Daniel Röltgen

Systematik zur strategischen Planung von Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft

Systematic approach for the strategic planning of Augmented Reality for the product-service business

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 fortschreitende Digitalisierung führt zu einer zunehmenden Verschmelzung der realen und virtuellen Welt. Um die steigende Vielzahl und Vielfalt an Daten intuitiv zugänglich zu machen, bedarf es neuer Formen der Mensch-Maschine-Interaktion. Beflügelt durch den technologischen Fortschritt zeichnet sich mit Augmented Reality (AR) eine Schlüsseltechnologie ab, die eine Brücke zwischen realer und virtueller Welt schlägt. Durch die computergestützte Überlagerung physischer Umgebungen mit virtuellen Informationen ermöglicht es AR, Informationen schneller aufzunehmen und Tätigkeiten effizienter durchzuführen. Hierdurch eröffnen sich Unternehmen erhebliche Innovationspotentiale für neue Marktleistungen und Geschäftsmodelle. Deren Erschließung setzt jedoch einen systematischen Planungsprozess voraus, der sowohl die Mehrwerte als auch die technologischen Anforderungen von AR ins Kalkül zieht.

Vor diesem Hintergrund hat Herr Röltgen eine Systematik zur strategischen Planung von Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft erarbeitet. Die Systematik zeigt auf, welche Einsatz- und Nutzenpotentiale AR für die Weiterentwicklung des Produkt-Service-Portfolios bietet und wie Unternehmen diese erschließen können. Basis bildet ein Katalog an AR-Anwendungsszenarien, der Transparenz über die Einsatzmöglichkeiten und damit verbundenen Chancen und Risiken schafft. Darauf aufbauend unterstützen Vorgehensmodelle und Hilfsmittel, Erfolg versprechende Geschäftsideen zu ermitteln und in ein technisches Konzept sowie tragfähiges Geschäftsmodell zu überführen. Die erfolgreiche Anwendung der Systematik erfolgte im Rahmen des Forschungsprojekts AcRoSS mit einem mittelständischen Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus.

Mit seiner Arbeit leistet Herr Röltgen einen wertvollen Beitrag. Die Dissertation erweitert den bislang vorrangig auf die technische Weiterentwicklung von AR fokussierten Wissenschaftsdiskurs um einen durchgängigen Ansatz zum strategischen Management. Im Lichte des sich abzeichnenden industriellen Durchbruchs von AR adressiert die Arbeit zudem ein hochaktuelles Handlungsfeld produzierender Unternehmen. Vor diesem Hintergrund wird die Dissertation hohe Anerkennung in Wissenschaft und Praxis finden.

Paderborn, im November 2021 *Prof. Dr.-Ing. R. Dumitrescu*

Systematik zur strategischen Planung von Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft

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

genehmigte
DISSERTATION

von
M.Sc. Daniel Röltgen
aus Solingen

Tag des Kolloquiums:	24. September 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, Gruppenleiter und stellvertretender Abteilungsleiter im Fachbereich Produktentstehung am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM. Sie spiegelt das Ergebnis meiner wissenschaftlichen Arbeit im Rahmen des Forschungsprojekts *AcRoSS – Instrumentarium für die Implementierung Augmented-Reality-basierter Produkt-Service-Systeme* sowie zahlreicher Industrieprojekte wider.

Mein herzlicher Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Roman Dumitrescu für die stets fordernde und fördernde Zusammenarbeit sowie das entgegengebrachte Vertrauen in meine Arbeit. Er hat mich unermüdlich zum Abschluss dieser Promotion motiviert und meine fachliche und persönliche Weiterentwicklung maßgeblich geprägt. Mit großer Dankbarkeit blicke ich auf die konstruktive Zusammenarbeit in den vergangenen sechs Jahren zurück. Ebenfalls danken möchte ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Jürgen Gausemeier. Das von ihm geschaffene Umfeld hat mich bereits während des Studiums in meiner Zeit als studentische Hilfskraft für den Weg zur Promotion begeistert. Für die Übernahme des Korefferats danke ich Herrn Prof. 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 Kolleginnen und Kollegen danke ich für die hervorragende Zusammenarbeit und den außergewöhnlichen Teamgeist. Besonders hervorheben möchte ich an dieser Stelle Herrn Dr.-Ing. Arno Kühn, der mich mit wertvollen Ratschlägen auf meinem Weg zur Promotion begleitet und mich auch in schwierigen Zeiten stets motiviert und mir den Rücken gestärkt hat. Hierfür bin ich zutiefst dankbar. Für die konstruktiven Diskussionen im Rahmen meiner Dissertation möchte ich darüber hinaus dankend hervorheben: Michael Bansmann, Tommy Falkowski, André Lipsmeier, Fabio Wortmann, Eva Grote und Dr.-Ing. Harald Anacker. Den vielen Studierenden, die ich namentlich nicht alle nennen kann, danke ich für Ihre Unterstützung als studentische Hilfskräfte und durch ihre studentischen Arbeiten.

Mein größter Dank gilt meinen Freunden und meiner Familie. In erster Linie sind das meine Eltern Dorothea und Hans-Lothar Röltgen, die mir mein Studium ermöglicht und mich auf meinem Lebensweg unermüdlich unterstützt haben. Mein größtes Dankeschön gilt jedoch meiner Frau Karolin: Für die Kraft, die sie mir gegeben hat, die bedingungslose Liebe sowie das unzählige Entbehren und Zurückstecken kann auch mein höchster Dank keinen Ausdruck finden. Letztlich ist es ihr unumstößlicher Rückhalt, der diese Dissertation überhaupt erst möglich gemacht hat.

Paderborn, im November 2021 *Daniel Röltgen*

Liste der veröffentlichten Teilergebnisse

Wissenschaftliche Publikationen

[KMF+19] KÜSTER, T.; MASUCH, N.; FÄHNDRICH, J.; TSCHIRNER-VINKE, G; TASCHNER, J.; SPECKER, M.; IBEN, H.; BAUMANN, H.; SCHMID, F.; STÖCKLEIN, J.; RÖLTGEN, D.; TRINOGA, M.: A Distributed Architecture For Modular And Dynamic Augmented Reality Processes. In: Proceedings Of The 17th IEEE International Conference On Industrial Informatics (INDIN 2019). July 23 - 25, Helsinki, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, 2019

[RAD16] RÖLTGEN, D.; ANACKER, H.; DUMITRESCU, R.: Einsatz- und Nutzenpotentiale von Augmented Reality im Kontext von Industrie 4.0. In: VDE e.V. (Hrsg.): VDE-Kongress 2016 – Internet der Dinge. 7.-8. November, Mannheim, VDE-Verlag, Berlin, 2016

[RBN+18] RÖLTGEN, D.; BANSMANN, M.; NICKCHEN, D.; WORTMANN, F.; DUMITRESCU, R.: Datenbrillen im Kontext 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, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 385, Paderborn, 2018

[RD20] RÖLTGEN, D.; DUMITRESCU, R.: Classification Of Industrial Augmented Reality Use Cases. Procedia CIRP, Volume 91, Elsevier, Amsterdam, 2020

[RWA+17] RÖLTGEN, D.; WORTMANN, F.; ANACKER, H.; DUMITRESCU, R.: Identifikation von Potentialen für Augmented-Reality-basierte Produkt-Service-Systeme. In: Gausemeier, J. (Hrsg.): 13. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung. 23.-24. November, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 374, Paderborn, 2017

[RWA+18] RÖLTGEN, D.; WORTMANN, F.; ANACKER, H.; DUMITRESCU, R.: Specification Technique For Augmented Reality Based Product Service Systems. In: Marjanović, D.; Štorga, M.; Škec, S.; Bojčetić, N.; Pavković, N. (Eds.): Proceedings Of The 15th International DESIGN Conference (DESIGN 2018). May 21 - 24, Dubrovnik, The Design Society, Glasgow, 2018

[RWG+19] RÖLTGEN, D.; WORTMANN, F.; GROTE, E.; DUMITRESCU, R.: Designing Business Models For Augmented Reality. In: Jain, K.; Sangle, S.; Gupta, R.; Persis, J.; Mukundan, R. (Eds.): Proceedings Of The 28th Annual Conference Of The International Association For Management Of Technology (IAMOT 2019). April 7 - 11, Mumbai, International Association For Management Of Technology, Coral Gables, Florida, 2019

Beiträge in Fachzeitschriften

[RS17] RÖLTGEN, D.; SCHIEFELBEIN, F.-P.: Vereinfachte Instandhaltung per AR-Technologie. Instandhaltung, Ausgabe 06/2017, verlag moderne industrie, Landberg am Lech, 2017

[RS18a] RÖLTGEN, D.; SCHIEFELBEIN, F.-P.: Augmented Reality in der Fabrik. Trend Report – Redaktion und Zeitung für moderne Wirtschaft, Ausgabe 01/2018, ayway media, Bonn, 2018

[RS18b] RÖLTGEN, D.; SCHIEFELBEIN, F.-P.: Forschungsprojekt AcRoSS – Augmented Reality für den Mittelstand. IT & Production – Das Industrie 4.0 Magazin für erfolgreiche Produktion, Ausgabe 03/2018, TeDo Verlag, Marburg, 2018

[RS19a] RÖLTGEN, D.; SCHIEFELBEIN, F.-P.: Software und Geschäftsmodelle für AR – Von der Think-About-Karte zur Augmented-Reality-Anwendung. In: IT & Production, Sonderteil Augmented und Virtual Reality, TeDo Verlag, Marburg, 2019

[RS19b] RÖLTGEN, D.; SCHIEFELBEIN, F.-P.: Keine Angst bei der Einführung von Augmented Reality. In: MM Maschinenmarkt, Ausgabe 22/2019, Vogel Communications, Würzburg, 2019

[RSW17] RÖLTGEN, D.; SCHIEFELBEIN, F.-P.; WIESBÖCK, J.: Augmented Reality in der Fabrikhalle. Elektronik Praxis, Ausgabe 17/2017, Vogel Business Media, Würzburg, 2017

Zusammenfassung

Im Zuge der Transformation zur Dienstleistungsgesellschaft wandelt sich das Produkt- und Komponentengeschäft produzierender Unternehmen hin zu Produkt-Service-Systemen, die Sach- und Dienstleistungen integrieren. Mit Augmented Reality (AR) zeichnet sich eine aufstrebende Technologie ab, die vielfältige Innovationspotentiale für die Interaktion zwischen Mensch und Maschine entlang des Lebenszyklus von Produkt-Service-Systemen bietet. Durch die kongruente Überlagerung realer Umgebungen mit virtuellen Informationen verspricht AR, die Effizienz und Effektivität manueller Tätigkeiten signifikant zu verbessern. Die Erschließung von AR für das Produkt-Service-Geschäft setzt jedoch einen systematischen Planungsprozess voraus, der die marktstrategischen Potentiale und technischen Anforderungen von AR gleichermaßen ins Kalkül zieht.

Vor diesem Hintergrund beschreibt die vorliegende Arbeit eine *Systematik zur strategischen Planung von Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft*. Das Fundament bildet ein Katalog an AR-Anwendungsszenarien, der die Einsatz- und Nutzenpotentiale von AR strukturiert. Für eine durchgängige methodische Unterstützung stellt die Systematik Vorgehensmodelle und Hilfsmittel bereit: Unter Rückgriff auf die AR-Anwendungsszenarien beschreibt die Geschäftsideenfindung die systematische Identifikation, Bewertung und Auswahl Erfolg versprechender Geschäftsideen. Im Zuge der Umsetzungsplanung werden die Geschäftsideen im Hinblick auf ihre technische und wirtschaftliche Realisierung konkretisiert. Die Anwendung der Systematik erfolgt exemplarisch anhand eines mittelständischen Unternehmens aus dem Maschinen- und Anlagenbau.

Summary

With the shift to a service society, the product- and component-oriented business of manufacturing companies is changing into highly integrated product-service systems. Augmented Reality (AR) is an emerging technology that provides manifold opportunities to improve the human-machine interaction along the life cycle of product-service systems. By congruently overlaying real-world environments with virtual information, AR promises to significantly improve the efficiency and effectiveness of manual taks. However, the utilization of AR for the product-service business requires a systematic planning process that considers the market-strategic potentials and technical requirements of AR.

Against this background, the work at hand describes a *systematic approach for the strategic planning of Augmented Reality for the product-service business*. It is based on a catalogue of AR application scenarios, which structures the potential applications and benefits of AR. Process models and tools are provided for consistent methodical support: The business idea generation process describes the use of the AR application scenarios to systematically identify, evaluate and select promising business ideas. In the course of the implementation planning, the business ideas are specified in terms of their technical and economic realization. In order to illustrate the results, the approach is applied to a medium-sized company in the mechanical and plant engineering sector.

Inhaltsverzeichnis

Seite

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

2 Problemanalyse 5
2.1 Begriffsdefinitionen 5
2.1.1 Systematik 6
2.1.2 Leistung, Sachleistung, Produkt und Dienstleistung 6
2.1.3 Produkt-Service-System 9
2.1.4 Augmented Reality 12
2.1.5 Strategische Planung 15
2.2 Vom Produkt- zum Produkt-Service-Geschäft 18
2.2.1 Servitization des Produktgeschäfts 19
2.2.2 Digitalisierung als Treiber für Produkt-Service-Systeme 24
2.2.3 Einfluss von Technologien auf Produkt-Service-Systeme 28
2.3 Augmented Reality (AR) für das Produkt-Service-Geschäft 31
2.3.1 AR im Wandel der Zeit 31
2.3.2 Nutzen, Anwendungsfelder und Herausforderungen 34
2.3.3 Funktionsprinzip und Architektur von AR-Systemen 39
2.4 Strategische Planung AR-basierter Produkt-Service-Systeme 44
2.4.1 Referenzmodell der strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen nach GAUSEMEIER ET AL. 45
2.4.2 Problemabgrenzung 48
2.5 Anforderungen an die Arbeit 51

3 Stand der Technik 53
3.1 Strukturierungsrahmen und Klassifikationsschemata für AR 53
3.1.1 AR-Anwendungsszenarien nach MEHLER-BICHER und STEIGER 54
3.1.2 Klassifikationsschema für AR-Anwendungen nach FELLMANN ET AL. 56
3.1.3 Lebenszyklus-orientierte Einordnung von AR-Anwendungen nach FITE-GEORGEL 57
3.1.4 Taxonomie für AR-Anwendungen nach NORMAND ET AL. 59
3.1.5 Taxonomie für AR-Umgebungen nach HUGUES ET AL. 60

3.2 Ansätze zur Ideenfindung für AR-basierte Produkt-Service-Systeme .. 62
3.2.1 Auswahlmodell für AR-basierte Produkt-Service-Systeme nach PORCELLI ET AL. ... 62
3.2.2 Leitfragenkatalog zur Bewertung von AR-Anwendungen nach PALMARINI ET AL. ... 64
3.2.3 Einsatzindikatoren für Datenbrillen nach GRAUEL ET AL. ... 65
3.2.4 Value Proposition Design nach OSTERWALDER ET AL. ... 67
3.2.5 Technologieinduzierte Produkt- und Technologieplanung nach WALL ... 69
3.3 Ansätze zur integrativen Konzipierung AR-basierter Produkt-Service-Systeme ... 71
3.3.1 Konfigurationssystematik für AR-Systeme nach SCHILLING ... 71
3.3.2 Analytischer Hierarchieprozess zur Bewertung von AR-Systemen nach ELIA ET AL. ... 73
3.3.3 Vorgehen zur Bewertung und Auswahl von Datenbrillen nach SYBERFELDT ET AL. ... 74
3.3.4 Spezifikationstechnik CONSENS nach GAUSEMEIER ET AL. ... 76
3.3.5 Entwicklungsmethodik für Service-Unterstützungssysteme nach METZGER ET AL. ... 78
3.4 Ansätze zur Entwicklung von Geschäftsmodellen für AR-basierte Produkt-Service-Systeme ... 80
3.4.1 Business Model Generation nach OSTERWALDER und PIGNEUR . 81
3.4.2 Erfolgsfaktoren für AR-basierte Geschäftsmodelle nach VAN KLEEF ET AL. ... 83
3.4.3 Geschäftsmodelle für AR nach HAYES ... 85
3.4.4 Referenzmodell für Mixed und Augmented Reality nach ISO/IEC DIS 18039 ... 88
3.4.5 Musterbasierte Entwicklung technologieinduzierter Geschäftsmodelle nach AMSHOFF ... 90
3.5 Bewertung und Handlungsbedarf ... 92

4 Systematik zur strategischen Planung von AR für das Produkt-Service-Geschäft ... 97
4.1 Die Systematik im Überblick ... 97
4.2 AR-Anwendungsszenarien ... 99
4.2.1 Vorgehen zur Ermittlung der AR-Anwendungsszenarien ... 99
4.2.2 Klassifikationsschema ... 101
4.2.3 Klassifikation von AR-Anwendungsbeispielen ... 105
4.2.4 Katalog mit AR-Anwendungsszenario-Steckbriefen ... 111

4.3 Geschäftsideenfindung ... 114
4.3.1 Bedarfsinduzierte Geschäftsideenfindung ... 115
4.3.1.1 Phase 1: Auswahl eines Geschäftsfelds ... 116
4.3.1.2 Phase 2: Analyse der AR-Anwendungsszenarien ... 119
4.3.1.3 Phase 3: Konkretisierung der Geschäftsidee ... 124
4.3.2 Technologieinduzierte Geschäftsideenfindung ... 126
4.3.2.1 Phase 1: Auswahl eines AR-Anwendungsszenarios 127
4.3.2.2 Phase 2: Analyse der Marktsegmente ... 128
4.3.2.3 Phase 3: Konkretisierung der Geschäftsidee ... 129
4.4 Umsetzungsplanung ... 130
4.4.1 Phase 1: Konzipierung des Produkt-Service-Systems ... 132
4.4.2 Phase 2: Konzipierung des Geschäftsmodells ... 142
4.4.3 Phase 3: Planung von Maßnahmen ... 149

5 Anwendung und Bewertung ... 153
5.1 Anwendungsbeispiel: AR im industriellen Druckwesen ... 153
5.2 Geschäftsideenfindung ... 155
5.2.1 Phase 1: Auswahl eines Geschäftsfelds ... 155
5.2.2 Phase 2: Analyse der AR-Anwendungsszenarien ... 156
5.2.3 Phase 3: Konkretisierung der Geschäftsidee ... 158
5.3 Umsetzungsplanung ... 161
5.3.1 Phase 1: Konzipierung des Produkt-Service-Systems ... 161
5.3.2 Phase 2: Konzipierung des Geschäftsmodells ... 167
5.3.3 Phase 3: Planung von Maßnahmen ... 170
5.4 Bewertung der Systematik anhand der Anforderungen ... 173

6 Zusammenfassung und Ausblick ... 177

7 Abkürzungsverzeichnis ... 181

8 Literaturverzeichnis ... 183

Anhang

A1 Ergänzungen zum Stand der Technik A-1

A2 Ergänzungen zur Systematik A-3

A2.1 Übersicht der untersuchten AR-Anwendungsbeispiele A-3

A2.2 Steckbriefe zu den AR-Anwendungsszenarien A-6

A2.3 Bewertungskriterien zur Abschätzung des Umsetzungsaufwands A-22

A2.4 Leitfragenkatalog zur Erhebung von Anforderungen A-23

A2.5 Bewertungsindikatoren für Datenbrillen und Handheld-Systeme A-29

A2.6 Anforderungsschablone zur Spezifikation einer Datenbrille A-30

A2.7 Datenbrillen-Steckbriefe A-31

A2.8 Geschäftsmodellkarten A-37

1 Einleitung

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen der anwendungsorientierten Forschung am Fraunhofer-Institut für Entwurfstechnik Mechatronik IEM in Paderborn. Die Ergebnisse resultieren aus dem Forschungsverbundprojekt *AcRoSS – Instrumentarium zur Implementierung Augmented-Reality-basierter Produkt-Service-Systeme*, das als Teil des Technologieprogramms *Smart Service Welt – Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft* im Zeitraum von März 2016 bis Mai 2019 durch das BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (BMWi) gefördert wurde. Ziel des Projekts war die Entwicklung von Methoden und Werkzeugen zur branchenübergreifenden Erschließung von Augmented Reality durch kleine und mittlere Unternehmen [RS18]. Die vorliegende Arbeit beschreibt eine *Systematik zur strategischen Planung von Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft*. Sie ist elementarer Bestandteil des im Forschungsprojekt AcRoSS erarbeiteten Instrumentariums und wurde in zwei Pilotprojekten angewendet.

1.1 Problematik

Mit der zunehmenden gesamtwirtschaftlichen Bedeutung des Dienstleistungssektors vollzieht sich in westlichen Industriestaaten seit Jahrzehnten ein gesellschaftlicher Strukturwandel hin zur **Dienstleistungsgesellschaft** [SG16, S. 9], [RB06, S. 142]. Beleg hierfür liefern amtliche Statistiken, denen zufolge der Dienstleistungssektor in Deutschland im Jahr 2018 mit einem Anteil von 68% an der Bruttowertschöpfung das produzierende Gewerbe um mehr als das Zweieinhalbfache übersteigt [Sta19, S. 11]. Auf Unternehmensebene spiegelt sich die Transformation zur Dienstleistungsgesellschaft in dem Wandel des Marktleistungsportfolios produzierender Unternehmen wider [BS06, S. 54]. Das klassische Produkt- und Komponentengeschäft wird durch zusätzliche Dienstleistungen erweitert, was durch den von VANDERMERWE und RADA geprägten Begriff **Servitization of Business** zum Ausdruck kommt [VR88, S. 314]. Aus der Verzahnung von Sach- und Dienstleistung resultieren hybride Systemlösungen, sog. **Produkt-Service-Systeme**, die mit ökonomischen und wettbewerbsbezogenen Vorteilen verbunden sind [BLB+09, S. 547]. Hierzu zählen die Differenzierung im Wettbewerb [Man10, S. 1], die Steigerung und Verstetigung von Umsätzen [GFF05, S. 14], die Intensivierung des Kundenkontakts [Lay14, S. 6] sowie das Angebot maßgeschneiderter Problemlösungen, die über die bloßen Eigenschaften von Sachleistungen hinausgehen [ER06, S. 217], [Dan10, S. 23].

Beschleunigt wird der Wandel zum Produkt-Service-Geschäft durch Innovationspotentiale, die sich aus der fortschreitenden **Digitalisierung** für die Sach- und Dienstleistungskomponenten eines Produkt-Service-Systems ergeben [LG14, S. 261]. Unter dem Schlagwort **Industrie 4.0** spiegelt sich auf der Sachleistungsebene die Transformation mechatronischer Systeme hin zu cyber-physischen Systemen (CPS) wider, deren gesteigerter Funktionsumfang auf dem engen Zusammenwirken eingebetteter Systeme und digitaler

Datennetze beruht [GB12, S. 20]. Hieraus eröffnen sich neuartige Möglichkeiten für digitale Dienstleistungen, die Mehrwerte durch die Erfassung, Speicherung und Auswertung der von CPS erzeugten Daten bieten [HUB15a, S. 665ff.]. Treibende Kraft für diese Entwicklung ist der exponentiell verlaufende technische Fortschritt: Insbesondere die signifikanten Leistungssprünge von **Informations- und Kommunikationstechnologien** (IKT) dienen als Wegbereiter für die digitale Transformation von Produkt-Service-Systemen [HAD+16, S. 264], [VMS+15, S. 13f.]. Das Innovationspotential von IKT beruht auf ihrem **Querschnittscharakter** als Basistechnologie [CI13, S. 226ff.]: So befördert der technische Fortschritt von IKT sowohl die Weiterentwicklung bereits vorhandener als auch die Entstehung neuer Technologien und induziert hierdurch Innovationen in unterschiedlichen Anwendungsbereichen und Branchen [VKK+16, S. 7].

Mit **Augmented Reality** (AR) zeichnet sich eine Schlüsseltechnologie für die digitale Transformation des Produkt-Service-Geschäfts ab, die infolge des Fortschritts von IKT jüngst die Reife für den breiten industriellen Einsatz erlangt hat [PRE+13, S. 138], [Ped17, S. 203]. Sie ermöglicht es, physische Umgebungen mit zusätzlichen virtuellen Inhalten orts- und lagekorrekt zur Perspektive des Anwenders zu überlagern [Azu97, S. 356]. Der Nutzen von AR beruht dabei auf der **Erweiterung der menschlichen Sinneswahrnehmung** [HFN11, S. 48f.]: Die Visualisierung digitaler Daten beschränkt sich nicht mehr auf zweidimensionale Darstellungen, sondern wird auf den durch den Menschen wahrnehmbaren, dreidimensionalen Raum ausgeweitet [Ped17, S. 10]. Hierdurch löst AR die Diskrepanz zwischen der steigenden Fülle an digitalen Daten und der beschränkten Fähigkeit des Menschen, in der physischen Welt von diesen zu profitieren [PH16, S. 5]. Aus dem Brückenschlag zwischen realer und virtueller Welt resultiert eine **kognitive Entlastung** des Anwenders, wodurch Informationen schneller aufgenommen, Entscheidungen fundierter getroffen und Tätigkeiten mit weniger Fehlern durchgeführt werden können [PH16, S. 5f.], [MS16, S. 18]. Mit Blick auf den Einsatz in Produkt-Service-Systemen eröffnet AR hierdurch **vielfältige Innovationspotentiale**, um Tätigkeiten effizienter und effektiver durchzuführen [PRE+13, S. 137f.], [SZP+17, S. 1255].

Der hohen Bedeutung zum Trotz wurde der Einsatz von **AR im Produkt-Service-Geschäft** bislang nur **unzureichend beleuchtet**. Die Ursache hierfür liegt in den lange Zeit vorherrschenden technischen Unzulänglichkeiten, infolgedessen sich die Forschungsaktivitäten zu AR bislang vorwiegend auf das Explorieren des technisch Machbaren fokussierten [KBB+18, S. 2949], [TMN+18, S. 15]. Folglich ist bislang unklar, welche Einsatz- und Nutzenpotentiale AR für das Produkt-Service-Geschäft bietet und wie diese Potentiale unter Berücksichtigung der spezifischen Ausgangssituation eines Unternehmens erschlossen werden können [MS14, S. 5f.]. Aufgrund der hohen Unsicherheit und den weitreichenden Konsequenzen für das Geschäft bedarf die Entscheidung über die Integration von AR in das Produkt-Service-Portfolio einer **strategischen Planung** [PH16, S. 10f.]. Diese muss Aufschluss darüber geben, welche der vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten von AR aus marktstrategischen Gesichtspunkten nutzenstiftend ist [PH16, S. 10], wie

die Integration unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf das Produkt-Service-System gelingen kann [MNT18, S. 51] und wie die ökonomische Inwertsetzung durch ein Erfolg versprechendes Geschäftsmodell erfolgen kann [HD20, S. 75f.].

Die geschilderte Problematik führt zu der Notwendigkeit, die strategische Planung von Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft methodisch zu unterstützen. Es besteht **Bedarf** für einen Ansatz, der die Einsatz- und Nutzenpotentiale von AR transparent darlegt und eine durchgängige Hilfestellung von der Ideenfindung über die Produkt-Service-Konzipierung bis hin zur Geschäftsmodellentwicklung bietet. Ein besonderes Augenmerk muss hierbei sowohl auf den Potentialen von AR als Problemlöser als auch den mit AR einhergehenden technologiespezifischen Herausforderungen liegen.

1.2 Zielsetzung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine *Systematik zur strategischen Planung von Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft*. **Zielgruppe** sind innovationsverantwortliche Entscheider[1] produzierender Unternehmen (z.B. Produktmanager). Diese sollen dazu befähigt werden, die Potentiale von AR für das Produkt-Service-Geschäft zu erkennen, in Geschäftsideen zu überführen und deren Umsetzung unter Berücksichtigung der Modifikationsbedarfe an den bestehenden Sach- und Dienstleistungen sowie dem Geschäftsmodell systematisch zu planen. Vor diesem Hintergrund soll die Systematik vier wesentliche **Handlungsfelder** berücksichtigen: 1) Die transparente Darlegung der Einsatz- und Nutzenpotentiale von AR für das Produkt-Service-Geschäft, 2) die Identifikation und Auswahl Erfolg versprechender Geschäftsideen auf Basis der Potentiale von AR, 3) die integrative Konzipierung von AR- und Produkt-Service-Systemen sowie 4) die Entwicklung tragfähiger Geschäftsmodelle. Den **Kern der Systematik** bildet ein durchgängiges, in den Prozess der strategischen Planung integriertes Vorgehensmodell, das die erforderlichen Tätigkeiten beschreibt und deren Durchführung durch dedizierte Hilfsmittel und strukturiertes Lösungswissen unterstützt. Als **Resultat** liefert die Systematik einen Entwicklungsauftrag, der die relevanten Informationen für die Umsetzung der Geschäftsidee bündelt und als Bindeglied für nachfolgende Entwicklungsprojekte dient.

1.3 Vorgehensweise

In **Kapitel 2** wird die skizzierte Problematik konkretisiert. Hierzu werden die für das Verständnis der Arbeit relevanten Begriffe eingeführt und das Forschungsfeld eingegrenzt. Betrachtungsgegenstand der vorliegenden Arbeit ist der Einsatz von AR zur Weiterentwicklung des Produkt-Service-Geschäfts. Vor diesem Hintergrund werden zunächst der unter dem Stichwort Servitization subsumierte Wandel vom Produkt- zum Produkt-

[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 alleine der sprachlichen Vereinfachung.

Service-Geschäft und die Einflüsse der Digitalisierung auf diesen beleuchtet. Ein besonderes Augenmerk liegt hierbei auf Innovationspotentialen, die sich aus der fortschreitenden Entwicklung von Technologien für Produkt-Service-Systeme ergeben. Diese werden anschließend im Lichte der Technologie AR konkretisiert: Ausgehend von der historischen Entwicklung werden Nutzenpotentiale, Anwendungsfelder und Herausforderungen von AR erörtert und das technische Funktionsprinzip sowie die Architektur von AR-Systemen erläutert. Im Anschluss daran erfolgt die Einordnung der Arbeit in den Prozess der strategischen Planung. In einer abschließenden Problemabgrenzung werden die Handlungsfelder zusammengefasst und in Anforderungen an die Systematik überführt.

Kapitel 3 widmet sich dem Stand der Technik, der sich an den in *Kapitel 2* herausgearbeiteten Handlungsfeldern und Anforderungen orientiert. Zunächst werden Strukturierungsrahmen und Klassifikationsschemata von AR beleuchtet, welche die industriellen Einsatzmöglichkeiten von AR transparent machen. Anschließend werden Vorgehensmodelle und Hilfsmittel untersucht, die sich der Geschäftsideenfindung, der Spezifikation von Produkt-Service- und AR-Systemen sowie der Entwicklung von Geschäftsmodellen widmen. Hierbei werden sowohl allgemeingültige als auch AR-spezifische Ansätze berücksichtigt. Das Kapitel schließt mit einer Bewertung des Stands der Technik anhand der Anforderungen aus *Kapitel 2*. Hieraus resultiert der Handlungsbedarf für die zu entwickelnde Systematik.

Den Kern der vorliegenden Arbeit bildet **Kapitel 4**. In diesem wird die *Systematik zur strategischen Planung von Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft* ausführlich beschrieben. Ausgehend von einem Überblick der Systematik werden ihre einzelnen Bestandteile im Detail erläutert. Das Fundament der Systematik bildet ein *Katalog mit Anwendungsszenarien* von AR für das Produkt-Service-Geschäft. Danach werden die *Geschäftsideenfindung* sowie die *Umsetzungsplanung* mit den dazugehörigen Vorgehensmodellen und Hilfsmitteln ausführlich vorgestellt.

Kapitel 5 beschreibt die durchgängige Anwendung der Systematik auf ein Praxisbeispiel aus dem Forschungsprojekt AcRoSS. Gegenstand des Beispiels ist die Untersuchung der Potentiale von AR für das Produkt-Service-Geschäft eines mittelständischen Unternehmens aus dem Maschinen- und Anlagenbau. Das Anwendungsbeispiel steht repräsentativ für typische Problemstellungen, denen mit der Systematik begegnet werden kann. Die erzielten Ergebnisse erbringen den Nachweis über die Erfüllung der gestellten Anforderungen und belegen die Anwendbarkeit sowie Industrierelevanz der Systematik.

Kapitel 6 fasst die Inhalte der Arbeit zusammen und gibt einen Ausblick auf anknüpfende Forschungsfragen. Der Anhang beinhaltet ergänzende Informationen zum Stand der Technik sowie zu der entwickelten Systematik.

2 Problemanalyse

Ziel der Problemanalyse sind Anforderungen an eine *Systematik zur strategischen Planung von Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft*. Die Problemanalyse konkretisiert die in der Einleitung skizzierte Problematik (vgl. *Abschnitt 1.1*) und gliedert sich hierzu in fünf Abschnitte, die in Bild 2-1 dargestellt sind.

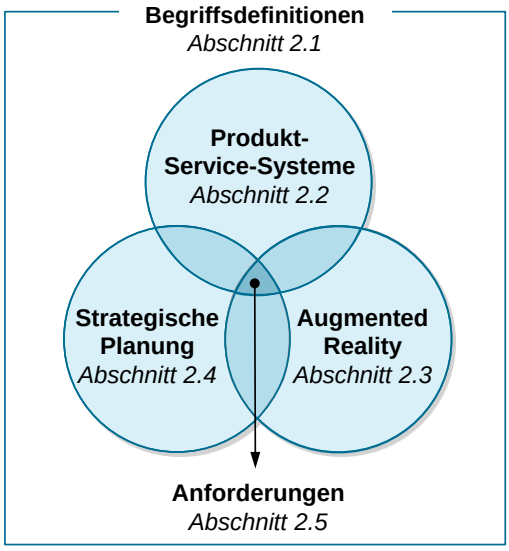


Bild 2-1: Aufbau der Problemanalyse

Zunächst werden in *Abschnitt 2.1* die für das Verständnis der vorliegenden Arbeit erforderlichen Begriffe definiert und abgegrenzt. Den Kern der Problemanalyse bilden die tragenden Begriffe aus dem Titel der Systematik: *Abschnitt 2.2* widmet sich dem Wandel von Produkten zu Produkt-Service-Systemen vor dem Hintergrund der Digitalisierung. Gegenstand von *Abschnitt 2.3* bilden die Technologie AR und ihre Innovationspotentiale für Produkt-Service-Systeme. *Abschnitt 2.4* beleuchtet die strategische Planung von AR für das Produkt-Service-Geschäft. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der strategischen Produktplanung als frühe Phase des Produktentstehungsprozesses. Es werden Herausforderungen für die strategische Planung von AR-basierten Produkt-Service-Systemen abgeleitet und in Handlungsfeldern zusammengefasst. Die Problemanalyse mündet in Anforderungen an die zu entwickelnde Systematik, die in *Abschnitt 2.5* beschrieben sind.

2.1 Begriffsdefinitionen

Die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Definitionen dienen einem einheitlichen Verständnis der für die vorliegende Arbeit relevanten, in der Literatur teils kontrovers diskutierten Begriffe. Die Ausführungen erheben keinen Anspruch auf eine vollständige Diskussion der Literatur, sondern sollen der Zielsetzung der Arbeit (vgl. *Abschnitt 1.2*) zweckdienlich sein.

2.1.1 Systematik

Die Enzyklopädie von Brockhaus definiert **Systematik** mit Blick auf den bildungssprachlichen Gebrauch als *„einheitliche Ordnung oder deren Darstellung, Gestaltung nach bestimmten Prinzipien“* [Bro19-ol]. In den Naturwissenschaften bezeichnet Systematik allgemein die *„Wissenschaft der Klassifizierung“* [LL06, S. 8]. Der Begriff findet in unterschiedlichen Kontexten Anwendung: In der Biologie dienen Systematiken zur Beschreibung und hierarchisch geordneten Gliederung von Organismen in natürliche Gruppen (sog. Taxa) mit dem Ziel, die Mannigfaltigkeit der Natur verständlich zu machen [Toe11, S. 443ff.]. In der Statistik werden mit Hilfe von Systematiken Erhebungs- und Darstellungseinheiten mit hoher Ausprägungsvielfalt sachdienlich geordnet [Gab18-ol].

In den **Ingenieurswissenschaften** wurde in den 1950er Jahren durch BINIEK [Bin52] und später HANSEN [Han68] der Begriff der *Konstruktionssystematik* etabliert. Mit dem Ziel, die steigenden Anforderungen an Konstrukteure durch eine methodische, systematische Arbeitsweise zu unterstützen, strukturiert HANSEN die Konstruktionstätigkeiten entlang eines idealisierten Konstruktionsprozesses und stellt Methoden und Hilfsmittel zur Unterstützung der Tätigkeiten bereit [Han68, S. 5ff.], [Höh11, S. 78ff.]. Vor diesem Hintergrund formuliert DUMITRESCU eine verallgemeinerte Definition für den Begriff Systematik im ingenieurwissenschaftlichen Kontext: Dieser zufolge bezeichnet eine Systematik ein universelles Rahmenwerk, das ein nach aufgabenspezifischen Gesichtspunkten strukturiertes und reproduzierbares **Vorgehensmodell** sowie dedizierte **Hilfsmittel** zur Unterstützung der im Vorgehensmodell beschriebenen Tätigkeiten umfasst [Dum10, S. 5f.].

Fazit

Ziel der vorliegenden Arbeit ist eine *Systematik zur strategischen Planung von Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft*. Dem Verständnis von DUMITRESCU folgend bildet sie ein Rahmenwerk, das den Anwender durch ein Vorgehensmodell sowie Hilfsmittel bei der Erschließung von Potentialen der Technologie Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft unterstützt.

2.1.2 Leistung, Sachleistung, Produkt und Dienstleistung

Im Folgenden werden die Begriffe *Leistung*, *Sachleistung*, *Produkt* und *Dienstleistung* definiert und voneinander abgegrenzt. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Begriff der Dienstleistung, der in der Literatur kontrovers diskutiert wird.

Leistung

Der Begriff *Leistung* bezeichnet nach SCHEER ET AL. allgemein das **Ergebnis eines Geschäftsprozesses** [SGK06, S. 21]. Dieses kann eine *Sachleistung*, eine *Dienstleistung* sowie eine Kombination aus Sach- und Dienstleistung (sog. *Produkt-Service-System*) darstellen. Zum Begriff der Leistung existieren verschiedene Synonyme: GAUSEMEIER ET AL. verwendet im Kontext der Ingenieurwissenschaften die Bezeichnung *Marktleistung*

[GAD+14, S. 11]. In den Wirtschaftswissenschaften werden die Bezeichnungen *Produkt* [KK16, S. 389], [Sch98, S. 93], [MBK08, S. 398f.] bzw. *Güter* [MB09, S. 27], [Bar19, S. 256ff.], [Kor03, S. 3] vielfach als Oberbegriff für Sach- und Dienstleistung verwendet.

Sachleistung

Als Sachleistung werden **materiell existierende Wirtschaftsgüter** (sog. Sachgüter) bezeichnet, die das Ergebnis industrieller Fertigungsprozesse sind [SGK06, S. 22], [Kor03, S. 229]. Hierzu zählen Rohstoffe, Produktions-/Betriebsmittel und Verbrauchsgüter [SGK06, S. 21]. Im Sinne technischer Systeme sind Sachleistungen EHRLENSPIEL und MEERKAMM zufolge *„künstlich erzeugte geometrisch-stoffliche Gebilde, die einen bestimmten Zweck (Funktion) erfüllen“* und damit der Bedürfnisbefriedigung von Kunden dienen [EM13, S. 27]. Angesichts der zunehmenden Verbreitung von Informations- und Kommunikationstechnik handelt es sich bei Sachleistungen inzwischen nicht selten um **mechatronische Systeme**, die auf dem synergetischen Zusammenspiel von Mechanik, Elektronik und Informationstechnik beruhen [GDE+19, S. 86], [Lin05, S. 7].

Produkt

Nach KOTLER ET AL. ist in den Wirtschaftswissenschaften ein Produkt *„alles, was einer Person angeboten werden kann, um ein Bedürfnis oder einen Wunsch zu befriedigen“* [KKB07, S. 12]. Hingegen wird der Begriff Produkt in den Ingenieurwissenschaften im Sinne eines **technischen Systems** synonym zu Sachleistung verwendet, u.a. von FELDHUSEN und GROTE [FG13, S. 11ff.], LINDEMANN [Lin05, S. 7ff.] und in der Konstruktionsmethodik nach VDI-Richtlinie 2221 [VDI2221]. Die Gleichsetzung von Produkt und Sachleistung findet sich ferner in dem Begriff Produkt-Service-System als Kompositum aus Produkt (Sachleistung) und Service (Dienstleistung) wieder [MV02, S. 851].

Dienstleistung

In der Wissenschaft existiert keine allgemein anerkannte Definition des Begriffs Dienstleistung [Gar98, S. 9], [EKR93, S. 395ff.], [MB09, S. 19], [AMS10, S. 136]. Die in der Literatur beschriebenen **Ansätze zur Definition und Abgrenzung** lassen sich in vier Gruppen aufteilen [NHL98, S. 15], [SGK06, S. 23]: *(1) Enumerative Definitionsansätze* zielen darauf ab, Dienstleistungen durch das Aufzählen von Beispielen zu erfassen. *(2) Ansätze zur Negativabgrenzung* subsumieren unter dem Begriff Dienstleistungen alles, was nicht als Sachleistung angesehen werden kann. Aufgrund der mangelnden Benennung von Wesensmerkmalen können beide Definitionsansätze jedoch nicht dem Anspruch einer wissenschaftlichen Begriffsbestimmung genügen [BS06, S. 55], [MB09, S. 16]. *(3) Institutionelle Definitionsansätze* verstehen Dienstleistungen als Ergebnis des tertiären Sektors einer Volkswirtschaft. Dieses Verständnis ist jedoch angesichts der sich in vielen Branchen abzeichnenden Sektorkonvergenz (z.B. Angebot von Komplettlösungen im Maschinen- und Anlagenbau) mit erheblichen Unschärfen verbunden [Pau15, S. 27f.], [EKR93, S. 395f.]. Ansätze zur *(4) konstitutiven Begriffsabgrenzung* definieren Dienst-

leistungen anhand charakteristischer Eigenschaften, die als konstitutive Merkmale bezeichnet werden, und leisten den aus wissenschaftlicher Perspektive präzisesten Beitrag zur Begriffsbestimmung [MB09, S. 16], [SGK06, S. 24].

Mit Blick auf die **konstitutive Begriffsabgrenzung** lassen sich entlang der drei Phasen einer Dienstleistung potential-, prozess- und ergebnisorientierte Definitionsansätze unterscheiden [Cor01, S. 21], [EKR98, S. 398ff.], [Hil89a, S. 10ff.]. Aufbauend auf diesen Ansätzen sowie den Arbeiten von DONABEDIAN [Don80] und HILKE [Hil89b] hat sich ein **integriertes Begriffsverständnis** etabliert, dass auf einer kombinierten Betrachtung dieser drei Phasen beruht [BS06, S. 56], [MB09, S. 17]. Demnach sind die konstituierenden Merkmale einer Dienstleistung nur durch folgendes Zusammenspiel vollständig zu erfassen: (1) der Fähigkeit eines Dienstleistungsanbieters zur Erbringung einer Dienstleistung (*Potential*), (2) der Einbringung eines externen Faktors zur Auslösung eines Dienstleistungsprozesses (*Prozess*) und (3) dem Dienstleistungsresultat nach erfolgter Durchführung der Dienstleistung (*Ergebnis*) [Hil89a, S. 10f.], [BS06, S. 56f.], [MB09, S. 17], [FO06, S. 94f.]. Dieser Zusammenhang ist in Bild 2-2 dargestellt.

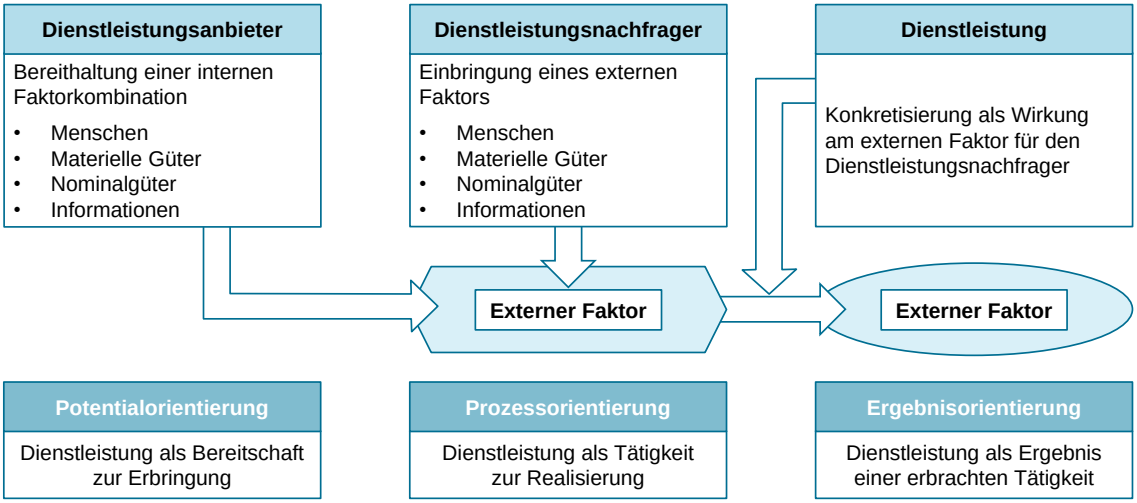


Bild 2-2: Phasenorientierte Betrachtung einer Dienstleistung in Anlehnung an MEFFERT und BRUHN [MB09, S. 18] sowie SCHUH und GUDERGAN [SG16, S. 6]

Bezogen auf die englischsprachigen Begriffe *Intangibility*, *Heterogenity*, *Inseparability of Production and Consumption* sowie *Perishability* lassen sich die **konstituierenden Merkmale** einer Dienstleistung in Form der Abkürzung *IHIP* zusammenfassen und den drei Phasen zuordnen [ZPB85, S. 33f.], [Lei12, S. 17f.]:

- **Potentialorientierte Phase:** Die potentialorientierte Phase spiegelt die Fähigkeit und Bereitschaft des Dienstleistungsanbieters wider, durch die Kombination bereitgehaltener Ressourcen eine Dienstleistung für den Dienstleistungsnachfrager zu erbringen. Das Absatzobjekt ist damit ein Leistungsversprechen im Sinne eines noch nicht realisierten Leistungspotentials [RS06, S. 170]. Vor diesem Hintergrund zeigen sich die **Immaterialität** (*Intangibility*) und **Nichtlagerfähigkeit** (*Perishability*) als konstituierende Merkmale einer Dienstleistung [ZPB85, S. 33f.], [SD06, S. 473].

