbeitsunfälle 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> ⊖ Vertrauen zu autonomen Systemen auf Mitarbeiterseite ⊖ Neue Anforderungen an Logistik-Gestalter (z.B. Komplexitätsmanagement, Simulationskompetenz) ⊖ Geringere Eigenständigkeit im Bereich Material-Handhabung ⊖ Weniger Kommunikation im Produktionsbereich 	

Bild A-39: Steckbrief „Autonomous Guided Vehicles (AGV)“

Big Data		
Kurzbeschreibung Big Data ermöglicht strukturierte und unstrukturierte Daten aus vielen Perspektiven zu betrachten, um daraus konkrete Antworten zu komplexen Problemen zu finden. Data Analytics Framework umfasst die Teilkomponenten Data Integration, Data Management, Data Modeling & Analytics und Data Presentation.	Technologien/Methoden <ul style="list-style-type: none"> Cloud Computing Data Mining Datenintegration Datenerhaltungstechnologien 	Reifegrad <div>Schrittmachertechnologie</div> <div>Schlüsseltechnologie</div> <div>Basistechnologie</div>
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div>  <ul style="list-style-type: none"> Datengetriebenes Qualitätsmanagement Prognose von Kundenverhalten Predictive Maintenance Echtzeitüberwachung der Produktion Datengetriebene Prozessoptimierung </div> <div>   <p>Unter: https://www.simplilearn.com/data-science-vs-big-data-vs-data-analytics-article (13.09.19)</p> </div>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> + Bessere Verfügbarkeit von Produktionsanlagen, bessere Einsatz- & Wartungsplanung + Durch Bewertung von historischen Daten sowie Daten aus mehreren Quellen kann Produktionsoptimierung erreicht werden 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> - Noch keine ausgereifte Standardisierung bei den Use Cases (keine Blueprints); für jeden Use Case muss alles individuell "konfiguriert" werden - Nutzenerwartung ist schwer zu quantifizieren; im Voraus ist oftmals nicht absehbar, ob durch die Datenanalyse tatsächlich Verbesserungen erreicht werden 	

Bild A-40: Steckbrief „Big Data“

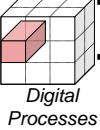


Blockchain		
Kurzbeschreibung Bezeichnet ein Konzept, mit dem ein Buchführungssystem dezentral geführt werden kann und dennoch ein Konsens über den richtigen Zustand der Buchführung erzielt wird. Das Verfahren kann in verteilten Systemen zur Vereinfachung der Transaktionssicherheit, im Vergleich zu zentralen Systemen, beitragen.	Technologien/Methoden <ul style="list-style-type: none"> Kryptographie Dezentrale Transaktionssysteme 	Reifegrad <div>Schrittmachertechnologie</div> <div>Schlüsseltechnologie</div> <div>Basistechnologie</div>
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div>  <ul style="list-style-type: none"> Digitales Transaktionssystem Anlagen- und Bestandsmanagement im SCM </div> <div>   <p>Unter: https://www.econopoly.isole24ore.com/2017/12/15/bitcoin-bolla-valuta-antisistema/ (13.09.19)</p> </div>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> + Verbesserte Transaktionssicherheit 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> - Nutzbarmachung im produzierenden Bereich fraglich - Keine Technologie für Gebrauch in einzelnen Unternehmen 	