- **Prozessorientierte Phase:** In der prozessorientierten Phase konkretisiert sich die Dienstleistung als ein Prozess, der sich an einem durch den Dienstleistungsnachfrager eingebrachten externen Faktor (z.B. einer Maschine) vollzieht [RS06, S. 170]. Das konstitutive Merkmal ist die **Untrennbarkeit und zeitliche Synchronität** (*Inseparability of Production and Consumption*) zwischen Dienstleistungserbringung und -inanspruchnahme [ZPB85, S. 33], die auch als *uno-actu-Prinzip* bezeichnet wird [SGK06, S. 25], [BS06, S. 56].
- **Ergebnisorientierte Phase:** Der Fokus der ergebnisorientierten Phase liegt auf dem Resultat der vollzogenen Dienstleistung. Dieses ist aufgrund der unterschiedlichen Beschaffenheit des externen Faktors und der Personalintensität im Zuge der Dienstleistungserbringung durch ein hohes Maß an **Heterogenität** (*Heterogenity*) gekennzeichnet [ZPB85, S. 33], [BS06, S. 56].

Fazit

Der Auffassung der Ingenieurwissenschaften folgend wird in der vorliegenden Arbeit ein **Produkt** als Sachleistung verstanden. Mit Blick auf die Erörterungen zum Dienstleistungsbegriff folgt die Arbeit dem konstitutiven phasenbezogenen Begriffsverständnis in Anlehnung an MEFFERT und BRUHN: Diesem zufolge sind **Dienstleistungen** selbstständige, marktfähige Leistungen, die auf Grundlage bereitgestellter Leistungsfähigkeiten (*Potential*) durch die Kombination interner und externer Faktoren im Rahmen eines Erstellungsprozesses erbracht werden (*Prozess*), um eine nutzenstiftende Wirkung am externen Faktor zu erzielen (*Ergebnis*) [MB09, S. 19].

Auch wenn der Begriff **Service** im deutschsprachigen Wortgebrauch vielfach lediglich produktergänzende Dienstleistungen (z.B. Montage, Reparatur, Wartung) bezeichnet, wird im Folgenden dem vorwiegend im angloamerikanischen Raum gebrauchten synonymen Begriffsverständnis von Service und Dienstleistung gefolgt [BS06, S. 54], [MB09, S. 19]. Um Missverständnissen vorzubeugen, wird dabei dem Begriff Dienstleistung nach Möglichkeit Vorrang gegeben.

2.1.3 Produkt-Service-System

Zur Bezeichnung Produkt-Service-System existiert in der Literatur eine Vielzahl **verwandter Begriffe** [KPW08, S. 236ff.], [TWL08, S. 208]: Hierzu zählen unter anderem *Leistungsbündel* [EKR93, S. 407ff.], *Compack* [Bre86, S. 77ff.], *kovalentes Produkt* [WPS+02, S. 61], *Eco-Service* [BJK+03, S. 12], *hybrides Produkt* [SRS06, S. 55], *hybride Leistung* [Bur09, S. 17], *hybrides Leistungsbündel* [MU12, S. 6] und *Product Service System* [GVT99, S. 20].

Weitgehende **Einigkeit** besteht mit Blick auf die zugrundeliegenden Definitionen darüber, dass die genannten Begriffe eine auf den Kundennutzen ausgerichtete Kombination von Sach- und Dienstleistung bezeichnen [BLE+07, S. 1545]. Darüber hinaus ist vielfach von einer eng aufeinander abgestimmten **Integration von Sach- und Dienstleistung** die

Rede [PAS1094, S. 6], [MU12, S. 6], [BLE+07, S. 1543], [SD06, S. 472], [Mon02, S. 239]. Zwar besteht in der Literatur gemeinhin Konsens, dass reine Sachleistungen nicht existieren, da der Absatz von Sachleistungen ohne die Inanspruchnahme von Dienstleistungen nur schwer vorstellbar ist (z.B. Kauf einer Fertigungsanlage ohne Inbetriebnahme) [EKR93, S. 407f.], [SD06, S. 470f.], [TM06, S. 1436]. Der **Wertbeitrag der Integration** ist jedoch der zentrale Aspekt, wodurch sich Produkt-Service-Systeme und verwandte Begriffe als eigenständiges Marktleistungskonzept von klassischen Absatzleistungen abgrenzen [Bur09, S. 23], [SD06, S. 465].

Vergleich der Definitionsansätze

Neben der allgemein geteilten Auffassung, dass Produkt-Service-Systeme eine Kombination von Sach- und Dienstleistung bezeichnen, zeigt sich eine Reihe von **Unterschieden** zwischen den in der Literatur beschriebenen Definitionen:

- **Betrachtungsgegenstand**: Während einige Autoren in ihren Definitionsansätzen Sach- und Dienstleistung als materielle und immaterielle Leistungsbestandteile in den Vordergrund rücken [GVT99, S. 20], [BLE+07, S. 1543], [ASS+07, S. 579], [Mon02, S. 239], verstehen TUKKER und TISCHNER Produkt-Service-Systeme als Nutzenversprechen [TT06, S. 1552], wohingegen MANZINI und VEZZOLI von einer Innovationsstrategie sprechen [MV03, S. 851].

- **Gewichtung der Sach- und Dienstleistungsanteile**: Im Vordergrund der Betrachtung steht bei AURICH ET AL. der materielle Sachleistungskern, der über seine Nutzungsdauer durch produktbegleitende Dienstleistungen angereichert wird [ASS+07, S. 579]. GOEDKOOP ET AL. beschreibt hingegen ein in Abhängigkeit des Anwendungsfalls variables Verhältnis von Sach- und Dienstleistung. Andere Autoren wiederum sprechen von einem nicht näher definierten Mix [TT06, S. 1552] bzw. einem System [MV03, S. 851] aus Sach- und Dienstleistung, das teils weitere Bestandteile wie unterstützende Netzwerke und Infrastruktur beinhaltet [Mon02, S. 239].

- **Nutzen**: Mit Blick auf den vordergründig betrachteten Nutzen von Produkt-Service-Systemen kann zwischen einer verbesserten Erfüllung von Kundenwünschen und einer damit verbundenen Erzielung von Wettbewerbsvorteilen einerseits [ASS+07, S. 580], [Man10, S. 1], [MS10, S. 362], [TM06, S. 1435], [MRS10, S. 608] und einer gesamtgesellschaftlich relevanten Steigerung der ökologischen Nachhaltigkeit andererseits differenziert werden [Mon02, S. 239], [MV03, S. 851], [BLE+07, S. 1545]. Positive Einflüsse auf die Umwelt lassen sich dabei durch dematerialisierte, stärker auf Dienstleistungen fokussierende Angebote (z.B. in Form von Sharing- und Leasingmodellen gegenüber dem Eigentum eines Produkts) erzielen [Mon02, S. 237].

- **Lebenszyklus**: Einige Definitionsansätze nehmen eine zeitliche Zuordnung der Dienstleistungsanteile vor, indem sie diese auf den Lebenszyklus beziehen, den die Sachleistung im Laufe ihrer Existenz durchläuft [MMF10, S. 17], [MRS10, S. 608].

MANNWEILER ET AL. sowie AURICH und FUCHS unterscheiden zwei Perspektiven auf den Lebenszyklus eines Produkt-Service-Systems [AF04, S. 151], [MMF10, S. 17]. Aus der *Perspektive des Anbieters* umfasst dieser die Planung und Entwicklung, gefolgt von der Produktion der Sachleistung sowie der Erbringung der Dienstleistung im Service. Die *Perspektive des Kunden* ist mit der Service-Phase aus der Anbietersicht verzahnt und beinhaltet die Beschaffung des Produkt-Service-Systems, dessen Nutzung im jeweiligen Funktionalbereich des Unternehmens sowie die Entsorgung zum End-of-Life (vgl. Bild 2-3) [AF04, S. 151], [MMF10, S. 17].

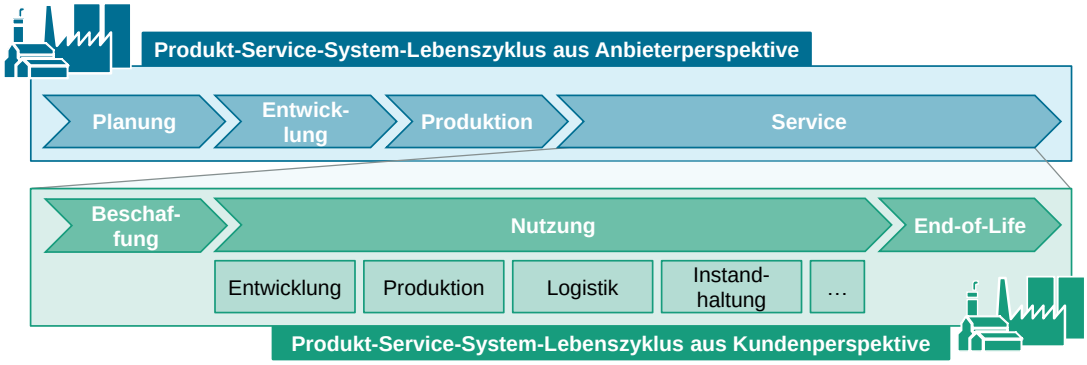


Bild 2-3: Lebenszyklus eines Produkt-Service-Systems in Anlehnung an MANNWEILER ET AL. [MMF10, S. 17] und AURICH ET AL. [AF04, S. 151]

Klassifizierung von Produkt-Service-Systemen

Aufbauend auf bestehenden Klassifizierungsansätzen [BJK+03, S. 13], [BBE+01, S. 11], [Zar01, S. 41] unterscheidet TUKKER acht **Typen von Produkt-Service-Systemen** [Tuk04, S. 248]. Diese sind in Bild 2-4 dargestellt.

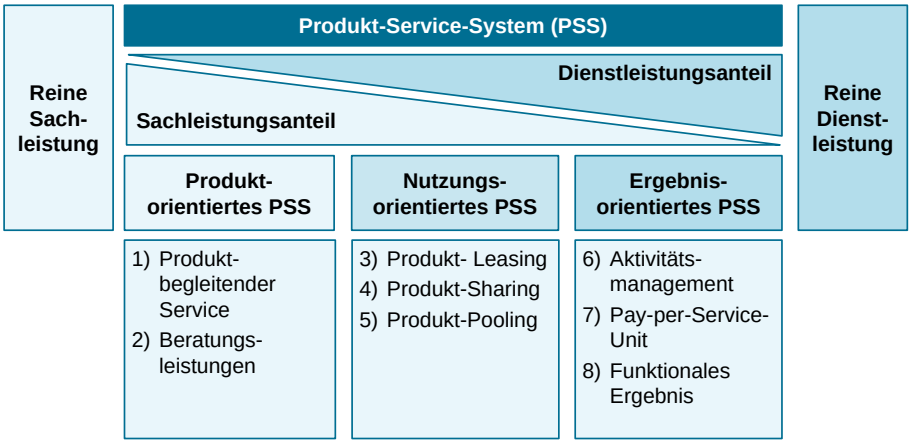


Bild 2-4: Typologie von Produkt-Service-Systemen nach TUKKER [Tuk04, S. 248]

TUKKER ordnet die Typen entlang eines Kontinuums zwischen reiner Sachleistung und reiner Dienstleistung **drei übergeordneten Gruppen** zu [Tuk04, S. 248f.]:

- **Produktorientierte Produkt-Service-Systeme:** Im Vordergrund produktorientierter Produkt-Service-Systeme steht der Verkauf einer Sachleistung. Zusätzlich werden *produktbegleitende Dienstleistungen* für die Nutzungsphase (z.B. Wartung und Reparatur) sowie *Beratungsleistungen* (z.B. Optimierung der Produktionsprozesse des Kunden) angeboten [Tuk04, S. 248].
- **Nutzungsorientierte Produkt-Service-Systeme:** Bei nutzungsorientierten Produkt-Service-Systemen bildet die Sachleistung den Kern der Marktleistung, es erfolgt jedoch keine Eigentumsübertragung an den Kunden. Stattdessen wird die Sachleistung durch *Leasing*, *Sharing* oder *Pooling* zur Verfügung gestellt. Im Falle von *Leasing* erhält der Kunde durch Zahlung einer Gebühr einen uneingeschränkten Zugriff auf das Produkt. *Sharing* hingegen eröffnet auch anderen Nutzern die Möglichkeit zur sequentiellen Verwendung des Produkts. Darüber hinausgehend bezeichnet *Pooling* eine simultane Nutzung des Produkts durch Dritte [Tuk04, S. 248f.].
- **Ergebnisorientierte Produkt-Service-Systeme:** Gegenstand ergebnisorientierter Produkt-Service-Systeme ist die Vereinbarung eines Resultats zwischen Anbieter und Kunde. Diese ist verbunden mit einer Übertragung der Verantwortung für die Bereitstellung des vereinbarten Ergebnisses an den Anbieter. Ergebnisorientierte Produkt-Service-Systeme umfassen die Auslagerung einzelner Tätigkeiten im Sinne eines *Aktivitätsmanagements* (z.B. Unterhaltsreinigung), *Pay-per-Service-Unit-Geschäftsmodelle* (z.B. Abrechnung nach fehlerfrei produzierten Komponenten) und die Bereitstellung eines f*unktionalen Ergebnisses* ohne Festlegung der genauen Leistungserbringung (z.B. Minimierung von Ausschuss) [Tuk04, S. 249].

Fazit

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit bezeichnet ein **Produkt-Service-System** in Anlehnung an AURICH ET AL. eine materielle Sachleistung, die über ihre Lebensdauer im Sinne ihres Lebenszyklus zielgerichtet durch immaterielle – im Falle der vorliegenden Arbeit auf dem Einsatz von AR basierende – Dienstleistungen ergänzt wird [ASS+07, S. 579]. Im Folgenden wird hierfür die Bezeichnung **AR-basiertes Produkt-Service-System** verwendet. Bezogen auf die Typologie von TUKKER ist somit das Begriffsverständnis der Gruppe produktorientierter Produkt-Service-Systeme zuzuordnen [Tuk04, S. 248].

2.1.4 Augmented Reality

Eine allgemein anerkannte Annäherung an den Begriff Augmented Reality (AR) ermöglicht die Taxonomie von MILGRAM und KISHINO [MK94]. Dieser zufolge erstreckt sich zwischen den beiden Polen reale Umgebung und virtuelle Umgebung ein Kontinuum, entlang dessen Verlauf sich der Anteil der Realität verringert und der Anteil der Virtualität erhöht [MK94, S. 1321ff.], [MTU+95, S. 283], [MC99, S. 2f.]. Es wird als **Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum** bezeichnet und ist in Bild 2-5 dargestellt.

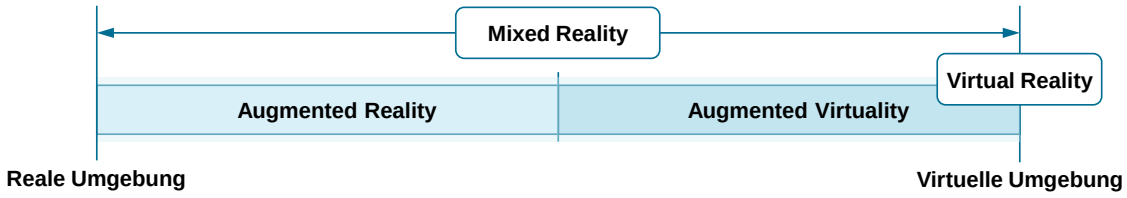


Bild 2-5: Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum nach MILGRAM u. KISHINO [MK94, S. 1323]

Der Begriff **reale Umgebung**[2] als linker Pol des Kontinuums bezieht sich auf die unveränderte Wahrnehmung der Wirklichkeit, entweder direkt (z.B. unmittelbare Betrachtung einer realen Szene durch eine Person) oder unter Zuhilfenahme eines Mediums (z.B. Betrachtung eines Videobildes einer realen Szene auf einem Bildschirm) [MK94, S. 1323], [MTU+95, S. 283]. Den rechten Pol des Kontinuums bildet hingegen eine vollständig computergenerierte **virtuelle Umgebung** [MK94, S. 1323], [MTU+95, S. 283].

Entlang des Realitäts-Virtualitäts-Kontinuum lassen sich verschiedene **Ausprägungen der Anreicherung mit virtuellen Informationen** unterscheiden:

- **Mixed Reality:** Kombinationen aus Realität und Virtualität, in denen physische und digitale Objekte gemeinsam dargestellt sind, werden als Mixed Reality bezeichnet. Abhängig davon, ob der Anteil der Realität oder Virtualität überwiegt, lassen sich mit Augmented Virtuality bzw. Augmented Reality zwei Formen von Mixed Reality unterscheiden [MK94, S. 1322f.], [MC99, S. 8f.], [YSI11, S. 2].
- **Augmented Virtuality:** Als Augmented Virtuality werden überwiegend virtuelle Umgebungen bezeichnet, die mit Informationen aus der realen Welt angereichert sind. Ein Beispiel hierfür ist die Einblendung von Videobildern einer realen Szene (z.B. einer Person oder eines Objektes) in einer ansonsten rein virtuellen Umgebung [MK94, S. 1324], [MTU+95, S. 285].
- **Augmented Reality:** Der Begriff Augmented Reality beschreibt die Erweiterung einer realen Umgebung um zusätzliche virtuelle Informationen. Im Gegensatz zu Augmented Virtuality überwiegt hierbei der Anteil der unverändert wahrgenommenen realen Umgebung [MK94, S. 1324], [MTU+95, S. 284].
- **Virtual Reality:** Als Virtual Reality werden interaktive, rein computergenerierte Umgebungen bezeichnet, die den Anwender vollständig umgeben und durch die Ansprache von Sinneseindrücken das Gefühl der Präsenz und Immersion vermitteln [SC03, S. 13], [GVT08, S. 2ff.].

---

[2] Die Unterscheidung zwischen *Realität* und *Virtualität* wird kontrovers diskutiert [Sch17, S. 172ff.], [MC07, S. 32ff.], [Was15, S. 18ff.], [BM11, S. 118]. MILGRIM und KISHINO unterscheiden reale und virtuelle Objekte anhand von drei Merkmalen: (1) Reale Objekte haben eine *objektive Existenz*, (2) sie können unmittelbar *ohne Zuhilfenahme eines Mediums* wahrgenommen werden und (3) weisen an der Stelle, an der sie sich befinden, eine *Leuchtkraft* auf [MK94, S. 1326f.].

Vergleich der Definitionsansätze

Vertiefend zu den Ausführungen von MILGRAM und KISHINO existieren in der Literatur unterschiedliche, in einigen Aspekten widersprüchliche Definitionen für den Begriff AR [Bro13, S. 245], [MS14, S. 9], [FIO19, S. 548]. Weitestgehend etabliert ist der **Definitionsansatz von AZUMA**, der AR anhand von drei Merkmalen charakterisiert: (1) Kombination von Realität und Virtualität, (2) Interaktion in Echtzeit und (3) Registrierung im dreidimensionalen Raum [Azu97, S. 356]. Während die **Kombination von Realität und Virtualität** dem Verständnis von AR nach MILGRAM und KISHINO ähnelt [MK94, S. 1324], grenzt AZUMA mit der Forderung nach einer **Interaktivität in Echtzeit** AR von passiv erlebbaren Kombinationen aus Realität und Virtualität (z.B. Spezialeffekte in Filmproduktionen) ab [SH16, S. 3], [KR13, S. 4]. Die Anforderung der **Registrierung im dreidimensionalen Raum** bezeichnet das korrekte Einpassen der virtuellen Objekte in die reale Umgebung [Cra13, S. 17ff.]. Dabei werden die virtuellen Inhalte derart mit der realen Umgebung in Beziehung gesetzt, dass sie unabhängig von der sich verändernden Perspektive des Anwenders in der Realität fest verortet (d.h. registriert) und perspektivisch korrekt überlagert werden [Bro13, S. 243], [Azu97, S. 356], [BM11, S. 119f.].

Weitere in der Literatur beschriebene Definitionsansätzen weisen **Unterschiede** zu AZUMAS Begriffsverständnis u.a. im Hinblick auf folgende Aspekte auf:

- **Registrierung im dreidimensionalen Raum:** Einige Definitionsansätze führen durch eine Lockerung der geforderten 3D-Registrierung zu einem weitergefassten Verständnis von AR [Bro13, S. 245], [MS14, S. 10f.], [Fit11, S. 201]. MEHLER-BICHER und STEIGER differenzieren zwischen AR im engeren Sinne, wenn die drei von AZUMA beschriebenen Merkmale zutreffen, und AR im weiteren Sinne, wenn die virtuellen Objekte lediglich in zweidimensionalem Bezug zur realen Umgebung stehen (z.B. Überlagerung mit Textinformationen) [MS14, S. 11]. Der letztgenannte Fall wird auch als *Assisted Reality* bezeichnet [Alb16, S. 2], [Fun20, S. 108f.].

- **Menschliche Sinneswahrnehmung:** Als Kritik an der Definition von AZUMA wird angeführt, dass sie alleine auf technischen Merkmalen beruht [MS14, S. 11]. Vor diesem Hintergrund sind Definitionsansätze entstanden, welche die Erweiterung der Sinneswahrnehmung des Menschen in den Mittelpunkt rücken [NSM12, S. 1], [Bro13, S. 246], [Sch17, S. 187]. HUGUES ET AL. sprechen in diesem Zusammenhang von *Augmented Perception* [HFN11, S. 47f.].

- **Multimodalität:** Implizit nimmt die Definition von AZUMA keine Einschränkung im Hinblick auf die verwendete Technologie und die angesprochenen Sinnesmodalitäten vor (z.B. Seh-, Hör- oder Geruchssinn) [ABB+01, S. 34], [BCL15, S. 77f.], [VP10, S. 1]. Um jedoch den Aspekt der Multimodalität stärker hervorzuheben, erweitern einige Autoren die Definition von AZUMA, indem sie die Möglichkeit zur Ansprache unterschiedlicher Sinnesmodalitäten explizit benennen [RWH16, S. 9], [MMA+10, S. 3], [Bro13, S. 246].

Klassifizierungen von Augmented Reality

In der Literatur werden über die Verknüpfung mit vorgelagerten Adjektiven unterschiedliche **Ausprägungen von AR** unterschieden. CHATZOPOULOS ET AL. definieren **Mobile Augmented Reality**, indem sie die Definition von AZUMA um das Merkmal der Mobilität (*„runs and/or displays the augmented view on a mobile device“*) ergänzen [CBH+17, S. 6917]. Als Mobilgeräte werden dabei aufgrund ihres Gewichts und ihrer Größe tragbare und ortsunabhängig nutzbare Endgeräte verstanden, wie Smartphones, Datenbrillen, Tablets und Laptops [CBH+17, S. 6917]. Dem gegenüber werden unter dem Begriff **Spatial Augmented Reality** stationäre AR-Systeme verstanden, die in der Umgebung installiert und damit vom Anwender entkoppelt sind [BR05, S. 7f.]. Beispiele hierfür sind Projektoren, die virtuelle Inhalte auf Objekte der realen Umgebung abbilden [Bro13, S. 249]. Der Einsatz von AR im industriellen Umfeld wird gemeinhin als **Industrial Augmented Reality** bezeichnet [Reg07, S. 286f.], [Fit11, S. 201]. In diesem Zusammenhang definiert REGENBRECHT industrielle AR-Anwendungen als Systeme, die Prozesse entlang des Produktlebenszyklus durch räumlich ausgerichtete und interaktive Überlagerung des Arbeitskontextes mit computergenerierten Informationen unterstützen [Reg07, S. 287].

Fazit

Aufbauend auf den vorgestellten Definitionsansätzen bezeichnet der Begriff **Augmented Reality** in der vorliegenden Arbeit die Erweiterung der Wahrnehmung um interaktive virtuelle Inhalte, die in Echtzeit dargestellt und in der realen Umgebung registriert sind. Im Vordergrund steht dabei die Erweiterung der visuellen Wahrnehmung durch den Einsatz **mobiler Endgeräte** (z.B. Tablets, Datenbrillen, Smartphones). Ziel ist der **industrielle Einsatz** von AR zur Unterstützung des in *Abschnitt 2.1.3* beschriebenen Lebenszyklus eines Produkt-Service-Systems in Form produktbegleitender Dienstleistungen.

2.1.5 Strategische Planung

Der Begriff der strategischen Planung ist ein **Adjektiv-Nomen-Kompositum**, dessen Bedeutung sich aus dem Zusammenspiel der Wortbestandteile ableiten lässt:

Planung

Die **etymologischen Wurzeln** des Begriffs Planung gehen auf die lateinischen Wörter **planta** (Fußsohle, später: Grundriss eines Gebäudes) und **planus** (ebene Fläche) zurück [KGB11, S. 17], [Voi92, S. 7]. Beide Bedeutungen finden sich im heutigen Wortgebrauch wieder: Planung umfasst eine Tätigkeit, mit der etwas **nicht Existierendes umrissen** und der **Weg zu erwünschten Zielen geebnet** wird [Voi92, S. 7]. In anderen Worten bezeichnet Planung ein die *„Realisation vorbereitendes Denkhandeln“* [Kos68, S. 228] bzw. die *„gedankliche Vorwegnahme zukünftigen wirtschaftlichen Handelns“* [Gro75, S. 11].

MACHARZINA formuliert für eine **idealtypische Planung** fünf **charakteristische Merkmale** [Mac95, S. 335ff.]: Planung ist **zukunftsgerichtet**, da sie die Grundlage für zukünftiges Handeln legt. Ferner ist Planung **rational**, was in dem bewussten und zielgerichteten Handeln der Planungsträger zum Ausdruck kommt. Planung verändert zukünftiges Geschehen, sie ist daher **gestaltend** und unterscheidet sich hierdurch von der Prognose. Darüber hinaus ist Planung **repetitiv**, sie wiederholt sich in regelmäßigen Abständen und unterliegt der fortlaufenden Kontrolle und Anpassung. Im Zuge der Planung werden vielfältige Informationen gewonnen, gespeichert, verarbeitet und verdichtet – Planung ist daher **informationsverarbeitend** [Mac95, S. 335ff.], [KGB11, S. 18], [Rei97, S. 13ff.].

Strategisch

Das Adjektiv strategisch ist dem Begriff **Strategie** entlehnt. BEA und HAAS definieren Strategie aufbauend auf dem Verständnis von ANSOFF [Ans65] als *„Maßnahmen zur Sicherung des langfristigen Erfolgs eines Unternehmens“* [BH16, S. 56]. In Abhängigkeit des Zeithoizonts, für den ein Plan Gültigkeit besitzt, sowie weiterer Merkmale kann Planung **strategischen** oder **operativen Charakter** haben [KGB11, S. 20], [TAG+17, S. 501f.]. Eine Übersicht der Unterscheidungsmerkmale zeigt Bild 2-6.

Merkmale	Strategische Planung	Operative Planung
Zeithorizont	Langfristig	Kurz- bis mittelfristig
Hierarchische Ebene	Schwerpunkt auf oberster Führungsebene	Schwerpunkt auf mittlerer Führungsebene
Unsicherheit	Relativ groß	Relativ klein
Art der Probleme	Meist unstrukturiert und komplex	Relativ gut strukturiert und oft repetitiv
Informationsbedürfnis	Primär außerbetrieblich (Unternehmensumwelt)	Primär innerbetrieblich (Teilbereiche im Unternehmen)
Alternativen	Weites Spektrum an Alternativen	Eingeschränktes Spektrum an Alternativen
Umfang	Konzentration auf einzelne wichtige Problemstellungen	Einbeziehung aller funktionalen Bereiche
Detaillierungsgrad	Relativ gering, globale Aussagen	Relativ hoch, konkrete Aussagen

Bild 2-6: Abgrenzung zwischen strategischer und operativer Planung in Anlehnung an THOMMEN ET AL. [TAG+17, S. 502]

Planung ist **strategisch**, wenn sie durch einen langfristigen Planungszeitraum, eine hohe Unsicherheit, unstrukturierte und komplexe Probleme sowie ein weites Spektrum an Handlungsalternativen charakterisiert ist. Dem gegenüber ist Planung **operativ**, wenn sie sich auf einen kurz- bis mittelfristigen Planungszeitraum, eine geringe Unsicherheit, gut strukturierte und häufig wiederkehrende Probleme sowie eine eingeschränkte Zahl an Lösungsoptionen bezieht. Im Fokus der strategischen Planung steht demnach die Frage, ob die richtigen Dinge getan werden (**Effektivität**), wohingegen die operative Planung auf die Frage abzielt, ob die Dinge richtig getan werden (**Effizienz**) [KGB11, S. 21], [TAG+17, S. 501f.].

Gegenstand der strategischen Planung

Vor dem Hintergrund der skizzierten Merkmale definieren BEA und HAAS **strategische Planung** als *„informationsverarbeitenden Prozess zur Abstimmung von Anforderungen der Umwelt mit den Potentialen des Unternehmens“* [BH16, S. 55]. Zentrales Element der strategischen Planung ist daher die **Analyse der Unternehmensumwelt** mit dem Ziel, Veränderungen zu antizipieren sowie Chancen und Risiken für bestehende und zukünftige Märkte bzw. Produkte abzuleiten [GR94, S. 3], [Göt94, S. 103f.], [Let01, S. 25], [LA05, S. 27f.]. Wie in Bild 2-7 dargestellt, lässt sich die Unternehmensumwelt in eine globale und unternehmensspezifische Umwelt unterteilen [GR94, S. 7].

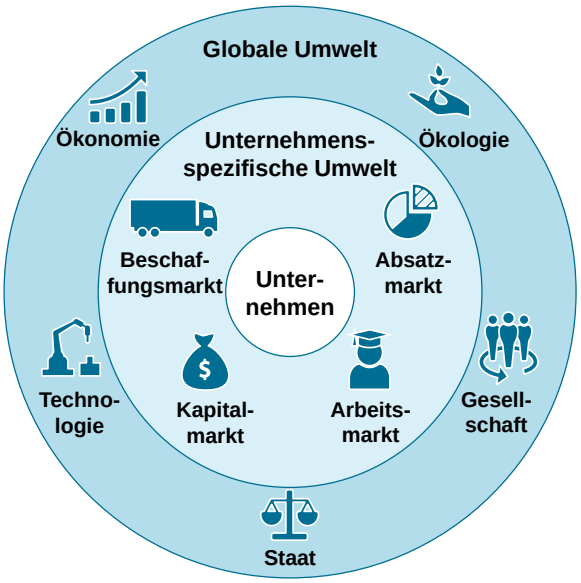


Bild 2-7: Übersicht der Unternehmensumwelt nach GÖTZE und RUDOLPH [GR94, S. 7]

- **Globale Umwelt:** Entwicklungen der globalen Umwelt beeinflussen das Unternehmen indirekt durch die Vorgabe von Rahmenbedingungen. Zur globalen Umwelt zählen ökonomische Entwicklungen (z.B. Wirtschaftswachstum), die Neu- und Weiterentwicklung von Technologien (z.B. Informations- und Kommunikationstechnik), von staatlicher Seite gesetzte politisch-rechtliche Rahmenbedingungen (z.B. Regelungen zur Besteuerung), Einflüsse aus gesamtgesellschaftlichen Strukturmerkmalen (z.B. Wertevorstellungen, Bevölkerungsstruktur) sowie ökologische Umweltbedingungen (z.B. Verfügbarkeit von natürlichen Ressourcen) [GR94, 7], [Göt94, S. 103].
- **Unternehmensspezifische Umwelt:** Die unternehmensspezifische Umwelt ist maßgeblich durch die Entwicklung der Branche geprägt, in der ein Unternehmen agiert. Sie umfasst den Beschaffungsmarkt (z.B. Verfügbarkeit von Lieferanten), Kapitalmarkt (z.B. Kreditbeziehungen), Arbeitsmarkt (z.B. Zugang zu Arbeitskräften) und Absatzmarkt (z.B. Wettbewerbsposition) [GR94, 7f.], [Göt94, S. 103].

Als Bestandteil des strategischen Managements [KGB11, S. 41], [Voi92, S. 245] zielt die strategische Planung auf den Erhalt bestehender und den Aufbau neuer **Erfolgspotentiale**[3] [LA05, S. 32], [GR94, S. 3]. Diese bilden die Grundlage für die Generierung von **Wettbewerbsvorteilen**[4] für das Unternehmen [Cam13, S. 27], [Hun14, S. 78f.]. Ergebnis der strategischen Planung ist ein **strategischer Plan** [LA05, S. 28] bzw. strategischer Bericht [Blo94, S. 195]. Dieser dient der Informationsübermittlung [Blo94, S. 205] und kann unterschiedliche Ebenen im Unternehmen adressieren [LA05, S. 54], [Hun14, S. 15]. LOMBRISER und ABPLANALP differenzieren zwischen der Unternehmens-, Geschäftseinheits-, Funktions- und Abteilungsebene [LA05, S. 54f.]. Aufgrund ihres Wesens als rationaler und damit der Gestaltung zugänglicher Prozess kann die strategische Planung durch verschiedene **Planungstechniken** unterstützt werden [BH16, S. 59f.]. Der Begriff Planungstechnik bezeichnet dabei *„strukturierte und formalisierte Instrumente zur Erleichterung und Verbesserung von Wahrnehmungs- und Denkprozessen“* [BH16, S. 61].

Fazit

In der vorliegenden Arbeit bezieht sich strategische Planung auf die **Erschließung von Erfolgspotentialen**, die sich aus der globalen Unternehmensumwelt in Form der Technologie AR für das Produkt-Service-Geschäft ergeben. Im Fokus steht die Geschäftsfeldebene, auf der Entscheidungen über die zukünftige Ausrichtung von Produkt-Markt-Kombinationen getroffen werden. Ergebnis der Systematik ist ein **strategischer Plan,** der Aufschluss darüber gibt, welche Produkt-Service-Systeme durch den Einsatz von AR erweitert werden sollen und welche operativen Maßnahmen zur Realisierung erforderlich sind. Für den im Vorgehensmodell der Systematik beschriebenen Prozess zur strategischen Planung sind geeignete **Planungstechniken** als Hilfsmittel bereitzustellen.

2.2 Vom Produkt- zum Produkt-Service-Geschäft

Die folgenden Abschnitte widmen sich dem Wandel des Marktleistungsportfolios produzierender Unternehmen. Der unter der Bezeichnung Servitization subsumierte Paradigmenwechsel vom Produkt- zum Produkt-Service-Geschäft ist Gegenstand von *Abschnitt 2.2.1*. Die beschleunigenden Einflüsse der Digitalisierung auf diese Entwicklung werden in *Abschnitt 2.2.2* erläutert. Abschließend beleuchtet *Abschnitt 2.2.3* die Rolle von Technologien im Kontext von Servitization und Digitalisierung.

---

[3] Der Begriff *Erfolgspotential* bringt zum Ausdruck, dass sich Erfolg nicht allein durch strategische Planung einstellt. Vielmehr werden die erkannten Erfolgspotentiale erst im Zusammenspiel mit operativen Tätigkeiten, das heißt der tatsächlichen Umsetzung, in messbaren Erfolg überführt [LA05, S. 31]. Strategische Planung muss deshalb auch immer *Maßnahmen zur Zielerreichung* vorsehen [HD94, S. 213].

[4] CAMPHAUSEN formuliert *vier Merkmale strategischer Wettbewerbsvorteile*: Sie müssen (1) vom Kunden wahrnehmbar, (2) in Preis und/oder Leistung ausdrückbar sowie (3) dauerhaft angelegt sein und (4) sich auf einen kaufentscheidenden Parameter des Kunden beziehen [Cam13, S. 27].

2.2.1 Servitization des Produktgeschäfts

Der Dienstleistungssektor hat in den vergangenen Jahrzehnten zunehmend an Bedeutung gewonnen, woraus ein gesellschaftlicher Strukturwandel von der Industrie- zur **Dienstleistungsgesellschaft** resultiert [FO06, S. 87], [SG16, S. 9f.]. Mit einem Anteil an der Bruttowertschöpfung in Höhe von 68% betrug der Dienstleistungssektor 2018 in Deutschland mehr als das Zweieinhalbfache des produzierenden Gewerbes [Sta19, S. 11].

Die steigende Bedeutung von Dienstleistungen beschränkt sich nicht auf klassische Dienstleistungsbetriebe, sondern nimmt verstärkt Einfluss auf **Unternehmen des produzierenden Gewerbes** [BS06, S. 54], [LLW06, S. 444], [Mon02, S. 238]. In zunehmendem Maße werden ursprünglich auf die Herstellung und den Verkauf von Sachleistungen fokussierte Angebotsportfolios um zusätzliche Dienstleistungen erweitert [SG16, S. 10], [Geb08, 278]. In der Folge wird das klassische Produkt- und Komponentengeschäft abgelöst durch **Produkt-Service-Systeme**, die Sach- und Dienstleistungsanteile integrieren (vgl. *Abschnitt 2.1.3*) [BLB+09, S. 547]. Dieser Paradigmenwechsel wird zurückgehend auf VANDERMERWE und RADA als **Servitization of Business** bezeichnet [VR88, S. 314] und spiegelt die volkswirtschaftliche Transformation zur Dienstleistungsgesellschaft auf Unternehmensebene wider (*Tertiarisierung der Industrie*) [Cas94, S. 35], [Lay14, S. 2].

Vor diesem Hintergrund wird der Übergang von einem produktorientierten Denken hin zu einer ganzheitlichen Lösung von Kundenproblemen und damit verstärkt dienstleistungsorientierten Ausrichtung der Unternehmensaktivitäten wichtiger [KA14, S. 104]. Der in den letzten Jahren intensiv diskutierte Begriff der **Service-Dominant Logic**[5] bringt diese neue Denkhaltung zum Ausdruck [VL04, S. 1ff.], [LV06, S. 281ff.].

Strategische Motivationen für die Servitization

Dem Wandel zum Produkt-Service-Geschäft liegen **strategische Motivationen** zugrunde, die sich in vier übergeordnete Gruppen einordnen lassen (vgl. Bild 2-8).

- **Ökonomische Vorteile:** Durch das Angebot von Dienstleistungen kann eine **Steigerung des Umsatzes** erzielt werden [Lay14, S. 4]. Einerseits generiert die Erbringung von Dienstleistungen direkte Erlöse [MRS10, S. 608], [SG16, S. 13f.], andererseits können sie einen verkaufsfördernden Effekt auf das Produktgeschäft bewirken [SGT+16, S. 34], [OK03, S. 163], [GGF+12, S. 44]. Ferner können Dienstleistungen einen Beitrag zum Ausgleich konjunkturbedingter Absatzschwankungen leisten und damit zu einer **Verstetigung von Umsätzen** führen [OK03, S. 160], [GFF05, S. 14]. Eine **Verbesserung der Profitabilität** kann u.a. aus der Vermeidung von Preiskämpfen [BS06, S. 54], [Gar98, S. 36], einer höheren Ressourcenschonung infolge von

[5] Der aus der Marketingtheorie stammende Begriff der *Service-Dominant Logic* bezeichnet eine Perspektive, der zufolge Dienstleistungen die Grundlage wirtschaftlicher Austauschbeziehungen darstellen und Güter lediglich als Vehikel zur Erbringung von Dienstleistungen fungieren [VL04, S. 1], [LV06, S. 283].

Dematerialisierungseffekten sowie den tendenziell höheren Margen[6] im Dienstleistungsgeschäft resultieren [OK03, S. 160], [Geb08, S. 278], [BLE+07, S. 1548].

Bild 2-8: Strategische Motivationen für den Wandel zum Produkt-Service-Geschäft in Anlehnung an LAY [Lay14, S. 5] und SCHUH ET AL. [SGT+16, S. 33]

- **Marktseitige Nachfrage:** Dienstleistungen werden in zunehmendem Maße von Kunden gefordert [OK03, S. 160], [MU12, S. 1], [BLB+09, S. 558], [VR88, S. 318]. Dies liegt darin begründet, dass sich Unternehmen angesichts des steigenden Wettbewerbsdrucks gezwungen sehen, nicht wertschöpfungsrelevante **Randkompetenzen auszulagern** [MU12, S. 1f.], [OK03, S. 160], [Tuk04, S. 247]. Darüber hinaus haben sich in Branchen gewisse Dienstleistungen als **Marktstandards** herauskristallisiert, deren Angebot entweder vom Kunden erwartet wird oder aufgrund gesetzlicher Vorschriften (z.B. Gewährleistungspflicht) erforderlich ist [Sei16, S. XXIIf.].

- **Kundenkontakt:** Infolge der Integration des externen Faktors in den Dienstleistungsprozess ist jede Dienstleistung mit einem Kontakt zum Kunden verbunden [Gar98, S. 62], [TWL08, S. 212]. Dies ermöglicht Unternehmen die **Bindung der Kunden** durch eine langfristige und enge Geschäftsbeziehung [Lay14, S. 6], [SG16, S. 13], [BLB+09, S. 558]. Insbesondere nutzungs- und ergebnisorientierte Produkt-Service-Systeme sind häufig mit einer partnerschaftlichen Kooperation verbunden [MU12, S. 4], [MRS10, S. 612], in welcher der Kunde als Co-Produzent agiert [SG16, S. 13]. Hieraus resultieren positive Effekte auf dessen Vertrauen und Loyalität [Gar98, S. 207], [Tuk04, S. 247]. Zudem lassen sich aus dem engen Kundenkontakt **Innovationspotentiale** für das Produkt-Service-Portfolio gewinnen (z.B. Zufriedenheit mit Wettbewerbsprodukten) [Lay14, S. 6], [Sch10, S. 10], [BLB+09, S. 558].

---

[6] Die häufig als Vorteil genannten *höheren Margen* von Dienstleistungen werden teils kontrovers diskutiert [GGF05, S. 14ff.], [KSN16, S. 199]. Eine von NEELY durchgeführte Analyse der Finanzdaten von 10.028 Firmen zeigt ein differenziertes Bild: So konnten Produkt-Service-Anbieter mit 3.000 oder mehr Mitarbeitern zwar eine Steigerung der Umsätze erzielen, ihre Umsatzrentabilität lag jedoch unter der von produzierenden Unternehmen. Lediglich für Produkt-Service-Anbieter mit weniger als 3.000 Mitarbeitern konnte eine Steigerung der Umsatzrentabilität nachgewiesen werden [Nee08, S. 114].

- **Wettbewerbsvorteile:** Angesichts der Angleichung von Sachleistungen hinsichtlich Qualität und Preis eröffnen Dienstleistungen Möglichkeiten zur **Differenzierung**[7] **vom Wettbewerb** [Man10, S. 1], [RB06, S. 142]. Durch die Verknüpfung von Sach- und Dienstleistung können maßgeschneiderte Problemlösungen angeboten werden, die Wettbewerbsvorteile gegenüber der Konkurrenz begründen [SG16, S. 12], [Gar98, S. 47], [BS06, S. 54]. Aufgrund der organisatorischen Verankerung bieten Dienstleistungen zudem einen immanenten **Schutz vor Imitation** [GGF+12, S. 99], [OK03, S. 160], [MU12, S. 2]. Ferner lassen sich durch Dienstleistungen neue Geschäftsfelder erschließen [SGT+16, S. 34], [BLE+07, S. 1548]. Dadurch ergibt sich ein höheres **Diversifikationspotential**, das insbesondere Unternehmen in gesättigten Märkten Möglichkeiten für neues Wachstum bietet [RB06, S. 146], [SGT+16, S. 34].

Herausforderungen der Servitization

Mit der Servitization ist ein Transformationsprozess verbunden, der sich in der Regel schrittweise durch die sukzessive Anreicherung des Produktportfolios mit Dienstleistungen vollzieht [GFF05, S. 14], [SGG16, S. 65], [SGT+16, S. 44f.]. Wie in Bild 2-9 dargestellt lassen sich entlang eines Kontinuums mit steigendem Dienstleistungsanteil drei idealtypische **Entwicklungsstufen** unterscheiden [GJS16, S. 755], [Man10, S. 3f.]:

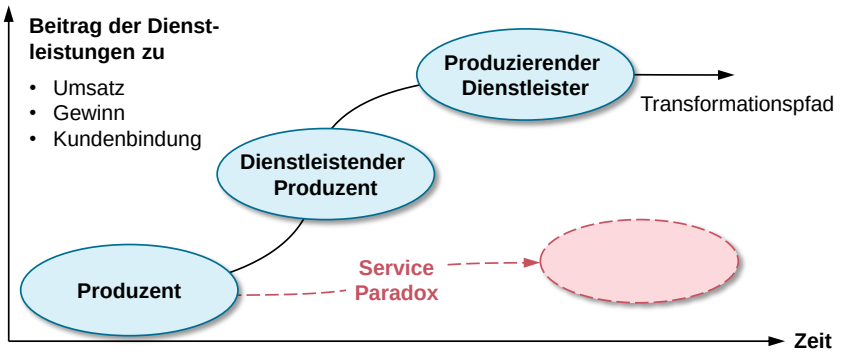


Bild 2-9: Transformation vom Produzenten zum produzierenden Dienstleister nach GEBAUER ET AL. [GJS14, S. 756]

- **Produzent:** Produzenten fokussieren sich auf das Produktgeschäft und bieten Dienstleistungen allenfalls opportunistisch und als Zusatz an. Die Kaufentscheidung des Kunden wird hauptsächlich durch Produktmerkmale beeinflusst [GJS16, S. 755].
- **Dienstleistender Produzent:** Bei dienstleistenden Produzenten bilden Dienstleistungen einen festen Bestandteil des Kerngeschäfts. Sie werden separat berechnet und leisten einen Beitrag zur Differenzierung im Wettbewerb [GJS16, S. 755].

---

[7] PORTER unterscheidet mit der Kostenführerschaft, Differenzierung und Fokussierung drei generische Wettbewerbsstrategien [Por98, S. 35ff.]. Im Kontext von Produkt-Service-Systemen wird der *Differenzierungsstrategie* eine besondere Bedeutung beigemessen [SGT+16, S. 36]. Eine Differenzierung kann durch eine Senkung der Nutzungskosten oder Steigerung des Nutzungswertes erfolgen [Por98, S. 120f.].

- **Produzierender Dienstleister:** Fokus produzierender Dienstleister bilden kundenindividuelle Problemlösungen, die eng mit den Wertschöpfungsprozessen des Kunden verzahnt sind und als Dienstleistungen angeboten werden [GJS16, S. 755].

Auf dem Weg zum produzierenden Dienstleister sehen sich Unternehmen mit Herausforderungen konfrontiert [OK03, S. 161], [SD06, S. 464ff.]. Als **Service Paradox** wird der Effekt bezeichnet, dass trotz hoher Investitionen in den Ausbau des Dienstleistungsgeschäfts die erwarteten Umsatz- und Gewinnsteigerungen ausbleiben (vgl. Bild 2-9) [GFF05, S. 15]. Dem Service Pardox können u.a. folgende Ursachen zugrunde liegen:

- **Mangelnde Ausschöpfung des ökonomischen Potentials**: OLIVA und KALLENBERG weisen darauf hin, dass Unternehmen das ökonomische Potential von Dienstleistungen häufig nur unzureichend ausschöpfen [OK03, S. 161]. Fehlende Erlösmodelle [BLE+07, S. 1549], [SD06, S. 464], ein geringer Industrialisierungsgrad [Man10, S. 2] sowie eine verfehlte Kundennutzenorientierung [RB06, S. 147] lassen Dienstleistungen in vielen Branchen ein Schattendasein fristen [Bus05, S. 3].

- **Fehlender Bezug zur Strategie:** Das Dienstleistungsgeschäft ist oftmals nicht in der übergeordneten Unternehmensstrategie verankert [MU12, S. 5], [Sei16, S. XXV]. Viele Einzel- und Sonderlösungen münden in einem Dienstleistungsdschungel [DS06, S. 465], [MU12, S. 5], der historisch durch die opportunistische Ausweitung des Marktleistungsportfolios gewachsen ist [SM12, S. 41], [DS06, S. 464].