Bild A-41: Steckbrief „Blockchain“

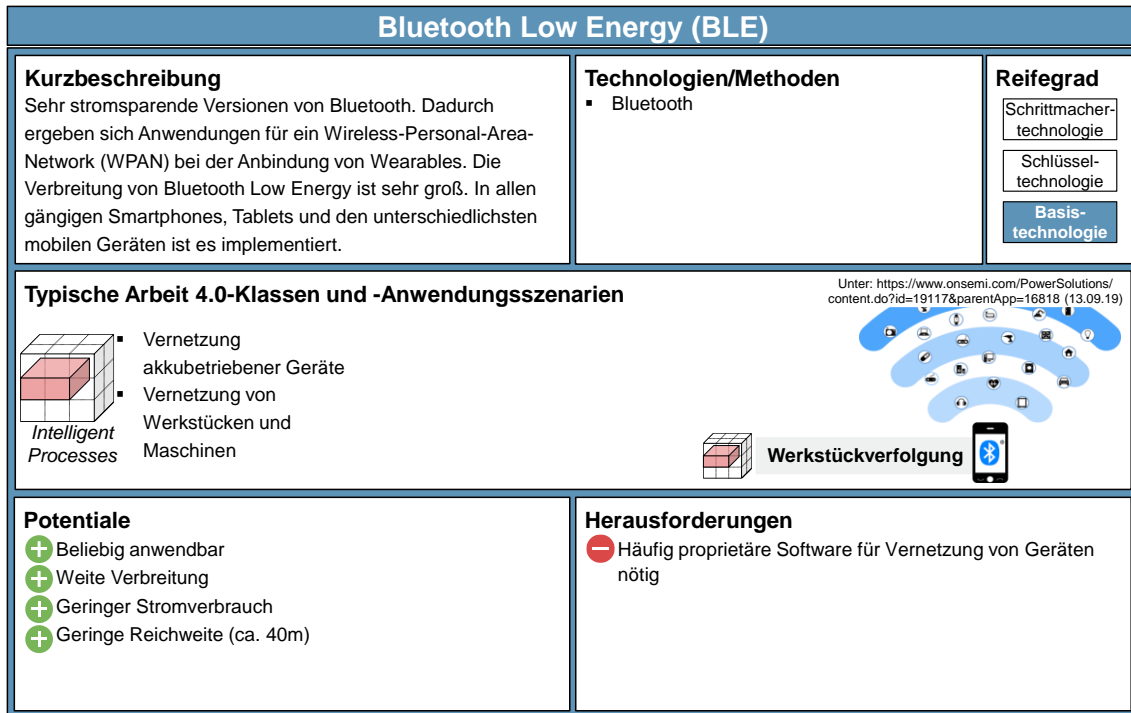


Bild A-42: Steckbrief „Bluetooth Low Energy (BLE)“

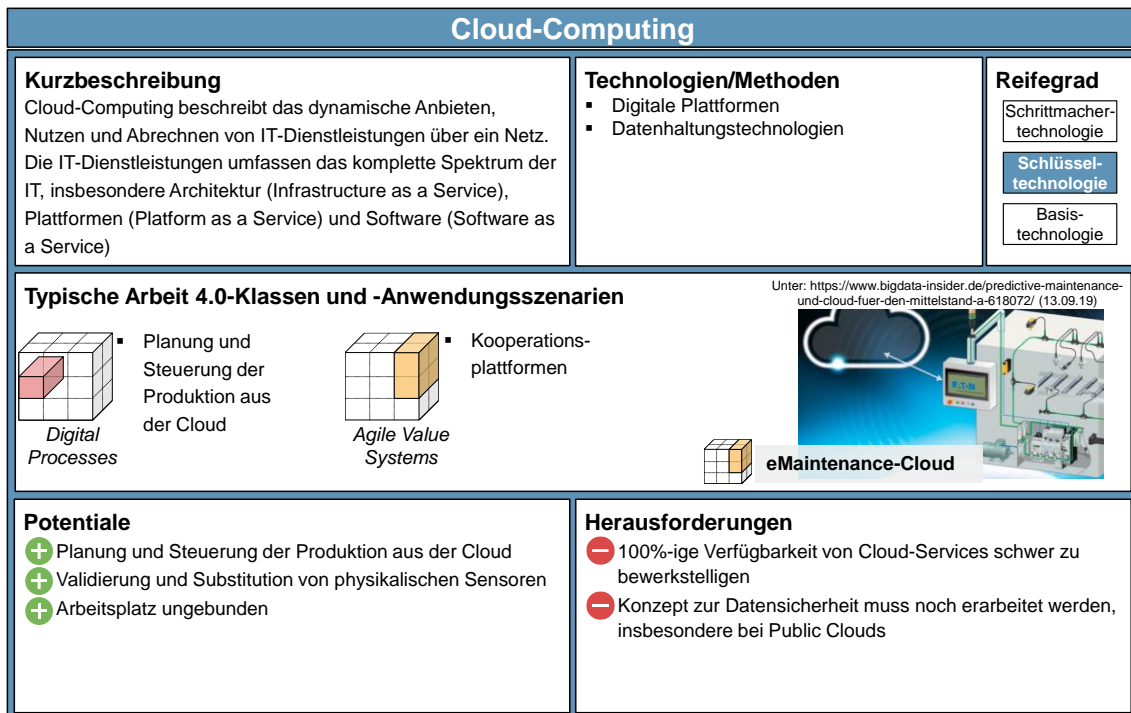


Bild A-43: Steckbrief „Cloud-Computing“

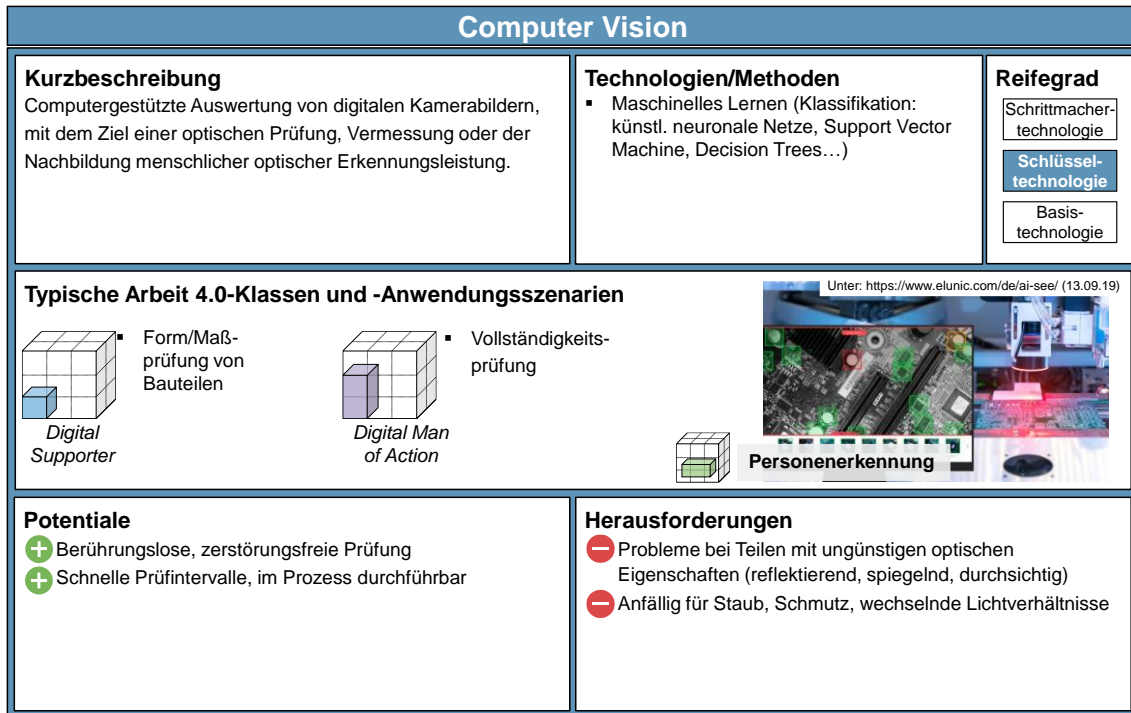


Bild A-44: Steckbrief „Computer Vision“

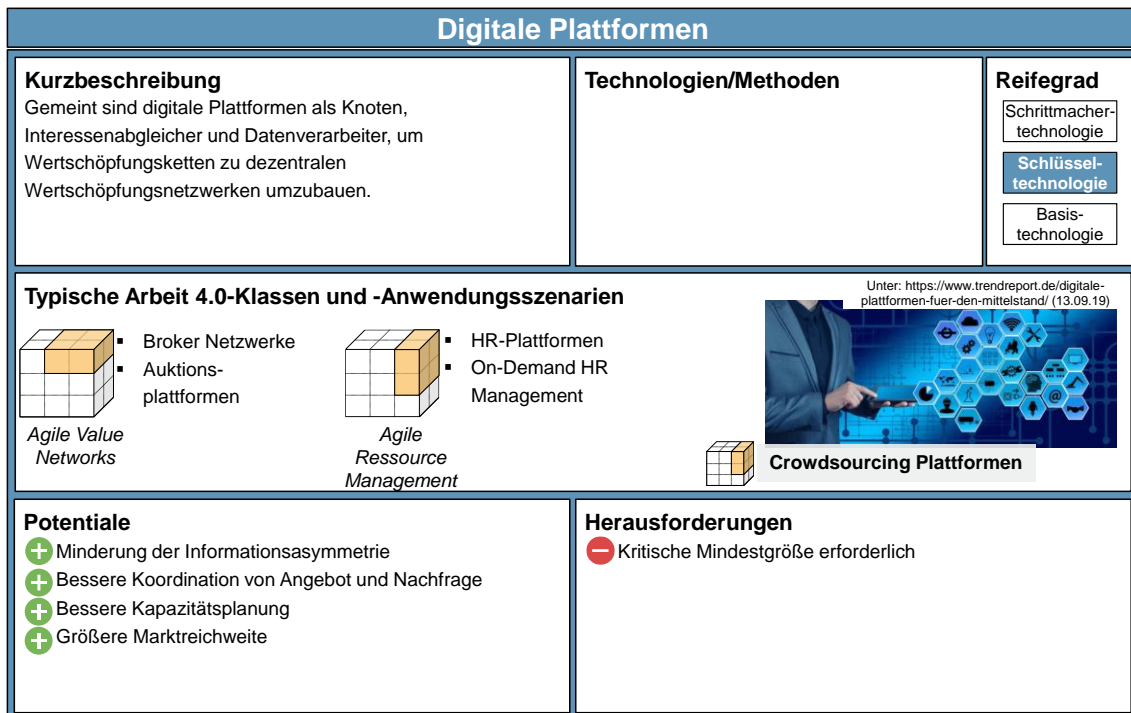


Bild A-45: Steckbrief „Digitale Plattformen“

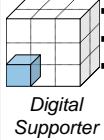


Exoskelette		
Kurzbeschreibung Stützstruktur für einen Organismus, die eine stabile äußere Hülle um diesen bildet. Der Träger steuert die Gelenke /Servomotoren mit einem Joystick oder Sensoren, welche die physiologischen Impulse des Körpers registrieren. Der Computer-Controller berechnet mit diesen Informationen die gewünschte Bewegung des Trägers und koordiniert die verschiedenen Elektro- oder Hydraulikmotoren.	Technologien/Methoden <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sensorik ▪ Robotik ▪ Künstliche Intelligenz 	Reifegrad Schrittmacher-technologie Schlüssel-technologie Basis-technologie
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;">  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Exoskelettweste ▪ Chairless Chair ▪ Tool Holding ▪ Exoskeletons </div> <div style="width: 45%; text-align: right;"> <p>Unter: https://www.gruenderszene.de/technologie/german-bionic-exoskelett (13.09.19)</p>  </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  Bewegungsunterstützung </div>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> + Bewegen von schweren Lasten, besonders bei komplexen, schwer zu automatisierenden Aufgaben + Körperliche Schonung + Erhöhung der körperlichen Leistungsfähigkeit + Minderung des Erkrankungsrisikos (Muskel-/Skeletterkrankungen) 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> – Technologie noch nicht ausgereift – Energieversorgung – Gewicht – Tragekomfort 	