- **Mängel bei der Umsetzung:** Die Umsetzung des projektierten Dienstleistungsportfolios leidet unter fehlenden Organisationsstrukturen und Kompetenzen [GRM+14, S. 507], [BLE+07, S. 1549]. Auch psychologische Barrieren können dem nötigen Wandel der Unternehmenskultur entgegenstehen [Mon02, S. 243f.], [SHG16, S. 313]. Sach- und Dienstleistung werden vielfach isoliert und in weitgehender Parallelarbeit geplant und entwickelt [Man10, S. 2], [SK12, S. 62], so dass der für Produkt-Service-Systeme als essentiell herausgestellte Wertbeitrag der Integration von Sach- und Dienstleistung ungenutzt bleibt [UB12, S. 89], [SD06, S. 466].

Erfolgsfaktoren für die Servitization

Vor dem Hintergrund der beschriebenen Herausforderungen werden in der Literatur **Erfolgsfaktoren** diskutiert, die einen Beitrag dazu leisten, das Service Paradox zu vermeiden [FL16, S. 56ff.], [GJS16, S. 759f.], [Gar98, S. 51f.]:

- **Kundenorientierung:** Produkt-Service-Systemen beruhen auf der Erkenntnis, dass Kunden vorrangig an Problemlösungen interessiert sind und nicht an Produkten oder Dienstleistungen um ihrer selbst willen [SG16, S. 2]. Entscheidend ist daher die vollständige und systematische Durchdringung der Kundenbedürfnisse [GGF+12, S. 21], [SM12, S. 45], [Man10, S. 5]. Durch die frühzeitige Einbindung des Kunden lassen sich Risiken einer Fehleinschätzung des Nutzens minimieren und die Wahrscheinlichkeit des Geschäftserfolgs erhöhen [RB06, S. 147f.], [BLE+07, S. 1549].

- **Einbindung in die strategische Planung:** Der Paradigmenwechsel vom Produkt- zum Lösungsgeschäft erfordert eine strategische Neuausrichtung des Unternehmens [Man10, S. 3], [MU12, S. 9]. SPATH und DEMUß betonen, dass Produkt-Service-Systeme ebenso strategisch zu planen sind wie das klassische Produktgeschäft [SD06, S. 464]. Als Bindeglied zwischen der Strategie und den Geschäftsprozessen eines Unternehmens kommt der Anpassung des *Geschäftsmodells*[8] eine besondere Bedeutung zu [SGG16, S. 65], [OP02, S. 78].
- **Integrierte Betrachtung von Sach- und Dienstleistung:** Produkt-Service-Systeme sind als Problemlösung zu betrachten, deren Eigenschaften aus dem Zusammenspiel von Sach- und Dienstleistung resultieren [TWL08, S. 210]. Aus diesem Grund sind Sach- und Dienstleistungskomponenten gleichberechtigt und eng miteinander verzahnt zu planen und zu entwickeln [SM12, S. 37], [SK12, S. 61]. Es bedarf eines systematischen, integrierten Planungs- und Entwicklungsprozesses [SK12, S. 62], [SD06, S. 491], der den externen Faktor des Kunden berücksichtigt [RB06, S. 146].
- **Umgestaltung der Wertschöpfung:** Der Wandel zum Lösungsanbieter erfordert eine Veränderung der Wertschöpfungsstruktur eines Unternehmens. In der Literatur wird hierfür der Begriff *hybride Wertschöpfung*[9] [BG10, S. 7ff.] verwendet. Neben der Gestaltung der Organisation [GGF+12, S. 127ff.] gilt es u.a. neue Kenntnisse und Fähigkeiten aufzubauen [FL16, S. 60f.], Ressourcen bereitzustellen [SSG16, S. 255] und Prozesse anzupassen bzw. neu zu definieren [GGF+12, S. 99], [FL16, S. 58f.].

Fazit

Die vorliegende Arbeit baut auf den beschriebenen **Motivationen** auf und bettet sich in den als **Servitization** beschriebenen Transformationsprozess vom Produkt- zum Produkt-Service-Anbieter ein. Um das Service Paradox zu vermeiden, bedarf es einer systematischen **strategischen Planung**. Diese muss sich konsequent an den **Kundenbedürfnissen** ausrichten, die erforderlichen **Sach- und Dienstleistungskomponenten integrativ** betrachten und Modifikationsbedarfe mit Blick auf die für die Umsetzung erforderlichen **Fähigkeiten**, **Ressourcen** und **Prozesse** im Geschäftsmodell berücksichtigen.

---

[8] Nach GAUSEMEIER ist ein *Geschäftsmodell* ein aggregiertes Abbild der Geschäftslogik eines Unternehmens, das beschreibt, wie ein Unternehmen Werte schafft und Kunden dazu motiviert, Geld für diese zu zahlen [GDE+19, S. 32]. Es besteht aus Teilmodellen, die unterschiedliche Perspektiven auf das Geschäft widerspiegeln und sich wechselseitig beeinflussen [SGG16, S. 65f.]. Verwendungszweck eines Geschäftsmodells ist die Analyse, Planung und Kommunikation der Geschäftstätigkeit [BR11, S. 26].

[9] *Hybride Wertschöpfung* bezeichnet die Umgestaltung von Wertschöpfungsstrukturen, die mit dem Wandel zum Lösungsanbieter verbunden ist [BR12, S. 59]. Sie erfordert eine Umorientierung von einer transaktionalen zu einer relationalen Kundeninteraktion, eine Neupositionierung in der Wertschöpfungskette sowie eine organisationsübergreifende Zusammenarbeit der Akteure [BG10, S. 9], [BR12, S. 57f.].

2.2.2 Digitalisierung als Treiber für Produkt-Service-Systeme

Der Wandel zu Produkt-Service-Systemen wird beschleunigt durch Innovationspotentiale, die aus der fortschreitenden Digitalisierung resultieren [LG14, S. 261f.], [KBD+15, S. 291], [Sei16, S. XXIII]. Der Begriff **Digitalisierung** bezieht sich auf die vollständige oder teilweise Ersetzung analoger Leistungserbringung in einem digitalen, computerhandhabbaren Modell [WS18, S. 58]. Diese Entwicklung gilt als zentraler Veränderungstreiber des 21. Jahrhunderts [HAD+16, S. 263], der die Leistungserstellung, die Marktleistung sowie das Umfeld, in dem Unternehmen agieren, gleichermaßen beeinflusst [PTK+17, S. 66f.]. Die Innovationspotentiale der Digitalisierung verändern sowohl die Sachleistungs- als auch die Dienstleistungskomponente eines Produkt-Service-Systems.

Einfluss der Digitalisierung auf die Sachleistungskomponente

Auf der Sachleistungsebene spiegelt sich die Digitalisierung unter dem Schlagwort Industrie 4.0 in der Transformation mechatronischer Systeme hin zu **cyber-physischen Systemen**[10] wider [HUB15a, S. 669], [SGG+13, S. 22], [KBD+15, S. 296]. GEISBERGER und BROY charakterisieren cyber-physische Systeme anhand von fünf Merkmalen [GB12, S. 22]: (1) Erfassung von physikalischen Daten durch Sensoren und Beeinflussung physikalischer Vorgänge durch Aktoren, (2) Interaktion mit der digitalen und physikalischen Welt durch die Speicherung und Auswertung von Daten, (3) lokale und globale Vernetzung mittels drahtloser und drahtgebundener Netze, (4) Nutzung weltweit verfügbarer Daten und Dienste sowie (5) Bereitstellung multimodaler Mensch-Maschine-Schnittstellen für die Kommunikation und Steuerung [GB12, S. 22]. Cyber-physische Systeme verfügen über einen **erweiterten Funktionsumfang**, der auf der Informationsverarbeitung beruht und das reaktive, starre Verhalten mechatronischer Systeme übersteigt [Dum10, S. 19]. PORTER und HEPPELMANN unterscheiden vier Gruppen, in die sich die Funktionen einordnen lassen: (1) Überwachung (z.B. Benachrichtung bei Veränderung des Produktstatus), (2) Steuerung (z.B. softwaregestützte Personalisierung des Nutzungserlebnisses), (3) Optimierung (z.B. Verbesserung der Produktleistung) und (4) Automatisierung (z.B. automatisierter Produktbetrieb in Interdependenz mit anderen Systemen) [PH14, S. 8].

Einfluss der Digitalisierung auf die Dienstleistungskomponente

Auf der Dienstleistungsebene eröffnet die Digitalisierung Innovationspotentiale, die sich aus der Auswertung spezifischer Daten ergeben [HUB15a, S. 665], [Sei16, S. XXIII]. Hierzu zählen die operativen Maschinen- und Anlagendaten, die von cyber-physischen Systemen generiert werden, ebenso wie Daten, die durch den Anwender erzeugt werden

---

[10] Eng verbunden mit cyber-physischen Systemen ist der Begriff *intelligente technische Systeme*. Derartige Systeme zeichnen sich durch vier charakteristische Eigenschaften aus: adaptiv, robust, vorausschauend und benutzungsfreundlich [GAC+13, S. 5]. Ein Vergleich cyber-physischer mit intelligenten technischen Systemen von WESTERMANN kommt zu dem Ergebnis, dass weitreichende Gemeinsamkeiten bestehen, per Definition jedoch intelligente technische Systeme nicht zwingend mit anderen Systemen vernetzt sein und Daten und Dienste nutzen müssen [Wes17, S. 13].

[ZLC+18, S. 659], [HUB15a, S. 677f.]. In der **Produkt-Cloud** werden die Daten gespeichert und in Abhängigkeit, ob es sich um ein geschlossenes oder offenes System handelt, dem Anbieter des cyber-physischen Systems bzw. Dritten (z.B. Dienstleistungsanbietern) zugänglich gemacht [HUB15b, S. 326], [PH14, S. 7]. Mit Hilfe der Daten wird der Grundstein gelegt für ein als **digitaler Zwilling**[11] bezeichnetes virtuelles Abbild des Produktes [GV17, S. 94], auf dessen Basis neue Dienstleistungen angeboten werden können [ZLC+18, S. 659]. Diese werden als **Smart Service** [AL05, S. 131ff.], [BGN17, S. 99] bezeichnet und ermöglichen es, durch die Auswertung von Daten Kundenwünsche flexibel und individuell zu berücksichtigen [HAD+16, S. 264], [Pal17, S. 167]. Der neben Smart Service ebenfalls gebräuchliche Begriff **Teleservice** [Bor02, S. 29f.] bringt zum Ausdruck, dass durch die Digitalisierung die Dienstleistungserbringung unabhängig von der Entfernung zum externen Faktor ermöglicht wird [Kri16, S. 309], [LG14, S. 254]. Die räumliche Entkopplung und die damit verbundene Erhöhung der geographischen Reichweite des Dienstleistungsgeschäfts wird als **Remotization** bezeichnet und ist ein zentrales Charakteristikum digitaler Dienstleistungen [LG15a, S. 46], [Kri16, S. 309].

Digitale Produkt-Service-Systeme

Die beschriebenen Einflüsse der Digitalisierung verdeutlichen die engen Wechselwirkungen zwischen Sach- und Dienstleistung, die zu einer zunehmenden **Verschmelzung der physischen und virtuellen Welt** führen [DEN+16, S. 5], [HUB15a, S. 666f.]. In der Konsequenz lassen sich Sach- und Dienstleistungen nicht mehr eindeutig der Kategorie physisch und virtuell zuordnen, was durch den von RIGBY geprägten Begriff **Digical** als Kompositum aus *digital* und *physical* deutlich wird [Rig14, S. 84ff.], [RT14, S. 1]. Die Integration von mit Informations- und Kommunikationstechnik veredelten Sach- und Dienstleistungen führt zu **smarten** [VMS+15, S. 13], [ZWC+19, S. 5] bzw. **digitalen Produkt-Service-Systemen** [LG15a, S. 47], [HKU18, S. 5]. LERCH und GOTSCH unterscheiden drei Typen von digitalen Produkt-Service-Systemen [LG15a, S. 48f.]:

- **Smart Service Delivery:** Die Bezeichnung *Smart Service Delivery* umfasst Produkt-Service-Systeme, die auf die Verbesserung der Dienstleistung abzielen, beispielsweise durch Verringerung der für die Dienstleistungserbringung erforderlichen Zeit und Ressourcen [LG15a, S. 48].
- **Smart Product Optimization:** Produkt-Service-Systeme, die sich auf die Leistungs- und Effizienzsteigerung der Sachleistung beziehen (z.B. Erhöhung der pro Zeiteinheit produzierten Teile), werden unter dem Begriff *Smart Product Optimization* zusammengefasst [LG15a, S. 49].

---

[11] GRIEVES definiert den Begriff *digitaler Zwilling* als einen Satz virtueller Informationskonstrukte, der ein potentielles oder tatsächlich hergestelltes Produkt von der mikro-atomaren bis zur makro-geometrischen Ebene vollständig beschreibt [GV17, S. 94]. *Digital Twin Prototypes* beinhalten alle Informationen, die zur Beschreibung und Herstellung eines physischen Duplikats des virtuellen Abbilds benötigt sind (z.B. CAD-Modelle). *Digital Twin Instances* sind hingegen Instanzen eines physischen Produktes, die Informationen über die gesamte Lebensdauer enthalten (z.B. Sensordaten, Wartungshistorie) [GV17, S. 94].

- **Digital Brain:** Als *Digital Brain* werden Produkt-Service-Systeme bezeichnet, die auf eine Verbesserung des Innovationsprozesses fokussieren, indem Informationen über den Kunden und die Produktnutzung an den Produkt-Service-Anbieter zurückgeführt werden [LG15a, S. 49].

Charakteristisch für digitale Produkt-Service-Systeme ist die Kombination von Technologie, Produkt und Dienstleistung, aus deren wechselseitigen Zusammenspiel sich Möglichkeiten für neue **Geschäftsmodelle** eröffnen [MDS18, S. 92], [CHP18, S. 30], [WBB+18, S. 10f.]. Hierzu zählen insbesondere serviceorientierte Geschäftsmodelle (*X-as-a-Service*), mit denen u.a. Produkte, Software und Infrastruktur dem Kunden als Dienstleistung zur Verfügung gestellt werden [HKU18, S. 4], [LSB+19, S. 207]. Die damit verbundenen Erlösmodelle koppeln den Preis an den Erfolg der Dienstleistungserbringung (z.B. abhängig von Verfügbarkeit, Nutzungsintensität oder Ergebnis), wodurch im Vergleich zu transaktionsbasierten Geschäftsmodellen ein Transfer von Risiken (z.B. mangelnde Verfügbarkeit) vom Kunden zum Anbieter verbunden ist [SR17, S. 82ff.].

Mit digitalen Produkt-Service-Systemen ist eine Verschiebung der Wettbewerbsgrundlage von einzelnen Systemen hin zu **Systemen von Systemen**[12] verbunden [PH14, S. 13f.]. Dadurch beschränkt sich das Nutzenversprechen nicht mehr auf isolierte Funktionalitäten einzelner Systeme (z.B. einer Landmaschine), sondern beruht in zunehmenden Maße auf Mehrwerten, die aus der Vernetzung und Zusammenführung von Einzelsystemen in übergeordnete Systemen resultieren (z.B. Vernetzung von Landmaschinen und Wetterdaten in einem Agrarmanagementsystem) [PH14, S. 13]. In der Konsequenz ergeben sich weitreichende Veränderungen der **Branchenstruktur und -grenzen** [PH14, S. 12f.], [PSR19, S. 8f.]: Infolge der Branchenkonvergenz treten ehemals branchenfremde Wettbewerber auf den Plan [BL07, S. 165], die Differenzierung löst den Preis als zentralen Wettbewerbsfaktor ab [SGT+16, S. 36], [PH14, S. 10] und die Wertschöpfungskette wird durch eine steigende Anzahl an Akteuren sowie eine intensivere, zunehmend interdisziplinäre Zusammenarbeit geprägt [LG15b, S. 78f.], [PSR19, S. 9], [HUB15b, S. 326].

Digitale Transformation des Marktleistungsportfolios

Die Digitalisierung und Servitization beeinflussen sich gegenseitig und wirken sich gemeinsam auf den in *Abschnitt 2.2.1* beschriebenen **Transformationspfad** vom Produzenten zum produzierenden Dienstleister aus [LG15a, S. 47], [MSD19, S. 1]. In Abhängigkeit des Beitrags digitaler Komponenten für das Dienstleistungsgeschäft lassen sich entlang des Transformationspfads vier **Entwicklungsstufen** unterscheiden, die das Marktleistungsportfolio von produzierenden Unternehmen durchläuft [LG14, S. 262ff.]. Diese sind Bild 2-10 dargestellt.

---

[12] Laut MAIER bezeichnet ein *System von Systemen* (engl. *System-of-Systems*) ein Bündel von Einzelsystemen, das durch zwei Eigenschaften charkterisiert ist [Mai98, S. 272]: (1) *Betriebliche Unabhängigkeit*: Die Einzelsysteme erfüllen einen eigenständigen Zweck und müssen unabhängig von dem übergeordneten System betrieben werden können. (2) *Wirtschaftliche Unabhängigkeit*: Die Einzelsysteme können eigenständig erworben und in das übergeordnete System integriert werden [Mai98, S. 272].

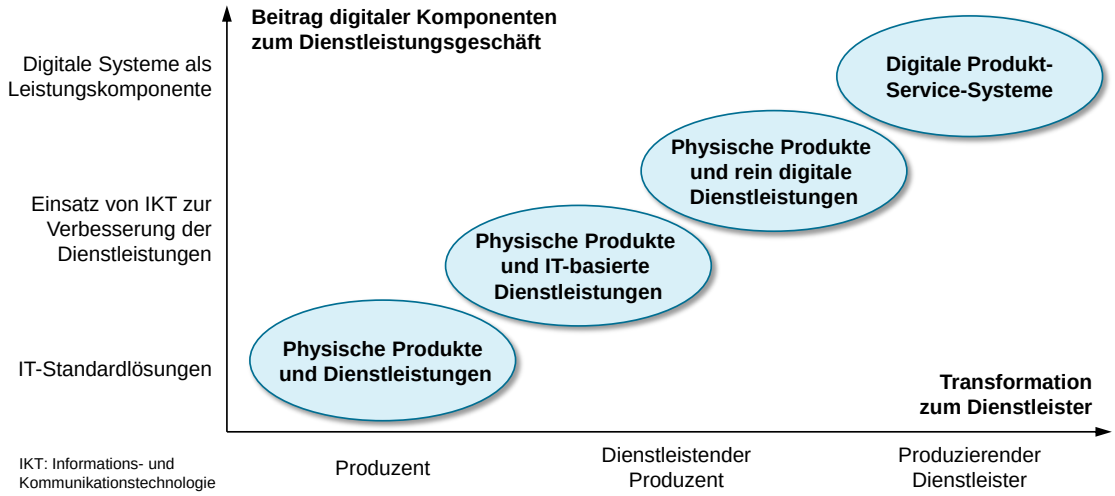


Bild 2-10: Entwicklungsstufen des Markleistungsportfolios produzierender Unternehmen in Anlehnung an LERCH und GOTSCH [LG14, S. 263]

- **Stufe 1 – Physische Produkte und Dienstleistungen:** Das Marktleistungsportfolio ist geprägt durch Sachleistungen, die punktuell durch Dienstleistungen (z.B. im Vertrieb) ergänzt werden. Infolge des geringen Stellenwerts des Dienstleistungsgeschäfts werden digitale Systeme allenfalls sporadisch eingesetzt [LG14, S. 262].

- **Stufe 2 – Physische Produkte und IT-basierte Dienstleistungen:** Dienstleistungen dienen der Differenzierung im Wettbewerb und leisten einen Beitrag zu den finanziellen Zielen. Durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien werden Dienstleistungen weiterentwickelt, in einer höheren Qualität angeboten und durch Einflussnahme auf die Potential- und Prozessebene effizienter erbracht (z.B. Erhöhung der Reichweite durch Teleservices) [LG14, S. 262].

- **Stufe 3 – Physische Produkte und rein digitale Dienstleistungen:** Das Marktleistungsportfolio wird um vollständig digitale Dienstleistungen erweitert, die ohne den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnologien nicht realisierbar wären (z.B. Erstellung von Werkzeugplänen mit einer CAD-Software). Gegenüber IT-basierten Dienstleistungen vollziehen sich hierdurch Veränderungen nicht allein auf der Potential- und Prozessebene, sondern auch auf der Ergebnisebene. Digitale Dienstleistungen eröffnen dem Unternehmen eine weitere Steigerung der Kundenzufriedenheit sowie eine wirksamere Differenzierung im Wettbewerb [LG14, S. 263].

- **Stufe 4 – Digitale Produkt-Service-Systeme:** Die tiefgreifende Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien in die eng aufeinander abgestimmten Sach- und Dienstleistungen ermöglicht die Realisierung neuer Nutzenversprechen (z.B. Verfügbarkeits-/Kostengarantie). Mit dem Ziel, neue Wettbewerbspotentiale zu erschließen, nehmen digitale Systeme als eigenständige Leistungskomponente eine Schlüsselposition im Marktleistungsportfolio ein und ermöglichen ein höchstmögliches Maß an Flexibilität zur Befriedigung von Kundenwünschen [LG14, S. 263].

Fazit

Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist die Erschließung von **Innovationspotentialen**, die sich aus der **Digitalisierung** für das Produkt-Service-Geschäft in Form der Technologie **Augmented Reality** ergeben. Durch die Erweiterung des Angebotsspektrums um AR-basierte Funktionalitäten leistet die Arbeit einen Beitrag zur **digitalen Transformation des Marktleistungsportfolios** von physischen Produkten und Dienstleistungen hin zu digitalen Produkt-Service-Systemen. Abhängig von der konkreten Ausgestaltung lassen sich AR-basierte Produkt-Service-Systeme den von LERCH und GOTSCH formulierten Entwicklungsstufen zwei bis vier zuordnen.

2.2.3 Einfluss von Technologien auf Produkt-Service-Systeme

Der durch die Digitalisierung induzierte Strukturwandel beruht zum Großteil auf den signikfikanten Fortschritten in der Entwicklung von **Informations- und Kommunikationstechnologien**[13] (IKT) [HAD+16, S. 264], [VMS+15, S. 13]. Diese sind insbesondere auf die exponentielle Verbesserung der Rechenleistung gemäß des **Moore'schen Gesetzes**[14] zurückzuführen, das eine Verdopplung der Transistorzahl auf einem integrierten Schaltkreis festgelegter Größe alle anderthalb bis zwei Jahre prognostiziert hatte [Moo65, S. 115], [SRK18, S. 20]. Die hohe Bedeutung von IKT beruht auf ihrem **Querschnittscharakter**, der durch die breite und vielfältige Anwendbarkeit in Wirtschaft und Gesellschaft zum Ausdruck kommt [VKK+16, S. 7]. Infolgedessen nimmt der durch IKT induzierte Wandel Einfluss auf nahezu alle Branchen [PH14, S. 23], [IL14, S. 4] und erfordert von Unternehmen ein proaktives Handeln, um sich im globalen Wettbewerb dauerhaft zu behaupten [LG15a, S. 45], [CHP18, S. 27]. Begünstigt wird der Wandel zusätzlich durch Veränderungen des **Mediennutzungsverhaltens**, die unter anderen mit der flächendeckenden Verbreitung des Internets verbunden sind [VKK+16, S. 2].

Die Allgegenwärtigkeit von IKT wird durch den Begriff des **ubiquitären Computings** verdeutlicht [Wei93, S. 71]: In zunehmenden Maße werden alltägliche Gegenstände mit Mikroprozessoren versehen, die mit Hilfe von Sensoren Umwelteinflüsse erfassen, diese verarbeiten und die gewonnen Informationen weiteren Gegenständen und Personen zur Verfügung stellen [FRK+09, S. 5]. Eine Schlüsselrolle nimmt dabei das **Internet** ein, das

---

[13] *Technologien* umfassen allgemein *„Wissen, Kenntnisse und Fertigkeiten zur Lösung technischer Probleme sowie Anlagen und Verfahren zur praktischen Umsetzung naturwissenschaftlicher Erkenntnisse"* [SKS+11, S. 34]. *Informations- und Kommunikationstechnologien* bezeichnen jene Technologien, die der Informations- und Datenverarbeitung sowie Übertragung digitaler Signale dienen [VKK+16, S. 9].

[14] Das *MOORE'SCHE Gesetz* hat seit seiner Formulierung in den 1960er-Jahren weitestgehend Gültigkeit behalten [TW16, S. 41], [SRK18, S. 20f.]. Prognosen gehen jedoch davon aus, dass es infolge der Annäherung photolithographischer Verfahren an atomare Abmessungen in der nächsten Dekade an physikalische Grenzen stoßen wird [Sha20, S. 2]. Gleichwohl lassen alternative Architekturen und Technologien (z.B. Quanten-Computing) vermuten, dass sich die Steigerung der Rechenleistung fortsetzen wird [SRK18, S. 20], [Sha20, S. 5ff.].

eine globale digitale Vernetzung von Informationsquellen und -nutzern auf Basis einheitlicher Schnittstellen ermöglicht [Rei03, S. 18], [ZLC+18, S. 657]. Die wachsende Anzahl über das Internet miteinander verbundener Gegenstände kommt durch den von ASHTON geprägten Begriff **Internet der Dinge** zum Ausdruck [Ash09, S. 97ff.], [GBM+13, S. 1646f.]. Die Wirkmechanismen des Internets beruhen auf ökonomischen Vorteilen, die sich aus der fehlerfreien und unbegrenzten Replizierbarkeit digitaler Informationen mit Grenzkosten von nahezu null ergeben [IL14, S. 4], [Rei03, S. 19]. Die daraus resultierende Steigerung der Reichweite und Reichhaltigkeit von Informationen ermöglicht bei hinreichender Datentransparenz den Abbau von Informationsasymmetrien zwischen Akteuren innerhalb und außerhalb des Unternehmens [Rei03, S. 18].

Technologien in Produkt-Service-Systemen

Mit Blick auf Produkt-Service-Systeme eröffnen Technologien ein erhebliches **Innovationspotential** [MDS19, S. 567], [PSR19, S. 8], [SSM14, S. 295]. Insbesondere der technologische Fortschritt von IKT dient als Wegbereiter für den in *Abschnitt 2.2.2* beschriebenen Transformationsprozess von physischen Produkten und Dienstleistungen hin zu digitalen Produkt-Service-Systemen [ASG+16, S. 561], [LG14, S. 260].

Technologien und **Produkt-Service-Systeme** stehen dabei in enger **Wechselwirkung** und bedingen einander: Einerseits werden Funktionen von Produkt-Service-Systemen erst durch den Einsatz von Technologien möglich, andererseits sind Technologien häufig nur in Verbindung mit Produkt-Service-Systemen kommerzialisierbar [KA14, S. 104], [LG14, S. 260f.]. Vor diesem Hintergrund unterscheidet SCHENKL entlang der Ebenen *Ziel*, *Leistung* und *Technologie* zwei prinzipielle **Innovationspfade** für Produkt-Service-Systeme, die in Bild 2-11 dargestellt sind [Sch15a, S. 76f.], [SSM14, S. 297f.].

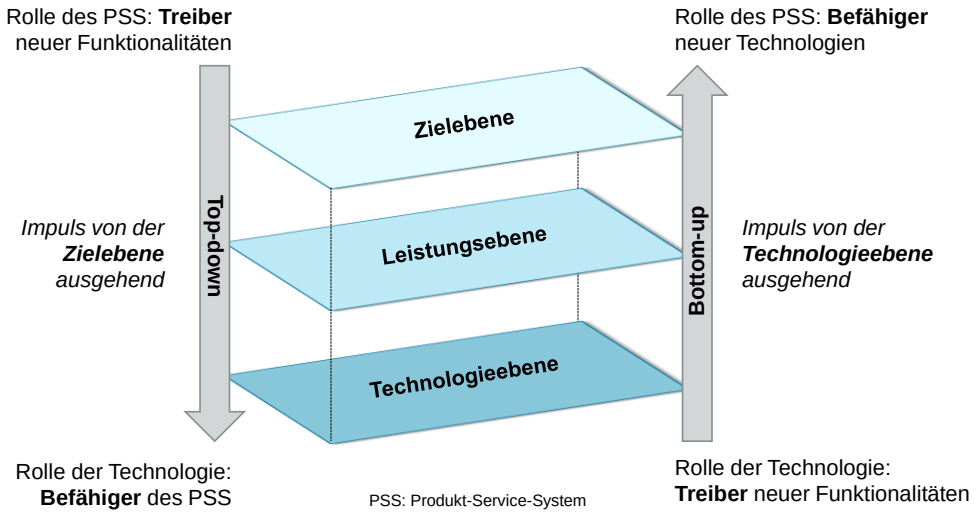


Bild 2-11: Bedarfs- und technologieinduzierte Innovationspfade für Produkt-Service-Systeme nach SCHENKL [Sch15a, S. 77]

Bei **Top-Down-Innovationen** (*Market Pull*) werden ausgehend von einer zu erreichenden Zielsetzung (Zielebene) geeignete Sach-, Dienstleistungs- und Infrastrukturelemente

definiert (Leistungsebene) und Technologien für deren Umsetzung identifiziert (Technologieebene) [Sch15a, S. 76], [SSM14, S. 297f.]. Ausgangspunkt für **Bottom-Up-Innovationen** (*Technology Push*) bilden hingegen Technologien, die neue Potentiale auf der Leistungs- und Zielebene ermöglichen [Sch15a, S. 77], [SSM14, S. 298].

Infolge der zunehmenden Durchdringung mit IKT werden die mit Produkt-Service-Systemen einhergehenden **manuellen Arbeitsabläufe** vielschichtiger und erfordern ein höheres Maß an Expertenwissen [HSR12, S. 217]. Das Aufgabenspektrum des Menschen wird breiter und ist durch einen höheren Anteil planerisch-schöpferischer Tätigkeiten gekennzeichnet (z.B. Behebung von Störungen, Erschließung von Optimierungspotentialen) [GSL14, S. 526]. Zur Unterstützung des Menschen kommen daher technologischen Innovationspotentialen für die Gestaltung der **Mensch-Maschine-Schnittstelle**[15] (vgl. fünfte Eigenschaft von CPS nach GEISBERGER und BROY in *Abschnitt 2.2.2*) eine steigende Bedeutung zu [HSR12, S. 218], [GSL14, S. 527], [SSL+14, S. 62]. Relevant sind in diesem Zusammenhang kontextsensitive Benutzerschnittstellen, die Informationen anwendungsbezogen unter Berücksichtigung der charakteristischen Situation von Mensch und technischem System (z.B. Ort, Umgebung) bereitstellen [SAW94, S. 85], [GSL14, S. 532]. Vor diesem Hintergrund eröffnet die Technologie **Augmented Reality** vielfältige Möglichkeiten, die Interaktion zwischen Mensch und Maschine im Kontext von Produkt-Service-Systemen zu unterstützen [PRE+13, S. 138], [SZP+17, S. 1256] und die Transformation vom Produzenten zum produzierenden Dienstleister zu beschleunigen [LG14, S. 261]. *Abschnitt 2.3* widmet sich detailliert dieser Thematik.

Fazit

Fortschritte im Bereich der **Informations- und Kommunikationstechnologien** bilden die Grundlage für den fortschreitenden Wandel zu digitalen Produkt-Service-Systemen. Die vorliegende Arbeit bettet sich in diesen Kontext ein und zielt auf die Ausschöpfung von **Innovationspotentialen**, die sich ausgehend von der Technologie **Augmented Reality** für die Gestaltung der **Mensch-Maschine-Schnittstelle** in Produkt-Service-Systemen ergeben. In Bezug auf das Ebenenmodell nach SCHENKL fokussiert die vorliegende Arbeit auf der Technologieebene die Potentiale der Technologie AR. Davon ausgehend sind mit dem Bottom-Up- und Top-Down-Ansatz **zwei strategische Stoßrichtungen** für die Arbeit relevant, die sich dahingehend unterscheiden, ob ein Kundenbedürfnis (*Zielebene*) oder eine bestimmte AR-Anwendung (*Technologiebene*) als Ausgangspunkt für die Erschließung von AR für das Produkt-Service-Geschäft dient.

---

[15] Industrielle Arbeit lässt sich als *Mensch-Maschine-System* auffassen, in welchem Mensch und Maschine zusammenwirken [Sch96, S. 21]. Der Begriff *Mensch-Maschine-Schnittstelle* bezeichnet alle Komponenten innerhalb des Mensch-Maschine-Systems, die der funktionellen Interaktion zwischen dem Menschen und technischen Systemen aller Art dienen [Sch, 96, S. 21]. Die Entwicklung von Methoden und Technologien zur benutzergerechten Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen ist Gegenstand des Forschungsgebiets der *Mensch-Maschine-Interaktion* [Wac13, S. 361].

2.3 Augmented Reality (AR) für das Produkt-Service-Geschäft

Die folgenden Abschnitte widmen sich dem Einsatz der Technologie *Augmented Reality* für das Produkt-Service-Geschäft. In *Abschnitt 2.3.1* werden zunächst die historische Entwicklung und der Status quo von AR beleuchtet. Darauf aufbauend gibt *Abschnitt 2.3.2* einen Überblick der möglichen Einsatzfelder von AR in der Industrie sowie den damit verbundenen Nutzenpotentialen und Herausforderungen. Abschließend beschreibt *Abschnitt 2.3.3* die technischen Grundlagen von AR. Im Vordergrund stehen dabei das technische Funktionsprinzip sowie die grundlegende Architektur mit den Komponenten, aus denen sich ein AR-System zusammensetzt.

2.3.1 AR im Wandel der Zeit

Die **Ursprünge von AR**[16] reichen bis in die Anfänge des 20. Jahrhunderts zurück: Lange bevor die Voraussetzungen für eine technische Realisierung von AR geschaffen waren, haben Schriftsteller wie L. FRANK BAUM und PHILIP K. DICK den Grundgedanken einer erweiterten Realität in ihren Romanen *The Master Key* [Bau01] und *The Minority Report* [Dic56] vorausgedacht [Ped17, S. 60f.]. Von experimentellen Laborversuchen über Nischenanwendungen im Militär bis zum industriellen Einsatz ist im Laufe der Zeit aus der einstigen Utopie schrittweise Realität geworden [Ped17, S. 11].

Historische Entwicklung von AR

Erste rudimentär funktionsfähige Systeme im **Laborstadium** enstanden in den 1960er-Jahren mit dem von HEILIG entwickelten multisensorischen Motorrad-Simulator *Sensorama* [KR13, S. 7] sowie dem von SUTHERLAND entwickelten *The Sword of Damocles*, dem ersten auf dem Kopf getragenen Ausgabegerät, das aufgrund seines Gewichts an der Raumdecke fixiert werden musste [SH16, S. 4f.], [BCL15, S. 85f.], [Tön10, S. 3]. In seinem Werk *The Ultimate Display* hatte SUTHERLAND 1965 noch vor der Einführung des Personal Computers die Idee einer computergestützten Erweiterung der Sinneswahrnehmung postuliert, die letztlich den Grundstein für AR und VR legen sollte [Sut65, S. 506].

In den 1970er-Jahren wurden die experimentellen Ergebnisse für **militärische Zwecke** aufgegriffen und weiterentwickelt [Ped17, S. 11]. 1974 integrierte die US Navy das erste an einem Helm befestigte Sichtsystem unter dem Namen *Visual Target Acquisition Set* in Kampfflugzeuge des Typs F-4 Phantom II [Ped17, S. 68]. Es bot die Möglichkeit, mit einem im Sichtfeld angezeigten Fadenkreuz Ziele anzuvisieren und die Waffensysteme des Flugzeugs auszurichten. Weiterentwickelte Sichtsysteme fanden in den 1980er-Jahren u.a. in Kampfhubschraubern wie dem AH-64 Apache Einzug [LZS+13, S. 2].

---

[16] Eine Darstellung der *historischen Entwicklung von AR* kann im Rahmen der vorliegenden Arbeit nur am Rande behandelt werden. Für eine umfassende Übersicht der Historie sei auf die Arbeiten von PEDDIE [Ped17, S. 59ff.], BILLINGHURST ET AL. [BLC15, S. 85ff.] sowie SCHMALSTIEG und HÖLLERER [SH16, S. 4ff.] verwiesen.

Erstmalig verwendet wurde der Begriff *Augmented Reality* 1992 von CAUDELL und MIZELL, die mit einem System für die Unterstützung von Kabelverlegungsarbeiten in Flugzeugen von Boeing eine der ersten industriellen Anwendungen von AR beschrieben [CM92, S. 659ff.]. Ein Jahr später präsentierten FEINER ET AL. unter dem Namen *KARMA* den ersten Prototypen für eine AR-gestützte Instandhaltung am Beispiel eines Laserdruckers [FMS93, S. 53ff.]. Aufbauend auf diesen Arbeiten und in Verbindung mit der steigenden Rechenleistung rückt Ende der 1990er-Jahre zunehmend der **industrielle Einsatz** von AR in das Blickfeld der Forschung [FFB+18, S. 13359]. Als eine der weltweit ersten nationalen Forschungsinitiativen zum industriellen Einsatz von AR zählt das von 1999 bis 2003 durch das BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (BMBF) geförderte Leitprojekt *ARVIKA* [Fri02, S. 3f.], [FW04, S. 13ff.]. Gegenstand war die Entwicklung von AR-Technologien zur Unterstützung von Arbeitsprozessen in Entwicklung, Produktion und Service [FW04, S. 13]. Vertieft wurden die Ergebnisse in den darauffolgenden Projekten *ARTESAS* (2004 bis 2006) [ES08, S. 279f.], *AVILUS* (2008 bis 2011) [ASW+12, S. 4ff.] und *ARVIDA* (2013 bis 2016) [BBH+17, S. 2ff.], mit denen wesentliche Grundlagen für den industriellen Einsatz von AR gelegt wurden.

AR in der Gegenwart

In den vergangenen Jahren ist AR in **zahlreichen Anwendungsfeldern** in unterschiedlichen Wirtschaftszweigen erprobt worden. Das Spektrum reicht von Industrie und Militär über Entertainment bis hin zu Medizin, Architektur und Tourismus [Auk17, S. 229ff.], [Ped17, S. 87ff.]. Treiber für den industriellen Einsatz von AR ist der in *Abschnitt 2.2.2* beschriebene Wandel zu cyber-physischen Systemen: Indem die im digitalen Zwilling hinterlegten und exponentiell wachsenden Daten kontextsensitiv zugänglich gemacht werden, ermöglicht AR einen **Brückenschlag zwischen der virtuellen und physischen Welt** [PH16, S. 4], [LCT+17, S. 281], [SH16, S. 3]. Aufgrund der Möglichkeit, Informationen unmittelbar auf den durch den Menschen wahrnehmbaren dreidimensionalen Raum zu übertragen, bezeichnen KIPPER und RAMPOLLA AR als dritte **Entwicklungsstufe der Mensch-Maschine-Interaktion**, die sich aus der Weiterentwicklung der eindimensionalen Kommandozeile (*Command Line Interface*) und der zweidimensionalen graphischen Benutzeroberfläche (*Graphical User Interface*) ergeben hat [KR13, S. 51ff.].

Die steigende Bedeutung von AR beruht auf dem gegenläufigen Verlauf von **sinkenden Kosten** und zunehmender **technologischer Reife** [AGM18, S. 304ff.], [Cra13, S. 6]. Zentrale Treiber für die technologische Reife sind die in *Abschnitt 2.2.3* beschriebenen Fortschritte im Bereich der IKT, die steigende Rechenleistung entlang des MOORE'SCHEN Gesetzes sowie die zunehmende Miniaturisierung von Elektronikkomponenten [Ped17, S. 203], [PRE+13, S. 138]. Besonders stark zeigt sich der technische Fortschritt als Befähiger für mobile Formen von AR, welche in den letzten Jahren verstärkt in den Fokus von Wissenschaft und Industrie gerückt sind [Cra13, S. 258], [BC11, S. 97]. Eine Schlüsselrolle kommt der Verbreitung mobiler Endgeräte wie Smartphones und Tablets zu, welche die nötigen Voraussetzungen für die mittel- bis langfristige Adoption von AR schaffen [TMN+18, S. 14], [BBH+17, S. 6].

Verdeutlicht wird die steigende Relevanz von AR durch die Positionierung der Technologie im jährlich vom Marktforschungsinstitut GARTNER herausgegebenen **Hype Cycle** [FRB17, S. 3]. Dieser stellt eine idealtypische Repräsentation von fünf Phasen dar, die widerspiegeln, wie eine Technologie von ihrer Bekanntgabe bis zum produktiven Einsatz von der Öffentlichkeit wahrgenommen wird [FRB17, S. 4f.]. Auf der vertikalen Achse ist der Grad der öffentlichen Erwartungen aufgetragen, auf der horizontalen Achse die Zeit [FRB17, S. 7]. Der Verlauf gleicht dem gedämpften Abklingen einer Schwingung, die mit dem Gipfel der überzogenen Erwartungen und dem Tal der Enttäuschungen zwei Ausschläge aufweist [Tön10, S. 169]. Wie in Bild Bild 2-12 zu sehen, befindet sich AR im Hype Cycle für das Jahr 2018 auf dem Scheitelpunkt im Tal der Enttäuschungen und steht unmittelbar vor der **Schwelle zum produktiven Einsatz**, deren Überschreiten Gartner für die 2018 folgenden fünf bis zehn Jahre[17] prognostiziert [Wal18].

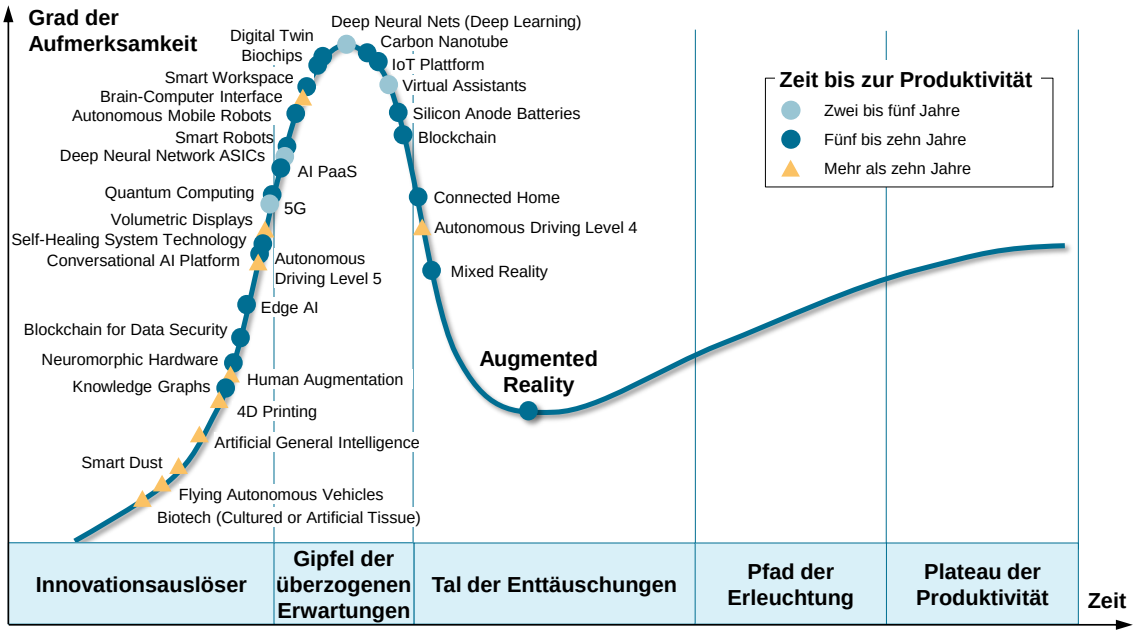


Bild 2-12: Augmented Reality im Hype Cycle 2018 von GARTNER [Wal18]

Mit der zunehmenden Reife von AR geht ein erhebliches wirtschaftliches Potential einher, das sich in aktuellen **Marktprognosen** widerspiegelt [RSW17, S. 5]: So schätzt die Marktforschungsagentur MARKETSANDMARKETS für das Jahr 2024 ein Marktvolumen in Höhe von knapp 73 Mrd. US-$, was gegenüber 2019 mit 11 Mrd. US-$ einer Steigerung um einen Faktor von nahezu sieben und einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate von rund 46% entspricht [Mar20]. Studien weiterer Marktforschungsagenturen wie DIGI-CAPITAL und INTERNATIONAL DATA CORPOTATION zeichnen ein ähnlich positives

[17] Seit dem Jahr 2019 wird AR paradoxerweise nicht mehr separat im Hype Cycle aufgeführt, da laut GARTNER das Plateau der Produktivität – trotz der im Hype Cycle 2018 prognostizierten fünf bis zehn Jahre – bereits erreicht sei. In Form von *AR Cloud* und *Augmented Intelligence* findet AR jedoch in zwei konkreten Ausprägungen weiterhin im Hype Cycle 2019 Berücksichtigung [Bas19-ol], [MMD20, S. 7].

Bild mit hohen zweistelligen Wachstumsraten, wenngleich Abweichungen im Hinblick auf die absoluten Zahlen bestehen [Dig19], [IDC19]. Eine von PTC durchgeführte Studie aus dem Jahr 2017 impliziert, dass ein signifikanter Teil des prognostizierten Marktvolumens auf das Produkt-Service-Geschäft zurückzuführen sein wird, da höhere Verkaufserlöse, ein verbessertes Endkundenerlebnis, Produktdifferenzierung und effizienterer Service zu den am häufigsten genannten strategischen Zielen von AR gehören [PH17, S. 17].

Der noch junge und in der Entstehung befindliche Markt von AR ist durch eine **hohe Volatilität und Dynamik** geprägt: Infolge des aufstrebenden Marktvolumens treten zahlreiche Start-Ups und Technologiekonzerne in den Markt von AR ein und intensivieren den Wettbewerb entlang der Wertschöpfungskette [Ped17, S. 291f.], [AGM18, S. 304]. Gleichwohl zeichnen sich erste Ansätze für eine Konsolidierung ab, die u.a. in Akquisitionen von Start-Ups durch Technologiekonzerne wie APPLE (z.B. Übernahme des AR-Pioniers METAIO in 2015) erkennbar werden [RSW17, S. 6f.], [AGM18, S. 306].

Fazit

Die Beleuchtung der historischen Entwicklung zeigt, dass AR eine **aufstrebende Technologie** ist. Auch wenn ihre Ursprünge bis in die 1960er-Jahre zurückreichen, hat sie erst in jüngster Zeit infolge des technischen Fortschritts die erforderliche **Reife für den Produktiveinsatz** erlangt. Vor diesem Hintergrund zeichnet sich ein signifikantes **wirtschaftliches Potential** ab. Die in der vorliegenden Arbeit beschriebene Systematik zielt darauf ab, die Erschließung dieses Potentials für das Produkt-Service-Geschäft produzierender Unternehmen methodisch zu unterstützen.

2.3.2 Nutzen, Anwendungsfelder und Herausforderungen

Der **Nutzen von AR** wird deutlich mit Blick auf die zunehmende Vielzahl und Vielfalt an Daten, die mit dem Wandel zu cyber-physischen Systemen verbunden sind (vgl. *Abschnitt 2.2.2*). Bislang wird der Zugang zu diesen Daten in der Regel über zweidimensionale Repräsentationen ermöglicht (z.B. auf einem Monitor oder Ausdruck) [Ped17, S. 10], [Cra13, S. 4f.]. Da die menschliche Sinneswahrnehmung jedoch im dreidimensionalen Raum erfolgt, besteht eine als **kognitive Distanz** bezeichnete Kluft zwischen der Form, in der Informationen präsentiert werden und dem Kontext, auf den sie sich beziehen [PH16, S. 5], [Ped17, S. 10]. Das Überbrücken dieser Distanz ist mit einer **kognitiven Belastung** verbunden, die Einfluss auf die Fähigkeit nimmt, Informationen aufzunehmen und zu verarbeiten [PH16, S. 5]. Die **kontextsensitive Überlagerung von realer und virtueller Welt** mittels AR führt nun jedoch dazu, dass die physische Umgebung selbst zur Benutzeroberfläche wird: Informationen werden zum richtigen Zeitpukt und am richtigen Ort zur Verfügung gestellt [PRE+13, S. 138], [MS14, S. 2], wodurch sich die kognitive Distanz und folglich auch die kognitive Belastung für die Informationsaufnahme und -verarbeitung maßgeblich verringern [PH16, S. 5], [MS16, S. 18], [Ped17, S. 10f.].

Vor diesem Hintergrund zeigt sich, dass sich die in dem Begriff AR implizierte Erweiterung der Realität letztlich auf eine **Erweiterung der menschlichen Sinneswahrnehmung** und damit der **Fähigkeiten des Menschen**[18] selbst bezieht [Ped17, S. 4f.], [KR13, S. 30]. PORTER und HEPPELMANN unterscheiden **drei Funktionen**, wie AR die Fähigkeiten des Menschen erweitern kann [PH16, S. 5ff]:

- **Visualisieren:** Mittels AR werden Informationen und Zusammenhänge, die der menschlichen Sinneswahrnehmung nicht zugänglich sind, sichtbar gemacht [PH16, S. 5], [MS14, S. 21], [ML14, S. 208]. Ein prominentes Beispiel ist der Einsatz von AR im Sinne eines *Röntgenblicks*, indem verdeckte Objekte durch die Überlagerung virtueller Objekte wahrnehmbar gemacht werden [SH16, S. 254], [Ped17, S. 5].
- **Anleiten:** Die Ausführung komplexer manueller Tätigkeiten wird durch AR unterstützt, indem der Anwender kontextbezogen durch Schritt-für-Schritt-Anweisungen instruiert wird [PH16, S. 5f.], [KR13, S. 14], [Ped17, S. 83]. Hierdurch eröffnen sich Potentiale zur Steigerung der Produktivität und Arbeitseffizienz [TMN+18, S. 15], [BMF+17, S. 437]. Mit Blick auf mobile AR-Systeme kann zudem eine ortsunabhängige Unterstützung des Anwenders erfolgen [ZWB+18, S. 32].
- **Interagieren:** AR eröffnet neue Möglichkeiten, wie Menschen intuitiv mit Systemen interagieren können: So lassen sich physische durch virtuelle Steuerelemente partiell erweitern oder substituieren, wodurch die Interaktion räumlich entkoppelt wird [PH16, S. 6], [Cra13, S. 261], [SH16, S. 294]. Durch die Kombination von physischen und virtuellen Objekten werden zudem mehrere Reizmodaliäten gleichzeitig angesprochen, woraus positive Effekte auf die Vermittlung von Inhalten und den Aufbau einer emotionalen Bindung resultieren [MS14, S. 76f.], [KAY17, S. 399ff.].

Anwendungsfelder in der Industrie

Die von PORTER und HEPPELMANN beschriebenen Funktionen können in unterschiedlichen **industriellen Kontexten** Anwendung finden. Voraussetzung für den erfolgreichen Einsatz ist dabei eine hohe Übereinstimmung zwischen den Funktionen von AR, der zugrundeliegenden Aufgabe und den individuellen Fähigkeiten des Anwenders (*Task-Technology-Fit*) [PRE+13, S. 139], [GT95, S. 218]. Das steigende Interesse an und die zunehmende Reife von AR führen zu einer fortlaufenden Verbreiterung der Anwendungsfelder [BCL15, S. 75], [BC11, S. 97], [FW04, S. 23], [BMF+17, S. 433]. In der Konsequenz existiert eine große, schwer zu überblickende **Vielzahl und Vielfalt an Einsatzmöglichkeiten** [Ped17, S. 159], [Cra13, S. 224f.], [MS14, S. 5]. Diese beziehen sich auf nahezu

[18] Die Erweiterung der kognitiven Fähigkeiten durch AR spiegelt sich in dem von PAPAGIANNIS geprägten Begriff *Augmented Human* wider [Pap17]. Aus soziotechnischer Perspektive resultiert die zunehmende Verschmelzung von Mensch und Technologie in der Aufteilung der menschlichen Kognition in einen biologischen und einen digital erweiterten Teil [RSW17, S. 18].

alle Branchen – vom Maschinen- und Anlagenbau [GAF+04, S. 203ff.] über die Automobilindustrie [GBL+16, S. 433ff.] und den Schiffbau [FFB+18, S. 13362ff.] bis zur Luft- und Raumfahrt [Ped17, S. 92ff.]. Neben der Unterscheidung nach Branchen lassen sich die Anwendungsfelder von AR entlang der **Lebenszyklusphasen eines technischen Systems** unterteilen [Fit11, S. 202], [FFB+18, S. 13361].

- **Entwicklung:** AR ermöglicht es, für die Produktentwicklung relevante Daten als virtuelle Modelle realitätsgetreu zu visualisieren und zu analysieren [LNO17, S. 5ff.], [VP10, S. 11]. Über rein immersive Visualisierungen mittels VR hinausgehend können gemischt-virtuelle Umgebungen erzeugt werden, in denen physische Komponenten mit virtuellen, in der Entwicklung befindlichen Konstruktionsständen und Simulationsdaten kombiniert werden (*Mixed Mock-Up*) [FW04, S. 14], [OZS+11, S. 655]. Dadurch können bereits während der Entwicklung verlässliche Einschätzungen z.B zu Anmutung und Komfort des Produktes getroffen sowie Zeit und Kosten für den Bau physischer Protoypen minimiert werden [Auk17, S. 250], [BBH+17, S. 14ff.].

- **Produktion:** Mit Hilfe von AR können komplexer werdende Arbeitsabläufe in der Produktion unterstützt werden [OYN08, S. 2718ff.], [KAY17, S. 397]. In Form von Werkerassistenzsystemen werden etwa Anweisungen für die Montage, Qualitätsprüfung und Kommissionierung kontextsensitiv in das Sichtfeld der Handlungsperson eingeblendet [BBF+17, S. 311], [SBP+16, S. 644ff.], [SDF+04, S. 137ff.]. Ferner lassen sich Prozess- und Zustandsdaten unmittelbar an den zugehörigen Maschinen visualisieren [OGL08, S. 4ff.] sowie Prozesse und Entscheidungen in der Fertigungsplanung unter Berücksichtigung der bestehenden Produktionsumgebung unterstützen (z.B. Layout-Entwürfe für die Fabrikplanung) [BS13, S. 316ff.], [SH16, S. 14f.].

- **Marketing und Vertrieb:** AR ermöglicht eine erhöhte Interaktivität und Personalisierung in Marketing- und Vertriebsprozessen [KAY17, S. 399], [SH16, S. 25]. Mit Hilfe von AR lassen sich Produktfunktionalitäten anhand von virtuellen Modellen veranschaulichen, Produkte maßstabsgetreu in der geplanten Einsatzumgebung visualisieren und Printmedien durch animierte 3D-Modelle zum Leben erwecken [Ped17, S. 123ff.], [KR13, S. 88ff.]. Die erhöhte Interaktivität und Personalisierung verbessert die Kommunikation mit dem Kunden [MS14, S. 76ff.] und ermöglicht es, Kauf- und Investitionsentscheidungen unter Berücksichtung der realen Einsatzumgebung zu treffen (sog. *Tryvertizing*) [MS14, S. 93]. In der Konsequenz können Planungsfehler und das Risiko für einen Fehlkauf minimiert werden [Ped17, S. 125f.].

- **After-Sales:** Mit dem Ziel der steigenden Komplexität von Produkten zu begegnen, lassen sich mittels AR Daten aus der Produktentwicklung für die Unterstützung des After-Sales nutzen [FW04, S. 15]. Speziell Prozesse im technischen Kundendienst (z.B. Installation und Instandhaltung) erfordern ein hohes Maß an fach- und kundenspezifischem Wissen, für dessen Suche und Bereitstellung in der Regel lediglich eng bemessene Zeitfenster zur Verfügung stehen [MNT14, S. 1]. Der Einsatz von AR ermöglicht es, Informationen zur Durchführung der Arbeitsschritte und über die

Dienstleistung selbst (z.B. Prozesse und Planungsinformationen) sicherheits-, fach- und zeitgerecht zur Verfügung zu stellen [MNT18, S. 51], [FHM+15, S. 5f.]. Durch die ortsungebundene Informationsbereitstellung kann auch ungeschultes Personal zur Durchführung komplexer Tätigkeiten befähigt (*Self-Service*) [MNT14, S. 6] sowie der Komptenzaufbau in der Aus- und Weiterbildung gezielt gefördert werden [HBR19, S. 398ff.], [TMN+18, S. 4]. In der Konsequenz resultieren positive Effekte auf die Wissensverfügbarkeit, Reaktionsgeschwindigkeit sowie die Produktivität im Rahmen von Service-Einsätzen und Trainings [Ped17, S. 98], [RAN+04, S. 220ff.].

Die Einsatzfelder und damit einhergehenden Nutzenvorteile von AR können sich sowohl auf die **Wertschöpfungsprozesse** innerhalb des betrachteten Unternehmens als auch des Kunden beziehen [PH16, S. 8], [CBL18, S. 3]. Im zuerst genannten Fall zielen die Nutzenpotentiale auf die Effizienzverbesserung entlang der operativen Abläufe der **internen Wertschöpfungskette**, im zuletzt genannten Fall auf die **Differenzierung und Diversifizierung** der Markleistung im Produkt-Service-Geschäft [MS14, S. 79], [PH16, S. 8f.].

Innerhalb der Einsatzfelder lassen sich AR-Anwendungen nach ihrer **industriellen Reife** differenzieren. REGENBRECHT unterscheidet entlang der Dimensionen **Einzigartigkeit** und **Gebrauchstauglichkeit** drei Reifegrade [Reg07, S. 287ff.], die Bild 2-13 darstellt.

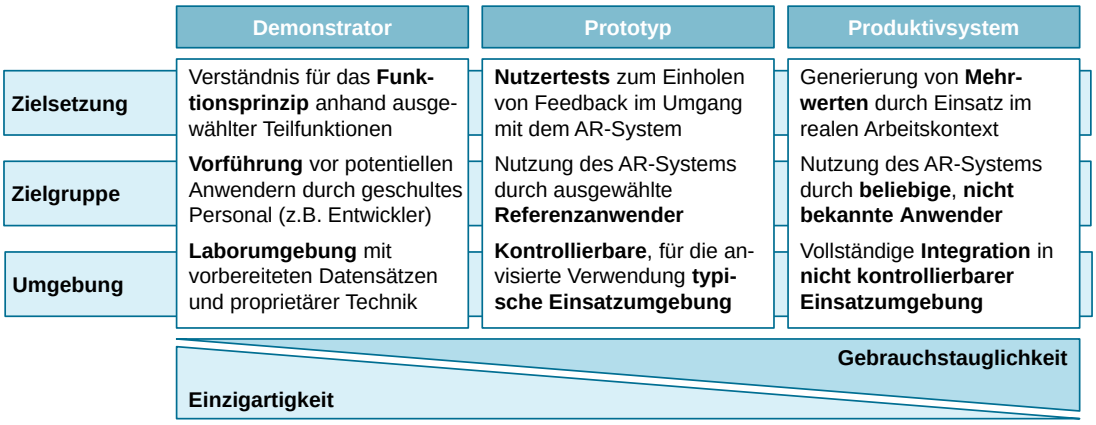


Bild 2-13: Reifegrade industrieller AR-Anwendungen in Anlehnung an REGENBRECHT [Reg07, S. 287]

- **Demonstrator:** Die geringste industrielle Reife weisen Demonstratoren auf. Dabei handelt es sich um Unikate mit beschränkter Gebrauchstauglichkeit. Als Machbarkeitsstudie erbringen sie den Nachweis über die Realisierbarkeit einer AR-Anwendung anhand ausgewählter Teilfunktionen. Häufig erfolgt eine Vorführung durch geschultes Personal in einer speziell vorbereiteten Laborumgebung [Reg07, S. 288].
- **Prototyp:** Aus der Weiterentwicklung von Demonstratoren resultieren Prototypen, die in einer kontrollierbaren, für die anvisierte Verwendung typischen Einsatzumgebung durch ausgewählte Referenzanwender erprobt werden. Mit Hilfe von Prototypen werden im Rahmen von Nutzertests Annahmen über die Gebrauchstauglichkeit

und den Nutzen überprüft. Aus den gewonnenen Erkenntnissen ist eine Entscheidung über die Entwicklung eines Produktivsystems zu treffen [Reg07, S. 289].

- **Produktivsystem:** Bei Produktivsystemen handelt es sich um skalierbare und vollständig in den Arbeitskontext integierte AR-Anwendungen, deren Entwicklung abgeschlossen ist. Um eine reibungslose Funktionsfähigkeit im Feld unter variablen Einflüssen durch Anwender und Einsatzumgebung zu gewährleisten, müssen Produktivsysteme gegenüber Demonstratoren höheren Anforderungen an die Robustheit und Verlässlichkeit genügen. Voraussetzung für den wirtschaftlichen Erfolg sind das Vorhandensein eines hinreichend großen Markts sowie Mehrwerte, die aus der Nutzung der AR-Anwendung resultieren [Reg07, S. 290].

Herausforderungen im industriellen Einsatz

Die wissenschaftliche Literatur zum Status quo der industriellen Anwendung von AR zeigt, dass nur ein geringer Anteil an AR-Anwendungen den Reifegrad eines Produktivsystems bislang erreicht hat [Fit11, S. 207f.], [Reg07, S. 300ff.]. Die Gründe liegen in **technologieimmanenten Herausforderungen**, nämlich einerseits *technischen Limitationen* und andererseits einer nicht durchgängigen *sozialen Akzeptanz*.

Um einen flächendeckenden Einsatz zu ermöglichen, müssen **technische Limitationen** überwunden werden, die den hohen Anforderungen an die Robustheit und Verlässlichkeit in der Industrie bislang im Wege stehen [Fit11, S. 208], [CBH+17, S. 6941]. Diese zeigen sich u.a. im Hinblick auf Datenbrillen, die trotz erheblicher Fortschritte in der Vergangenheit vielfach noch Defizite bezüglich der **Ergonomie** und **Leistungsfähigkeit** aufweisen [ML14, S. 210], [Cra13, S. 214f.]. Hierzu zählen u.a. der unzureichende Tragekomfort [NN18, S. 47], die eingeschränkte Kompatibilität zu Sehhilfen [SBE+04, S. 37f.], die geringe Batterie- und Betriebslaufzeit [CBH+17, S. 6941] sowie Einschränkungen der Darstellungsqualität hinsichtlich Kontrast, Auflösung und Sichtfeld [MS16, S. 20].

Das geometrisch korrekte Einpassen der virtuellen Informationen erfordert ein hohes Maß an Rechenleistung und ist abhängig von häufig **schwankenden Umwelteinflüssen** aus der Einsatzumgebung (z.B. Lichtverhältnisse, Netzwerkverfügbarkeit) [Cra13, S. 215f.], [RCM+07, S. 24]. Unter ungünstigen Bedingungen können Abweichungen und zeitliche Verzögerungen in der Darstellung der virtuellen Inhalte entstehen, die den Arbeitsprozess negativ beeinflussen [MSH+14, S. 30], [SH16, S. 243].

Die Erstellung von AR-Applikationen erfordert dezidiertes **Technologiewissen** und ist häufig mit **hohem personellen Aufwand** verbunden [DM15, S. 22], [MS16, S. 26]. Das Fehlen brachenübergreifender **Standards und Schnittstellen** erschwert die Prozessintegration, die Kopplung mit Standardsoftware sowie die Interoperabilität zwischen verschiedenen AR-Systemen [MSH+14, S. 37], [MS14, S. 144]. Da der Nutzen von AR häufig nur schwer monetär zu quantifizieren ist, bestehen zudem Unsicherheiten, ob sich die Investitionen für die Entwicklung von AR-Applikationen mittel- bis langfristig rentieren werden [MSH+14, S. 30], [MS14, S. 145].

Für die erfolgreiche Einführung von AR ist neben der Überwindung technischer Limitationen auch die **soziale Akzeptanz** ein entscheidender Faktor [MSH+14, S. 37]. Insbesondere Datenbrillen stoßen aufgrund ihrer Neuheit und noch unförmig und fremd anmutenden Erscheinung auf Vorbehalte [BCL15, S. 232], [BMF+17, S. 437]. Diese beziehen sich u.a. auf die Wirkung auf Außenstehende bei der Nutzung des AR-Systems (z.B. Aussehen des Nutzers) sowie die Kompatibilität zu sozialen Konventionen (z.B. Blickkontakt bei Konversationen) [CF11, S. 22], [RSW17, S. 6], [BCL15, S. 232]. Aufgrund der Vielzahl der über die Sensoren des AR-Systems erfassten Daten sind zudem **Anforderungen des Datenschutzes** zu beachten, die sowohl die personenbezogenen Daten des Anwenders als auch umstehender Personen betreffen [MS16, S. 26], [BMN+18, S. 144].

Mit Blick auf die längerfristige Nutzung von AR bestehen noch Unklarheiten hinsichtlich der **ergonomischen und gesundheitlichen Auswirkungen** [BMN+18, S. 144] sowie der langfristigen Effekte auf die kognitiven Fähigkeiten des Anwenders [Auk17, S. 347], die bislang noch nicht ausreichend untersucht wurden [RSW17, S. 5]. Mit steigender Abhängigkeit zwischen Mensch und Technologie können Fehlfunktionen der AR-Applikation zu unerwünschten gesundheitlichen und wirtschaftlichen Effekten mit nachfolgenden **rechtlichen Fragestellungen** (z.B. Haftung) führen [MS14, S. 145], [Auk17, S. 347]. Durch die potentiell unbegrenzte Möglichkeit, Informationen in das Sichtfeld des Anwenders einzublenden, muss eine **Überforderung** [MSH+14, S. 36] und **Ablenkung** [CBH+17, S. 6943] vermieden werden, damit sich keine negativen Auswirkungen auf das Arbeitsergebnis und die personenbezogene Sicherheit einstellen [Kiy16, S. 80].

Fazit

Die Ausführungen zeigen, dass AR vielfältige **Nutzenpotentiale** in **unterschiedlichen Branchen** und entlang des **Lebenszyklus technischer Systeme** bietet. Gleichwohl zeigt ein Blick auf den Status quo der industriellen Umsetzung, dass infolge **technologieimmanenter Herausforderungen** bislang nur ein Teil der AR-Applikationen die **Reife für den Produktiveinsatz** erlangt hat. Mit Blick auf die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit sind die skizzierten Einsatz- und Nutzenpotentiale für die Weiterentwicklung des Produkt-Service-Geschäfts zu strukturieren und die beschriebenen Herausforderungen im Rahmen der strategischen Planung geeignet zu berücksichtigen.

2.3.3 Funktionsprinzip und Architektur von AR-Systemen

Auf übergeordneter Ebene lässt sich das **Funktionsprinzip** einer AR-Applikation durch zwei iterativ zu durchlaufende Schritte beschreiben [Cra13, S. 39], [CWC+19, S. 2f.]: Der erste Schritt besteht in der Erfassung des gegenwärtigen Zustands der physischen und der virtuellen Welt [Cra13, S. 39], [CWC+19, S. 2]. Im zweiten Schritt erfolgt darauf aufbauend die Registrierung von physischer und virtueller Welt, so dass der Anwender die Objekte der virtuellen Welt als Bestandteil der physischen Welt wahrnimmt [Cra13, S. 39], [CWC+19, S. 2f.]. Um dieses Funktionsprinzip umzusetzen, sind diverse **Software- und Hardware-Komponenten** erforderlich [KR13, S. 29].

Die für AR relevante **Software**[19] lässt sich nach CRAIG in vier Gruppen unterteilen [Cra13, S. 125]: (1) Software-Komponenten, die unmittelbar in der AR-Applikation selbst zum Einsatz kommen, werden in der Regel über **AR-Software-Bibliotheken** (z.B. ARToolKit) zur Verfügung gestellt und unterstützen u.a. die Erfassung, Integration und Auswertung der Sensorsignale sowie das Rendering der virtuellen Objekte [Cra13, S. 126ff.], [Ped17, S. 170ff.]. (2) Die zweite Gruppe umfasst Software, die der **Entwicklung der AR-Applikation** dienen, jedoch nicht unmittelbar in dieser Verwendung finden (z.B. integrierte Softwareentwicklungsumgebungen wie Visual Studio) [Cra13, S. 136]. (3) Zur dritten Gruppe zählen **Modellierungswerkzeuge** (z.B. Autodesk Maya) zur Erstellung und Bearbeitung der virtuellen Inhalte, etwa in Form zwei- und dreidimensionaler Grafiken, die mittels AR dargestellt werden [Cra13, S. 136ff.], [Auk17, S. 15f.]. (4) Die vierte Gruppe umfasst darüberhinausgehende **weitere Software**, die u.a. die Simulation, das Debugging sowie das Content- und Lizenzmanagement unterstützen [Cra13, S. 147f.].

Die Ausführung der AR-Applikation erfordert ein AR-System mit spezifischen **Hardware-Komponenten**, das in Wechselwirkung mit dem Anwender und dessen Umgebung steht. Bild 2-14 stellt die **Architektur** eines solchen AR-Systems dar [Vog08, S. 30].

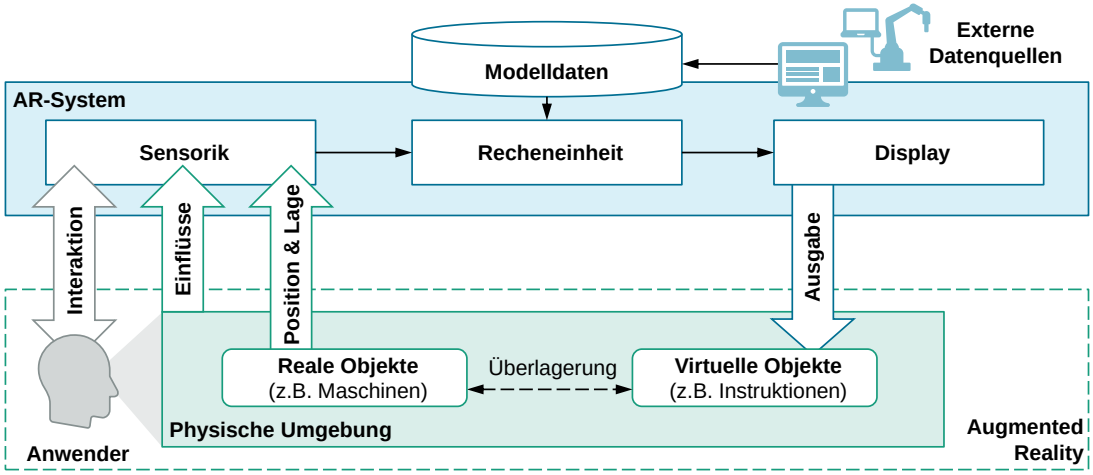


Bild 2-14: Architektur eines AR-Systems in Anlehnung an VOGL [Vog08, S. 30]

Mit Hilfe von **Sensorik** wird der Anwender sowie dessen Umgebung erfasst [Vog08, S. 30], [Auk17, S. 196]. Die ermittelten Signale werden an die **Recheneinheit** weitergleitet, wo sie ausgewertet und mit aufbereiteten **Modelldaten** derart in Bezug gesetzt werden, dass diese sich hinsichtlich ihrer Größe, Lage und Orientierung im Raum kongruent zur Perspektive des Anwenders verhalten [Vog08, S. 30], [SH16, S. 3]. Über ein **Display** werden die virtuellen Objekte im Sichtfeld des Anwenders visualisiert und mit Objekten der realen Umgebung verknüpft [Vog08, S. 30], [FFB+18, S. 13360].

[19] In Forschung und Wirtschaft wurde in den vergangenen Jahren eine große Bandbreite an *Softwarewerkzeugen* für die Erstellung und Nutzung von AR entwickelt. Einen detailierten Überblick geben u.a. die Arbeiten von BILLINGHURST ET AL. [BCL15, S. 147ff.] und HERPICH ET AL. [HGM17, S. 1433ff.].

Sensorik

Die in AR-Systemen verbauten Sensoren dienen der räumlichen Positionserfassung (engl. **Tracking**), der Aufnahme von Eingaben aus der **Interaktion** mit dem Anwender sowie der Erfassung von **Umgebungseinflüssen** [Cra13, S. 40ff.].

- **Tracking:** Sensoren für das Tracking zielen darauf ab, die zeitlich veränderliche Position und Lage von Objekten in der Umgebung sowie des AR-Systems möglichst präzise und in Echtzeit zu bestimmen [Bro13, S. 252f.], [BCL15, S. 103]. Das Tracking lässt sich durch unterschiedliche physikalische Wirkprinzipien realisieren (z.B. magnetisch, laufzeitbasiert), die mit spezifischen Vor- und Nachteilen verbunden sind [Tön10, S. 44ff.], [BCL15, S. 104ff.]. In der Praxis werden hauptsächlich optische und inertiale sowie Kombinationen verschiedener Trackingverfahren (*hybrides Tracking*) verwendet [AMB+17, S. 46f.], [SH16, S. 105]. Bei optischen Trackingverfahren werden durch das Zusammenspiel von Kameras und Methoden der Bilderkennung entweder in der Umgebung bzw. an Objekten befindliche Referenzmarken (*markerbasiertes Tracking*) oder natürliche Merkmale (*markerloses Tracking*) zur Positionserfassung genutzt [Bro13, S. 256ff.], [CBH+17, S. 6932ff.]. Besondere Aufmerksamkeit wird in jüngster Zeit zudem Tiefensensoren zuteil, die u.a. mittels Infrarot laufzeitbasiert Informationen zum Abstand der in der Umgebung befindlichen Objekte liefern (*Time of Flight*) [BCL15, S. 222], [Ped17, S. 255].
- **Interaktion:** Um die Interaktion mit dem Anwender zu ermöglichen, sind Sensoren zur Erfassung der Eingaben des Anwenders erforderlich [Cra13, S. 50f.]. In Abhängigkeit der im Rahmen der Interaktion angesprochenen Sinnesmodalitäten reicht das Spektrum von konventionellen haptischen Nutzerschnittstellen (z.B. Knöpfe, Touchscreen) [BCL15, S. 165] über natürliche Formen der Interaktion mittels Sprache, Blick und Gesten (z.B. Mikrofon, Kamera) [Ped17, S. 271ff.] bis hin zur Interaktion über externe Peripherie (z.B. Handschuhe, Controller) [Auk17, S. 214ff.] bzw. physische Gegenstände in der unmittelbaren Umgebung des Anwenders (*Tangible User Interface*) [SH16, S. 286ff.].
- **Umgebungseinflüsse:** Mittels Sensoren können über das Tracking und die Interaktion hinausgehende Informationen aus der Umgebung des Anwenders erfasst werden [Cra13, S. 49f.]. In Abhängigkeit des Anwendungkontexts zählen hierzu u.a. Sensoren für die Aufnahme von Feuchtigkeit und Temperatur (z.B. zur Visualisierung von Gefahrenpotentialen) [BCL15, S. 225], [Cra13, S. 49f.] sowie Umgebungslichtsensoren (z.B. zur automatischen Einstellung der Display-Helligkeit) [Ped17, S. 202].

Modelldaten

Schlüsselelement einer jeden AR-Applikation sind die zur Visualisierung mittels AR benötigten Modelldaten, die strukturiert und in geeigneten Dateiformaten (z.B. .obj, .max) bereitzustellen sind [SH16, S. 3f.], [Vog08, S. 31]. Neben **Audioinhalten** umfassen die Modelldaten insbesondere **grafische Elemente**, wie zweidimensionale Bilder und Texte,

dreidimensionale Objekte sowie im Zeitverlauf veränderliche Grafiken[20] (z.B. Animationen) [Cra13, S. 167]. Abgesehen vom **Kauf bestehender Modelle** [Cra13, S. 170f.] können Modelldaten auf unterschiedliche Weise erstellt werden: Hierzu zählen die manuelle Entwicklung mit Hilfe von **CAD- und Modellierungswerkzeugen** [Auk17, S. 15], die automatische Generierung mittels Techniken der **prozeduralen Modellierung** [JV13, S. 67] sowie die Erfassung von physischen Objekten unter Rückgriff auf **3D-Scanning-Systeme** [AMB+17, S. 64f.]. Mit Hilfe von Szenengraphen wird die logische und räumliche Relation der Modelldaten beschrieben [JV13, S. 68ff.], [BCL15, S. 149]. Über Schnittstellen zu **externen Datenquellen** (z.B. IT-Systeme wie ERP, MES sowie Maschinen und Anlagen) lassen sich zudem relevante Betriebsdaten (z.B. Maschinen- und Auftragsdaten) einbeziehen. Die Bereitstellung der Modelldaten erfolgt in der Regel applikationsspezifisch – gleichwohl zeichnen sich unter dem Stichwort **AR-Cloud** Bemühungen zur Schaffung eines zentralen Repositoriums ab, um ein maschinenlesbares Abbild der realen Welt applikationsübergreifend bereitzustellen [CLS+19, S. 3], [Cra13, S. 262f.].

Recheneinheit

Die Recheneinheit dient der **Datenverarbeitung** in einem AR-System und umfasst als Kernbestandteile einen oder mehrere Hauptprozessoren sowie häufig auch dedizierte Grafikprozessoren [KKR18, S. 95], [Ped17, S. 54]. Die **Aufgaben der Recheneinheit** liegen u.a. in der Verarbeitung der Sensorsignale, der Ausführung der Instruktionen der AR-Applikation auf Basis der ermittelten Sensorinformationen und Modelldaten (z.B. Tracking und Rendering des virtuellen Bilds) sowie die Bereitstellung der Ausgabesignale für das Display [Cra13, S. 81], [CBH+17, S. 6937]. Es lassen sich **unterschiedliche Architekturen** für die Datenverarbeitung unterscheiden: Das Spektrum reicht von der lokalen Datenverarbeitung auf der **integrierten Hardware** eines mobilen Endgerätes (*System-On-Chip*) [CBH+17, S. 6938] über **Client-Server-Modelle**, bei denen einzelne Aufgaben (z.B. Content-Management) über ein Netzwerk an verschiedene Rechner verteilt werden [Cra13, S. 83f.], bis hin zur vollständigen Auslagerung der Berechnungen in eine **Cloud**, wodurch sich das Endgerät auf die Ausgabe der virtuellen Inhalte beschränkt (*Thin Client*) [HLL12, S. 1], [Cra13, S. 85]. Die verschiedenen Architekturen sind mit **Vor- und Nachteilen** verbunden, die es in Abhängigkeit der Anforderungen des Anwendungsfalls abzuwägen gilt (z.B. Rechenleistung, Netzwerkverfügbarkeit) [Cra13, S. 86f.].

Display

Um die virtuellen Informationen mit der realen Umgebung zu überlagern, ist ein **Ausgabesystem** bzw. *Display* erforderlich [Tön10, S. 21]. Für die in der vorliegenden Arbeit im Vordergund stehenden mobilen optischen Ausgabesysteme existieren **zwei grundlegende Architekturen** [Azu97, S. 11], [CBH+17, S. 6930], wie in Bild 2-15 dargestellt.

---

[20] In Abhängigkeit der mit der AR-Anwendung zu adressierenden Sinnesmodalitäten zählen zu den *Modelldaten* auch Inhalte, die sich auf den Riech-, Geschmacks- und Tastsinn beziehen [Cra13, S. 177f.]. Wie in *Abschnitt 2.1.4* erläutert, stehen diese jedoch nicht im Fokus der vorliegenden Arbeit.

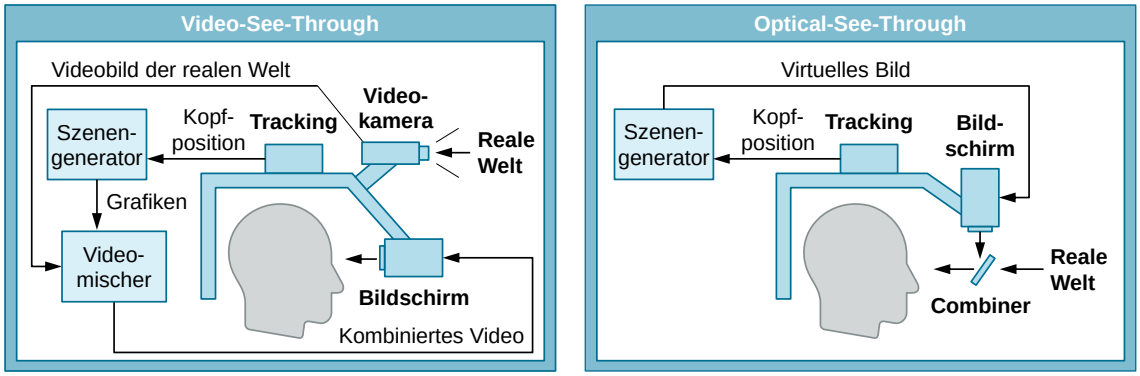


Bild 2-15: Video-See-Through und Optical-See-Through nach AZUMA [Azu97, S. 11]

Bei **Video-See-Through-Systemen** wird das mit einer Kamera erfasste Videobild der realen Umgebung in einem Videomischer mit virtuellen Inhalten perspektivisch korrekt überlagert und über einen Bildschirm ausgegeben [Bro13, S. 248], [Vog08, S. 32]. Im Gegensatz hierzu erfolgt bei **Optical-See-Through-Systemen** die Überlagerung der virtuellen Informationen mit der realen Umgebung durch ein semitransparentes optisches Bauelement (sog. *Combiner*) [Bro13, S. 248], [Tön10, S. 21]. Auf diese Weise nimmt der Anwender die reale Umgebung direkt (d.h. ohne Zuhilfenahme eines Videobildes) wahr, während die computergenierten Bilder über Einspiegelung kongruent zu seiner Perspektive in das Sichtfeld projiziert werden [CBH+17, S. 6930]. Innerhalb der beiden Architekturen können die Aufgaben von Bildschirm und Combiner durch **unterschiedliche Technologien** und **optische Konfigurationen**[21] realisiert werden: Für die Bilderzeugung werden u.a. Liquid Crystal Displays (LCD), organische Leuchtdioden (OLED) und Liquid Crystal on Silicon Displays (LCoS) [Ped17, S. 208ff.] eingesetzt, für die optische Überlagerung Linsen, Mikroprismen und Lichtwellenleiter [Kre16, S. 91ff.].

Typen von AR-Systemen

In Abhängigkeit der **Nähe des Displays zum Auge des Anwenders** lassen sich drei Typen von AR-Systemen unterscheiden [BR05, S. 72], [BCL15, S. 140]: Der Begriff **Spatial Augmented Reality** bezeichnet stationäre AR-Systeme, die vom Körper des Anwenders weitestgehend entkoppelt sind (z.B. fest installierte Projektoren, die virtuelle Inhalte auf ein Objekt projizieren) [BR05, S. 83ff.], [Bro13, S. 249]. **Handheld-AR-Systeme** sind in der Regel Video-See-Through-Systeme, die in der Hand des Anwenders getragen werden (z.B. Smartphones, Tablets) [BR05, S. 79]. Als Bezugspunkt für die kongruente Überlagerung der virtuellen Informationen dienen eine oder mehrere auf der Geräterückseite angebrachte Kameras, woraus Abweichungen zum tatsächlichen Blickpunkt des Anwenders resultieren können [Bro13, S. 271]. Die größte Nähe zum Auge des Anwenders weisen **kopfgetragene AR-Systeme** (*Head-Mounted Displays*) auf, zu denen Datenbrillen [BR05, S. 74], perspektivisch auch Kontaktlinsen zählen [Ped17, S. 243ff.]. Bis auf

[21] Für eine detaillierte Darstellung der in AR-Systemen verwendeten *Bildschirm-* und *Optik-Komponenten* sei auf die Arbeiten von KRESS [Kre16, S. 85ff.] und AUKSTAKALNIS [Auk17, S. 58ff.] verwiesen.

wenige Ausnahmen handelt es sich hierbei um Optical-See-Through-Systeme, die das virtuelle Bild unmittelbar in das Sichtfeld des Anwenders projizieren [Kiy16, S. 64].

Mit den unterschiedlichen Typen sind **spezifische Vor- und Nachteile** verbunden: So zeichnen sich **Handheld-Systeme** durch einen günstigeren Preis, eine höhere Rechenleistung und Energieeffizienz aus [BCL15, S. 141f.]. Andererseits kann das dauerhafte Halten auf Brust- und Augenhöhe ermüdend wirken [SH16, S. 69] und Tätigkeiten erschweren, die den Einsatz beider Hände erfordern [BR05, S. 83]. **Kopfgetragene AR-Systeme** ermöglichen zwar das beidhändige Arbeiten [BNM+18, S. 143], sind jedoch derzeit noch vielfach mit Nachteilen im Hinblick auf Ergonomie, Leistungsfähigkeit und Einschränkungen des Sichtfelds verbunden (vgl. *Abschnitt 2.3.2*) [Ped17, S. 193].

Fazit

Die kongruente Überlagerung der physischen Umgebung mit virtuellen Informationen erfordert das **komplexe Zusammenspiel verschiedener Komponenten**. Hierzu zählen neben der Software insbesondere die Hardware des AR-Systems, das als Kernbestandteile die Sensorik, Modelldaten, Recheneinheit sowie das Display umfasst. Die Komponenten stehen in **enger Wechselwirkung** mit der **Einsatzumgebung**, dem **Anwender** und der zu **realisierenden Anwendung**. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sind daher geeignete Ausprägungen der Komponenten unter Abwägung ihrer spezifischen Vor- und Nachteile zu identifizieren und im Rahmen der strategischen Planung zu berücksichtigen.

2.4 Strategische Planung AR-basierter Produkt-Service-Systeme

Die vorangegangenen Abschnitte haben gezeigt, dass AR durch die Bereitstellung kontextsensitiver Informationen **vielfältige Potentiale** bietet, die Interaktion zwischen Mensch und Maschine in Bezug auf Produkt-Service-Systeme zu unterstützen [PRE+13, S. 138], [SZP+17, S. 1256]. Im Rahmen der strategischen Planung sind diese Potentiale zu identifizieren und in Ideen für neue Produkt-Service-Systeme zu überführen. Wie in Bild 2-16 dargestellt, führt der Einsatz von AR-Systemen dabei zu einer **Erweiterung des Produkt-Service-Systems** um eine zusätzliche Systemkomponente [MNT18, S. 51].

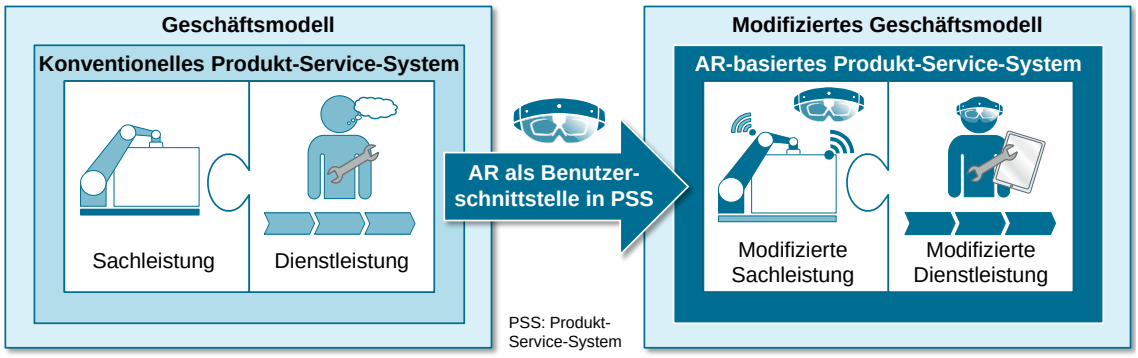


Bild 2-16: Auswirkungen der Integration von AR auf Produkt-Service-Systeme

Aus der für Produkt-Service-Systeme charakteristischen engen Verzahnung der Systemkomponenten resultieren **AR-induzierte Modifikationsbedarfe** an Sachleistung, Dienstleistung und Geschäftsmodell, die es im Rahmen der strategischen Planung zu berücksichtigen gilt [MNT18, S. 51], [PH16, S. 10f.].

Vor diesem Hintergrund widmen sich die folgenden Abschnitte den **Implikationen AR-basierter Produkt-Service-Systeme** für den **Prozess der strategischen Planung**. Als Bezugsrahmen dient das Referenzmodell der strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen nach GAUSEMEIER ET AL., das in *Abschnitt 2.4.1* beschrieben wird. Darauf aufbauend werden in *Abschnitt 2.4.2* die AR-spezifischen Einflüsse und damit verbundenen Herausforderungen in Bezug auf die im Referenzmodell beschriebenen Aktivitäten der strategischen Planung erläutert. Diese dienen zugleich als Handlungsfelder für die in der vorliegenden Arbeit zu entwickelnde Systematik.

2.4.1 Referenzmodell der strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen nach GAUSEMEIER ET AL.

Die Ausführungen in *Abschnitt 2.1.5* haben gezeigt, dass im Zuge der strategischen Planung Entscheidungen über die **zukünftige Ausrichtung von Produkt-Markt-Kombinationen** zu treffen sind. Die dazu erforderlichen Tätigkeiten werden im Referenzmodell der strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen nach GAUSEMEIER ET AL. beschrieben, das Bild 2-17 zeigt [GAD+14, S. 11ff.], [GDE+19, S. 89ff.].

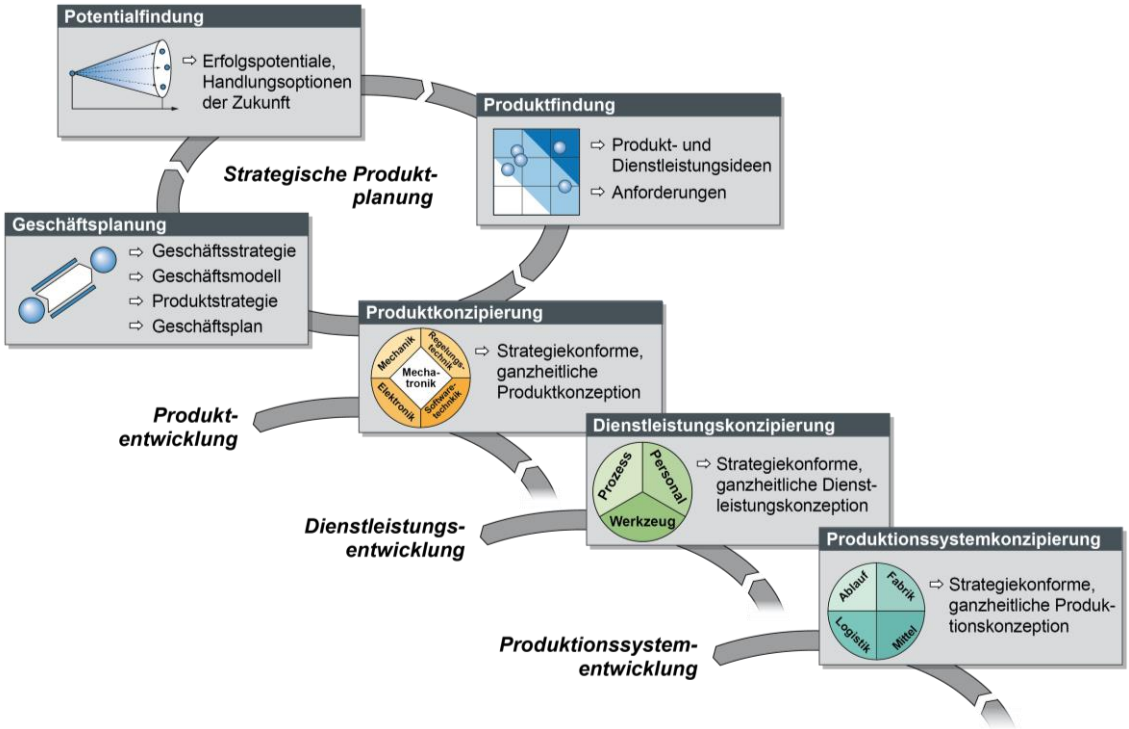


Bild 2-17: Referenzmodell der strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen nach GAUSEMEIER ET AL. [GAD+14, S. 15], [GDE+19, S. 90]

Das Referenzmodell erstreckt sich über den **Produktentstehungsprozess** von der Geschäftsidee[22] bis zum Serienanlauf [GAD+14, S. 11] und gliedert diesen in die **vier Hauptaufgabenbereiche** *Strategische Produktplanung*, *Produktentwicklung*, *Dienstleistungsentwicklung* und *Produktionssystementwicklung* [GAD+14, S. 15]. Ausgehend von der Erkenntnis, dass der Produktentstehungsprozess nicht als stringente Folge von Phasen und Meilensteinen verstanden werden kann, werden die Hauptaufgabenbereiche als **Zyklen** bezeichnet [GP14, S. 25]. Die Zyklenmetapher bringt zum Ausdruck, dass die Hauptaufgabenbereiche in **enger Wechselwirkung** miteinander stehen und Aufgaben **iterativ** bis zur gewünschten Entwicklungsreife zu durchlaufen sind [GDE+19, S. 89f.]. Das Referenzmodell wird daher auch als **4-Zyklen-Modell** bezeichnet [GDE+19, S. 89].

Erster Zyklus: Strategische Produktplanung

Der erste Zyklus beschreibt das Vorgehen von der Identifikation zukünftiger Erfolgspotentiale bis zum Erfolg versprechenden Produktkonzept – der sog. Prinziplösung. Die strategische Produktplanung setzt sich aus den Aufgaben *Potentialfindung*, *Produktfindung*, *Geschäftsplanung* und *Produktkonzipierung* zusammen. Gegenstand der **Potentialfindung** ist das Erkennen der Erfolgspotentiale der Zukunft sowie die Ableitung von Handlungsoptionen. Zur Erschließung der Erfolgspotentiale werden in der **Produktfindung** Ideen für neue Marktleistungen gesucht und ausgewählt. Die anschließende **Geschäftsplanung** widmet sich der Erstellung einer Geschäftsstrategie sowie damit verbunden der Entwicklung von Geschäftsmodell und Produktstrategie. Die Geschäftsplanung mündet in einen Geschäftsplan, der den Nachweis der Wirtschaftlichkeit des Produktkonzepts liefert. Die Schnittstelle zum zweiten Zyklus bildet die **Produktkonzipierung**, die sich der fachgebietsübergreifenden Erstellung der Prinziplösung in Form eines Systemmodells[23] widmet. Das Ergebnis der strategischen Produktplanung ist ein **Entwicklungsauftrag**, der als Bindeglied zu der Produkt- und Dienstleistungsentwicklung fungiert. Der Entwicklungsauftrag umfasst das für die Entwicklung relevante Wissen in Form einer marktorientierten Produktspezifikation und liefert u.a. Maßgaben zu Stückzahlen, Herstellkosten und Entwicklungszeit [GAD+14, S. 11f.], [GDE+19, S. 90], [GP14, S. 25f.].