Bild A-46: Steckbrief „Exoskelette“

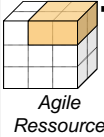
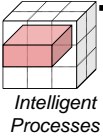


GPS Tracking		
Kurzbeschreibung Ermöglicht die Positionsüberwachung und -bestimmung von Objekten zu verschiedenen Zeitpunkten, welche in einer Cloud gespeichert werden können. Mit Hilfe von Data Mining können Informationen aus den Rohdaten gewonnen werden, was durch HPC unterstützt werden kann.	Technologien/Methoden <ul style="list-style-type: none"> ▪ Elektronische Erkennungssysteme ▪ Data Mining ▪ Cloud Computing 	Reifegrad Schrittmacher-technologie Schlüssel-technologie Basis-technologie
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 30%;">  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Transparente und flexible Planung und Steuerung der Logistik </div> <div style="width: 30%;">  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Monitoring der Fahrzeug-/Werkzeugnutzung </div> <div style="width: 35%; text-align: right;"> <p>Unter: https://e2e.ti.com/blogs_/b/industrial_strength/archive/2017/10/20/never-lose-your-luggage-again-with-a-smart-tracker-design# (13.09.19)</p>  </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">  Supply Chain Visibility </div>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> + Vollständige Vernetzung aller Objekte entlang Wertschöpfungskette + Vereinfachte und schnellere Identifikation von Prozessstörungen + Globale live Überwachung von Fahrzeugen, Lieferungen + Genaue Klärung von Haftungsfragen 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> – Besonders hohe Robustheit muss sichergestellt werden – Sicherheitsrisiko bei der Datenübertragung – Anpassung vorhandener IT-Systeme und Datenhaushalte relativ fehleranfällig durch hohe Komplexität – Etablierung eines elektronischen Produkterkennungssystems 	

Bild A-47: Steckbrief „GPS Tracking“

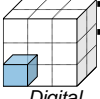
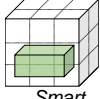

Holographie		
Kurzbeschreibung Unter Holographie lassen sich Verfahren zusammenfassen, die den Wellencharakter des Lichts ausnutzen, um systematisch anschauliche Darstellungen zu erzielen, die über die Möglichkeiten der klassischen Fotografie hinausgehen. Die Motive scheinen bei der Betrachtung frei im Raum zu schweben.	Technologien/Methoden <ul style="list-style-type: none"> 3D-Abbildungsverfahren 	Reifegrad <div>Schrittmachertechnologie</div> <div>Schlüsseltechnologie</div> <div>Basistechnologie</div>
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div> <div>  <p>Pick by Vision Vollflächige Prüfung von Werkstücken</p> <p>Digital Supporter</p> </div> <div>  <p>Virtuelle Konstruktion Holographic Scanning</p> <p>Smart Aide</p> </div> </div> <div> <p>Unter: https://magic-holo.com/holographische-displays/hologramm-buehne-hologramm-show/ (13.09.19)</p>  <p>Holographic Scanning</p> </div>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> + Indoor-Tracking von Objekten und Werkzeugen + 3D-Scans von Gebäuden und Strukturen + WLAN-Signalanalyse 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> - Breites Technologiefeld mit verschiedensten Technologien und Methoden - Marktreife noch nicht abzusehen 	