Zweiter Zyklus: Produktentwicklung

Die Produktentwicklung beinhaltet die fachgebietsübergreifende **Produktkonzipierung** im engen Wechselspiel mit dem ersten Zyklus, den **Entwurf und die Ausarbeitung** in den jeweiligen Fachgebieten (z.B. Mechanik, Regelungstechnik, Elektronik, Software-

---

[22] Der Begriff *Geschäftsidee* bezeichnet *„eine Vorstellung davon, […] welche Leistungen für welche Kunden, Regionen oder Bedürfnisse angeboten werden sollen“* [BBE03, S. 11]. Der Produktentstehungsprozess beschränkt sich damit nicht auf Sachleistungen, sondern schließt auch Produkt-Service-Systeme ein. Vor diesem Hintergrund wurde das ursprünglich lediglich drei Hauptaufgabenbereiche umfassende Referenzmodell 2014 um den Aspekt der Dienstleistungsentwicklung erweitert [GAD+14, S. 13].

[23] Der Begriff *Systemmodell* bezeichnet eine ganzheitliche, fachgebietsübergreifende Beschreibung des zu entwickelnden Systems und dient der Verständigung zwischen den Akteuren [GDS+13, S. 36].

technik) sowie die **Integration** der fachgebietsspezifischen Ergebnisse zu einer Gesamtlösung. Als Basis dient der in der strategischen Produktplanung erarbeitete Entwicklungsauftrag. Unterstützt wird die Produktentwicklung durch den Einsatz **rechnerinterner Modelle** (*Virtual Prototyping*) sowie **Richtlinien und Vorgehensmodelle**, welche die durchzuführenden Tätigkeiten konkretisieren (z.B. VDI-Richtlinie 2206) [VDI2206], [GAD+14, S. 12], [GDE+19, S. 90], [GP14, S. 26].

Dritter Zyklus: Dienstleistungsentwicklung

Die Aufgaben der Dienstleistungsentwicklung umfassen die *Dienstleistungskonzipierung*, *Dienstleistungsplanung* und *Dienstleistungsintegration*. Im Rahmen der **Dienstleistungskonzipierung** erfolgt die Spezifikation der Dienstleistung im Hinblick auf die Aspekte Prozess, Personal und Werkzeug, die zur Erbringung der Dienstleistung erforderlich sind. Als Resultat liegt ein Dienstleistungskonzept vor, das in der **Dienstleistungsplanung** unter Einbeziehung der relevanten Funktionsbereiche hinsichtlich Ablauforganisation, Personalplanung und Werkzeugplanung konkretisiert wird. Anschließend werden in der **Dienstleistungsintegration** die Ergebnisse der einzelnen Planungseinheiten zusammengeführt und validiert [GAD+14, S. 14], [GDE+19, S. 91f.].

Vierter Zyklus: Produktionssystementwicklung

In der Produktionssystementwicklung erfolgt die *Produktionssystemkonzipierung*, *Arbeitsplanung* und *Produktionssystemintegration*. Im Wechselspiel mit dem Produktkonzept wird in der **Produktionssystemkonzipierung** ein strategiekonformes Produktionssystemkonzept erarbeitet. Innerhalb der **Arbeitsplanung** findet die Arbeitsablauf-, Arbeitsstätten-, Materialfluss- und Arbeitsmittelplanung statt. Die Zusammenführung und Validierung der Ergebnisse erfolgt im Rahmen der **Produktionssystemintegration**. Analog zur Produktentwicklung werden in der Produktionssystementwicklung rechnerinterne Modelle verwendet (*Digitale Fabrik*) [GAD+14, S. 12], [GDE+19, S. 92], [GP14, S. 26].

Fazit

Die zu entwickelnde Systematik ist primär dem **Zyklus der strategischen Produktplanung** zuzuordnen. Vor dem Hintergrund der in *Abschnitt 2.1.3* beschriebenen Forderung nach einer integrativen Entwicklung von Produkt-Service-Systemen ergeben sich zudem **Schnittstellen** zu den Aufgaben der Produkt- und Dienstleistungskonzipierung aus den **Zyklen der Produkt- und Dienstleistungsentwicklung**.

Bezogen auf die vorliegende Arbeit sind in der **Potentialfindung** Möglichkeiten für den Einsatz von AR für das Produkt-Service-Geschäft zu identifizieren und in der **Produktfindung** in konkrete Geschäftsideen für AR-basierte Produkt-Service-Systeme zu überführen. Im Rahmen der **Produkt- und Dienstleistungskonzipierung** erfolgt die technische Konzeptionierung des Produkt-Service-Systems unter Berücksichtigung von Änderungsauswirkungen auf die zugrundeliegende Sach- und Dienstleistung. In der **Geschäftsplanung** sind für das um AR-Funktionalitäten erweiterte Produkt-Service-System tragfähige Geschäftsmodelle zu entwickeln.

Ausgehend von dem Referenzmodell lassen sich die Ausführungen zur strategischen Planung in *Abschnitt 2.1.5* konkretisieren: Der aus der strategischen Planung resultierende **strategische Plan** bezeichnet in der vorliegenden Arbeit einen **Entwicklungsauftrag**. Unter **Planungstechniken** sind Methoden und Hilfsmittel zu verstehen, die die Erarbeitung des Entwicklunsgauftrags unterstützen und damit den **Aufgaben der strategischen Produktplanung** sowie **Produkt- und Dienstleistungskonzipierung** zuzuordnen sind.

2.4.2 Problemabgrenzung

Die durch die **Digitalisierung** beschleunigte **Servitization** nimmt verstärkt Einfluss auf Unternehmen des produzierenden Gewerbes [BS06, S. 54], [LG14, S. 261f.]. Um den Geschäftserfolg langfristig zu sichern, sind Unternehmen bestrebt, ihr produkt- und komponentengeprägtes Marktleistungsportfolio um zusätzliche Dienstleistungen hin zu **Produkt-Service-Systemen** zu erweitern [SG16, S. 10], [BLB+09, S. 547]. Mit der fortschreitenden Entwicklung von IKT zeichnet sich mit **Augmented Reality** eine aufstrebende **Schlüsseltechnologie** ab, die vielfältige **Innovationspotentiale** verspricht [PRE+13, S. 138], [PH16, S. 10], [MS14, S. 79]. An der Schnittstelle zwischen Mensch und Technik eröffnet AR durch die ortsunabhängige Bereitstellung kontextsensitiver Informationen **Nutzenvorteile** für den Kunden im Hinblick auf die zeit- und kosteneffiziente Durchführung manueller Tätigkeiten [FFB+18, S. 13361]. Gleichwohl ist aus Sicht des Anbieters die Integration von AR in das Marktleistungsportfolio eine **Entscheidung strategischen Charakters**, die mit hohen Unsicherheiten und Konsequenzen für das Geschäft verbunden ist [PH16, S. 10f.]. Es besteht daher **Bedarf** für eine *Systematik zur strategischen Planung von Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft*. Diese gliedert sich in die in Bild 2-18 abgebildeten **Handlungsfelder**, die sich an den für die vorliegende Arbeit relevanten Aufgabenbereichen der strategischen Produktplanung nach GAUSEMEIER ET AL. orientieren (vgl. *Abschnitt 2.4.1*).

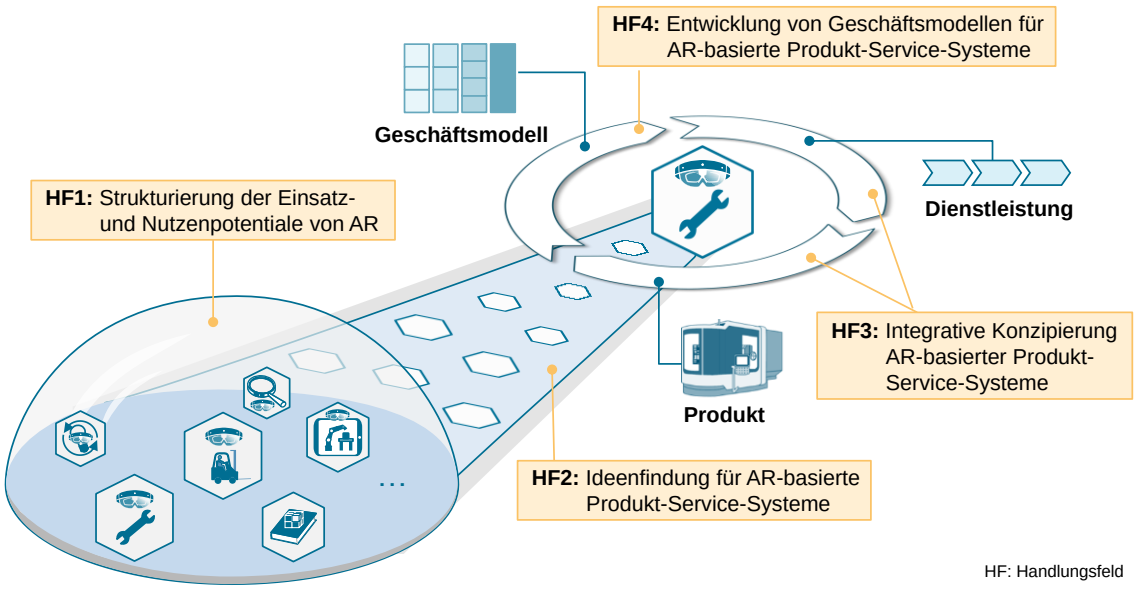


Bild 2-18: Übersicht der Handlungsfelder für die angestrebte Systematik

Handlungsfeld 1: Strukturierung der Einsatz- und Nutzenpotentiale von AR

Die im Zuge der Potentialfindung zu beantwortenden Fragen nach **Einsatzmöglichkeit** und **Nutzen von AR** sind in der wissenschaftlichen Literatur bislang **unzureichend** untersucht worden [MS14, S. 5], [PRE+13, S. 139], [PH16, S. 10]. Dies ist darauf zurückzuführen, dass aufgrund technischer Defizite die Forschungsaktivitäten zu AR vornehmlich auf das **Explorieren des technisch Machbaren**[24] fokussiert waren [Koc17, S. 310], [MS14, S. 5]. In der Konsequenz sehen sich Unternehmen mit einer schwer zu überblickenden, unstrukturierten **Vielfalt potentieller Anwendungsfelder** konfrontiert [Ped17, S. 159], [Cra13, S. 224f.], deren spezifische Chancen und Risiken intransparent sind [MS14, S. 6], [PRE+13, S. 138]. Vor diesem Hintergrund bedarf es einer systematischen und nachvollziehbaren **Strukturierung der industriellen Einsatz- und Nutzenpotentiale**, die AR für das Produkt-Service-Geschäft bietet. Zur Strukturierung eignen sich **Anwendungsszenarien**, die prinzipielle **Einsatzmöglichkeiten von AR** auf einen definierten Arbeitsprozess generisch beschreiben und somit Orientierung für den **Übertrag der Technologie** auf unternehmensspezifische Arbeitskontexte liefern [MS14, S. 79]. Zur Unterstützung der Entscheidungsfindung sind die mit den Anwendungsszenarien verbundenen **Nutzenpotentiale** sowie **Chancen** und **Risiken** zu ermitteln.

Handlungsfeld 2: Ideenfindung für AR-basierte Produkt-Service-Systeme

Die Integration von AR in das Produkt-Service-Portfolio wird nur dann **positive finanzielle Effekte** erzielen, wenn es Unternehmen gelingt, die Potentiale von AR in **Geschäftsideen für Produkt-Service-Systeme** zu überführen [PH16, S. 10], [MS14, S. 79]. Derzeit profitiert AR noch vielfach von einer **initialen Begeisterung**, die sich aufgrund des hohen Neuheitsgrades und der beeindruckenden Möglichkeiten einstellt, gleichwohl jedoch **schnell an Faszination verliert** [RSW17, S. 6]. Aus diesem Grund ist es von entscheidender Bedeutung, die Technologie nicht ihrer selbst willen umzusetzen, sondern derart in die **Strategie** und **Unternehmensaktivitäten** einzubinden, dass sie **tatsächlichen Nutzen** stiftet [PH16, S. 11f.], [KAY17, S. 399f.], [Cra13, S. 222], [MS14, S. 6]. Vor diesem Hintergrund gewinnt die für Produkt-Service-Systeme als Erfolgsfaktor geltende **Kundennutzenorientierung** [GGF+12, S. 21], [SM12, S. 45] zusätzlich an Bedeutung. In der Ideenfindung gilt es daher **Probleme** des Kunden an den **Ausgangspunkt** der Überlegungen zu stellen und diese mit den spezifischen Potentialen von AR abzugleichen [Cra13, S. 242], [DM11, S. 292f.], [PRE+13, S. 139]. Aufgrund vielfach fehlender Erfahrungswerte und der Komplexität der Entscheidungsfindung bedarf es einer **methodischen Unterstützung** [EGL16, S. 189f.], [HCG11, S. 722]. Diese soll es Unternehmen ermöglichen, transparent und unter Abwägung von Nutzen und Aufwand Ideen für AR-basierte Produkt-Service-Systeme zu identifizieren, zu bewerten und auszuwählen.

---

[24] Rückblickende Untersuchungen von ZHOU ET AL. und KIM ET AL. für den Zeitraum 1998 bis 2017 zeigen, dass sich die *Forschungsaktivitäten zu AR* vorrangig technischen Themen wie Tracking, Interaktion, Kalibrierung/Registrierung sowie Evaluierung gewidmet haben [ZDB08, S. 194], [KBB+18, S. 2949].

Handlungsfeld 3: Integrative Konzipierung AR-basierter Produkt-Service-Systeme

Die Ausführungen in *Abschnitt 2.3.3* zeigen, dass AR-Systeme auf dem **komplexen Zusammenspiel verschiedener Komponenten** beruhen [Cra13, S. 69], [KR13, S. 29]. Vor diesem Hintergrund stellt die Spezifikation der Anforderungen und die Auswahl eines geeigneten AR-Systems Unternehmen vor **Herausforderungen**, die sich in der **Vielfalt an Gestaltungsoptionen** sowie den **engen Wechselwirkungen** mit der zu realisierenden Anwendung, der Einsatzumgebung und dem Anwender begründen [PER17, S. 23f.], [EGL16, S. 187], [SDG17, S. 9119]. Da sich Produkt-Service-Systeme durch eine hochgradige Integration von Sach- und Dienstleistung auszeichnen [Bur09, S. 23], resultieren aus der Erweiterung der Benutzerschnittstelle um AR **Modifikationsbedarfe** an eben diesen [MNT18, S. 51]. Unternehmen ist jedoch oftmals unklar, wie die Anforderungsspezifikation und Auswahl des AR-Systems sowie dessen Integration in das Produkt-Service-Konzept unter Berücksichtigung der Änderungsauswirkungen systematisch durchgeführt werden kann [MNT18, S. 52], [SDG17, S. 9119]. Es bedarf daher einer **methodischen Unterstützung** für die integrative Konzipierung AR-basierter Produkt-Service-Systeme: Sie soll Unternehmen bei der **Spezifikation der Anforderungen** und **Auswahl eines geeigneten AR-Systems** helfen sowie **Transparenz** über die **erforderlichen Anpassungen** an der zugrundeliegende Sach- und Dienstleistung schaffen.

Handlungsfeld 4: Entwicklung von Geschäftsmodellen für AR-basierte Produkt-Service-Systeme

Neben Veränderungen an der Marktleistung nimmt der Einsatz von AR Einfluss auf die Geschäftslogik und damit das **Geschäftsmodell** von Unternehmen [HD20, S. 75f.], [PH16, S. 10ff.], [KAY17, S. 400]. So eröffnen sich durch die Mehrwerte von AR neue **Nutzenversprechen**, durch die ortsunabhängige Bereitstellung können neue **Kundengruppen** erschlossen und die **Kundenbeziehung** durch eine höhere Mitbeteiligung intensiviert werden [NST18, S. 175ff.], [VNV10, S. 7ff.]. Darüber hinaus sind neue **Kompetenzen** sicherzustellen, die Wertschöpfungskette um neue **Schlüsselpartner** zu bereichern und neue **Erlös- und Kostenmodelle** für die Monetisierung des AR-basierten Produkt-Service-Systems zu definieren [MS14, S. 134f.], [PH16, S. 12f.], [NST18, S. 177ff.]. Für den langfristigen Geschäftserfolg ist es dabei entscheidend die in *Abschnitt 2.3.2* beschriebenen **technologieimmanenten Herausforderungen** von AR zu berücksichtigen [CF11, S. 21] und im Geschäftsmodell Mechanismen vorzusehen, um diesen wirksam zu begegnen. Bislang wurde den **Auswirkungen von AR auf das Geschäftsmodell** jedoch **wenig Aufmerksamkeit** zuteil [TMN+18, S. 15], [BC11, S. 98], [NST18, S. 170]. In der Folge fällt es Unternehmen schwer, Erfolg versprechende Geschäftsmodelle für AR zu entwickeln [VNV10, S. 3]. Es bedarf daher einer **methodischen Unterstützung** für die Geschäftsmodellentwicklung AR-basierter Produkt-Service-Systeme, die im engen Wechselspiel mit dem Produkt-Service-Konzept die **AR-spezifischen Herausforderungen** geeignet berücksichtigt. Um die Verzahnung zwischen strategischer und operativer Ebene sicherzustellen, sind, den Ausführungen aus *Abschnitt 2.1.5* folgend, geeignete **Maßnahmen** zur Umsetzung und Zielerreichung zu definieren.

2.5 Anforderungen an die Arbeit

Aus der Problemanalyse resultieren folgende Anforderungen an eine *Systematik zur strategischen Planung von Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft*:

Anforderungen an die Strukturierung der Einsatz- und Nutzenpotentiale von AR

A1) Anwendungsszenarien von AR für Produkt-Service-Systeme: Die Strukturierung muss eine Übersicht liefern, welche Anwendungsszenarien AR entlang des Lebenszyklus eines Produkt-Service-Systems eröffnet (vgl. *Abschnitt 2.1.3*). Die Anwendungsszenarien müssen einerseits konkret genug sein, um eine klare Abgrenzung untereinander zu ermöglichen, andererseits generisch genug sein, um auf unternehmensspezifische Kontexte übertragbar zu sein (vgl. *Abschnitt 2.4.2*).

A2) Transparenz über Chancen und Risiken für das Produkt-Service-Geschäft: Um die strategische Planung zu unterstützen, muss die Strukturierung Aufschluss über die mit den Anwendungsszenarien verbundenen Chancen und Risiken für das Produkt-Service-Geschäft liefern (vgl. *Abschnitt 2.4.2*). Dies schließt eine transparente Darstellung des Nutzens mit ein, den das Anwendungsszenario sowohl dem Kunden als auch dem Anbieter des Produkt-Service-Systems eröffnet (vgl. *Abschnitt 2.3.2*).

A3) Systematische Herleitung und Erweiterbarkeit: Mit dem technischen Fortschritt verändern sich die Einsatzmöglichkeiten von AR fortlaufend (vgl. *Abschnitt 2.3.1*). Daher kann die Strukturierung der Einsatz- und Nutzenpotentiale nur dem Anspruch einer Momentaufnahme genügen. Um die fortwährende Aktualisierbarkeit der Systematik zu gewährleisten, bedarf es einer systematischen, nachvollziehbaren Herleitung der Anwendungsszenarien, die eine Erweiterbarkeit im Zeitverlauf ermöglicht (vgl. *Abschnitt 2.4.2*).

Anforderungen an die Ideenfindung für AR-basierte Produkt-Service-Systeme

A4) Ideenfindung auf Basis der Potentiale von AR: Damit Unternehmen aus den grundsätzlich möglichen die für sie Erfolg versprechenden Anwendungsszenarien auswählen und in konkrete Produkt-Service-Ideen überführen können, bedarf es einer systematischen Unterstützung der Ideenfindung (vgl. *Abschnitt 2.4.2*). Dazu muss die Systematik dem Anwender für die Identifikation und Bewertung der Ideen ein Vorgehensmodell und Hilfsmittel zur Verfügung stellen, welche die spezifischen Potentiale von AR aufgreifen (vgl. *Abschnitt 2.3.2*).

A5) Berücksichtigung der Kundenbedarfe: Der Einsatz von AR stiftet erst dann Mehrwerte und schafft Akzeptanz, wenn ihm ein zu lösendes Problem zugrundeliegt (vgl. *Abschnitt 2.4.2*). Zusammen mit der für Produkt-Service-Systeme als erfolgsentscheidend geltenden Kundenorientierung muss die Systematik eine möglichst vollständige und systematische Durchdringung des Kunden und seiner Bedarfe methodisch unterstützen und die daraus resultierenden Ergebnisse an den Ausgangspunkt der Ideenfindung stellen (vgl. *Abschnitt 2.2.1* und *2.4.2*).

Anforderungen an die integrative Konzipierung AR-basierter Produkt-Service-Systeme

A6) Unterstützung bei der Spezifikation und Auswahl des AR-Systems: Bei der Anforderungsspezifikation und Auswahl des AR-Systems sind zahlreiche Einflüsse der Einsatzumgebung, des Arbeitskontexts und des Anwenders zu berücksichtigen und mit der heterogenen Vielfalt an Gestaltungsoptionen abzugleichen (vgl. *Abschnitt 2.3.3*). Die Systematik muss daher Methoden und Hilfsmittel bereitstellen, um die Einflüsse transparent zu machen, strukturiert in Anforderungen zu überführen und davon ausgehend die Auswahl eines geeigneten AR-Systems zu unterstützen (vgl. *Abschnitt 2.4.2*).

A7) Identifikation von Modifikationsbedarfen an Produkt und Dienstleistung: Produkt-Service-Systeme sind charakterisiert durch die engmaschige Verzahnung von Sach- und Dienstleistung (vgl. *Abschnitt 2.1.3*). Aus der Integration von AR resultieren daher Modifikationsbedarfe an den Systembestandteilen des Produkt-Service-Systems, die es im Rahmen der Systematik mit Hilfe geeigneter Methoden und Hilfsmittel gezielt zu identifizieren gilt (vgl. *Abschnitt 2.4.2*).

Anforderungen an die Entwicklung von Geschäftsmodellen für AR-basierte Produkt-Service-Systeme

A8) Berücksichtigung AR-spezifischer Herausforderungen: Der Einsatz von AR ist mit technologieimmanenten Herausforderungen verbunden, die bei der Geschäftsmodellentwicklung zu berücksichtigen sind (vgl. *Abschnitt 2.3.2*). Die Systematik muss diese Herausforderungen transparent machen und geeignete Gestaltungsoptionen für das Geschäftsmodell aufzeigen, um diesen zu begegnen (vgl. *Abschnitt 2.4.2*).

A9) Planung von Maßnahmen zur Umsetzung: Den Übergang zwischen der strategischen und operativen Ebene bilden Maßnahmen, ohne die die Überlegungen der strategischen Planung lediglich Makulatur bleiben würden (vgl. *Abschnitt 2.1.5*). In der Systematik sind daher ausgehend von dem entwickelten Geschäftsmodell und den identifizierten Modifikationsbedarfen an dem Produkt-Service-System Maßnahmen zur Umsetzung abzuleiten (vgl. *Abschnitt 2.4.2*).

3 Stand der Technik

Vor dem Hintergrund der Problemanalyse widmet sich dieses Kapitel bestehenden Ansätzen und Arbeiten, die für die strategische Planung von AR relevant sind. Entsprechend der in *Abschnitt 2.4.2* beschriebenen Handlungsfelder gliedert sich der Stand der Technik in vier Abschnitte: Gegenstand von *Abschnitt 3.1* sind Strukturierungsrahmen und Klassifikationsschemata für AR, die Transparenz über die industriellen Einsatzmöglichkeiten von AR schaffen. *Abschnitt 3.2* befasst sich mit Vorgehensmodellen und Hilfsmitteln zur Identifikation und Bewertung von Geschäftsideen für AR. *Abschnitt 3.3* untersucht Ansätze zur integrativen Konzipierung von AR-basierten Produkt-Service-Systemen. Hierfür werden sowohl Ansätze der Produkt-Service-System-Entwicklung untersucht als auch solche, die speziell der Spezifikation von AR-Systemen dienen. Anschließend beleuchtet *Abschnitt 3.4* Ansätze zur Entwicklung von Geschäftsmodellen für AR. Aus der Bewertung des Stands der Technik anhand der Anforderungen aus der Problemanalyse resultiert in *Abschnitt 3.5* der Handlungsbedarf für die vorliegende Arbeit.

3.1 Strukturierungsrahmen und Klassifikationsschemata für AR

In der wissenschaftlichen Literatur findet sich ein **weites Spektrum an Ansätzen** zur Strukturierung von AR. In Anbetracht der heterogenen Vielfalt an Gestaltungsoptionen zielt ein Großteil der Ansätze auf die Ordnung und Handhabbarmachung der **technischen Ausprägungen des AR-Systems**. Hierzu zählen u.a. die von BRAZ und PEREIRA entwickelte Taxonomie TARCAST [BP08, S. 48ff.], die funktionale Beschreibung von AR-Systemen nach KALAWSKY ET AL. [KSH+00, S. 508ff.] sowie die Taxonomie für Mixed-Reality-Displays nach MILGRAM und COLQUHOUN [MC99, S. 20ff.]. Neben diesen allgemeingültigen Klassifikationsansätzen existieren weitere, die sich bestimmten Schwerpunkten widmen, u.a. der Kollaboration verteilter Nutzer [WD06, S. 1837ff.], den Prinzipien für die Präsentation virtueller Inhalte [TP11, S. 10ff.], den Gestaltungsraum von Mixed Reality [BMF+17, S. 433ff.] oder den durch AR angesprochenen Sinnesmodalitäten [LN07, S. 176ff.]. Den aufgezeigten Ansätzen ist jedoch gemein, dass sie vorrangig die technischen Ausprägungen von AR adressieren und daher nur unzureichende Aussagen zu den grundsätzlichen Anwendungsmöglichkeiten von AR treffen. Im Zuge der steigenden Popularität von AR lassen sich darüber hinaus zahlreiche **nichtwissenschaftliche Veröffentlichungen** finden, in denen zwar Anwendungsmöglichkeiten von AR skizziert werden, denen es jedoch an Struktur und wissenschaftlicher Fundierung mangelt. Beispiele hierfür sind Studien von Capgemini [CDB+18, S. 11f.] und PTC [CBL18, S. 4]. Vor diesem Hintergrund konzentrieren sich die in *Abschnitt 3.1.1* bis *3.1.5* beschriebenen Ausführungen auf Ansätze der wissenschaftlichen Literatur, die sich vorrangig auf die Strukturierung und Unterscheidung von Anwendungsszenarien von AR fokussieren.

3.1.1 AR-Anwendungsszenarien nach MEHLER-BICHER und STEIGER

Eine Übersicht von AR-Anwendungsszenarien mit Schwerpunkt auf die Kommunikation liefern MEHLER-BICHER und STEIGER [MS14, S. 85ff.]. Grundlage für die einheitliche Beschreibung und Vergleichbarkeit der Anwendungsszenarien bildet ein **Klassifikationsschema**, das sich in die zwei Bereiche *Technik* und *Kommunikation* gliedert. Wie in Bild 3-1 dargestellt, umfasst jeder Bereich mehrere Klassifikationskriterien, die teils vordefinierte Ausprägungen, teils textuelle Beschreibungen aufweisen [MS14, S. 85].

Anwendungsszenario: Living Environment				
Technik				
Hardware	Mobile Geräte (Mobiltelefon, etc.)			
Verfügbarkeit	Stationär	Internet		Mobil
Tracking Verfahren	Nicht-visuell	Visuell durch NFR		Face
		Markerbasiert	Markerlos	
	Natural Feature Recognition, ggf. Gesichtserkennung			
Kommunikation				
Einsatzbereich	B2B		B2C	
	Anbahnung	Akquisition	Bindung	Rückgewinnung
Einsatzfeld	Education	Kollaboration	Konfiguration/Simulation	
	Navigation/Ortung		Präsentation/Visualisierung	
Einsatzzweck	Öffentlicher Raum: Erweiterung der realen Umgebung mit weiteren Informationen			
Haptik	Ja, da die Steuerung für mobile Endgeräte erfolgt			

Bild 3-1: Klassifikationsschema für das AR-Anwendungsszenario „Living Environment“ nach MEHLER-BICHER und STEIGER [MS14, S. 129]

Mit Hilfe des Klassifikationsschemas werden insgesamt **zwölf AR-Anwendungsszenarien** beschrieben, denen gemein ist, dass sie den Begriff *Living* im Titel tragen. Dieser bringt zum Ausdruck, dass die Anreicherung um virtuelle Objekte die physische Welt zum Leben erweckt und den Anwender zur Interaktion mit diesen einlädt [MS14, S. 85].

- **Living Mirror:** Durch das Zusammenspiel von Bildschirm, Kameras und Face-Tracking-Technologien wird der Eindruck vermittelt, als schaue der Anwender in einen Spiegel. Dieser zeigt ein erweitertes Abbild der Realität, in dem virtuelle Objekte lagegerecht auf das Gesicht oder den Körper des Anwenders platziert werden.

- **Living Print:** Mittels AR werden Printmedien mit virtuellen Informationen überlagert. In Abhängigkeit des Printmediums lassen sich fünf Varianten unterscheiden: Sammelkarten (*Living Card*), Zeitschriften (*Living Brochure*), Verkaufsverpackungen (*Living Object*), Bücher (*Living Book*) und Brettspiele (*Living Game Print*).

- **Living Game Mobile:** Dieses Anwendungsszenario umfasst Spiele auf mobilen Endgeräten (z.B. Smartphone, Tablet), die AR-Funktionalitäten aufweisen. Über die Kamera des mobilen Endgerätes wird die Umgebung des Anwenders erfasst, mit virtuellen Objekten kombiniert und über den Bildschirm ausgegeben.

- **Living Architecture:** Bei diesem Anwendungsszenario werden digitale Pläne und Entwürfe für Bauobjekte mit Hilfe von AR dreidimensional visualisiert. Die Darstellung kann verkleinert auf einem Marker oder in realer Größe unmittelbar auf der Baustelle (z.B. durch Überlagerung des Rohbaus mit digitalen Bauplänen) erfolgen.
- **Living Poster:** Mit Hilfe von mobilen Endgeräten werden gedruckte oder elektronische Plakate mit virtuellen Informationen angereichert. Sind Informationen über den Anwender bekannt, kann auf diese Weise eine Individualisierung und Personalisierung der Werbebotschaften erzielt werden.
- **Living Presentation:** Durch den Einsatz von AR werden Präsentationen durch virtuelle Informationen angereichert. Dies ermöglicht es, physische Objekte, die aufgrund ihrer Größe und Komplexität nicht vor Ort gezeigt werden können, als realitätsgetreue 3D-Modelle einzubeziehen und mit diesen in Echtzeit zu interagieren.
- **Living Meeting:** Der Einsatz von AR dient der Unterstützung des kollaborativen Arbeitens durch die virtuelle Zusammenschaltung verteilter Personen. Durch die Nutzung von virtuellen Charakteren (sog. *Avatare*) kann in Videokonferenzen das Gefühl von realen Zusammenkünften vermittelt werden.
- **Living Environment:** Das Anwendungsszenario fasst AR-Anwendungen zusammen, in denen Umgebungen der realen Welt mit virtuellen Informationen jeglicher Art erweitert werden. Hierzu zählen u.a. die Einblendung von Navigationshinweisen sowie die Visualisierung von Instruktionen für Wartung und Reparatur.

Abschließend bewerten die Autoren die AR-Anwendungsszenarien in einem **Portfolio**, das Bild 3-2 zeigt [MS14, S. 131]. Die Ordinate zeigt die *Breite der Einsatzmöglichkeiten*, die Abszisse den *Nutzen* und der Kugeldurchmesser den geschätzten *Marktanteil*.

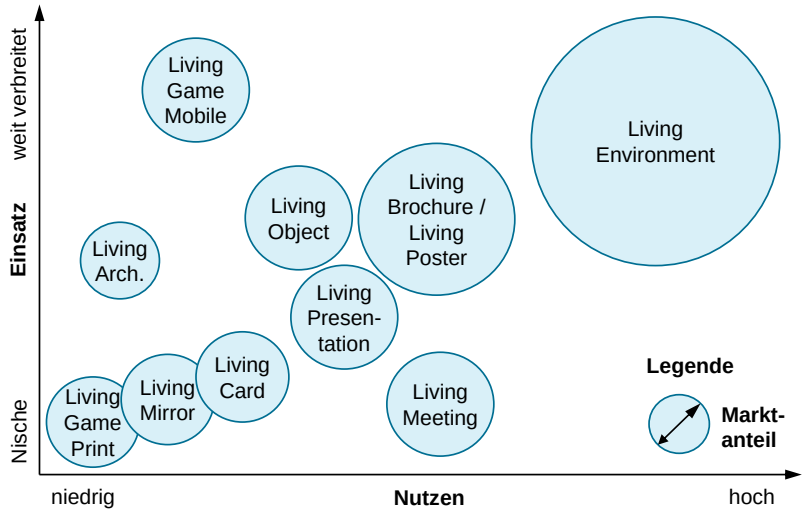


Bild 3-2: Portfolio zur Bewertung der AR-Anwendungsszenarien nach MEHLER-BICHER und STEIGER [MS14, S. 131]

Bewertung: Die AR-Anwendungsszenarien von MEHLER-BICHER und STEIGER liefern eine transparente Übersicht der Einsatzmöglichkeiten von AR. Das zugrundeliegende Klassifikationsschema ermöglicht eine einheitliche Beschreibung und Vergleichbarkeit der AR-Anwendungsszenarien. Der Fokus liegt auf dem Einsatz von AR zur Unterstützung der Kommunikation im Marketing, weswegen die AR-Anwendungsszenarien nur bedingt auf das Produkt-Service-Geschäft übertragbar sind. Kritik ist zu äußern an der schwankenden Granularität der AR-Anwendungsszenarien, die zum Teil sehr fein (z.B. Differenzierung zwischen unterschiedlichen Printmedien in *Living Print*), an anderen Stellen jedoch sehr grob ist (z.B. Zusammenfassung heterogener Anwendungskontexte in *Living Environment*). Ferner mangelt es an Transparenz und Nachvollziehbarkeit, wie die AR-Anwendungsszenarien mittels des Klassifikationsschemas hergeleitet und auf welcher Grundlage die Bewertungen im Portfolio vorgenommen werden.

3.1.2 Klassifikationsschema für AR-Anwendungen nach FELLMANN ET AL.

Mit dem Ziel, die Einsatzmöglichkeiten von AR für den technischen Kundendienst zu strukturieren, stellen FELLMANN ET AL. ein **Klassifikationsschema** vor, das sich aus *anwendungs-* und *technologiebezogenen Parametern* zusammensetzt [FHM+15, S. 2ff.]. Die Parameter umfassen insgesamt fünf Merkmalsklassen, die sich wiederum in vierzehn Merkmale mit vordefinierten Merkmalsausprägungen untergliedern. Mit Hilfe des Klassifikationsschemas nehmen die Autoren eine exemplarische Einordnung ausgewählter, bereits realisierter AR-Anwendungen vor [FHM+15, S. 10ff.]. Zudem definieren sie ein idealtypisches AR-System für den technischen Kundendienst, das Bild 3-3 zeigt.

		Merkmal	Merkmalsausprägung					
Anwendungsbezogene Parameter	Anwendungs-szenario	Einsatzbereich	Herstellung & Produktion	Entertainment	Allg. Kundendienst			
			Entwicklung & Design	Allgemeinwesen	Gesundheitswesen			
			Marketing	Militär	Ausbildung			
		Multiuserfähigkeit	Nicht multiuserfähig	Multiuserfähig				
	Mobilität	Transportierbarkeit	Stationär	Eingeschränkt	Uneingeschränkt			
		Datenverbindung	Drahtgebunden	Drahtlos lokal	Drahtlos unabhängig			
		Nutzerbeeinträchtigung	Niedrig	Mittel	Hoch			
	Schnitt-stelle	Eingabe	Taktil	Gestisch	Optisch	Akustisch		
		Ausgabe	Haptisch	Visuell	Akustisch			
Technologiebezogene Parameter	Software	Objektidentifikation	GPS	Barcode	RFID	Tracking		
		Informationsdarstellung	3D-Grafik	2D-Grafik	Akustisch			
		Datenverarbeitung	Lokal	Kooperativ	Entfernt			
	Hardware	Datenhaltung	Lokal	Verteilt	Entfernt			
		Eingabegeräte	Kamera	Zeigegerät	Mikrofon	Haptisch	Tastengerät	Sonstiges
		Ausgabegeräte	Bildschirm	Head-Mounted Display	Projektor	Virtual-Retinal-Display		
			Lautsprecher	Haptisches Ausgabegerät	Sonstiges Ausgabegerät			
		Plattform	Tragbares Kleingerät	Tragbarer Computer	Ortsfester Computer	Sonstige Plattform		

Bild 3-3: Ausgefülltes Klassifikationsschema für ein idealtypisches AR-System im technischen Kundendienst nach FELLMANN ET AL. [FHM+15, S. 18]

Die **anwendungsbezogenen Parameter** umfassen die Merkmalsklassen *Anwendungsszenario*, *Mobilität* sowie *Benutzerschnittstelle*. Das *Anwendungsszenario* beschreibt den Einsatzbereich von AR, innerhalb von Unternehmen (z.B. Kundendienst) und darüber hinaus (z.B. Entertainment), sowie die Möglichkeit, mehreren Anwendern gleichzeitig Zugriff auf das AR-System zu geben (Multiuserfähigkeit). Die Merkmalsklasse *Mobilität* widmet sich der Transportierbarkeit des AR-Systems, der Datenverbindung sowie dem Ausmaß der Nutzerbeeinträchtigung durch die Verwendung des AR-Systems. Die *Benutzerschnittstelle* beleuchtet die Interaktion mit dem Nutzer im Hinblick auf die angesprochenen Sinnesmodalitäten für die Ein- und Ausgabe [FHM+15, S. 2ff.].

Zu den **technologiebezogenen Parametern** gehören die Merkmalsklassen *Software* und *Hardware*. Die Merkmalsklasse *Software* beschreibt, welche Technologien zur Objektidentifikation verwendet werden, in welcher Form die Informationsdarstellung erfolgt sowie die grundlegende Architektur der Datenverarbeitung. Gegenstand der Merkmalsklasse *Hardware* sind die Hardware-Komponenten des AR-Systems. In diesem Zuge werden Aussagen zur Datenhaltung, den erforderlichen Ein- und Ausgabegeräten für die Realisierung der Interaktion mit dem Nutzer (vgl. Merkmalsklasse *Benutzerschnittstelle*) sowie die Beschaffenheit der Hardware-Plattform getroffen [FHM+15, S. 11ff.].

Bewertung: Das Klassifikationsschema von FELLMANN ET AL. ermöglicht eine umfassende und allgemeingültige Charakterisierung von AR-Anwendungen, deren Anwendbarkeit sich trotz des inhaltlichen Schwerpunkts auf den technischen Kundendienst nicht auf diesen beschränkt. Die Merkmale und Merkmalsausprägungen zielen vorrangig auf die Beschreibung des zugrundeliegenden AR-Systems ab. Da sich ein AR-Anwendungsszenario prinzipiell durch unterschiedliche technische Konfigurationen realisieren lässt, gibt das Klassifikationsschema daher nur bedingt Aufschluss über die grundsätzlichen Einsatzmöglichkeiten von AR. Ferner mangelt es an einer Darstellung von Chancen und Risiken sowie den Nutzenpotentialen, die mit dem Einsatz von AR verbunden sind.

3.1.3 Lebenszyklus-orientierte Einordnung von AR-Anwendungen nach FITE-GEORGEL

Aufbauend auf einer Literaturrecherche zeigt FITE-GEORGEL eine Übersicht von industriellen AR-Anwendungen entlang der Lebenszyklusphasen eines technischen Systems [Fit11, S. 202ff.]. Die **Literaturrecherche** beruht auf der Analyse wissenschaftlicher Veröffentlichungen der renommierten Konferenzen IWAR (1998 und 1999), ISAR (2000 und 2001), ISMR (2001) und ISMAR (2002 bis 2010), in denen Implementierungen von AR im industriellen Kontext beschrieben sind. Berücksichtigt wurden dabei jeweils diejenigen Publikationen, in denen der Einsatz von AR auf einen bestimmten Anwendungskontext erstmalig oder in signifikant weiterentwickelter Form erläutert wurde. Auf diese Weise wurden insgesamt 54 relevante Publikationen identifiziert. Die darin beschriebe-

nen AR-Anwendungsbeispiele wurden anschließend den fünf **Lebenszyklusphasen** *Entwicklung*, *Produktion*, *Inbetriebnahme*, *Instandhaltung* und *Außerbetriebnahme* zugeordnet und kompakt in textueller Form erläutert [Fit11, S. 202ff.].

Den Kern der Untersuchungen von FITE-GEORGEL bildet eine **Bewertung** der identifizierten AR-Anwendungsbeispiele anhand von sieben Kriterien [Fit11, S. 207ff.]. Die Kriterien weisen vordefinierte, teils nominal, teils ordinal skalierte Ausprägungen für die Bewertungen auf. Das Bewertungsschema ist in Bild 3-4 dargestellt.

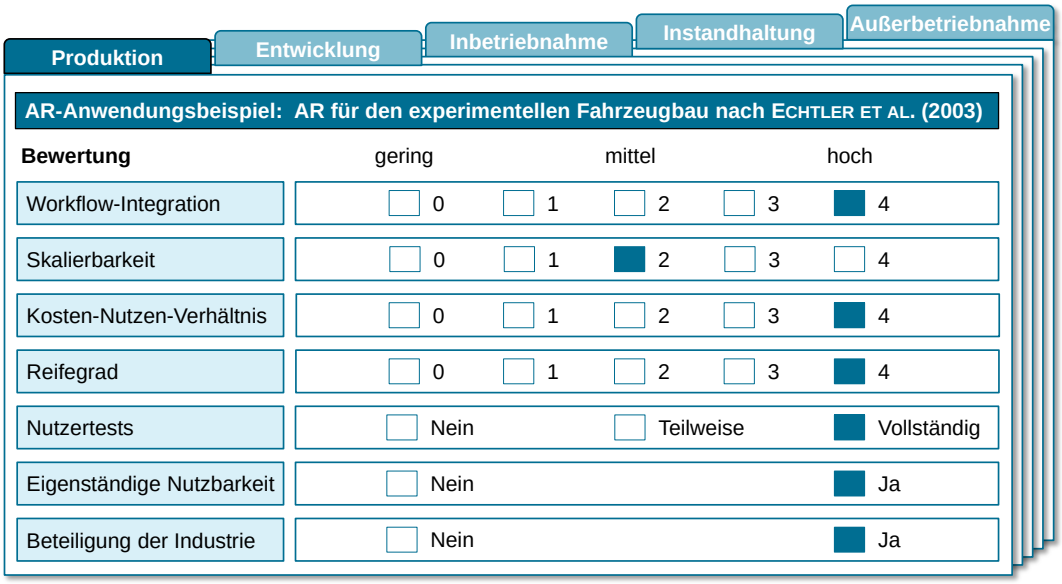


Bild 3-4: Schema für die Bewertung der AR-Anwendungsbeispiele nach FITE-GEORGEL [Fit11, S. 208f.]

- **Workflow-Integration:** Das Kriterium bewertet, in welchem Ausmaß in dem Anwendungsbeispiel der Einsatz von AR in den zugrundeliegenden industriellen Prozess eingebettet und mit diesem verzahnt ist.
- **Skalierbarkeit:** Mit diesem Kriterium wird die An- und Wiederverwendbarkeit der entwickelten Lösung auf industrielle, über das Anwendungsbeispiel hinausgehende Problemstellungen beleuchtet.
- **Kosten-Nutzen-Verhältnis:** Fokus dieses Kriteriums liegt auf der Bewertung der Relation zwischen den Aufwänden für die Realisierung des Anwendungsbeispiels und dem aus der Anwendung resultierenden Nutzen.
- **Reifegrad:** Das Kriterium bewertet den industriellen Reifegrad der AR-Applikation auf Grundlage der Diskrepanz zwischen der erprobten und anvisierten Einsatzumgebung (z.B. Labor, Feld) sowie der Realitätsnähe der verwendeten Datensätze.
- **Nutzertests:** Mit diesem Kriterium wird berücksichtigt, ob das AR-System in dem Anwendungsbeispiel durch Nutzer, die der anvisierten Zielgruppe entsprechen, systematisch getestet wurde.

- **Eigenständige Nutzbarkeit:** Es wird untersucht, ob die entwickelte AR-Applikation eigenständig, d.h. ohne Kontrolle und Einflussnahme durch die zuständigen Entwickler, verwendet werden kann.
- **Beteiligung der Industrie:** Als Indikator für die Praxistauglichkeit spiegelt dieses Kriterium wider, ob die AR-Applikation in dem Anwendungsbeispiel durch eine Forschungseinrichtung oder unter Mitwirkung von Industriepartnern entwickelt wurde.

Bewertung: Aufbauend auf einer umfassenden Literaturrecherche liefert FITE-GEORGEL eine breite und fundierte Bestandsaufnahme zum industriellen Einsatz von AR. Das empirische Vorgehen ermöglicht ein hohes Maß an Transparenz und Nachvollziehbarkeit. Struktur und Orientierung bietet die Einordnung der untersuchten Anwendungsbeispiele entlang der Lebenszyklusphasen eines technischen Systems. In Anbetracht der dynamischen technischen Entwicklung liefern jedoch die Ergebnisse aufgrund des limitierten Betrachtungszeitraums (1998 bis 2010) aus heutiger Sicht kein vollständiges Bild. Zudem beschränken sich die Ausführungen auf einzelne AR-Anwendungsbeispiele. Die fehlende Abstraktion und Verdichtung zu generischen AR-Anwendungsszenarien erschwert daher den Übertrag der Ergebnisse auf individuelle Problemstellungen von Unternehmen.