Bild A-48: Steckbrief „Holographie“

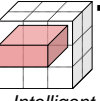

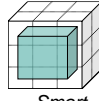

Künstliche Intelligenz		
Kurzbeschreibung KI besitzt eine Reihe von Teilgebieten. Zunächst muss die Umgebung durch Mustererkennung und -analyse erfasst werden. Darauf aufbauend können mit Hilfe von wissensbasierten Systemen aus der Informatik Mustervorhersagen generiert werden, welche die Grundlage des Verhaltens darstellen.	Technologien/Methoden <ul style="list-style-type: none"> Wissensbasierte Systeme Data Mining Musteranalyse/-erkennung/-vorhersage Robotik 	Reifegrad <div>Schrittmachertechnologie</div> <div>Schlüsseltechnologie</div> <div>Basistechnologie</div>
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div> <div>  <p>Autonome Intralogistik</p> <p>Intelligent Processes</p> </div> <div>  <p>Humanoide Roboter</p> <p>Digital Man of Action</p> </div> <div>  <p>Generative Design Fertigungsplanung</p> <p>Smart Decider</p> </div> </div> <div> <p>Unter: https://advancedmanufacturing.org/clearer-picture-advanced-simulation-software/image-4-dassault-systemes-assembly-level-functional-generative-design-optimization/ (13.09.19)</p>  <p>Generative Design</p> </div>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> + Einsatzmöglichkeiten für Aufgaben, bei denen konventionelle Lösungsansätze nicht zielführend sind + Abbildung menschähnlichen Verhaltens + Effizienzsteigerung durch intelligente Selbstorganisation/-optimierung von Systemen/Maschinen 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> - Keine Einschätzung der eigenen Kompetenz - „Black box“-Charakter - Entwicklung/Zukauf/Einführung von KI - Aufbau von Experten Know-how (für Weiterentwicklung/Wartung/Service) 	

Bild A-49: Steckbrief „Künstliche Intelligenz“

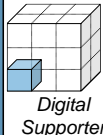
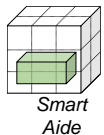

Location-Based Services (LBS)		
Kurzbeschreibung Standortbezogene Dienste, die unter Zuhilfenahme von positionsabhängigen Daten dem Endbenutzer selektive Informationen bereitstellen oder Dienste anderer Art erbringen.	Technologien/Methoden <ul style="list-style-type: none"> ▪ Positionsbestimmungsverfahren 	Reifegrad <div>Schrittmachertechnologie</div> <div>Schlüsseltechnologie</div> <div>Basistechnologie</div>
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div>  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Indoor-Navigation </div> <div>  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Virtuelle Post-Its </div> <div>  <p>Unter: https://www.pinterest.de/pin/560416747376869794/ (12.09.19)</p> </div>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> + GPS Unabhängige Positionsbestimmung + Reduktion der Informationen auf den gegebenen Kontext 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> – Häufig proprietäre Software für Vernetzung von Geräten nötig 	

Bild A-50: Steckbrief „Location-Based Services (LBS)“

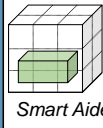

Projektoren		
Kurzbeschreibung Beschreibt die Projektion einer Bedienoberfläche auf beliebige Flächen, welche anschließend als Touchscreen benutzt werden können.	Technologien/Methoden	Reifegrad <div>Schrittmachertechnologie</div> <div>Schlüsseltechnologie</div> <div>Basistechnologie</div>
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div>  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Smart Desk ▪ Smart Board ▪ Betriebsdaten-visualisierung </div> <div>  <p>Unter: https://www.pcworld.com/article/3138008/dells-futuristic-smart-desk-pc-will-challenge-microsofts-surface-studio.html (12.09.19)</p> </div>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> + Beliebig anwendbar 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> – Aufwändige Installation 	

Bild A-51: Steckbrief „Projektoren“





Selbstlernende Maschinen/Roboter		
Kurzbeschreibung Mit Hilfe von Sensoren und Aktoren findet eine Wechselwirkung zwischen Maschine und Umgebung statt. Durch das Feedback können Prozesse kontinuierlich kontrolliert und angepasst werden. Durch künstliche Intelligenz werden Fehler gespeichert und in Zukunft verhindert, sodass Vorgänge kontinuierlich verbessert werden.	Technologien/Methoden <ul style="list-style-type: none"> ▪ Künstliche Intelligenz ▪ Intelligente Sensorik 	Reifegrad <div>Schrittmachertechnologie</div> <div>Schlüsseltechnologie</div> <div>Basistechnologie</div>
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div>  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Datengetriebene Prozessoptimierung <p>Smart Decider</p> </div> <div>  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Kollaborative Robotik <p>Digital Man of Action</p> </div> <div>  <p>Prozessoptimierung</p> </div> <div>  <p>Unter: https://www.canstockphoto.at/ausschnitt-isolated-enth%C3%A4lt-roboter-33681895.html (13.09.19)</p> </div>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> ⊕ Montage bei geringer Stückzahl mit hoher Variation ⊕ Verbesserte Mensch-Maschine-Interaktion (z.B. kein Käfig nötig) 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> ⊖ Keine komplexen Vorgänge oder Kombinationen von Vorgängen möglich ⊖ Trainingscenter mit Sensoren notwendig ⊖ Viele Demonstrationen notwendig 	

Bild A-52: Steckbrief „Selbstlernende Maschinen/Roboter“





Smarte Sensoren		
Kurzbeschreibung Die Messgrößenerfassung wird durch einen integrierten Prozessor oder Mikrocontroller ermöglicht. Eine Analysesoftware kann daraus z.B. mit Hilfe von Big Data-Methoden verwertbare Informationen generieren, welche zur Regelung bestimmter Aktoren dienen können.	Technologien/Methoden <ul style="list-style-type: none"> ▪ Analyse-Software ▪ Big Data ▪ Data Mining 	Reifegrad <div>Schrittmachertechnologie</div> <div>Schlüsseltechnologie</div> <div>Basistechnologie</div>
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div>  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Predictive Maintenance ▪ Datengetriebenes Qualitätsmanagement <p>Intelligent Processes</p> </div> <div>  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Humanoide Roboter ▪ Integration verschiedener Elemente (WiFi/RFID) <p>Digital Man of Action</p> </div> <div>  <p>Internet of Things</p> </div> <div>  <p>Unter: https://www.themanufacturer.com/articles/applications-iiot-manufacturing-plants/ (13.09.19)</p> </div>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> ⊕ Höhere Genauigkeit und Zuverlässigkeit ⊕ Vernetzung aller Maschinen und elektronischer Geräte ⊕ Selbstbetriebenes System ⊕ Unterschiedliche Sensordaten können erfasst und verarbeitet werden ⊕ Geringere/seltenere Wartung 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> ⊖ Möglichkeit der Manipulation der Messergebnisse durch Manipulation der Sensorik oder der Analysesoftware ⊖ Messdaten können über die bidirektionale digitale Schnittstelle „geklaut“ und manipuliert werden 	

Bild A-53: Steckbrief „Smarte Sensoren“


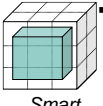

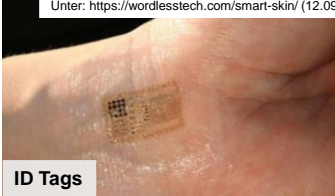
Smart Skin		
Kurzbeschreibung Smart Skin beschreibt eine Reihe von Implantaten oder gedruckte Sensoren, welche mittels NFC/RFID bpsw. wie UID Technologien verwendet werden können. Diese werden auf die Haut aufgetragen. Darunter fallen Schlüssel, Zugriffsrechte oder der Austausch kleinerer Informationsmengen.	Technologien/Methoden <ul style="list-style-type: none"> ▪ RFID ▪ NFC 	Reifegrad <div>Schrittmachertechnologie</div> <div>Schlüsseltechnologie</div> <div>Basistechnologie</div>
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div>  <ul style="list-style-type: none"> ▪ System-/applikationsübergreifende Authentifizierung </div> <div>  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatischer Datenabgleich </div> <div>   <p>Unter: https://wordlesstech.com/smart-skin/ (12.09.19)</p> </div>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> + Vereinfachung von Anmeldeprozessen für Nutzer + Einheitlich hohes Sicherheitsniveau + Einsparung physischer Schlüssel/IDs + Leichteres Management von Rechten und Rollen 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> - Mitarbeiter Zustimmung - Gesundheitliche Bedenken 	

Bild A-54: Steckbrief „Smart Skin“

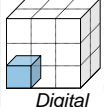
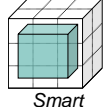


Smart Wearables		
Kurzbeschreibung Beschreibt intelligente Arbeitskleidung oder Schmuck. Mit Hilfe der verbauten Sensoren und Interfaces muss der Anwender keine separaten Geräte mit sich führen.	Technologien/Methoden <ul style="list-style-type: none"> ▪ Integrierte Sensorik 	Reifegrad <div>Schrittmachertechnologie</div> <div>Schlüsseltechnologie</div> <div>Basistechnologie</div>
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div>  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Montagehilfen ▪ Intelligente Schutzkleidung ▪ Smart Glove </div> <div>  <ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatischer Datenabgleich/Identifikation </div> <div>   <p>Unter: https://omnexus.specialchem.com/news/industry-news/smart-glove-ultrathin-dielectric-elastomer-film-000217876 (13.09.19)</p> </div>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> + Flexible und vielfältige Anwendungen möglich + Vergleichsweise geringe Anschaffungs- und Betriebskosten 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> - Akzeptanz der Handlungspersonen - Datensicherheit 	