3.1.4 Taxonomie für AR-Anwendungen nach NORMAND ET AL.

NORMAND ET AL. beschreiben eine Taxonomie, die eine Einordnung von AR-Anwendungen anhand von vier Kriterien ermöglicht [NSM12, S. 4ff.]:

- **Zeitlicher Bezug:** Es wird beleuchtet, auf welchen Zeitabschnitt sich die mittels AR dargestellten Inhalte beziehen. Die möglichen Ausprägungen umfassen die Vergangenheit ($< t_0$), Gegenwart (t_0) und Zukunft ($> t_0$). Darüber hinaus werden rein fiktive Darstellungen (∞) unterschieden, die zeitlich von der realen Welt entkoppelt sind.
- **Tracking:** In Abhängigkeit von den Anforderungen der AR-Anwendung werden mit diesem Kriterium die Freiheitsgerade beschrieben, die zur Darstellung der virtuellen Inhalte erforderlich sind. Es wird differenziert zwischen virtuellen Inhalten, die keinen räumlichen Bezug aufweisen (*0D*, z.B. QR-Codes), die in zweidimensionalem Bezug zur Realität stehen (*2D*, z.B. Navigationskarten), die zusätzlich zu den zwei Dimensionen Aufschluss über die relative Orientierung des Anwenders liefern ($2D + \Theta$, z.B. Routenführung) und solchen, die jeweils drei Dimensionen für die Position und Lage aufweisen und damit dem originären Verständnis von AR entsprechen (*6D*, z.B. kongruente Darstellung von Wartungsinstruktionen).
- **Typ der Augmentierung:** Dieses Kriterium bewertet, welcher Typ von AR-System für die AR-Anwendung verwendet wird. Analog zu *Abschnitt 2.3.3* wird unterschieden zwischen *Optical-See-Through* (z.B. Datenbrillen), *Video-See-Through* (z.B. Tablets, Smartphones) und *Spatial Augmented Reality* (z.B. stationäre Projektoren).

- **Sinnesmodalitäten:** Als optionales Kriterium werden die durch AR angesprochenen Sinnesmodalitäten beschrieben. Das Spektrum der Ausprägungen umfasst die *visuelle*, *haptische*, *olfaktorische* und *gustatorische* Aufnahme von Informationen.

Zur Verdeutlichung wenden die Autoren die Taxonomie exemplarisch auf **zehn ausgewählte AR-Anwendungsbeispiele** an [NSM12, S. 6f.]. Die Bewertung beschränkt sich dabei auf die ersten drei Kriterien, um eine graphische Visualisierung zu ermöglichen. Das resultierende Portfolio ist in Bild 3-5 für das Beispiel *Google Maps* dargestellt.

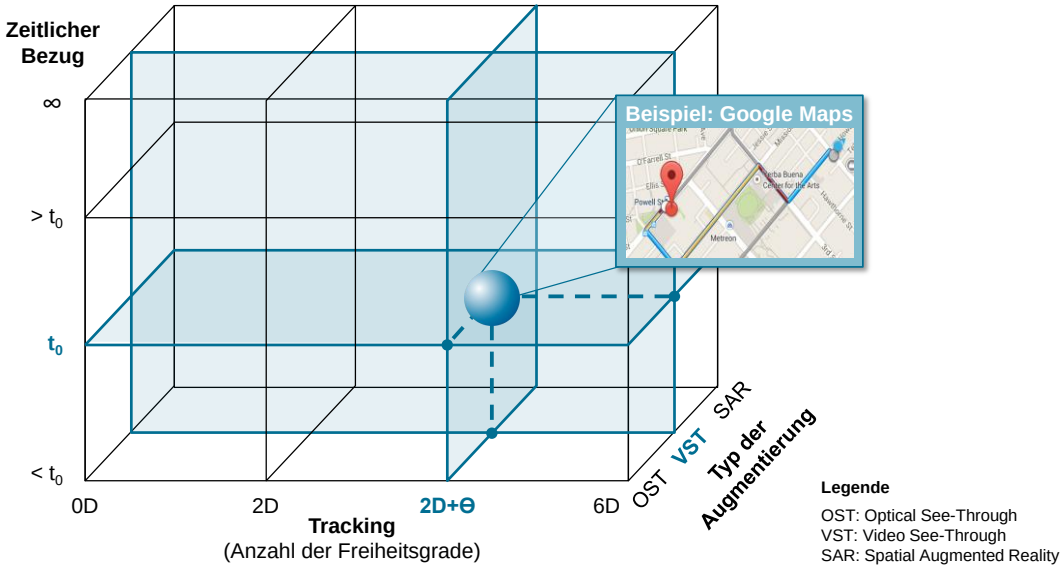


Bild 3-5: Verortung des Anwendungsbeispiels „Google Maps“ in dem Klassifikationsschema nach NORMAND ET AL. *[NSM12, S. 7]*

Bewertung: Die Taxonomie von NORMAND ET AL. ermöglicht eine einfache und leicht nachvollziehbare Einordnung von AR-Anwendungen anhand von vier, vorwiegend auf die technische Realisierung fokussierenden Kriterien. Kritisch reflektieren die Autoren in ihrem eigenen Beitrag, dass ein Großteil der bislang umgesetzten AR-Anwendungsbeispiele in der Taxonomie die gleiche Ausprägung aufweist [NSM12, S. 6]: Dies betrifft u.a. den Fall, dass mit Hilfe eines Handheld-Systems (Typ der Augmentierung: *Video-See-Trough*) virtuelle Informationen mit Bezug zur Gegenwart (zeitlicher Bezug: *t0*) graphisch (Sinnesmodalität: *visuell*) orts- und lagekorrekt (Tracking: *6D*) dargestellt werden. Aus diesem Grund ist die Taxonomie nur bedingt dazu geeignet, unterschiedliche Anwendungsmöglichkeiten von AR voneinander abzugrenzen. Ferner liefert die Taxonomie keinen Aufschluss über die mit AR verbundenen Chancen und Risiken.

3.1.5 Taxonomie für AR-Umgebungen nach HUGUES ET AL.

Die Taxonomie von HUGUES ET AL. unterscheidet AR-Anwendungen abhängig von der **Umgebung**, auf die sie sich beziehen [HFN11, S. 47ff.]. Vor diesem Hintergrund differenzieren die Autoren zwischen Umgebungen, die künstlich erzeugt sind, und solchen,

die sich auf die gegenwärtige Situation in der Realität beziehen. Ausgangspunkt der Unterscheidung bildet die Annahme, dass den zwei Klassen unterschiedliche Zielsetzungen zugrunde liegen, weswegen die Autoren auch von einer **funktionalen Taxonomie** sprechen. Während künstlich erzeugte Umgebungen losgelöst von physischen Restriktionen der Erweiterung der menschlichen Vorstellungskraft dienen, zielen Umgebungen mit Bezug zur gegenwärtigen Realität auf die Erweiterung der Sinneswahrnehmung und damit verbunden auf ein verbessertes Handeln in eben dieser.

HUGUES ET AL. unterscheiden für jede der beschriebenen Stoßrichtungen unterschiedliche mögliche **Ausprägungen**, die in Bild 3-6 dargestellt sind [HFN11, S. 51ff.].

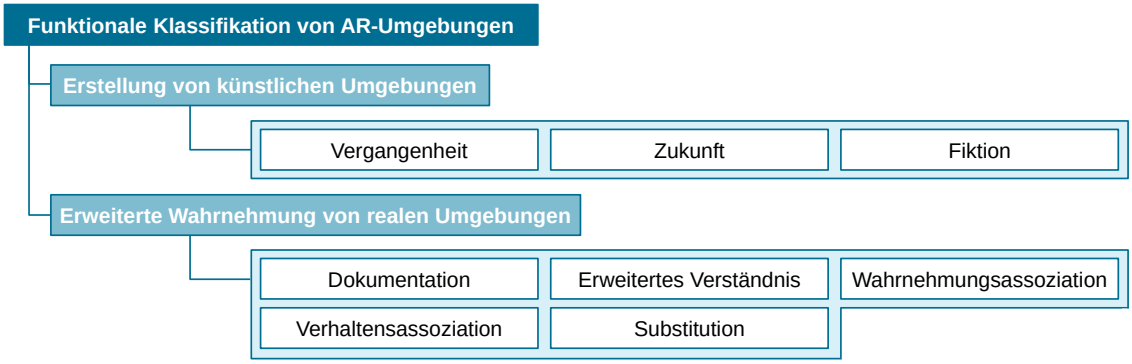


Bild 3-6: Klassifikation von AR-Umgebungen nach HUGUES ET AL. [HFN11, S. 51]

Mittels AR erzeugte **künstliche Umgebungen** können sich auf einen Zustand in der *Vergangenheit* beziehen. Dabei kann entweder ein nicht mehr existierendes Objekt in seiner gegenwärtigen realen Umgebung dargestellt oder ein reales Objekt in eine nicht mehr existierende, virtuell rekonstruierte Umgebung eingebettet werden. Alternativ lassen sich mögliche Zustände in der *Zukunft* antizipieren. Weitestgehend entkoppelt von der realen Welt sind künstliche Umgebungen, die imaginäre Inhalte zeigen und allein durch die menschliche Vorstellungskraft begrenzt sind (*Fiktion*) [HFN11, S. 55ff.].

Die Erweiterung der Wahrnehmung von **realen Umgebungen** kann auf unterschiedliche Weise erfolgen: *Dokumentation* bezeichnet den Fall, dass reale und virtuelle Informationen separat voneinander dargestellt werden. Die Überlagerung von Objekten der realen Welt mit passiven Informationen (z.B. Beschriftungen) oder virtuellen Repräsentationen (z.B. Drahtgitter) wird unter *erweitertes Verständnis* subsumiert. *Wahrnehmungsassoziation* bezeichnet die Darstellung virtueller Objekte, die keine Entsprechung in der realen Welt haben. Verhalten sich diese Objekte entsprechend der physischen Eigenschaften, die in der realen Welt Gültigkeit haben (z.B. Gravitation), wird dies als *Verhaltensassoziation* bezeichnet. Schließlich umfasst *Substitution* diejenigen Fälle, in denen reale durch virtuelle Objekte ersetzt werden und vice versa [HFN11, S. 51ff.].

Bewertung: Die Taxonomie von HUGUES ET AL. schafft einen Rahmen zur funktionalen Einordnung von AR-Anwendungen und zeigt Optionen für die inhaltliche Gestaltung dieser auf. Durch die weitgehende Entkopplung von Anwendungskontext und technischer

Realisierung grenzt sich die Taxonomie von anderen Klassifikationsschemata ab. Jedoch weisen die Ausprägungen einen hohen Abstraktionsgrad auf, infolgedessen die Klassifikation nur bedingt Aufschluss über praktische Einsatzmöglichkeiten von AR im industriellen Kontext liefert. Die Zuordnung zu den Ausprägungen erfolgt vielfach auf Grundlage der Relation zwischen realen und virtuellen Objekten. Diese kann jedoch innerhalb einer AR-Anwendung von Szene zu Szene variieren, wodurch sich eine eindeutige, überschneidungsfreie Zuordnung in vielen Fällen als schwierig erweist. Zudem bleiben für die strategische Planung relevante Fragen nach Chancen und Risiken unbeachtet.

3.2 Ansätze zur Ideenfindung für AR-basierte Produkt-Service-Systeme

Die Problemanalyse zeigt, dass es einer methodischen Unterstützung der Produktfindung bedarf, um ausgehend von Kundenbedürfnissen die Potentiale von AR in konkrete Geschäftsideen für Produkt-Service-Systeme zu überführen. Vor diesem Hintergrund werden in den *Abschnitten 3.2.1* bis *3.2.3* Ansätze vorgestellt, die speziell die Bewertung und Auswahl von AR-Anwendungen fokussieren. Darüber hinaus wird in *Abschnitt 3.2.4* mit dem Value Proposition Design nach OSTERWALDER ET AL. ein etablierter Ansatz beschrieben, um der als Erfolgsfaktor herausgestellten Kundenorientierung Rechnung zu tragen. *Abschnitt 3.2.5* erläutert schließlich mit dem Ansatz von WALL ein allgemeingültiges, technologieagnostisches Vorgehen für die Produkt- und Technologieplanung.

3.2.1 Auswahlmodell für AR-basierte Produkt-Service-Systeme nach PORCELLI ET AL.

PORCELLI ET AL. formulieren ein Auswahlmodell, das die Selektion von AR-Anwendungen für das Produkt-Service-Geschäft unterstützt [PRE+13, S. 139ff.]. Im Fokus der Betrachtung stehen produktorientierte Produkt-Service-Systeme (vgl. *Abschnitt 2.1.3*), die um AR-basierte Dienstleistungen mit Schwerpunkt auf den technischen Kundendienst erweitert werden. Aufbauend auf Überlegungen zur Technologieakzeptanzforschung unterscheiden die Autoren in dem **Auswahlmodell** zwischen den Dimensionen *Aufgabenkomplexität* und *Interaktion*, die jeweils zwei Ausprägungen aufweisen.

Die **Aufgabenkomplexität** wird bestimmt durch die Varianz und die Analysierbarkeit einer Aufgabe. Es wird unterschieden zwischen Aufgaben mit *geringer Komplexität* (Routineaufgaben) und *hoher Komplexität* (Nicht-Routineaufgaben). Routineaufgaben sind durch eine hohe Analysierbarkeit und geringe Varianz gekennzeichnet. Nicht-Routineaufgaben weisen entsprechend gegenteilige Ausprägungen auf [PRE+13, S. 139].

Interaktion bezieht sich auf die Handlung, die der Anwender an dem Produkt (z.B. Maschine) vollzieht. *Gegenständliche Interaktion* umfasst motorische Tätigkeiten, die mit einer physischen Manipulation des Produkts verbunden sind (z.B. Wartung, Installation).

Nicht-gegenständliche Interaktion bezeichnet hingegen kognitive und konzeptionelle Tätigkeiten, in deren Zuge die Beschaffenheit des Produktes nicht verändert wird (z.B. Monitoring, Kontrolle) [PRE+13, S. 139f.].

Aus der Gegenüberstellung der Ausprägungen resultiert eine 2x2-Matrix, die Bild 3-7 zeigt. Den vier Feldern ist jeweils ein **AR-Anwendungsszenario** mit idealtypischer Konfiguration zugeordnet, dessen Umsetzung sich bei Vorliegen der entsprechenden Ausprägungen empfiehlt [PRE+13, S. 140ff.].

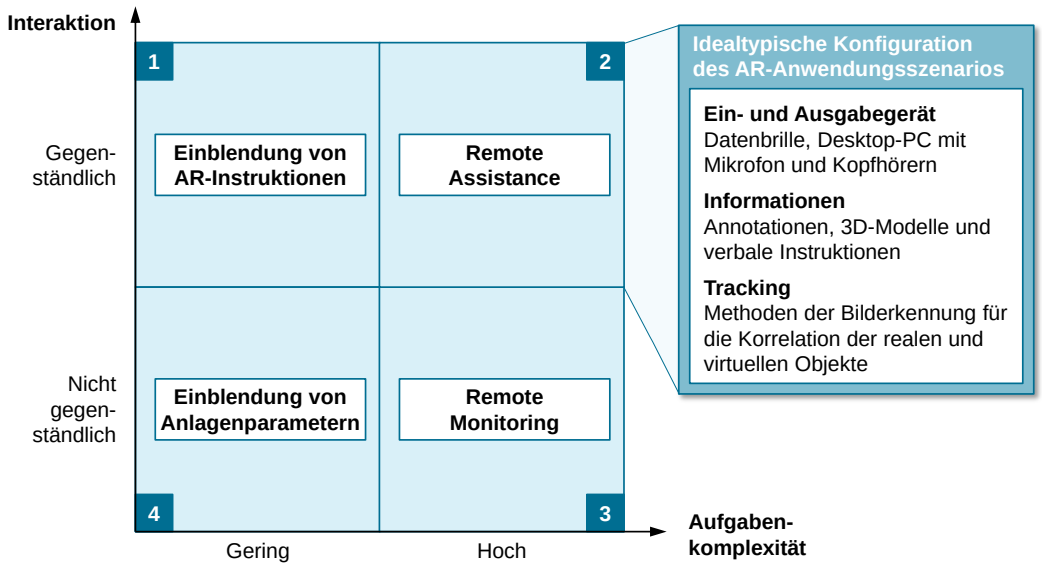


Bild 3-7: Modell zur Auswahl von AR-Anwendungen für das Produkt-Service-Geschäft am Beispiel „Remote Assistance“ nach PORCELLI ET AL. *[PRE+13, S. 140]*

- **Einblendung von Instruktionen:** Da es sich in diesem Fall um motorische Routinetätigkeiten mit strukturierter Arbeitsabfolge und geringer Varianz handelt, bietet sich der Einsatz von AR zur Visualisierung von Instruktionen an. Um das beidhändige Arbeiten zu ermöglichen, empfiehlt sich eine Datenbrille mit Sprachsteuerung, die Texte und Grafiken ins Sichtfeld des Anwenders einblendet.

- **Remote Assistance:** Aufgrund der hohen Komplexität der zugrundeliegenden Aufgabe lassen sich alle potentiell benötigten Informationen vielfach nicht vollumfänglich vorhalten. Es empfiehlt sich daher die situationsgerechte Zuschaltung eines Experten, der Einblick in die lokalen Gegebenheiten erhält und über visuelle und verbale Instruktionen den Anwender bei der Aufgabendurchführung unterstützt.

- **Remote Monitoring:** Analog zu Remote Assistance bietet sich aufgrund der hohen Aufgabenkomplexität die flexible Zuschaltung eines Experten an. Da es sich um Aufgaben handelt, die keine physische Manipulation des Produkts erfordern, kann auf visuelle Instruktionen des Experten verzichtet und damit die technische Realisierung der AR-Anwendung vereinfacht werden (z.B. nur audiovisuelle Verbindung).

- **Einblendung von Anlagenparametern:** Kognitive Aufgaben mit geringer Komplexität erfordern häufig den Zugriff auf Informationen zu Prozess- und Anlagenparametern. Der Einsatz mobiler Endgeräte ermöglicht es, diese Informationen mit Hilfe von AR unmittelbar an den entsprechenden Maschinen zu visualisieren und damit ortsunabhängig verfügbar zu machen.

Bewertung: Das Auswahlmodell von PORCELLI ET AL. bietet eine Hilfestellung für die Selektion von AR-Anwendungsszenarien zur Weiterentwicklung produktorientierter Produkt-Service-Systeme. Grundlage für den Auswahlprozess bildet eine Analyse des Aufgabenkontexts, um eine bedarfsgerechte Unterstützung durch AR zu ermöglichen. Da sich das Auswahlmodell auf AR-Anwendungen im technischen Kundendienst beschränkt, beleuchtet es nur einen Teilausschnitt des Lebenszyklus von Produkt-Service-Systemen und liefert damit kein vollständiges Bild für die Weiterentwicklung des Produkt-Service-Geschäfts. Ferner bleiben über den Aufgabenkontext hinausgehende, kundenspezifische Bedarfe im Auswahlprozess unberücksichtigt.

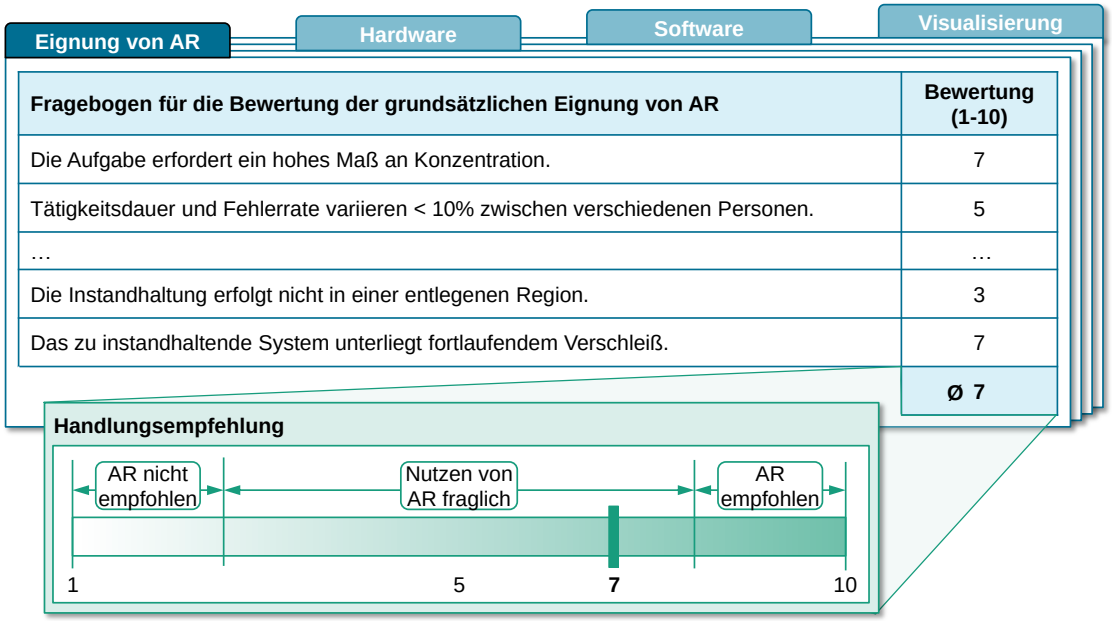
3.2.2 Leitfragenkatalog zur Bewertung von AR-Anwendungen nach PALMARINI ET AL.

PALMARINI ET AL. beschreiben einen Leitfragenkatalog, der die Bewertung von AR-Anwendungen für die Instandhaltung unterstützt [PER17, S. 24ff.]. Der **Leitfragenkatalog** richtet sich an Personen ohne spezifisches Technologiewissen zu AR und soll diese befähigen, die Eignung von AR für einen gegebenen Aufgabenkontext zu bewerten und eine erste rudimentäre Spezifikation für ein potentielles AR-System vorzunehmen. Grundlage für den Fragenkatalog bildet eine Untersuchung von 29 wissenschaftlichen Publikationen, in denen der Einsatz von AR in der Instandhaltung beschrieben ist. Aus den identifizierten Publikationen wurden die darin beschriebenen Beweggründe für die Verwendung von AR und die Auswahl bestimmter technischer Ausprägungen extrahiert. Anschließend wurden die Ergebnisse verdichtet und in einen mehrstufigen Leitfragenkatalog überführt.

Der Leitfragenkatalog gliedert sich in vier **Fragebögen**, die sich jeweils einem Schwerpunkt widmen: Der Fragebogen zur *Eignung von AR* beleuchtet, ob der Einsatz von AR für die zugrundeliegende Aufgabenstellung grundsätzlich empfehlenswert ist. Die Spezifikation der Hardwarekomponenten des AR-Systems sowie der Software-Entwicklungswerkzeuge ist Gegenstand der Fragebögen zu *Hardware* und *Software*. Die Beschaffenheit der virtuellen Inhalte, die mittels AR dargestellt werden sollen, wird mit dem Fragebogen zur *Visualisierung* beantwortet. Die Fragebögen bauen aufeinander auf und sind in der Reihenfolge ihrer oben genannten Nennung zu bearbeiten [PER17, S. 25f.].

Jeder Fragebogen umfasst zwischen zehn und achtzehn **Leitfragen**, die jeweils auf einer zehnstufigen Skala von *1 = nicht zutreffend* bis *10 = vollkommen zutreffend* zu beantworten sind. Nach der Beantwortung aller Fragen ist für jeden Fragebogen ein Durchschnitts-

wert zu berechnen, der mit einer entsprechenden **Handlungsempfehlung** für den spezifischen Themenschwerpunkt des Fragebogens verbunden ist. Die Handlungsempfehlungen beziehen sich u.a. auf den zu verwendenden Typ des AR-Systems (z.B. Datenbrille, Projektor), die Art der Softwicklungswerkzeuge (z.B. Programmiersprache, Software Development Kit) sowie die Gestalt der virtuellen Inhalte (z.B. Text, Graphiken). Bild 3-8 zeigt exemplarisch einen Auszug aus dem Fragebogen für die Bewertung der *Eignung von AR* inklusive einer Übersicht der Handlungsempfehlungen, die in Abhängigkeit des Durchschnittswertes zutreffend sind [PER17, S. 26ff.].



Fragebogen für die Bewertung der grundsätzlichen Eignung von AR	Bewertung (1-10)
Die Aufgabe erfordert ein hohes Maß an Konzentration.	7
Tätigkeitsdauer und Fehlerrate variieren < 10% zwischen verschiedenen Personen.	5
…	…
Die Instandhaltung erfolgt nicht in einer entlegenen Region.	3
Das zu instandhaltende System unterliegt fortlaufendem Verschleiß.	7
	Ø 7

Bild 3-8: Auszug aus dem Leitfragenkatalog zur Auswahl von AR-Anwendungen nach PALMARINI ET AL. *[PER17, S. 25f.]*

Bewertung: Der Leitfragenkatalog nach PALMARINI ET AL. bietet insbesondere Personen ohne Expertise und Erfahrungswerten im Umgang mit AR eine intuitive Möglichkeit, die prinzipielle Anwendbarkeit von AR für eine gegebene Problemstellung zu bewerten und darauf aufbauend eine erste Indikation für die Gestaltung des AR-Systems zu erhalten. Der Fokus des Leitfragenkatalogs liegt auf dem Einsatz von AR in der Instandhaltung, was sich auch in der Formulierung der Leitfragen widerspiegelt. Dadurch ist das Vorgehen für über die Instandhaltung hinausgehende Anwendungsfälle ungeeignet. Da Anhaltspunkte für die Bewertung entlang der zehnstufigen Skala fehlen und die Handlungsempfehlungen allein aus einem Durchschnittswert der Antworten resultieren, ergeben sich zudem Zweifel an der Aussagekraft und Praxistauglichkeit der Ergebnisse. Dies wird durch die fehlende Validierung des Vorgehens zusätzlich unterstrichen.

3.2.3 Einsatzindikatoren für Datenbrillen nach GRAUEL ET AL.

Im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin beschreiben GRAUEL ET AL. ein Vorgehen zur Bewertung der Eignung von Datenbrillen [GWA12, S. 46ff.],

[BAU16, S. 9ff.]. Ausgangspunkt für die Überlegungen bildet das **Task-Technology-Fit-Modell** (vgl. *Abschnitt 2.3.2*), demzufolge der Grad der Unterstützung, den eine Person unter Berücksichtigung ihrer individuellen Fähigkeiten durch eine Technologie erfährt, durch die Passung zwischen Aufgabe und Technologie determiniert wird. Eine hohe Passung wirkt sich positiv auf die Wahrscheinlichkeit aus, dass die Technologie von der anvisierten Zielgruppe genutzt und deren individuelle Arbeitsleistung erhöht wird. Hieraus schlussfolgern die Autoren, dass dem nutzenstiftenden Einsatz von Datenbrillen eine Analyse der Arbeitsaufgabe vorzuschalten ist [BAU16, S. 9].

Vor diesem Hintergrund formulieren GRAUEL ET AL. ein **Vorgehen**, das auf den Arbeiten von STANTON ET AL. aufbaut [SSW+18, S. 4ff.] und in Bild 3-9 dargestellt ist.

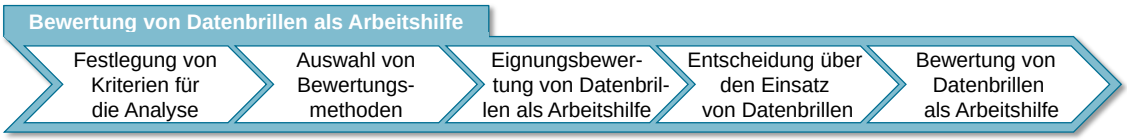


Bild 3-9: Vorgehen zur Eignungsbewertung von Datenbrillen nach GRAUEL ET AL. [GWA12, S. 51]

Das Vorgehen setzt sich aus **fünf Phasen** zusammen: Ausgehend von Kriterien, die unter Berücksichtigung der Zielsetzung für den Einsatz von Datenbrillen festzulegen sind, ist eine geeignete Methode für die Bewertung des Aufgabenkontexts auszuwählen (z.B. hierarchische oder kognitive Aufgabenanalyse). Durch den Abgleich der Aufgabenmerkmale mit einer Liste an Indikatoren, die für bzw. gegen den Einsatz von Datenbrillen sprechen, wird die grundsätzliche Eignung von Datenbrillen als Arbeitshilfe bewertet und darauf aufbauend eine Entscheidung über die Verwendung getroffen. Im Rahmen von Pilotprojekten und Feldtests werden abschließend die Effekte auf Leistung und Beanspruchung experimentell validiert und alternative Technologien und Informationsdarstellungen miteinander verglichen [GWA12, S. 51].

Als zentrales Hilfsmittel wird für das Vorgehen eine **Liste mit 40 Indikatoren** bereitgestellt, in denen Aufgabenmerkmale für und gegen den Einsatz von Datenbrillen beschrieben sind. Die Indikatoren resultieren aus einem Expertenworkshop mit 19 Teilnehmern, in dem Vor- und Nachteile von Datenbrillen für bestimmte Aufgabenkontexte diskutiert, anschließend verdichtet und dokumentiert wurden. Aufgabenmerkmale, die für den Einsatz von Datenbrillen sprechen, beziehen sich u.a auf Tätigkeiten, die ein beidhändiges Arbeiten erfordern, für deren Durchführung der Anwender mobil sein muss und deren Aufgabenelemente sich nur selten wiederholen. Wenig geeignet sind Datenbrillen hingegen, wenn ein uneingeschränktes Sichtfeld erforderlich ist, große Textmengen oder komplexe technische Zeichnungen visualisiert werden müssen und die Primäraufgabe aufmerksamkeitsintensiv ist. Einen Auszug aus den Indikatoren zeigt Bild 3-10; die vollständige Liste ist *Anhang A1* zu entnehmen [GWA12, S. 50], [BAU16, S. 10ff.].

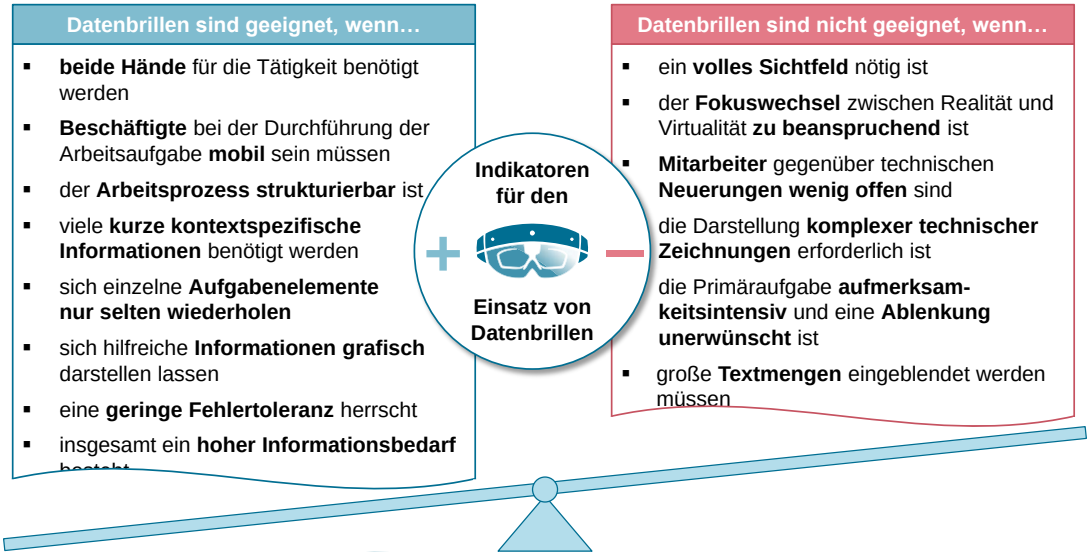


Bild 3-10: Auszug aus den Indikatoren für und gegen den Einsatz von Datenbrillen nach GRAUEL ET AL. *[GWA12, S. 50], [BAU16, S. 12]*

Bewertung: Aufbauend auf einer Analyse des Aufgabenkontexts ermöglicht es der Ansatz von GRAUEL ET AL., die prinzipielle Eignung von Datenbrillen nachvollziehbar zu bewerten. Im Kern steht eine umfassende Übersicht an Indikatoren, die Aufgabenmerkmale für und gegen den Einsatz von Datenbrillen beschreiben und in ein systematisches Vorgehen eingebettet sind. Die in den Indikatoren beschriebenen Aufgabenmerkmale sind zwar prinzipiell geeignet, im Zuge der Ideenfindung Anregungen für mögliche Anwendungsfelder von AR zu liefern, durch den Fokus auf Datenbrillen zeichnen sie jedoch kein vollständiges Bild. Zudem bezieht sich das Vorgehen vorrangig auf die Eignungsbewertung und beleuchtet damit nur einen Teilausschnitt der Ideenfindung. Für die Abwägung alternativer Technologiekonzepte weist das Vorgehen jedoch eine hohe Relevanz für die zu entwickelnde Systematik auf.

3.2.4 Value Proposition Design nach OSTERWALDER ET AL.

Unter der Bezeichnung **Value Proposition Design** beschreiben OSTERWALDER ET AL. einen Ansatz zur Analyse von Kundenbedürfnissen und zur gezielten Entwicklung neuer Nutzenversprechen für den Kunden [OPB+14, S. VIIIf.]. Der Ansatz greift Prinzipien und Methoden unterschiedlicher Forschungsströmungen (z.B. Lean Startup, Design Thinking) auf und bündelt diese in einem generischen, iterativ zu durchlaufenden Vorgehensmodell, das sich in drei Phasen gliedert [OPB+14, S. 64ff.]:

- **Phase 1 – Design:** Die erste Phase zielt auf die Entwicklung eines Nutzenversprechens und damit verbundenen Geschäftsmodells. Hierzu werden mit Hilfe von Recherchen, Interviews und Beobachtungen Kundenbedarfe ermittelt, unter Rückgriff auf Kreativitätstechniken in Ideen für neue Wertangebote überführt und schließlich in Form erster Prototypen konkretisiert. Darauf aufbauend wird mit Hilfe einer Business Model Canvas (vgl. *Abschnitt 3.4.1*) ein Geschäftsmodell entwickelt.

- **Phase 2 – Test:** In Anlehnung an den Lean-Startup-Ansatz nach RIES [Rie11, S. 9ff.] erfolgt in der zweiten Phase die Validierung des Geschäftsmodells in einem iterativen Lernzyklus aus den Phasen Bauen, Messen und Lernen. Ausgehend von Hypothesen, die einer Überprüfung bedürfen, werden Experimente vorbereitet (*Bauen*). Die Ergebnisse aus der Experimentdurchführung werden mittels zuvor definierter Metriken erfasst (*Messen*) und daraus Erkenntnisse für die Verbesserung bestehender bzw. die Entwicklung neuer Funktionalitäten gewonnen (*Lernen*). Für den Lernzyklus werden Hilfsmittel wie Experimente sowie Test- und Lernkarten bereitgestellt.
- **Phase 3 – Weiterentwicklung:** Die dritte Phase adressiert die Umsetzung und fortlaufende Weiterentwicklung des Geschäftsmodells. Dies umfasst die Kommunikation zu den Stakeholdern, die Planung von Maßnahmen sowie die Festlegung von Leistungsindikatoren, um den Erfolg zu messen. Besondere Gewichtung wird auf die frühzeitige und proaktive Weiterentwicklung des Geschäftsmodells gelegt.

Im Kern des Vorgehens steht die in Bild 3-11 dargestellte **Value Proposition Canvas**, die als Schablone für die Definition des Nutzenversprechens dient. Sie ist mit der Business Model Canvas verzahnt und konkretisiert die Geschäftsmodellelemente *Nutzenversprechen* und *Kundensegment* [OPB+14 S. 145ff.].

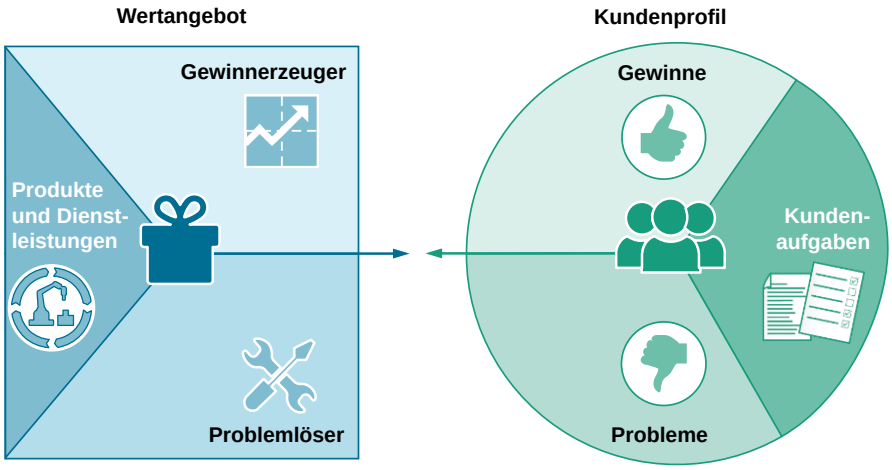


Bild 3-11: Value Proposition Canvas nach OSTERWALDER ET AL. [OPB+14, S. 8]

Die Value Proposition Canvas besteht aus zwei Segmenten: In dem **Kundenprofil** werden die *Aufgaben*, *Probleme* und *Gewinne* des anvisierten Kundensegments analysiert. Das **Wertangebot** detailliert das Nutzenversprechen und beschreibt, mit welchen *Produkten und Dienstleistungen* die Gewinne für den Kunden erzeugt (*Gewinnerzeuger*) und dessen Probleme gelöst werden (*Problemlöser*). Charakteristisches Merkmal Erfolg versprechender Geschäftsmodelle ist eine hohe Übereinstimmung zwischen Kundenprofil und Wertangebot [OPB+14, S. 8ff.].

Bewertung: Mit dem Value Proposition Design liefern OSTERWALDER ET AL. einen umfassenden Ansatz, der unter Rückgriff auf etablierte Methoden und Techniken die Entwicklung von Nutzenversprechen unterstützt. Da es sich um ein technologieagnostisches

Vorgehen handelt, werden die spezifischen Potentiale von AR nicht berücksichtigt. Gleichwohl wird mit der Value Proposition Canvas ein intuitiv verständliches und universal einsetzbares Hilfsmittel präsentiert, das eine systematische Analyse von Kundenbedarfen und darauf aufbauend die Definition eines Erfolg versprechenden Wertangebots ermöglicht. Vor diesem Hintergrund stellt die Value Proposition Canvas eine wertvolle Grundlage für die in der vorliegenden Arbeit zu entwickelnde Systematik dar.

3.2.5 Technologieinduzierte Produkt- und Technologieplanung nach WALL

Die von WALL beschriebene **Systematik zur technologieinduzierten Produkt- und Technologieplanung** zielt darauf ab, die Potentiale emergenter Technologien zu antizipieren und in Handlungsoptionen für das zukünftige Geschäft zu überführen [Wal16, S. 101ff.]. Sie umfasst einen Ordnungsrahmen sowie ein Vorgehensmodell.

Der **Ordnungsrahmen** dient der Strukturierung von Elementen, die im Rahmen des Vorgehens erarbeitet werden und setzt diese miteinander in Beziehung. Die Elemente gliedern sich in einen technologiebezogenen Lösungsraum und einen marktbezogenen Problemraum. Der Lösungsraum umfasst die Ebenen *Technologie* und *technologische Leistungsfähigkeit*, der Problemraum die Ebenen *Markt* und *Anwendungskontexte*. In Abhängigkeit des Auslösers der Innovation sind mit dem *technologie-* und *bedürfnisinduzierten Innovationsprozess* entsprechend der Logik von Technology Push bzw. Market Pull zwei grundsätzliche Pfade durch den Ordnungsrahmen zu unterscheiden. Im Fokus des Vorgehensmodells steht der technologieinduzierte Innovationsprozess [Wal16, S. 102f.].

Die im Ordnungsrahmen enthaltenen Elemente werden in einem fünfstufigen **Vorgehen** erarbeitet, das in Bild 3-12 dargestellt ist. Ausgangspunkt des Vorgehens bildet ein Auftrag zur Entwicklung einer Technology-Push-Strategie [Wal16, S. 104ff.].

- **Phase 1 – Technologieanalyse und -vorausschau:** Die erste Phase dient der Beschreibung des heutigen und zukünftigen Lösungsraums. Betrachtungsgegenstand ist eine Produkttechnologie oder alternativ eine Produktionstechnologie, die diese in ihren Wesenszügen determiniert. Aufbauend auf einer Spezifikation des Auftrags werden die gegenwärtigen produktionstechnologischen Rahmenbedingungen ermittelt und die heutige Leistungsfähigkeit der im Fokus stehenden Produkttechnologie bestimmt. Anschließend werden die zukünftigen Rahmenbedingungen sowie die zukünftige Leistungsfähigkeit der Produkttechnologie antizipiert.

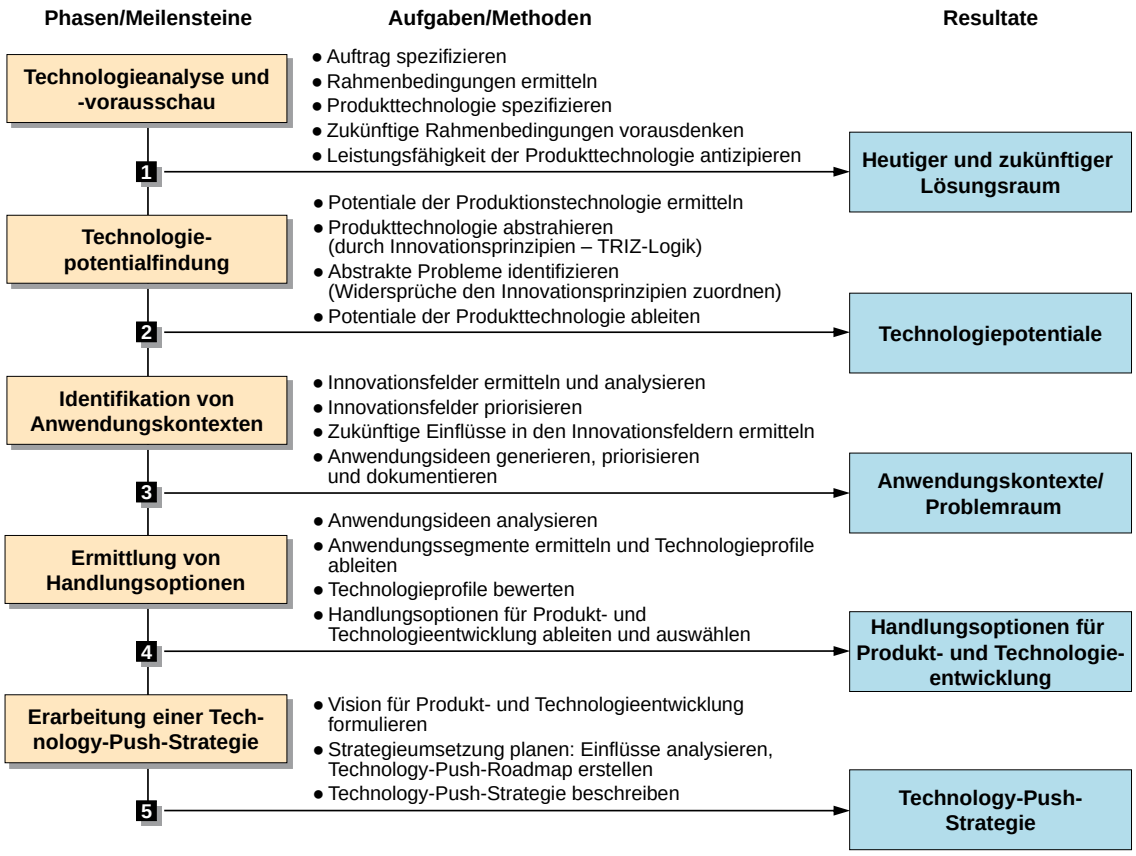


Bild 3-12: Vorgehensmodell zur technologieinduzierten Produkt- und Technologieplanung nach WALL [Wal16, S. 105]

- **Phase 2 – Technologiepotentialfindung:** Ziel der zweiten Phase ist die Identifikation von Technologiepotentialen. Ausgehend von produktionstechnologischen Potentialen wird die Produkttechnologie unter Verwendung von Innovationsprinzipien des TRIZ-Ansatzes abstrahiert. Den Innovationsprinzipien werden abstrakte Probleme zugeordnet, die mit Widerspruchsparametern beschrieben werden. Aus deren Analyse werden schließlich Potentiale der Produkttechnologie abgeleitet.

- **Phase 3 – Identifikation von Anwendungskontexten:** In der dritten Phase wird der Problemraum beschrieben, indem die identifizierten Technologiepotentiale mit Anwendungskontexten verknüpft werden. Hierzu werden Innovationsfelder ermittelt, priorisiert und zukünftige Einflüsse auf diese antizipiert. Aus den daraus resultierenden Chancen und Risiken werden schließlich Anwendungsideen generiert.

- **Phase 4 – Ermittlung von Handlungsoptionen:** Durch die Synchronisierung von Lösungs- und Problemraum werden in der vierten Phase Handlungsoptionen für die Produkt- und Technologieentwicklung abgeleitet. Hierfür werden zunächst die identifizierten Anwendungsideen bewertet, in Anwendungssegmenten zusammengefasst und daraus Technologieprofile abgeleitet. Aus der Analyse der Technologieprofile hinsichtlich der strategischen Relevanz, relativen Technologiekompetenz und des Realisierungshorizonts werden Handlungsoptionen ermittelt.

- **Phase 5 – Erarbeitung einer Technology-Push-Strategie:** Auf Grundlage der Handlungsoptionen wird eine Technology-Push-Strategie entwickelt. Ausgehend von der gegenwärtigen Situation beschreibt sie die Vision und Ziele für die Produkt- und Technologieentwicklung und gibt Aufschluss über die Umsetzungsplanung in Gestalt einer Technology-Push-Roadmap.

Bewertung: WALL beschreibt einen umfassenden Ansatz zur Ermittlung von Potentialen emergenter Technologien und darauf aufbauend der strategischen Ausrichtung der Produkt- und Technologieentwicklung. Im Vordergrund steht ein technologieinduzierter Innovationspfad, wie er auch der vorliegenden Arbeit zugrunde liegt (vgl. *Abschnitt 2.2.3*). Da der Ansatz technologieneutral formuliert ist, werden die spezifischen Potentiale von AR nicht explizit berücksichtigt. Zudem werden durch den Fokus auf Produkt- und Produktionstechnologien technologische Innovationspotentiale für Dienstleistungen allenfalls randständig berücksichtigt, weshalb das Vorgehen für die Weiterentwicklung des Produkt-Service-Geschäfts nur bedingt geeignet ist.

3.3 Ansätze zur integrativen Konzipierung AR-basierter Produkt-Service-Systeme

Die Ausführungen zur Problemabgrenzung in *Abschnitt 2.4.2* haben gezeigt, dass es einer methodischen Unterstützung der Produkt- und Dienstleistungskonzipierung bedarf. Diese bezieht sich zum einen auf die Spezifikation des AR-Systems und zum anderen auf die transparente Darlegung der durch die Integration von AR induzierten Änderungsauswirkungen auf die Sach- und Dienstleistungskomponenten des Produkt-Service-Systems. Vor diesem Hintergrund werden in den *Abschnitten 3.3.1* bis *3.3.3* zunächst Vorgehensmodelle und Hilfsmittel für die Konfiguration und Auswahl von AR-Systemen vorgestellt. Die folgenden Abschnitte widmen sich Ansätzen der Produkt-Service-System-Entwicklung. Einen umfassenden Überblick über die Vielzahl der hier entstandenen Arbeiten geben GRÄßLE ET AL. [GTD10, S. 82ff.]. Stellvertretend wird im Rahmen dieser Arbeit die Spezifikationstechnik CONSENS in *Abschnitt 3.3.4* vorgestellt, die dem Grundgedanken des Model-Based Systems Engineering folgend die modellbasierte Beschreibung von Produkt-Service-Systemen ermöglicht. Mit der Entwicklungsmethodik nach METZGER ET AL. wird abschließend in *Abschnitt 3.3.5* ein Vorgehen beschrieben, das speziell die Integration von Service-Unterstützungssystemen in Produkt-Service-Systeme beleuchtet.