Bild A-55: Steckbrief „Smart Wearables“

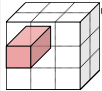

Unique Identification (UID)		
Kurzbeschreibung Unique Identification bezeichnet ein System, bei dem Gegenstände oder Menschen durch Vergabe eines eindeutigen Codes über System- und Anwendungsgrenzen hinweg identifiziert bzw. autorisiert werden können.	Technologien/Methoden <ul style="list-style-type: none"> ▪ RFID ▪ Verschlüsselung ▪ Scanner/Lesegeräte 	Reifegrad <div>Schrittmacher-technologie</div> <div>Schlüssel-technologie</div> <div>Basis-technologie</div>
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div>  System-/Applikations-übergreifende Authentifizierung </div> <div>  </div> <p>Unter http://www.inotecbsl.com/applications/industry (13.09.19)</p>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> + Vereinfachung von Anmeldeprozessen für Nutzer + Einheitlich hohes Sicherheitsniveau + Leichteres Management von Rechten und Rollen + Einsparungen durch einheitliches System für Warenttracking in der Logistik + Hohes Automatisierungspotential 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> - Erhöhte Abhängigkeit von einem technischen System - Höheres potentiell Sicherheitsrisiko (Hacking, Missbrauch) als bei unterschiedlichen Einzelsystemen 	

Bild A-56: Steckbrief „Unique Identification (UID)“

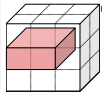
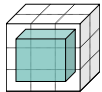

Virtuelle Sensorik		
Kurzbeschreibung Indirekte Messung einer Zielgröße durch Beobachtung anderer, korrelierender Messgrößen und Anwendung eines analytischen oder datengetriebenen Modells.	Technologien/Methoden <ul style="list-style-type: none"> ▪ Analytische Modellierung ▪ Datengetriebene Modellierung (überwachtes Lernen; Regression; künstliche neuronale Netze) 	Reifegrad <div>Schrittmacher-technologie</div> <div>Schlüssel-technologie</div> <div>Basis-technologie</div>
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div>  Predictive Maintenance </div> <div>  Indirekte Messung und Auswertung von Prozessgrößen </div> <div>  Datenextraktion </div> <p>Unter: https://www.elektroniknet.de/intelligenz-per-virtuelle-sensorik-und-cloud-116861-Seite-4.html (13.09.19)</p>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> + Kostengünstige Messung schwer messbarer Größen + Validierung und Substitution von physikalischen Sensoren 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> - Aufnahme von Referenzdaten für datengetriebene Modelle - Nachweis der Genauigkeit 	

Bild A-57: Steckbrief „Virtuelle Sensorik“




Voice User Interface (VOI)		
Kurzbeschreibung Bezeichnet in Anlehnung an eine grafische Benutzeroberfläche die Benutzerschnittstelle von Sprachdialogsystemen. Die Ein- und Ausgabe erfolgt hierbei über gesprochene Sprache. Haupteinsatzgebiete sind Smartphones mit ihren persönlichen Assistenzsystemen.	Technologien/Methoden <ul style="list-style-type: none"> ▪ Spracherkennung ▪ Künstliche Intelligenz 	Reifegrad <div>Schrittmachertechnologie</div> <div>Schlüsseltechnologie</div> <div>Basistechnologie</div>
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div>  Kollaborative Robotik <i>Digital Man of Action</i> </div> <div>  Sprachsteuerung von Maschinen/Geräten <i>Smart Aide</i> </div> <div>  Maschinensteuerung <small>Unter: https://dzone.com/articles/voice-user-interfaces-vui-the-ultimate-ux-guide (12.09.19)</small> </div>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> + Verbesserte Mensch-Maschine-Interaktion 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> - Verlässlichkeit abhängig von zukünftiger Entwicklung im KI Bereich 	

Bild A-58: Steckbrief „Voice User Interface (VOI)“



3D-Druck		
Kurzbeschreibung Ein 3D-Drucker baut dreidimensionale Werkstücke schichtweise auf. Der Aufbau erfolgt computergesteuert aus einem oder mehreren Werkstoffen nach CAD Modellen. Beim Aufbau finden physikalische oder chemische Härtings- oder Schmelzprozesse statt. Typische Werkstoffe für das 3D-Drucken sind Kunststoffe, Kunstharze, Keramiken und Metalle.	Technologien/Methoden <ul style="list-style-type: none"> ▪ CAD ▪ Rapid Prototyping 	Reifegrad <div>Schrittmachertechnologie</div> <div>Schlüsseltechnologie</div> <div>Basistechnologie</div>
Typische Arbeit 4.0-Klassen und -Anwendungsszenarien <div>  Rapid Prototyping <i>Digital Man of Action</i> </div> <div>  Rapid Prototyping <small>Unter: https://www.marhellabs.com/3d-anwendungen/rapid-prototyping/ (13.09.19)</small> </div>		
Potentiale <ul style="list-style-type: none"> + Schnellere Reaktionsmöglichkeiten bei technischen Produktänderungen + Möglichkeit zur Herstellung komplexer Formen, die bisher nicht/kaum herstellbar waren + Zunehmende Einsatzmöglichkeiten in der Serienproduktion 	Herausforderungen <ul style="list-style-type: none"> - Einschränkungen bei Größe und Material - Langsame Fertigung/hohe Produktionskosten - Risiko einer technologisch schnell veralteten Druck-Hardware (3D-Druck-Technologie entwickelt sich schnell weiter) 	