3.3.1 Konfigurationssystematik für AR-Systeme nach SCHILLING

Mit Fokus auf den Produktentstehungsprozess formuliert SCHILLING einen methodischen Ansatz für die Konfiguration von AR-Systemen [Sch08, S. 74ff.]. Ausgangspunkt der Überlegungen bildet eine **Variantenmatrix**, die sich in die drei Ebenen *Aufgabe*, *Funktion* und *Technik* gliedert. Die Aufgaben orientieren sich an den Phasen des Produktentstehungsprozesses (z.B. Design und Konstruktion, Berechnung), für deren Bearbeitung

bestimmte Funktionen (z.B. Anzeige, Interaktion) erforderlich sind. Zur Funktionserfüllung werden wiederum Technikkomponenten des AR-Systems (z.B. Tracking, Display) benötigt. Durch die Auswahlmöglichkeit jeweils einer Ausprägung und deren freier Kombinierbarkeit untereinander resultieren 1,98 x 10^9 theoretisch mögliche AR-Systeme.

Um aus der unüberschaubaren Vielfalt an Systemkonfigurationen die für einen bestimmten Kontext zielführende auszuwählen, beschreibt SCHILLING eine **Konfigurationssystematik** mit dem Ziel, die Zusammenstellung der Systemkomponenten des AR-Systems zu unterstützen und hinsichtlich ihrer Kompatibilität zu überprüfen. Als Hilfsmittel werden ein *Leitfragenkatalog* und eine *Einflussmatrix* bereitgestellt [Sch08, S. 83ff.].

Der **Leitfragenkatalog** dient der Erhebung von Anforderungen und umfasst 23 Leitfragen, die sich an den Komponenten eines AR-Systems und Einflussfaktoren auf dieses orientieren. Jeder Leitfrage sind Informationen zu den *Wechselwirkungen* mit anderen Komponenten und Einflussfaktoren zugeordnet. Darüber hinaus wird eine *Auswahl möglicher Ausprägungen* des AR-Systems dargestellt, um die Leitfrage zu beantworten. Zusätzlich ist ein Feld für die *Gewichtung* vorgesehen, die der Priorisierung der Leitfrage im Rahmen des Vorgehens dient. Einen Auszug des Leitfragenkatalogs zeigt Bild 3-13.

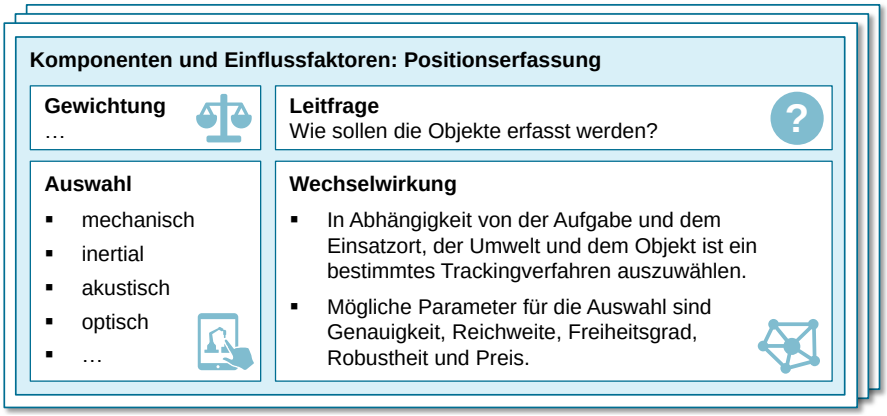


Bild 3-13: Auszug aus dem Leitfragenkatalog nach SCHILLING [Sch08, S. 122]

Im Rahmen des **Vorgehens** zur Durchführung der Konfigurationssystematik werden zunächst die 23 Leitfragen vor dem Hintergrund der umzusetzenden Anwendung priorisiert und in Reihenfolge ihrer absteigenden Gewichtung in eine Liste überführt. Anschließend wird die oberste und damit am höchsten gewichtete Leitfrage durch die Auswahl einer Option beantwortet. Mit Hilfe einer **Einflussmatrix** werden die Wechselwirkungen zwischen der gewählten Ausprägung und den restlichen Leitfragen bzw. darin adressierten Komponenten und Einflussfaktoren untersucht. Anhand der Wechselwirkungen wird die Gewichtung und damit die Reihenfolge der Leitfragen in der Liste aktualisiert. Darauf aufbauend wird die nun an zweiter Stelle stehende Leitfrage beantwortet und nicht konsistente Auswahlmöglichkeiten vor dem Hintergrund der zuvor ausgewählten Ausprägungen eliminiert. Entsprechend setzt sich das Vorgehen fort, bis alle Leitfragen beantwortet sind. Als Ergebnis liegt eine kompatible und zur zugrundeliegenden Aufgabenstellung passende Konfiguration des AR-Systems vor [Sch08, S. 74ff.].

Bewertung: Die Konfigurationssystematik nach SCHILLING bietet eine Hilfestellung für die Spezifikation konsistenter AR-Systeme. Die Anforderungserhebung wird durch allgemeinverständliche Leitfragen unterstützt, die insbesondere Personen ohne spezifisches Technologiewissen zu AR ein hohes Maß an Orientierung bieten. Durch den Fokus auf den Produktentstehungsprozess bedarf es jedoch einer Anpassung der Leitfragen und deren Ausprägungen auf den Kontext der vorliegenden Arbeit. Unbeachtet in der Konfigurationssystematik bleibt die darauf aufbauende Auswahl eines AR-Systems sowie die Darlegung der Änderungsauswirkungen auf die Sach- und Dienstleistungskomponenten des Produkt-Service-Systems.

3.3.2 Analytischer Hierarchieprozess zur Bewertung von AR-Systemen nach ELIA ET AL.

ELIA ET AL. nutzen mit dem **analytischen Hierarchieprozess** ein in der präskriptiven Entscheidungstheorie etabliertes Instrument für die Bewertung von AR-Systemen [EGL16, S. 187ff.]. Der entwickelte Ansatz zielt auf die Ex-ante-Evaluierung unterschiedlicher Typen von AR-Systemen unter technischen und prozessbezogenen Gesichtspunkten in einem Entscheidungsmodell. Das Vorgehen gliedert sich den Schritten eines analytischen Hierarchieprozesses folgend in vier Phasen [EGL16, S. 190ff.]:

- **Phase 1 – Formulierung des Entscheidungsproblems:** Im ersten Schritt wird ein hierarchischer Entscheidungsbaum aufgestellt, der sich in vier Ebenen gliedert: Auf der *Zielebene* wird im Hinblick auf die mit AR verfolgte Zielsetzung in Anlehnung an das SCOR-Modell [HSK05, S. 383] zwischen *Zuverlässigkeit*, *Reaktionsgeschwindigkeit* und *Agilität* unterschieden. In den beiden folgenden Ebenen werden den Zielen *prozess- und technologiebezogene Kriterien* zugewiesen, welche die Komponenten und Eigenschaften des AR-Systems repräsentieren. Auf der untersten Ebene werden als *Entscheidungsalternativen* mit Datenbrillen, Handheld-Systemen, Projektoren und Force-Feedback-Systemen vier Typen von AR-Systemen unterschieden. Einen Auszug aus dem Entscheidungsbaum zeigt Bild 3-14.
- **Phase 2 – Bewertung der Kriterien:** Aufbauend auf dem Entscheidungsbaum werden mit Hilfe eines paarweisen Vergleichs die Kriterien in Bezug auf ihre Relevanz zu dem Kriterium der darüber liegenden Ebene bewertet. Im Rahmen einer Konsistenzanalyse werden die Bewertungen anschließend validiert. Hierfür schlagen die Autoren die Verwendung eines Konsistenzindex vor.
- **Phase 3 – Ergebnisanalyse**: Aus den vorgenommenen Bewertungen wird unter Berücksichtigung der mit AR verfolgten Zielsetzung eine Rangfolge der AR-Systeme abgeleitet, die deren prinzipielle Eignung für die umzusetzende AR-Anwendung widerspiegelt. Die Analyse des Beitrags der einzelnen Kriterien auf die Rangfolge der AR-Systeme kann zusätzliche Informationen für den Entscheidungsprozess liefern.

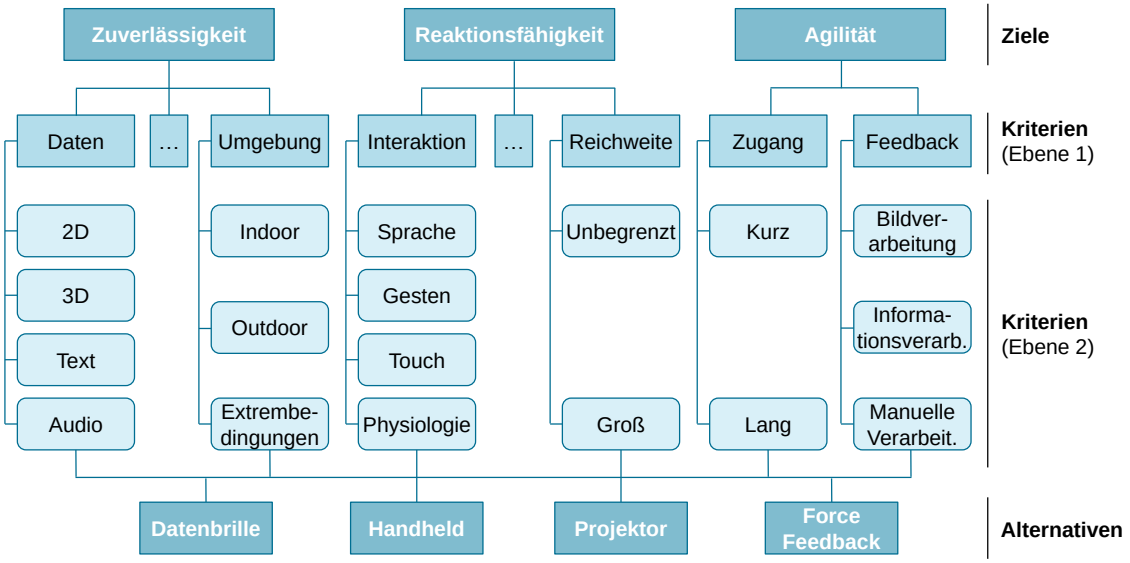


Bild 3-14: Auszug aus dem Entscheidungsmodell zur Bewertung von AR-Systemen nach ELIA ET AL. *[EGL16, S. 191]*

- **Phase 4 – Sensitivitätsanalyse:** Optional werden abschließend die Bewertungen im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse geprüft. Sie liefert Aussagen darüber, wie Veränderungen an den Bewertungen der Kriterien die Rangfolge der AR-Systeme beeinflusst. Abschließend wird ein AR-System für die Umsetzung ausgewählt.

Bewertung: Der Ansatz von ELIA ET AL. ermöglicht unter Rückgriff auf den analytischen Hierarchieprozess eine systematische Entscheidungsunterstützung für die Auswahl eines AR-Systems. Besonders hervorzuheben ist die integrative Betrachtung technischer und prozessbezogener Kriterien. Hierdurch wird sichergestellt, dass die Eignungsbewertung nicht allein auf Grundlage technischer Gesichtspunkte erfolgt, sondern auch die mit AR anvisierte Zielsetzung in die Entscheidungsfindung einfließt. Kritikpunkte zeigen sich mit Blick auf die allgemeinen Nachteile des analytischen Hierarchieprozesses, die sich u.a. in den sehr hohen Aufwänden für die Kriterien- und Konsistenzbewertung begründen. Zudem beschränkt sich das Vorgehen auf die Priorisierung zwischen vier grundsätzlichen Typen von AR-Systemen, so dass die darüber hinausgehende Spezifikation und die Auswirkungen auf das Produkt-Service-System unberücksichtigt bleiben.

3.3.3 Vorgehen zur Bewertung und Auswahl von Datenbrillen nach SYBERFELDT ET AL.

SYBERFELDT ET AL. beschreiben ein Vorgehen zur Bewertung und Auswahl von Datenbrillen [SDG17, S. 9120ff.]. Es zielt darauf ab, Transparenz über die heterogene Vielfalt am Markt verfügbarer Datenbrillen zu schaffen und produzierenden Unternehmen einen **Leitfaden für die Auswahl geeigneter Datenbrillen** an die Hand zu geben. Durch eine exemplarische Anwendung verdeutlichen die Autoren das Vorgehen und präsentieren dadurch eine Übersicht für die industrielle Anwendung geeigneter Datenbrillen auf

Grundlage des im Jahr 2017 verfügbaren Marktangebots. Die Ergebnisse zeigen, dass mit der *Epson BT-300* nur eine Datenbrille die gestellten Kriterien erfüllt [SDG17, S. 9128].

Der Ansatz sieht ein dreistufiges **Vorgehensmodell** vor, in dessen Verlauf die aus einer initialen Marktrecherche resultierenden Datenbrillen sukzessive bewertet und selektiert werden [SDG17, S. 9120ff.]. Eine Übersicht des Vorgehensmodells zeigt Bild 3-15.

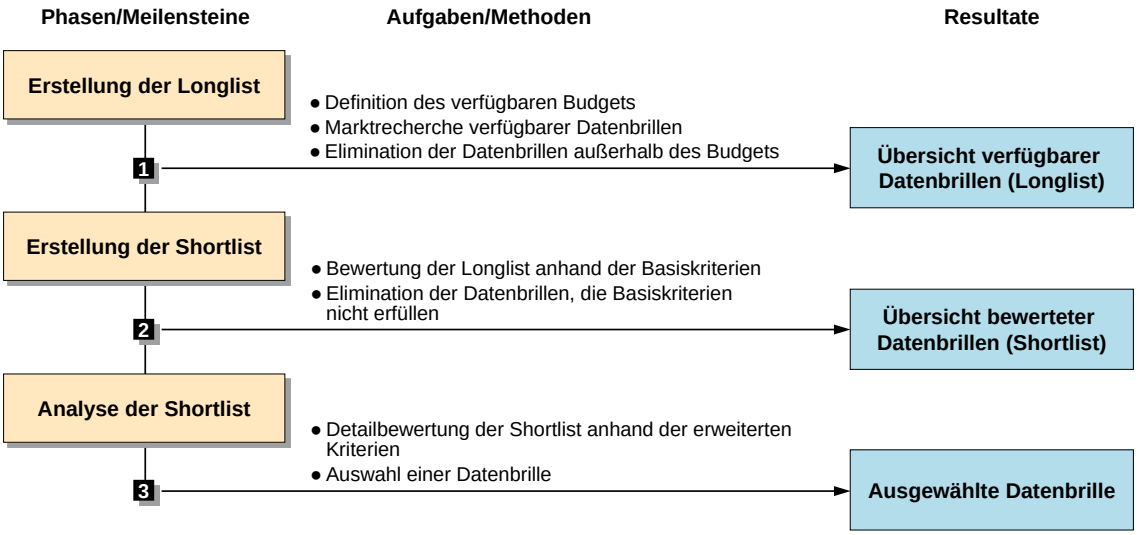


Bild 3-15: Vorgehensmodell zur Bewertung und Auswahl von Datenbrillen nach SYBERFELDT ET AL. *[SDG17, S. 9120ff.]*

- **Phase 1 – Erstellung der Longlist:** In der ersten Phase wird zunächst eine Preisobergrenze pro Datenbrille ermittelt, indem das gesamt verfügbare Budget durch die Anzahl der benötigten Datenbrillen zuzüglich ggf. erforderlicher Ersatzgeräte dividiert wird. Anschließend werden im Rahmen einer Marktrecherche verfügbare Datenbrillen ermittelt und diejenigen, welche die Preisobergrenze überschreiten, aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Als Resultat liegt eine Longlist vor.

- **Phase 2 – Erstellung der Shortlist:** Die Datenbrillen der Longlist werden in der zweiten Phase einer Bewertung unterzogen. Als Grundlage dienen fünf *Basiskriterien*, denen die Autoren jeweils eine Minimalausprägung zuweisen, um für die industrielle Anwendung als gebrauchstauglich zu gelten. Bei Bedarf können die Ausprägungen individuell angepasst werden. Die Basiskriterien umfassen die *Energieversorgung* (batteriebetrieben), das *Gewicht* (< 100g), das *Sichtfeld* (> 30°), die *Betriebslaufzeit* (> 9 Stunden bei integrierter Batterie) sowie die *Display-Architektur* (Optical See-Through oder Retina-Projektion). Jede Datenbrille wird im Hinblick auf die Minimalausprägungen überprüft und bei Unterschreiten aussortiert. Durch die sukzessive Bewertung und Elimination wird die Longlist in eine Shortlist überführt.

- **Phase 3 – Analyse der Shortlist:** In der dritten Phase erfolgt eine Detailbewertung der in der Shortlist enthaltenen Datenbrillen. Hierfür werden 13 *erweiterte Kriterien* herangezogen, die analog zu den Basiskriterien mit Minimalausprägungen versehen

sind. Die erweiterten Kriterien beziehen sich u.a. auf den *Prozessor* (mindestens zwei Kerne), die *Speicherkapazität* (> 30GB), die *Steuerung durch den Anwender* (handfreie Interaktionsmöglichkeit) und die *Ausgabe von Audiosignalen* (Mikrofon und Lautsprecher). Nach erfolgter Bewertung liegen eine oder mehrere Datenbrillen vor, die innerhalb der Preisobergrenze liegen, die Basiskriterien sowie die erweiterten Kriterien erfüllen und sich somit für die Umsetzung der AR-Anwendung empfehlen.

Bewertung: Der Ansatz nach SYBERFELDT ET AL. unterstützt die Bewertung und Auswahl von Datenbrillen durch ein systematisches, stufenweises Vorgehen. Im Kern stehen insgesamt 18 Kriterien, die eine umfassende und feingranulare Bewertung ermöglichen. Durch den abgestuften Bewertungsprozess wird der erforderliche Aufwand auf ein praxistaugliches Maß reduziert. Gleichwohl ist die Verwendung von Ausschlusskriterien mit Nachteilen verbunden, da Datenbrillen selbst bei minimalen Abweichungen von dem Schwellwert von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden. Dieser Umstand wirkt bei Datenbrillen umso schwerer, da sich diese in einem noch jungen Entwicklungsstadium befinden und häufig Resultat eines Kompromisses in Konflikt zueinander stehender Parameter sind (z.B. Vergrößerung des Sichtfelds führt in der Regel zu einem nicht gewünschten Anstieg des Gewichts). Da sich das Vorgehen allein auf Datenbrillen fokussiert, werden alternative AR-Systeme nicht berücksichtigt. Ferner werden die Auswirkungen auf die zugrundeliegende Sach- und Dienstleistung nicht betrachtet.

3.3.4 Spezifikationstechnik CONSENS nach GAUSEMEIER ET AL.

Bezug nehmend auf das in *Abschnitt 2.4.1* beschriebene Referenzmodell zur strategischen Planung und Entwicklung von Marktleistungen formulieren GAUSEMEIER ET AL. mit der Spezifikationstechnik **CONSENS** (**CON**ceptual Design **S**pecification Technique For The **EN**gineering Of Complex **S**ystems) einen Ansatz für die domänenübergreifende Beschreibung fortgeschrittener mechatronischer Systeme [GFD+08a, S. 59ff.], [GFD+08b, S. 91ff.]. Aufbauend auf den Arbeiten von KALLMEYER [Kal98, S. 81ff.] und FRANK [Fra06, S. 80ff.] wurde sie im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 614 entwickelt [DDG+14, S. 119ff.]. Im Zeitverlauf wurde sie in verschiedenen Forschungsarbeiten aufgegriffen und jüngst durch die Erweiterung um Dienstleistungen zu einem Ansatz für die Spezifikation von Produkt-Service-Systemen weiterentwickelt [GDE+19, S. 416ff.]. CONSENS umfasst eine *Modellierungssprache* und eine *Methode* für deren Anwendung.

Die **Modellierungssprache** ermöglicht die Beschreibung der Konzeption von Produkt, Produktionssystem und damit verbundener Dienstleistung anhand von *13 Aspekten* und dazugehörigen *Diagrammen* (vgl. Bild 3-16). Aus der rechnerinternen Abbildung der Aspekte resultieren *Partialmodelle*, die miteinander in Beziehung stehen und in ihrer Gesamtheit die Prinziplösung ganzheitlich beschreiben [GDE+19, S. 416]. Die folgenden Ausführungen beschränken sich auf die für die vorliegende Arbeit relevanten Aspekte für die Produkt- und Dienstleistungskonzeption.

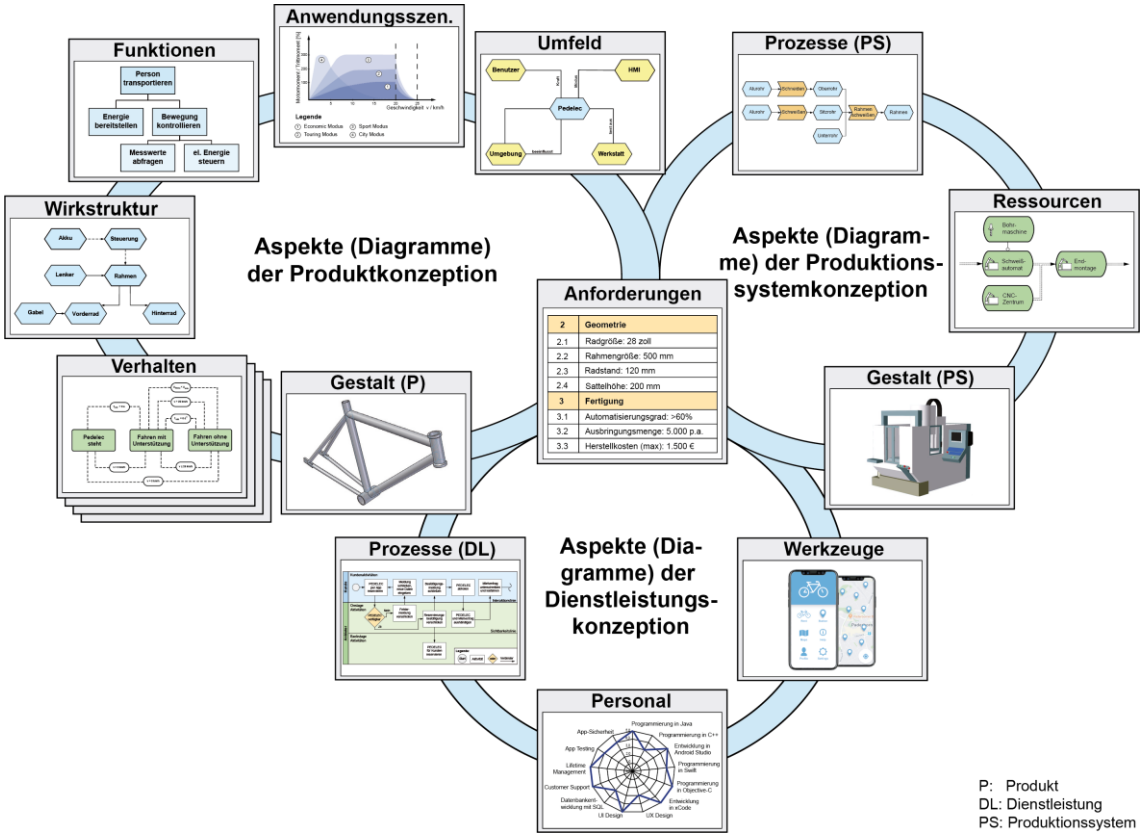


Bild 3-16: Aspekte zur Beschreibung der Produkt-, Dienstleistungs- und Produktionssystemkonzeption nach GAUSEMEIER ET AL. *[GDE+19, S. 418]*

Die **Produktkonzeption** beinhaltet sieben Partialmodelle: Das *Umfeld* legt die Systemgrenzen fest und beschreibt die Beziehungen des Systems zu seiner Umwelt über gerichtete Stoff-, Energie- und Informationsflüsse. *Anwendungsszenarien* definieren, wie sich das System in bestimmten Situationen entlang seines Lebenszyklus verhalten soll. Im Partialmodell *Anforderungen* werden in einer Anforderungsliste sämtliche Anforderungen an das System strukturiert und durch qualitative und quantitative Angaben konkretisiert. Ausgehend von der Anforderungsliste werden *Funktionen* abgeleitet, in Teilfunktionen untergliedert und hierarchisch in einer Funktionshierarchie geordnet. Das Partialmodell *Wirkstruktur* beschreibt den statischen Aufbau und die Wirkungsweise des Systems, indem Systemelemente zur Erfüllung der Funktionen identifiziert und deren Beziehungen – analog zum Umfeldmodell – über Flussbeziehungen modelliert werden. Die dynamische Wirkungsweise des Systems wird im Partialmodell *Verhalten* durch die Abbildung von Zuständen, Zustandsübergängen und Ablaufprozessen definiert. Mittels 3D-CAD-Lösungen wird schließlich die *Gestalt* des Systems im Hinblick auf Anzahl, Form, Lage, Anordnung und Art der Wirkflächen und -orte spezifiziert [GDE+19, S. 419ff.].

Zur Beschreibung der **Dienstleistungskonzeption** dienen drei Partialmodelle, die unter Berücksichtigung der *Anforderungen* aus der Produktkonzeption zu erarbeiten sind. Im Kern der Dienstleistungskonzeption steht der *Prozess*, der den sachlogischen Ablauf der zur Dienstleistungserbringung erforderlichen Aktivitäten beschreibt. Die Modellierung

erfolgt mit Hilfe eines Service Blueprint in Anlehnung an BITNER ET AL. [BOM08, S. 72ff.]. Die Partialmodelle *Werkzeug* und *Personal* widmen sich den für die Dienstleistung benötigten Ressourcen. *Werkzeuge* bezeichnen materielle und immaterielle Hilfsmittel, die für die Durchführung der im Prozess beschriebenen Aktivitäten erforderlich sind. Sie werden in Werkzeugprofilen dokumentiert. Das Partialmodell *Personal* spezifiziert mit Hilfe von Personalprofilen die erforderlichen Kompetenzen und Tätigkeiten der im Dienstleistungsprozess involvierten Akteure [GDE+19, S. 425ff.].

Die Anwendung der Modellierungssprache wird durch eine **Methode** unterstützt. Sie gibt eine grundsätzliche Reihenfolge zur Erarbeitung der Partialmodelle vor, die fallspezifisch angepasst werden kann. Im Rahmen der *Analyse* werden ausgehend von Umfeld und Anwendungsszenarien die wesentlichen Anforderungen spezifiziert. In der anschließenden *Synthese* werden aufbauend auf den Anforderungen Funktionen abgeleitet und die Wirkstruktur, das Verhalten und die Gestalt spezifiziert. Im engen Wechselspiel zur Produktkonzeption werden schließlich der Dienstleistungsprozess sowie die Werkzeuge und das Personal beschrieben [GDE+19, S. 417ff.].

Bewertung: Die Spezifikationstechnik CONSENS bildet mit den erläuterten Partialmodellen die konstituierenden Bestandteile von Produkt-Service-Systemen und deren Zusammenhänge fachdisziplinübergreifend und nachvollziehbar ab. Damit bietet sich CONSENS für die Analyse der mit der Integration von AR verbundenen Änderungsauswirkungen auf die Sach- und Dienstleistungskomponenten des Produkt-Service-Systems an. Da die Spezifikationstechnik allgemein formuliert ist, bedarf es hierfür jedoch zusätzlicher Hilfsmittel, um die AR-induzierten Modifikationsbedarfe zielgerichtet aufzuzeigen.

3.3.5 Entwicklungsmethodik für Service-Unterstützungssysteme nach METZGER ET AL.

Ausgehend von der Erkenntnis, dass es einer integrativen Betrachtung von Produkt, Dienstleistung und Informationssystemen bedarf, beschreiben METZGER ET AL. eine **Entwicklungsmethodik** für Service-Unterstützungssysteme [MNT18, S. 50ff.], [MNT17, S. 789ff.]. Als Service-Unterstützungssysteme werden in diesem Kontext mobile Informationssysteme verstanden, die zur Durchführung von Tätigkeiten erforderliches Wissen bereitstellen. Grundlage für die Integration bilden Informations- und Wissensbedarfe, die von dem zu implementierenden Service-Unterstützungssystem adressiert werden sollen. Die Entwicklungsmethodik umfasst *Konstrukte*, welche die Komponenten der Methode beschreiben, sowie ein dreigliedriges *Vorgehensmodell* [MNT18, S. 52ff.].

Die **Konstrukte** der Entwicklungsmethodik gliedern sich in drei Bereiche: Als *anwendungsspezifische Konstrukte* dienen die Serviceprozesse, die durch das Informationssystem unterstützt werden sollen. Im Vordergrund der Betrachtung stehen wissensintensive Prozesse, die aus einer oder mehreren Aktivitäten bestehen können. Die *methodenspezifischen Konstrukte* umfassen den Informations- und Wissensbedarf sowie die Anforderungen an das Informationssystem. Der Informations- und Wissensbedarf bezieht sich auf

die Fähigkeiten und Kenntnisse, die zur Durchführung der Serviceprozesse erforderlich sind. Ausgehend von diesen lassen sich Anforderungen an das Informationssystem ableiten. Zu den *ausgabespezifischen Konstrukten* gehören das Ausgabegerät, auf dem die Informationen dargestellt werden (z.B. Tablet, Datenbrille), sowie die Informationssystemkomponenten, die in die Anwendungsumgebung integriert werden [MNT18, S. 53f.].

Das **Vorgehensmodell** beschreibt, wie mit den zuvor beschriebenen Konstrukten gearbeitet wird. Bild 3-17 zeigt, dass sich das Vorgehensmodell aus drei Bestandteilen zusammensetzt: Für die *Produkt-Service-System-* und *Informationssystementwicklung* greifen die Autoren auf zwei bestehende, unabhängig voneinander entwickelte Ansätze aus der Literatur zurück. Die *Wissensbrücke* fungiert als Bindeglied zwischen den Ansätzen und integiert diese zu einem ganzheitlichen Vorgehen [MNT18, S. 55ff.].

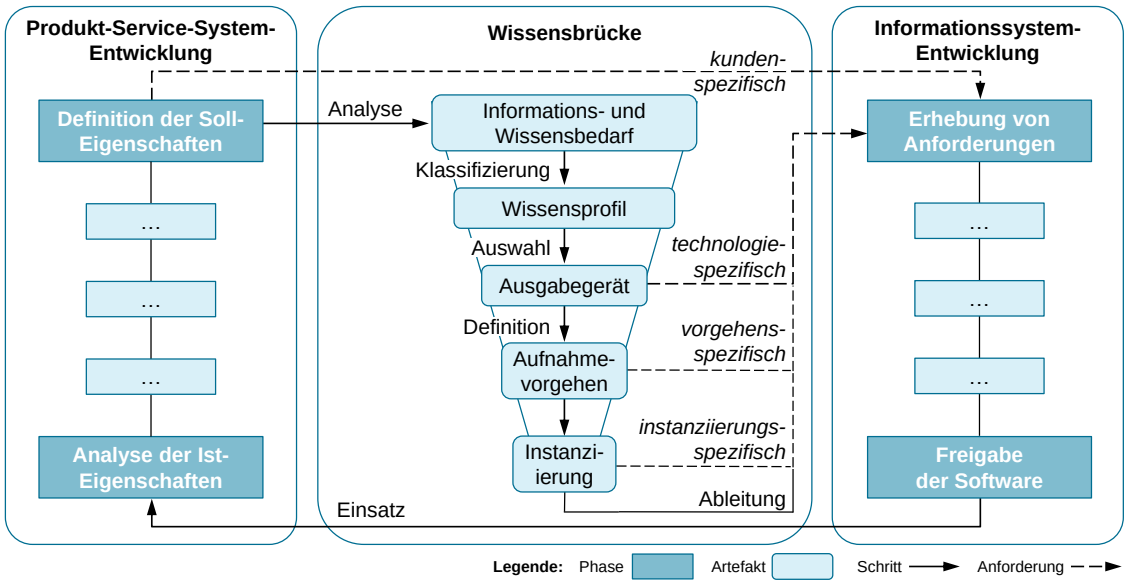


Bild 3-17: Entwicklungsmethodik für Service-Unterstützungssysteme nach METZGER ET AL. [MNT18, S. 56]

Die Schritte der **Produkt-Service-System-Entwicklung** orientieren sich an der Entwicklungsmethodik für Produkt-Service-Systeme nach THOMAS ET AL. [TWL08, S. 210ff.]. Für die Wissensbrücke relevant sind die Phasen *Definition der Soll-Eigenschaften* und *Analyse der Ist-Eigenschaften*. Die Soll-Eigenschaften des Produkt-Service-Systems werden aus den Anforderungen des Kunden abgeleitet und in der Wissensbrücke analysiert. Die Ist-Eigenschaften spiegeln die Beschaffenheit des realisierten Produkt-Service-Systems respektive des Informationssystems wider. Durch den Abgleich mit den Soll-Eigenschaften ist der Zielerreichungsgrad zu evaluieren [MNT18, S. 55f.].

Im Rahmen der **Wissensbrücke** wird zunächst der *Informations- und Wissensbedarf* auf Basis der Soll-Eigenschaften analysiert. Hierfür werden der Serviceprozess schrittweise untersucht und die identifizierten Informations- und Wissensbedürfnisse in einer Liste konsolidiert. Mittels Datenanalysetechniken werden diese klassifiziert und in ein *Wissensprofil* überführt. Aufbauend auf dem Wissensprofil wird ein geeignetes *Ausgabegerät*

definiert, indem die Wissenstransferangebote der zur Auswahl stehenden Ausgabegeräte mit dem Wissensprofil abgeglichen werden. Im Anschluss wird unter Berücksichtigung des Ausgabegerätes sowie der Informations- und Wissensbedarfe ein *Aufnahmevorgehen* für die Inhalte festgelegt. Um die Praktikabilität sicherzustellen, erfolgt eine *Instanziierung*, indem beispielhafte Inhalte erzeugt und diskutiert werden [MNT18, S. 56ff.].

Für die **Informationssystem-Entwicklung** greifen die Autoren auf den SCRUM Development Process nach SCHWABER [Sch97, S. 117ff.] zurück. Schnittstellen zur Wissensbrücke bestehen in den Phasen *Erhebung von Anforderungen* und *Freigabe der Software*. Für die Ermittlung der Anforderungen an das Informationssystem werden aus den vorgelagerten Schritten der Wissensbrücke kunden-, technologie-, vorgehens- und instanziierungsspezifische Anforderungen abgeleitet. Nach der Entwicklung wird die Software schließlich freigegeben. Es erfolgt ein Rücksprung in die Produkt-Service-System-Entwicklung, wo die aus dem Zusammenspiel zwischen Produkt-Service-System und Informationssystem resultierenden Ist-Eigenschaften validiert werden [MNT18, S. 59f.].

Bewertung: Die Entwicklungsmethodik nach METZGER ET AL. adressiert die integrative Entwicklung von Produkt-Service-Systemen und Informationssystemen. Im Kontext der vorliegenden Arbeit handelt es sich bei diesen um AR-Systeme. Wenngleich der Ansatz im Hinblick auf seine Zielsetzung für die Arbeit höchst relevant ist, eignet sich das Vorgehen durch seinen hohen Abstraktionsgrad nur bedingt für eine Adaption. So bleiben die aus der Integration des Informationssystems resultierenden Änderungsauswirkungen auf das Produkt-Service-System weitestgehend unklar. Da der Ansatz Informationssysteme im Allgemeinen adressiert, wird zudem für die Spezifikation und Auswahl des AR-Systems keine Hilfestellung geboten.

3.4 Ansätze zur Entwicklung von Geschäftsmodellen für AR-basierte Produkt-Service-Systeme

Die Weiterentwicklung des Produkt-Service-Geschäfts durch den Einsatz von AR erfordert Veränderungen an der Geschäftslogik und damit dem Geschäftsmodell eines Unternehmens. Die Problemabgrenzung in *Abschnitt 2.4.2* hat gezeigt, dass es einer methodischen Unterstützung bedarf, um den technologieimmanenten Herausforderungen von AR mit geeigneten Geschäftsmodelloptionen Rechnung zu tragen und diese in operative Maßnahmen für die weitere Umsetzung zu überführen. Vor diesem Hintergrund werden im Folgenden diesbezüglich relevante Arbeiten vorgestellt. *Abschnitt 3.4.1* widmet sich mit der Business Model Generation nach OSTERWALDER und PIGNEUR einem universellen, in der Praxis als De-Facto-Standard etablierten Geschäftsmodellansatz. Er steht stellvertretend für die in den letzten Jahren zahlreich entstandenen Arbeiten, die sich allgemein mit der Entwicklung von Geschäftsmodellen beschäftigen, u.a. GASSMANN ET AL. [GFC13], WIRTZ [Wir18] und SCHALLMO [Sch13]. Anschließend werden in den *Abschnitten 3.4.2* bis *3.4.4* drei Ansätze beschrieben, die speziell AR-basierte Geschäftsmo-

delle beleuchten. Abschließend wird in *Abschnitt 3.4.5* mit der musterbasierten Entwicklung technologieinduzierter Geschäftsmodelle nach AMSHOFF ein Vorgehen erläutert, das einem Technology-Push-orientierten Ansatz für die Geschäftsmodellentwicklung folgt.

3.4.1 Business Model Generation nach OSTERWALDER und PIGNEUR

Unter der Bezeichnung **Business Model Generation** beschreiben OSTERWALDER und PIGNEUR einen Ansatz für die Entwicklung und Implementierung von Geschäftsmodellen, der verschiedene Methoden und Kreativitätstechniken in einem ganzheitlichen Vorgehen bündelt [OP10, S. 125ff.].

Den zentralen Ankerpunkt über die Phasen des Vorgehens bildet die **Business Model Canvas**. Sie dient als Strukturierungsrahmen für die Beschreibung des Geschäftsmodells und gliedert dieses, wie in Bild 3-18 zu erkennen, in neun Bestandteile [OP10, S. 10ff.].

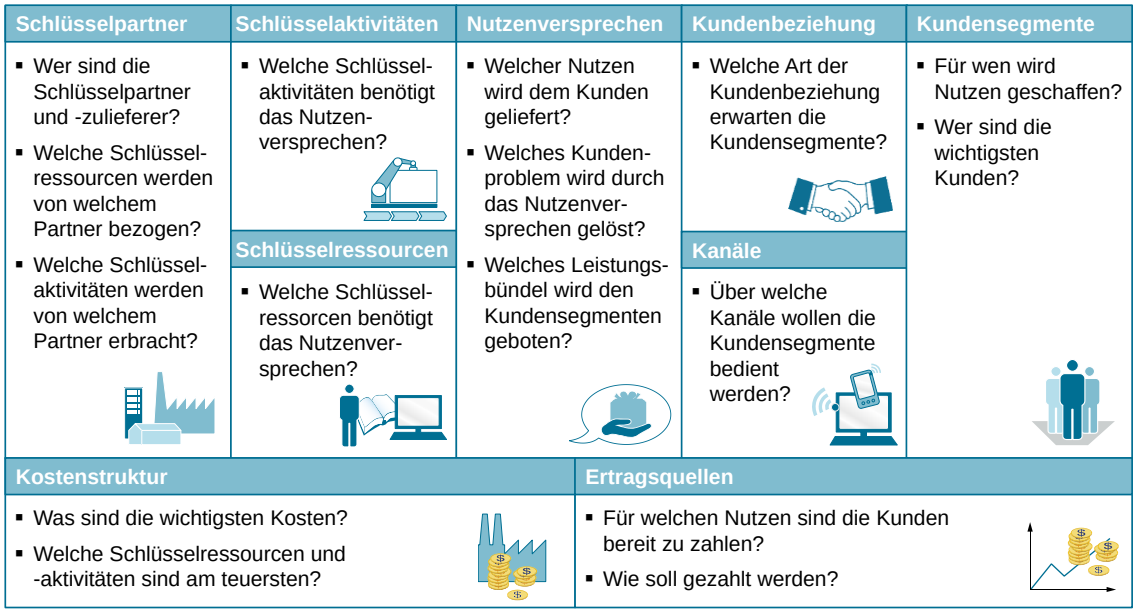


Bild 3-18: Business Model Canvas nach OSTERWALDER und PIGNEUR [OP10, S. 44]

Im Zentrum der Business Model Canvas steht das **Nutzenversprechen**. Es beschreibt die Produkte und Dienstleistungen sowie den damit verbundenen Nutzen, der den Kunden geboten wird. Die rechte Seite der Business Model Canvas detailliert die mit dem Geschäftsmodell anvisierten **Kundensegmente**. Die **Kundenbeziehung** beschreibt die Art und Weise, wie das Unternehmen mit dem Kunden in Kontakt tritt und die Beziehung pflegt. Über die **Kanäle** wird definiert, wie das Kundensegment im Hinblick auf die Kommunikation, den Vertrieb und die Absatzlogistik erreicht wird. Die linke Seite der Business Model Canvas widmet sich der Wertschöpfung innerhalb des Unternehmens. Die **Schlüsselaktivitäten** beschreiben die Tätigkeiten, die zur Erbringung des Nutzenversprechens benötigt werden. **Schlüsselressourcen** charakterisieren die materiellen und immateriellen Ressourcen für die Durchführung der Schlüsselaktivitäten. Unter **Schlüsselpart-**

nern wird das Netzwerk externer Lieferanten, Partner und weiterer Stakeholder subsumiert, die Schlüsselaktivitäten erbringen und Schlüsselressourcen bereitstellen. Der untere Teil der Business Model Canvas beleuchtet die finanziellen Aspekte des Geschäftsmodells im Hinblick auf die **Ertragsquellen** sowie die **Kostenstruktur** [OP10, S. 10ff.].

Der **Business Model Design Process** beschreibt das Vorgehen, wie mit Hilfe der Business Model Canvas Geschäftsmodelle entwickelt und implementiert werden können. Es umfasst insgesamt fünf Phasen, die in Bild 3-19 dargestellt sind [OP10, S. 244ff.].

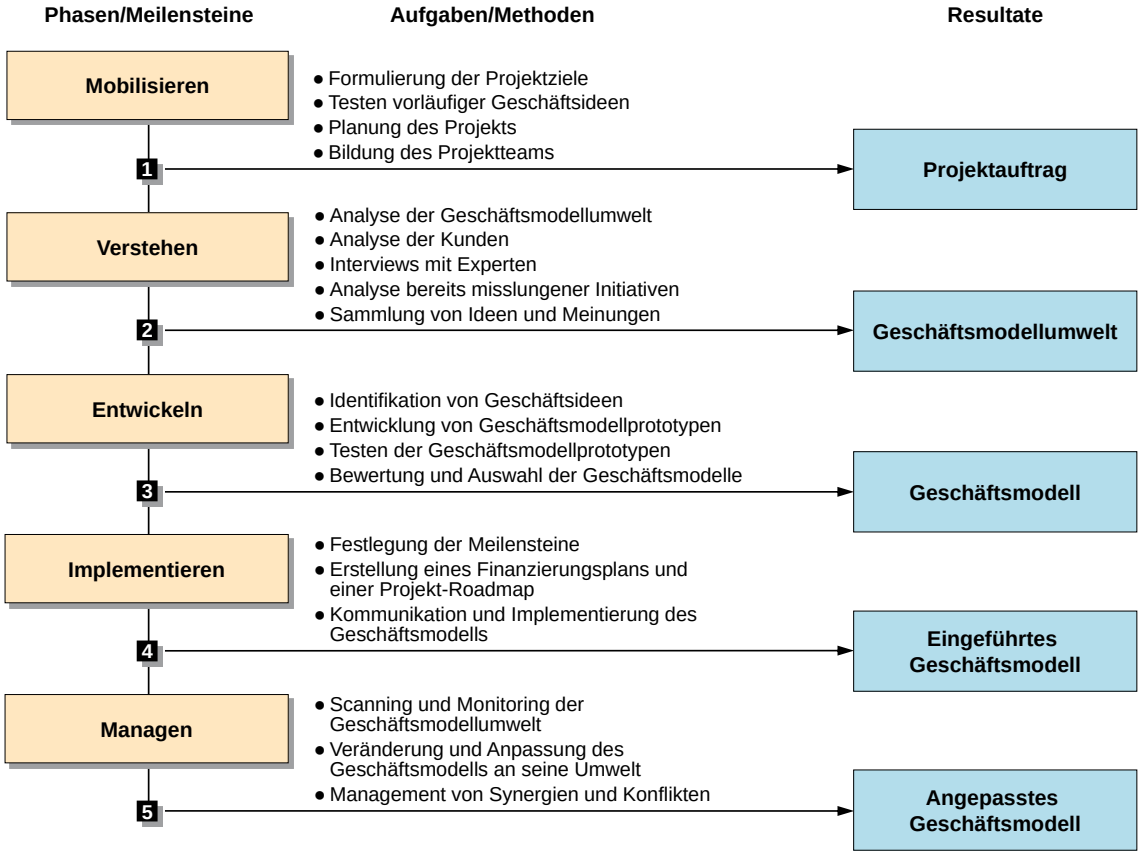


Bild 3-19: Business Model Design Process nach OSTERWALDER und PIGNEUR [OP10, S. 249]

- **Phase 1 – Mobilisieren:** Ziel der ersten Phase ist die Definition des Projektauftrags. Hierzu werden die Projektziele formuliert, ein Projektplan erstellt und das Projektteam zusammengestellt. Liegen bereits erste Geschäftsideen als Ausgangspunkt vor, sollten diese bereits parallel zur Planung des Projektes initial getestet werden.

- **Phase 2 – Verstehen:** Die zweite Phase zielt auf den Aufbau einer fundierten Wissensbasis über die Umwelt des zu entwickelnden Geschäftsmodells. In diesem Zuge werden Kunden analysiert, Experteninterviews durchgeführt und Geschäftsmodelle der Wettbewerber dokumentiert. Zusammen mit einer retrospektiven Analyse am Markt gescheiterter Geschäftsmodelle werden Geschäftsideen erarbeitet.

- **Phase 3 – Entwickeln:** In der dritten Phase erfolgt die eigentliche Entwicklung des Geschäftsmodells. Dazu werden Geschäftsmodellalternativen erarbeitet, in Prototypen überführt, experimentell mit potentiellen Zielkunden getestet und schließlich ein umzusetzendes Geschäftsmodell ausgewählt. Für die Ausgestaltung der Geschäftsmodellalternativen stellen die Autoren eine Bandbreite unterschiedlicher Hilfsmittel zur Verfügung. Hierzu gehören u.a. Geschäftsmodellmuster, Kreativitätstechniken, Methoden für das Story Telling und Zukunftsszenarien. Als Hilfestellung für die Definition des Nutzenversprechens und der Kundensegmente eignet sich die in *Abschnitt 3.2.4* beschriebene Value Proposition Canvas [OPB+14, S. 8ff.].
- **Phase 4 – Implementieren:** Gegenstand der vierten Phase ist die Umsetzungsplanung und Implementierung des Geschäftsmodells im Unternehmen. Dies umfasst die Festlegung von Meilensteinen, die Erstellung eines Finanzierungsplans und einer Projekt-Roadmap sowie die eigentliche Umsetzung. Hervorgehoben wird von den Autoren zudem die Kommunikation des Geschäftsmodells im Unternehmen, für die sich die Business Model Canvas als Kommunikationsinstrument empfiehlt.
- **Phase 5 – Managen:** Nach der Implementierung gilt es in der fünften Phase das Geschäftsmodell fortlaufend weiterzuentwickeln und an die sich stetig ändernde Umwelt anzupassen. Dies setzt voraus, dass die Umwelt kontinuierlich beobachtet, Chancen und Risiken ermittelt und im Hinblick auf ihre Auswirkungen auf das Geschäftsmodell bewertet werden.