Bild A-59: Steckbrief „3D-Druck“

A3 Leitfragen zur Identifikation der Auswirkungen von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

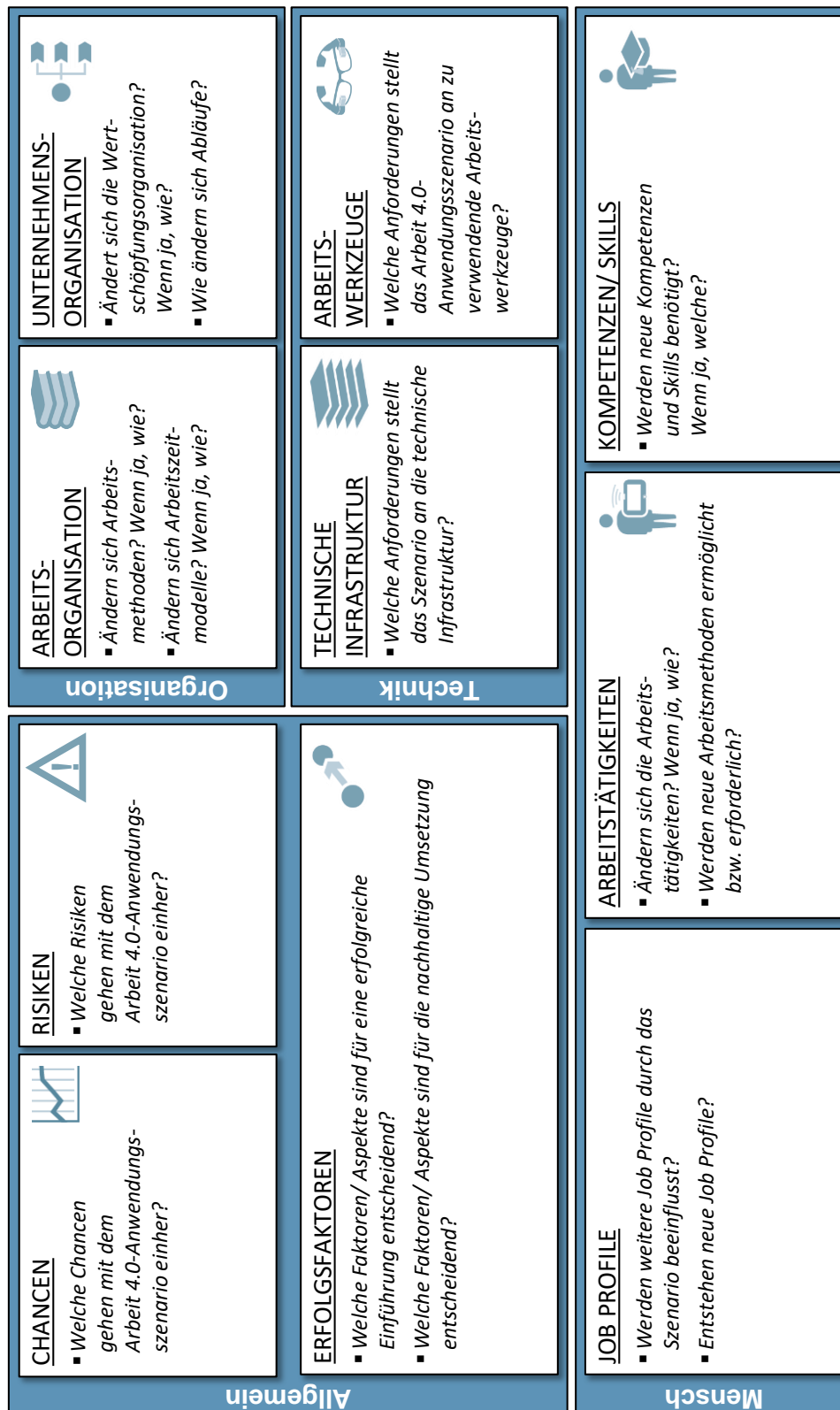


Bild A-60: Leitfragen zur Identifikation der Auswirkungen von Arbeit 4.0-Anwendungsszenarien

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.

Bielefeld, 13. Januar 2021



Michael Bansmann