Bewertung: Mit der Business Model Generation beschreiben OSTERWALDER und PIGNEUR ein generisches Vorgehen für die Entwicklung und Implementierung von Geschäftsmodellen. Von besonderer Bedeutung ist die Business Model Canvas, die sich als Strukturierungsrahmen für die Beschreibung von Geschäftsmodellen in der Praxis etabliert hat. Technologieinduzierte Geschäftsmodellinnovationen, die in der vorliegenden Arbeit in Form der Technologie AR im Vordergrund stehen, werden zwar in zahlreichen Beispielen (u.a. Skype, Nintendo Wii) aufgegriffen, jedoch nicht tiefergehend thematisiert. Damit liefern OSTERWALDER und PIGNEUR für die zu entwickelnde Systematik wertvolle Grundlagen, die jedoch zusätzlicher Hilfsmittel bedürfen, um die technologiespezifischen Herausforderungen von AR geeignet zu berücksichtigen.

3.4.2 Erfolgsfaktoren für AR-basierte Geschäftsmodelle nach VAN KLEEF ET AL.

Ausgehend von der Überlegung, dass bislang nur eine überschaubare Anzahl an AR-Applikationen erfolgreich am Markt positioniert werden konnte, untersuchen van KLEEF ET AL. Erfolgsfaktoren für AR-basierte Geschäftsmodelle. Dabei differenzieren sie zwischen *geschäfts-*, *akzeptanz-* und *technologiebezogenen Erfolgsfaktoren*, für deren Ermittlung jeweils unterschiedliche Forschungsansätze verwendet werden [VNV10, S. 3ff.].

Als Bezugsrahmen für die **geschäftsbezogenen Erfolgsfaktoren** dient die in *Abschnitt 3.4.1* beschriebene Business Model Canvas nach OSTERWALDER und PIGNEUR [OP10, S. 44]. Für jeden der neun Bestandteile identifizieren VAN KLEEF ET AL. verschiedene Gestaltungsoptionen für AR-basierte Geschäftsmodelle. Eine Übersicht zeigt Bild 3-20.

Schlüsselpartner	Schlüsselaktivitäten	Nutzenversprechen	Kundenbeziehung	Kundensegmente
▪ Anbieter von Entwicklungs-technologien ▪ Software-Plattform-Anbieter ▪ Gerätehersteller ▪ Internet-Service-Provider ▪ App-Store-Anbieter	▪ Softwareentwick-lung, -implementie-rung und -test ▪ Problembehebung und dokumentation **Schlüsselressourcen** ▪ Patente ▪ Know-how ▪ AR-Systeme ▪ Personal	▪ Planungsvisuali-sierung (In Situ) ▪ Training ▪ Social Gaming ▪ Navigationsführung ▪ Virtuelle Demon-stration ▪ Erfahrungsbezo-genes Lernen ▪ Kooperation ▪ …	▪ Abhängig vom Nutzenver-sprechen ▪ Eher indirekter Natur **Kanäle** ▪ Internet ▪ App Stores	▪ Produzierende Unternehmen ▪ Architekten ▪ Bildungs-institutionen ▪ Kunden in Handels-geschäften ▪ Marketingexperten ▪ Museen ▪ Zoos ▪ …

Kostenstruktur	Ertragsquellen
▪ Personalkosten ▪ Internet-Hosting-Dienste	▪ Verkaufserlöse für die Applikation ▪ Werbung

Bild 3-20: Gestaltungsoptionen für AR-basierte Geschäftsmodelle nach VAN KLEEF ET AL. [VNV10, S. 36]

Zur Ausgestaltung des **Nutzenversprechens** greifen die Autoren auf die Arbeiten von HAYES [Hay09, S. 5ff.] zurück, die in *Abschnitt 3.4.3* ausführlich beschrieben sind. Hierauf aufbauend differenzieren sie zwischen 16 idealtypischen Nutzenversprechen, zu denen u.a. Planungsvisualisierung, Training und Social Gaming gehören. Die **Schlüsselpartner** umfassen zum einen Technologieanbieter, die Aktivitäten und Ressourcen für die Realisierung des Nutzenversprechens bereitstellen (z.B. Software-Plattformen, AR-Hardware), zum anderen Infrastrukturanbieter, die dem Kunden das Nutzenversprechen zugänglich machen (z.B. über Internet-Dienste, App Stores). Die **Schlüsselaktivitäten** beinhalten die Entwicklung, Implementierung und das Testen der AR-Applikation sowie die Behebung und Dokumentation von Problemen. Zu den **Schlüsselressourcen** zählen neben dem benötigten Personal das technologiebezogene Know-how, Patente und die zur Darstellung erforderlichen AR-Systeme. Die **Kundensegmente** leiten die Autoren aus potentiellen Zielgruppen der Nutzenversprechen ab. Hierzu gehören u.a. produzierende Unternehmen, Architekten, aber auch öffentliche Einrichtungen wie Bildungsinstitutionen und Museen. Als **Kanäle** für die Distribution dienen das Internet sowie App Stores. Die **Kundenbeziehung** variiert in Abhängigkeit des Nutzenversprechens und ist durch eine indirekte Interaktion mit dem Kunden geprägt. Mögliche **Ertragsquellen** sind Erlöse durch den Verkauf der AR-Applikation sowie Einnahmen aus Werbungen. Diesen steht die **Kostenstruktur** gegenüber, die sich aus den Aufwänden für Personal sowie Internet-Hosting-Diensten zusammensetzt [VNV10, S. 6ff.].

Für die Bestimmung der **akzeptanzbezogenen Erfolgsfaktoren** führen VAN KLEEF ET AL. eine quantitative Befragung von 49 Personen durch. Grundlage bildet ein Fragebogen,

der auf der *Unified Theory of Acceptance and Use of Technology* nach VENKATESH ET AL. [VMD+03, S. 425ff.] beruht. Der Fragebogen umfasst 26 Fragen, deren Formulierungen so angepasst wurden, dass sie Rückschlüsse auf die Nutzerakzeptanz von AR ermöglichen. Aus den Ergebnissen der Befragung leiten die Autoren vier Erfolgsfaktoren ab, welche die Akzeptanz von AR positiv beeinflussen. Diese umfassen die *Gebrauchstauglichkeit*, die *Nützlichkeit*, die *Produktivität* sowie den *Spaß*, die mit der Nutzung der AR-Applikation einhergehen [VNV10, S. 13ff.].

Grundlage für die Bestimmung der **technologiebezogenen Erfolgsfaktoren** bildet eine systematische Literaturrecherche. Hierzu wurden 285 wissenschaftliche Publikationen identifiziert, sukzessive bewertet und schließlich 47 einer detaillierten Analyse unterzogen. Aus den relevanten Publikationen wurden die darin als erfolgsentscheidend beschriebenen technischen Eigenschaften von AR-Systemen extrahiert. Die Autoren diskutieren die daraus resultierenden technologiebezogenen Erfolgsfaktoren aus einer allgemeinen Perspektive sowie detaillierter im Lichte ausgewählter Anwendungsfelder (u.a. Kunst, Medizin, Multimedia). Die Ergebnisse zeigen, dass eine *geringe Latenz*, ein *robustes, markerloses Tracking* sowie die *Unterscheidbarkeit zwischen realen und virtuellen Objekten* zu den technologiebezogenen Erfolgsfaktoren von AR gehören [VNV10, S. 22ff.].

Bewertung: Unter Rückgriff auf verschiedene Forschungsansätze liefern VAN KLEEF ET AL. eine Übersicht geschäfts-, akzeptanz- und technologiebezogener Erfolgsfaktoren für den Einsatz von AR. Für die vorliegende Arbeit relevant sind dabei insbesondere die geschäftsbezogenen Erfolgsfaktoren, die Gestaltungsoptionen für die Business Model Canvas nach OSTERWALDER und PIGNEUR aufzeigen. Mit Blick auf die Beschreibung der Erfolgsfaktoren zeigt sich jedoch, dass diese sehr abstrakt sind und sich allenfalls für die initiale Erstellung eines rudimentären Geschäftsmodellentwurfs eignen. Dieser Umstand resultiert nicht zuletzt aus dem weitgefassten und anwendungsfallübergreifenden Fokus der Untersuchungen. Daher bleiben die technologieimmanenten Herausforderungen von AR für das Geschäftsmodell in den Erfolgsfaktoren weitestgehend unberücksichtigt.

3.4.3 Geschäftsmodelle für AR nach HAYES

Aufbauend auf einer Typisierung formuliert HAYES 16 idealtypische Geschäftsmodelle für AR. Ausgangspunkt der Überlegungen bildet eine Unterscheidung zwischen fünf grundlegenden **Typen von AR-Anwendungen** [Hay09, S. 4ff.]:

- **Oberfläche:** Als intuitivste Form von AR werden hierunter Anwendungen subsumiert, bei denen beliebige Flächen (z.B. Bildschirme, Wände, Plakate) mit virtuellen Informationen überlagert werden und bei Berührung mit dem Anwender interagieren.
- **Muster:** Mit Hilfe von Techniken zur Mustererkennung werden künstliche Marker (z.B. Karten) oder natürliche Muster (z.B. Gesichtszüge) durch das AR-System identifiziert und durch statische oder bewegte Bilder ergänzt bzw. ersetzt.

- **Umriss:** Bei diesem Typ von AR-Anwendung werden Körperteile des Nutzers (z.B. Hände, Augen) anhand ihrer Kontur durch das AR-System erkannt und mit virtuellen Informationen überlagert bzw. zur Interaktion mit diesen genutzt.
- **Standort:** Basierend auf GPS-Signalen oder Triangulationsprinzipien werden die Position und Ausrichtung des AR-Systems bestimmt und Objekte der Umgebung (z.B. Gebäude) mit ortsbezogenen Informationen angereichert.
- **Hologramm:** Virtuelle Informationen werden unmittelbar auf reale Objekte projiziert. Mittels Kameras und Trackingtechnologien wird der Nutzer erfasst und kann mit den Projektionen in Echtzeit interagieren.

Aufbauend auf den beschriebenen Typen von AR-Anwendungen skizziert Hayes 16 **Geschäftsmodelle für AR** und bewertet diese qualitativ hinsichtlich ihres *Adoptionsgrads* (von Marktnische zu Massenmarkt) und ihres *kommerziellen Wertes* (von gering bis hoch) [Hay09, S. 4f.]. Das korrespondierende Portfolio ist in Bild 3-21 dargestellt.

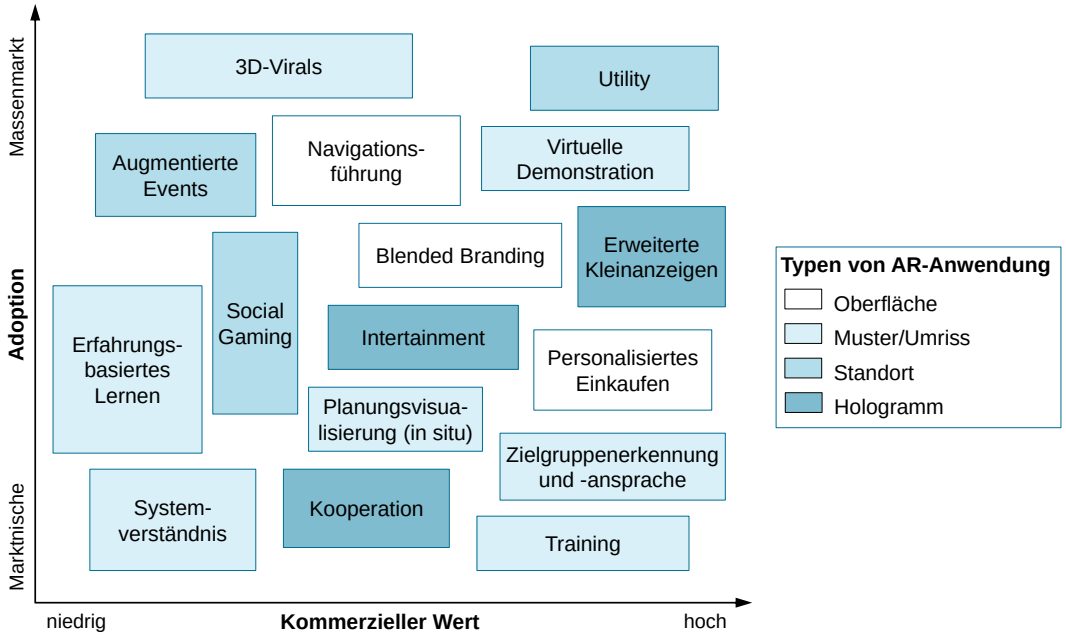


Bild 3-21: Bewertung der Geschäftsmodelle für AR nach HAYES [Hay09, S. 5]

Geschäftsmodelle für den Typ der AR-Anwendung „Oberfläche“

- **Blended Branding:** Mit Hilfe eines mobilen Endgerätes lassen sich Werbeflächen scannen und mit virtuellen Werbebotschaften überlagern. Diese müssen für den Anwender einen Mehrwert bieten, um nicht als Spam wahrgenommen zu werden.
- **Personalisiertes Einkaufen:** Potentiellen Kunden werden mittels AR personalisierte Informationen zu Produkten und Dienstleistungen bereitgestellt. Hierdurch eröffnen sich neue Möglichkeiten zur Steigerung des Absatzes im Verkaufsprozess.

- **Navigationsführung:** In diesem Geschäftsmodell unterstützt AR die Orientierung des Anwenders in neuen Umgebungen. Hierzu zählen u.a. durch AR erweiterte Reiseführer, Stadtpläne und Informationsbroschüren zu Freizeitparks.

Geschäftsmodelle für die Typen der AR-Anwendungen „Muster“ und „Umriss“

- **3D-Virals:** Zu Marketingzwecken werden mit Hilfe von AR Kampagnen zu neuen Produkten entwickelt und viral vermarktet. Durch die Interaktionsmöglichkeiten von AR lässt sich der Kunde unmittelbar in die Marketingaktivitäten einbinden.
- **Virtuelle Demonstration:** Der Einsatz von AR dient der ortsunabhängigen Vorführung von Produkten, die sich unter Umständen noch im Entwicklungsprozess befinden. Ein Beispiel hierfür ist die virtuelle Anreicherung von Produktkatalogen.
- **Erfahrungsbasiertes Lernen:** In Museen, Freizeitparks und Zoos werden durch AR kontextsensitive Informationen bereitgestellt und Exponate zum Leben erweckt. Der Zugang zu den Inhalten erfolgt gegen eine Gebühr auf einem mobilen Endgerät.
- **Planungsvisualisierung (in situ):** AR wird zur Vertriebsunterstützung eingesetzt, indem Produkte noch vor der Kaufentscheidung in ihrer geplanten Umgebung in situ, d.h. als realitätsgetreues virtuelles Abbild, dargestellt werden.
- **Zielgruppenerkennung und -ansprache:** Mit Hilfe von Technologien zur Personenerkennung werden potentielle Kunden registriert, zusätzliche Informationen über Social Media zu diesen ermittelt und ihnen personalisierte Angebote bereitgestellt.
- **Systemverständnis:** Der Einsatz von AR dient in diesem Geschäftsmodell der Darstellung komplexer Sachverhalte. Hierzu zählen u.a. dreidimensionale Explosionszeichnungen oder die Visualisierung verdeckter Objekte im Inneren eines Systems.
- **Training:** Mit Hilfe von AR wird die Durchführung wissensintensiver Tätigkeiten erlernt und geübt. Dabei werden von dem AR-System die Hände des Nutzers und damit die durchgeführten Handlungsschritte erkannt, nachverfolgt und kontrolliert.

Geschäftsmodelle für den Typ der AR-Anwendung „Standort“

- **Utility:** In dem Geschäftsmodell dient AR zur Unterstützung alltäglicher Situationen. Mittels eines AR-Browsers werden Objekte erkannt und nützliche Informationen zu diesen eingeblendet (z.B. Ermittlung geeigneter Verpackungsgrößen für Pakete).
- **Augmentierte Events:** Im Rahmen von Veranstaltungen (z.B. Konzerte, Sport) werden mittels AR zusätzliche Informationen zur Verfügung gestellt. Gegen eine Nutzungsgebühr kann der Anwender parallel zu dem Geschehen auf diese zurückgreifen.
- **Social Gaming:** Die Einbeziehung der physischen Umgebung erlaubt die Realisierung neuer Spielerfahrungen. Hierbei werden Bestandteile der Spielumgebung (z.B. Bälle, Figuren) virtualisiert und mit der realen Umgebung in Bezug gesetzt.

Geschäftsmodelle für den Typ der AR-Anwendung „Hologramm“

- **Erweiterte Kleinanzeigen:** Über eine AR-Applikation werden Produkte und Dienstleistungen Dritter beworben. Interessenten werden zu ihren bevorzugten Angeboten geleitet, wobei der Anbieter für jeden getätigten Kauf eine anteilige Provision erhält.
- **Intertainment:** Als Kompositum der Begriffe *interaktiv* und *Entertainment* bezeichnet Intertainment eine neue Form interaktiv erlebbaren Fernsehens. Ziel ist es, über zusätzliche virtuelle Darstellungen das Geschehen immersiv zu gestalten.
- **Kooperation:** In diesem Geschäftsmodell unterstützt AR die Kollaboration und Kooperation zwischen verteilten Personen. So lassen sich gegen eine Gebühr virtuelle Meetings durchführen, in denen die Teilnehmer als Avatare repräsentiert werden.

Bewertung: Die Geschäftsmodelle nach HAYES zeigen prinzipielle Geschäftsmöglichkeiten auf, die sich aus den Potentialen von AR eröffnen. Kritik ist anzubringen an den verwendeten Begrifflichkeiten, da HAYES zu weiten Teilen keine Geschäftsmodelle, sondern vielmehr Ideen für Geschäftsmodelle beschreibt. Diese Auffassung teilen auch van KLEEF ET AL., die in ihrem in *Abschnitt 3.4.2* beschriebenen Ansatz die Geschäftsmodelle von HAYES als Nutzenversprechen auffassen. Aufgrund der fehlenden Erläuterungen zu den konstituierenden Merkmalen eines Geschäftsmodells bleiben die Ergebnisse daher weitestgehend abstrakt und liefern allenfalls Anregung für die Entwicklung möglicher Geschäftsmodelle. Vor diesem Hintergrund bleiben die eingangs als Anforderungen für die Geschäftsmodellentwicklung beschriebenen technologieimmanenten Herausforderungen von AR sowie die Umsetzungsplanung weitestgehend unberücksichtigt.

3.4.4 Referenzmodell für Mixed und Augmented Reality nach ISO/IEC DIS 18039

Im Rahmen der Standardisierungsaktivitäten zu AR beschreibt ISO/IEC DIS 18039 ein **Referenzmodell für Mixed und Augmented Reality** [ISO18039, S. 15ff.]. Der hier zitierte vorläufige Arbeitsstand zu der Norm definiert relevante Begriffe und liefert eine verallgemeinerte Referenzarchitektur, in der die zentralen Systembestandteile eines AR-Systems[25] festgelegt sind.

Das Referenzmodell zielt darauf ab, die Spezifikation von AR-Systemen und die Ableitung von Geschäftsmodellen zu unterstützen. Hierzu werden drei **Sichten** auf die Referenzarchitektur unterschieden: In der *rechnerbezogenen Sicht* stehen die Funktionen der Systemkomponenten, deren Schnittstellen sowie relevante Dienste und Protokolle im Vordergrund der Betrachtung. Die *informationsbezogene Sicht* beleuchtet die Struktur

[25] Die *Referenzarchitektur* erhebt den Anspruch für Mixed und Augmented Reality Gültigkeit zu besitzen [ISO18039, S. 13]. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit sowie der Zielsetzung der Arbeit wird im weiteren Verlauf allein der Begriff AR verwendet.

und Inhalte der durch die Systemkomponenten verarbeiteten Informationen sowie Quellen, denen sie entstammen. Fokus der hier im Vordergrund stehenden *unternehmensbezogenen Sicht* liegt auf den in der Wertschöpfungskette involvierten Akteuren und Geschäftsmodellen, die diese einnehmen können [ISO18039, S. 16].

Bezugsobjekt der drei Sichten ist eine generische **Referenzarchitektur**, die sich aus fünf Systemkomponenten zusammensetzt. *Sensoren* dienen der Erfassung der physischen Umgebung und darin befindlicher Objekte. Der *Kontextanalysierer* wertet die Sensorsignale aus und verfolgt Veränderungen der Umgebung und Objekte (z.B. hinsichtlich Position und Lage). Darauf aufbauend werden in der *Ausführungseinheit* unter Rückgriff auf die in der *Szene* hinterlegten Logiken Repräsentationen der realen und virtuellen Objekte miteinander verknüpft und für die Ausgabe bereitgestellt. *Display und Benutzerschnittstelle* dienen der Darstellung der virtuellen Informationen und der Interaktion mit dem Anwender. Über die Systemgrenze hinaus bestehen Schnittstellen zu *externen Medien* und *externen Services*, die weitere Informationen für die Ausführungseinheit bereitstellen können. Für jede Sicht wird die Referenzarchitektur um zusätzliche, für die jeweilige Sicht charakteristische Informationen und Zusammenhänge erweitert [ISO18039, S. 15ff.]. Eine Übersicht der unternehmensbezogenen Sicht zeigt Bild 3-22.

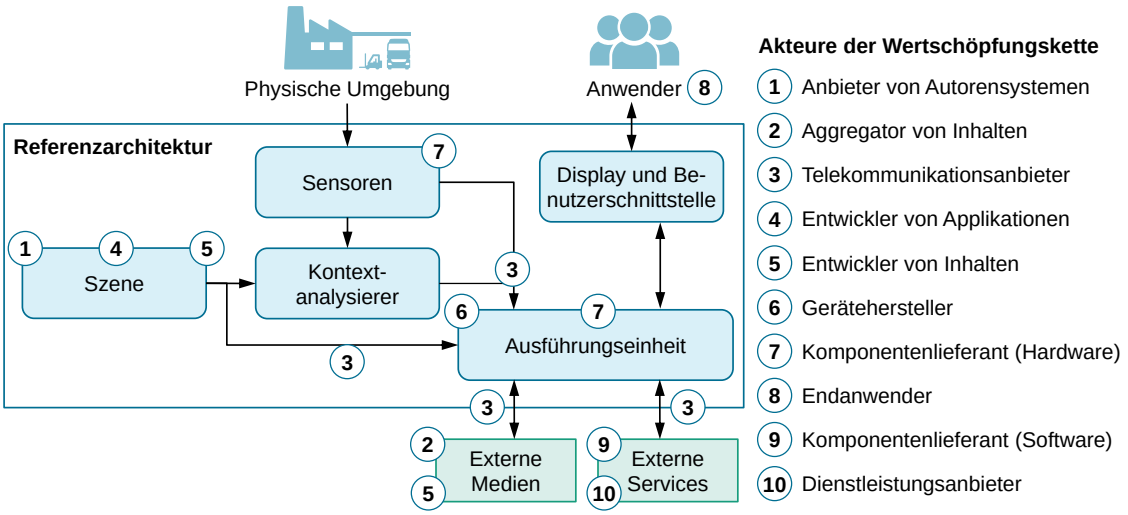


Bild 3-22: Unternehmensbezogene Sicht auf die Referenzarchitektur nach ISO/IEC DIS 18039 [ISO18039, S. 17]

In der in Bild 3-22 dargestellten **unternehmensbezogenen Sicht** werden den Systembestandteilen und Schnittstellen der Referenzarchitektur zehn idealtypische Akteure zugeordnet. Hieraus resultiert ein Überblick, welche Rolle und welches Geschäftsmodell Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette von AR einnehmen können. Fünf Geschäftsmodelle werden exemplarisch skizziert [ISO18039, S. 16ff.]:

- **Angebot von Autorensystemen:** Unternehmen können Software-Lösungen für die Entwicklung von AR-Applikationen am Markt bereitstellen. Das Spektrum reicht von komplexen Programmierumgebungen bis hin zu simplen, intuitiv bedienbaren Modellierungswerkzeugen für die Erstellung von virtuellen Inhalten.

- **Entwicklung von Inhalten:** In diesem Geschäftsmodell spezialisieren sich Unternehmen auf die Erstellung virtueller Inhalte, die von anderen Unternehmen erworben werden können. Hierzu zählen Videos, 3D-Modelle und Animationen.
- **Entwicklung von AR-Applikationen:** Im Fokus dieses Geschäftsmodells steht die Entwicklung von AR-Applikationen, die Dritten zur Verfügung gestellt werden. Hierzu sind die Systemkomponenten unter Berücksichtigung der Anforderungen aus dem jeweiligen Anwendungskontext zu spezifizieren.
- **Herstellung von Komponenten:** In diesem Geschäftsmodell bieten Unternehmen Hardware- und Software-Komponenten für das AR-System an. Diese können u.a. Sensoren, Bildschirme und Lösungen für die Datenverarbeitung darstellen.
- **Angebot von Dienstleistungen:** Gegenstand von diesem Geschäftsmodell ist das Angebot verschiedener Dienstleistungen, um die Auslieferung der AR-Applikation zu unterstützen (z.B. App-Stores, Kataloge).

Als Ergänzung zu den skizzierten Geschäftsmodellen gibt die ISO/IEC DIS 18039 Hinweise zu **AR-spezifischen Risiken** und möglichen Lösungsansätzen, die es im Zuge der Spezifikation des AR-Systems und der Geschäftsmodellentwicklung zu berücksichtigen gilt. Diese beziehen sich auf die *Betriebssicherheit* (z.B. Vermeidung von Gefahren durch Ablenkung und Systemausfälle), die *Informationssicherheit* (z.B. Verschlüsselung von Daten und Kommunikationskanälen), den *Schutz personenbezogener Daten* (z.B. Authentifizierung des Anwenders) und die *Gebrauchstauglichkeit* (z.B. Erlernbarkeit und Einprägsamkeit in der Benutzung der AR-Applikation) [ISO18039, S. 43ff.].

Bewertung: Die ISO/IEC DIS 18039 definiert eine allgemeingültige Referenzarchitektur für AR-Systeme, die aus drei spezifischen Sichten beschrieben wird. Für die Geschäftsmodellentwicklung relevant ist die unternehmensbezogene Sicht, die eine grundsätzliche Übersicht liefert, welche Rollen und welches Geschäftsmodell ein Unternehmen entlang der Wertschöpfungskette von AR einnehmen kann. Hierdurch liefert die Referenzarchitektur wertvolle Hinweise auf relevante Schlüsselaktivitäten und mögliche Schlüsselpartner, die es im Zuge der Geschäftsmodellentwicklung zu berücksichtigen gilt. Gleichwohl mangelt es jedoch an einem systematischen Vorgehen sowie Hilfsmitteln, die beschreiben, wie die Geschäftsmodellentwicklung gestaltet werden kann. Es werden vier AR-spezifische Herausforderungen mit möglichen Maßnahmen zur Risikominimierung benannt. Diese Informationen sind im Rahmen der zu entwickelnden Systematik aufzugreifen, zu erweitern und als Hilfsmittel bereitzustellen.

3.4.5 Musterbasierte Entwicklung technologieinduzierter Geschäftsmodelle nach AMSHOFF

Ausgehend von der Erkenntnis, dass Technologien einer der wichtigsten Hebel für neue Geschäftsmodelle darstellen, beschreibt AMSHOFF eine **Systematik zur musterbasierten**

Entwicklung technologieinduzierter Geschäftsmodelle [Ams16, S. 91ff.]. Sie beruht auf der Hypothese, dass sich für eine als Erfolg versprechend erachtete Technologie spezifische **Geschäftsmodellmuster**[26] identifizieren und für die Entwicklung eigener Geschäftsmodelle adaptieren lassen. Im Gegensatz zu den Arbeiten von GASSMANN ET AL. [GFC13, S. 73ff.] liefert die Systematik keinen vorgegebenen Musterkatalog, sondern definiert auf der Metaebene ein Vorgehen, wie technologiespezifische Geschäftsmodellmuster identifiziert und für die Geschäftsmodellentwicklung eingesetzt werden können.

Kern der Systematik bildet ein vierstufiges **Vorgehensmodell**, das den Weg von der Identifikation Erfolg versprechender Technologien bis zum ausgearbeiteten Geschäftsmodell beschreibt [Ams16, S. 91ff.]. Bild 3-23 zeigt das Vorgehensmodell im Überblick.

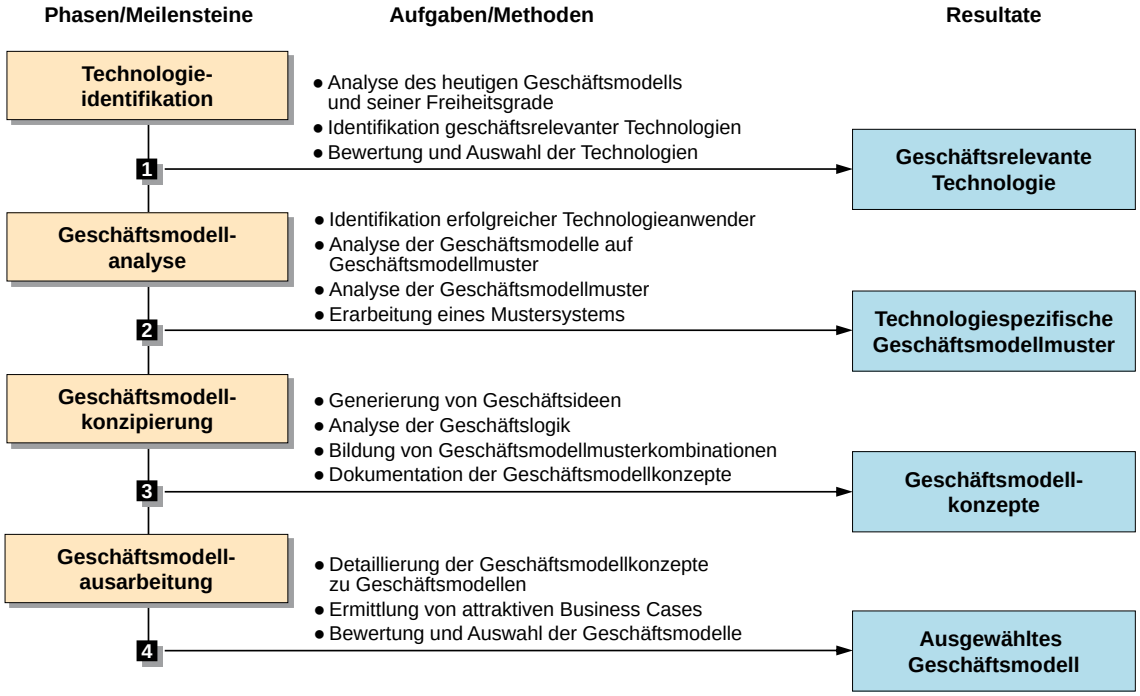


Bild 3-23: Vorgehensmodell zur musterbasierten Entwicklung technologieinduzierter Geschäftsmodelle nach AMSHOFF [Ams16, S. 92]

- **Phase 1 – Technologieidentifikation:** Ziel der ersten Phase ist die Identifikation geschäftsrelevanter Technologien. Ausgangspunkt bildet eine Analyse des bestehenden Geschäftsmodells. In Anlehnung an BÄTZEL [Bät04, S. 97ff.] werden aus der Strategie Freiheitsgrade für das Geschäftsmodell abgeleitet, die den Handlungsspielraum für die Geschäftsmodellentwicklung abstecken. Anschließend werden potentiell relevante Technologien identifiziert und in einem Technologie-Radar dargestellt.

[26] Nach GASSMANN ET AL. bezeichnet ein *Geschäftsmodellmuster* eine bestimmte Konfiguration der Dimensionen eines Geschäftsmodells, die sich in verschiedenen Firmen und Industrien als erfolgreich erwiesen hat. Damit folgen Geschäftsmodellmuster den Beobachtungen von SCHUMPETER, denen zufolge ein Großteil aller Innovationen auf der Rekombination existierender Ideen basiert [GFC13, S. 17].

Es folgt eine Bewertung anhand der Kriterien *Veränderungspotential*, *Umsetzungspriorität* und *Umsatzpotential* sowie darauf aufbauend die Auswahl einer geschäftsrelevanten Technologie, die in der nachfolgenden Phase als Eingangsgröße dient.

- **Phase 2 – Geschäftsmodellanalyse:** In der zweiten Phase erfolgt die Identifikation von Geschäftsmodellmustern, die sich für ein erfolgreiches Geschäft mit der betrachteten Technologie bewährt haben. Hierzu werden erfolgreiche Technologieanwender identifiziert, deren Geschäftsmodelle dokumentiert und diese im Hinblick auf Geschäftsmodellmuster mit Hilfe einer multidimensionalen Skalierung untersucht. Anschließend werden die identifizierten Geschäftsmodellmuster hinsichtlich ihrer wechselseitigen Abhängigkeiten analysiert und in ein Mustersystem überführt.
- **Phase 3 – Geschäftsmodellkonzipierung:** Gegenstand der dritten Phase ist die Erarbeitung von Geschäftsmodellkonzepten, die aus einer schlüssigen Kombination von Geschäftsmodellmustern bestehen. Zunächst werden mittels Kreativitätstechniken Geschäftsideen generiert und eine Stoßrichtung für das Geschäftsmodellkonzept abgeleitet. Für die Ermittlung derselben wird das Prinzip der Warenkorbanalyse adaptiert, indem die Geschäftsmodellmuster hinsichtlich der Häufigkeit ihrer gemeinsamen Verwendung analysiert werden. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen werden Erfolg versprechende Geschäftsmodellkonzepte erarbeitet.
- **Phase 4 – Geschäftsmodellausarbeitung:** In der vierten Phase werden die Geschäftsmodellmuster unternehmensspezifisch konkretisiert und damit die Geschäftsmodellkonzepte in Geschäftsmodelle überführt. Zusätzlich wird für jedes Geschäftsmodell ein Business Case ermittelt, der Aussagen zu dessen Wirtschaftlichkeit ermöglicht. Abschließend erfolgt eine multikriterielle Bewertung der Geschäftsmodelle anhand der Dimensionen *Attraktivität* und *Erreichbarkeit* sowie darauf aufbauend die Auswahl eines Erfolg versprechenden Geschäftsmodells.

Bewertung: Die Systematik zur musterbasierten Entwicklung technologieinduzierter Geschäftsmodelle nach AMSHOFF liefert ein nachvollziehbares Vorgehen und dedizierte Hilfsmittel für die Identifikation und Verknüpfung von Geschäftsmodellmustern zu Geschäftsmodellen. Aufgrund der bislang beschränkten Anzahl erfolgreicher Geschäftsmodelle für AR (vgl. *Abschnitt 2.4.2*) erweist sich ein musterbasierter Geschäftsmodellansatz für die zu entwickelnde Systematik als wenig zielführend. Gleichwohl liefert AMSHOFF wertvolle Hilfsmittel für die Bewertung von Geschäftsmodellen, die sich für eine Adaption eignen. Da sich das Vorgehen für beliebige Technologien eignet, werden die AR-spezifischen Herausforderungen in der Geschäftsmodellentwicklung nicht explizit adressiert. Ferner ist die Umsetzungsplanung nicht Bestandteil der Systematik.

3.5 Bewertung und Handlungsbedarf

Ein Vergleich des Stands der Technik mit den in *Abschnitt 2.5* beschriebenen Anforderungen führt zu folgender Bewertung, die in Bild 3-24 zusammenfassend dargestellt ist.

Bewertung der untersuchten Ansätze hinsichtlich der gestellten Anforderungen

Fragestellung: Wie gut erfüllen die untersuchten Ansätze (Zeile) die gestellten Anforderungen an eine Systematik zur strategischen Planung von Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft (Spalte)?

Bewertungsskala:

○ = nicht erfüllt

◐ = teilweise erfüllt

● = voll erfüllt

PSS: Produkt-Service-System

		Anforderungen (A)								
		Einsatz- und Nutzenpotentiale			Ideen-findung		Konzi-pierung		Geschäfts-modellentw.	
		AR-Anwendungsszenarien für Produkt-Service-Systeme	Transparenz über Chancen und Risiken	Systematische Herleitung und Erweiterbarkeit	Ideenfindung auf Basis der Potentiale von AR	Berücksichtigung der Kundenbedarfe	Spezifikation und Auswahl des AR-Systems	Modifikationsbedarfe an Produkt und Dienstleistung	Berücksichtigung AR-spezifi-scher Herausforderungen	Planung von Maßnahmen zur Umsetzung
		A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9
Strukturierungsrahmen und Klassifikationsschemata	AR-Anwendungsszenarien nach MEHLER-BICHER und STEIGER	◐	◐	◐	○	○	◐	○	○	○
	Klassifikationsschema für AR-Anwendungen nach FELLMANN ET AL.	○	○	◐	○	○	◐	○	○	○
	Lebenszyklus-orientierte Einordnung von AR-Anwendungen nach FITE-GEORGEL	◐	○	●	○	○	○	○	○	○
	Taxonomie für AR-Anwendungen nach NORMAND ET AL.	◐	○	◐	○	○	◐	○	○	○
	Taxonomie für AR-Umgebungen nach HUGUES ET AL.	◐	○	◐	○	○	○	○	○	○
Ansätze zur Ideenfindung für AR-basierte PSS	Auswahlmodell für AR-basierte Produkt-Service-Systeme nach PORCELLI ET AL.	◐	○	○	◐	◐	◐	○	○	○
	Leitfragenkatalog zur Bewertung von AR-Anwendungen nach PALMARINI ET AL.	○	○	○	◐	◐	◐	○	○	○
	Einsatzindikatoren für Datenbrillen nach GRAUEL ET AL.	○	◐	○	◐	◐	◐	○	○	○
	Value Proposition Design nach OSTERWALDER ET AL.	○	○	○	○	●	○	○	○	◐
	Technologieinduzierte Produkt- und Technologie-planung nach WALL	○	○	○	◐	◐	○	○	○	●
Ansätze zur integrativen Kon-zipierung AR-basierter PSS	Konfigurationssystematik für AR-Systeme nach SCHILLING	◐	○	○	○	◐	●	○	○	○
	Analytischer Hierarchieprozess zur Bewertung von AR-Systemen nach ELIA ET AL.	○	○	○	○	◐	◐	○	○	○
	Vorgehen zur Bewertung und Auswahl von Datenbrillen nach SYBERFELDT ET AL.	○	○	○	○	◐	●	○	○	○
	Spezifikationstechnik CONSENS nach GAUSEMEIER ET AL.	○	○	○	○	○	○	●	○	○
	Entwicklungsmethodik für Service-Unterstützungssysteme nach METZGER ET AL.	○	○	○	◐	◐	◐	◐	○	○
Ansätze zur Geschäftsmodell-entwicklung für AR-bas. PSS	Business Model Generation nach OSTERWALDER und PIGNEUR	○	○	○	◐	◐	○	○	○	◐
	Erfolgsfaktoren für AR-basierte Geschäftsmodelle nach VAN KLEEF ET AL.	○	○	○	◐	◐	○	○	◐	○
	Geschäftsmodelle für AR nach HAYES	◐	◐	○	○	○	◐	○	◐	○
	Referenzmodell für Mixed und Augmented Reality nach ISO/IEC DIS 18039	○	○	○	○	○	◐	○	◐	○
	Musterbasierte Entwicklung technologie-induzierter Geschäftsmodelle nach AMSHOFF	○	○	○	◐	◐	○	○	◐	○

Bild 3-24: Bewertung des untersuchten Stands der Technik anhand der Anforderungen

Anforderungen an die Strukturierung der Einsatz- und Nutzenpotentiale von AR

A1) Anwendungsszenarien von AR für Produkt-Service-Systeme: Eine Übersicht prinzipieller Anwendungsszenarien von AR liefern mehrere Ansätze aus dem Stand der Technik. Diese beschränken sich jedoch vielfach auf bestimmte Domänen (z.B. Marketing, technischer Kundendienst), so dass die Einsatzmöglichkeiten von AR für das Produkt-Service-Geschäft lediglich in Teilausschnitten (MEHLER-BICHER und STEIGER, PORCELLI ET AL.) beleuchtet werden. Darüber hinaus mangelt es an Überschneidungsfreiheit (NORMAND ET AL., HUGUES ET AL.) und einer geeigneten Abstraktionsebene, die den Übertrag auf unternehmensspezifische Kontexte ermöglicht. Hierbei zeigt sich eine Diskrepanz zwischen der simplen Auflistung beispielhafter Implementierungen auf der einen (FITE-GEORGEL), sowie sehr generischen und damit wenig praktikablen AR-Anwendungsszenarien auf der anderen Seite (HAYES, SCHILLING).

A2) Transparenz über Chancen und Risiken für das Produkt-Service-Geschäft: Die mit dem Einsatz von AR verbundenen Chancen und Risiken finden kaum Berücksichtigung. MEHLER-BICHER und STEIGER sowie HAYES nehmen eine rudimentäre Bewertung der beschriebenen Anwendungsszenarien und Geschäftsmodelle vor, die sich jedoch auf allgemeine, wenig aussagekräftige Kriterien wie *Nutzen* und *Adoption* beschränkt. Zudem bleibt unklar, auf welcher Grundlage die Bewertung vorgenommen wurde. GRAUEL ET AL. zeigen hingegen detailliert die allgemeinen Chancen und Risiken von Datenbrillen auf, differenzieren jedoch nicht zwischen unterschiedlichen Anwendungsszenarien.

A3) Systematische Herleitung und Erweiterbarkeit: Zur einheitlichen Beschreibung der Anwendungsszenarien werden vielfach Strukturierungsrahmen und Klassifikationsschemata verwendet. Mit Ausnahme des Ansatzes von FITE-GEORGEL werden die Anwendungsszenarien jedoch nicht systematisch hergeleitet, sondern vielmehr zum Zweck der Illustration und Validierung in diese eingeordnet. Das von FITE-GEORGEL verfolgte literaturbasierte Vorgehen sticht hieraus hervor; es ermöglicht eine transparente und im Zeitverlauf erweiterbare Herleitung der Anwendungsszenarien und soll in der vorliegenden Arbeit aufgegriffen werden.

Anforderungen an die Ideenfindung für AR-basierte Produkt-Service-Systeme

A4) Ideenfindung auf Basis der Potentiale von AR: Eine systematische Identifikation und Bewertung von Ideen wird von mehreren Ansätzen in Teilen erfüllt. Es zeigt sich jedoch, dass sich die bereitgestellten Hilfsmittel entweder lediglich auf bestimmte Domänen und Endgeräte fokussieren (PALMARINI ET AL., GRAUEL ET AL.), nur Teilausschnitte der Ideenfindung beleuchten (VAN KLEEF ET AL.) oder technologieagnostisch formuliert sind und damit die spezifischen Potentiale von AR nicht explizit aufgreifen (WALL, OSTERWALDER ET AL., AMSHOFF).

A5) Berücksichtigung der Kundenbedarfe: Ein Großteil der im Stand der Technik untersuchten Ansätze greift die zugrundeliegenden Kundenbedarfe zumindest in Teilen auf. Häufig beschränken sich die Ausführungen jedoch auf bestimmte Anwendungsfelder

(PORCELLI ET AL., PALMARINI ET AL.), die Übersetzung in technische Anforderungen an das AR-System (SCHILLING, SYBERFELDT ET AL.) oder es werden keine dedizierten Hilfsmittel für die praktische Anwendung bereitgestellt (METZGER ET AL.). Für die systematische Durchdringung von Kundenbedürfnissen beschreiben OSTERWALDER ET AL. mit der Value Proposition Canvas ein in der unternehmerischen Praxis etabliertes Hilfsmittel, das sich aufgrund seiner Allgemeingültigkeit auch für die vorliegende Arbeit eignet und im Rahmen der Ideenfindung aufzugreifen ist.

Anforderungen an die integrative Konzipierung AR-basierter Produkt-Service-Systeme

A6) Unterstützung bei der Spezifikation und Auswahl des AR-Systems: Die Anforderungsspezifikation und Auswahl eines geeigneten AR-Systems wird von verschiedenen Ansätzen im Stand der Technik adressiert. Hervorzuheben ist die Konfigurationssystematik nach SCHILLING, die mit Hilfe eines intuitiv verständlichen Leitfragenkatalogs die Anforderungserhebung unterstützt. Da sich der Ansatz auf AR-Anwendungen in der Produktentstehung bezieht, sind die Leitfragen für die vorliegende Arbeit zu adaptieren. Die Auswahl eines geeigneten AR-Systems wird im Stand der Technik aus unterschiedlichen Perspektiven beleuchtet. Speziell für Datenbrillen liefern die Einsatzindikatoren von GRAUEL ET AL. sowie das Vorgehen nach SYBERFELDT ET AL. wertvolle Grundlagen für die zu entwickelnde Systematik.

A7) Identifikation von Modifikationsbedarfen an Produkt und Dienstleistung: Die transparente Darlegung von Änderungsauswirkungen auf die Systembestandteile des Produkt-Service-Systems wird im Stand der Technik von zwei Ansätzen thematisiert. METZGER ET AL. beschreiben eine Entwicklungsmethodik für die integrative Konzipierung von Produkt-Service-System und Service-Unterstützungssystem, die jedoch aufgrund ihres hohen Abstraktionsgrades wenig Aufschluss über die Modifikationsbedarfe an Sach- und Dienstleistung gibt. Einen vielversprechenden Ansatz stellt hingegen die Spezifikationstechnik CONSENS dar, die mit Hilfe von Partialmodellen die konstituierenden Merkmale eines Produkt-Service-Systems und deren Zusammenhänge disziplinübergreifend abbildet. Sie ist im Rahmen der vorliegenden Arbeit aufzugreifen und durch geeignete Hilfsmittel für die Analyse AR-induzierter Änderungsauswirkungen weiterzuentwickeln.

Anforderungen an die Entwicklung von Geschäftsmodellen für AR-basierte Produkt-Service-Systeme

A8) Berücksichtigung AR-spezifischer Herausforderungen: Die technologieimmanenten Herausforderungen von AR werden von den untersuchten Ansätzen zur Geschäftsmodellentwicklung nur zum Teil berücksichtigt. Insbesondere in der Geschäftsmodellontologie nach VAN KLEEF ET AL. sowie in dem Referenzmodell nach ISO/IEC DIS 18039 werden einzelne Erfolgsfaktoren für AR-basierte Geschäftsmodelle näher erörtert und zum Teil mit möglichen Lösungsansätzen verknüpft. Hierbei bleiben jedoch viele der in *Abschnitt 2.3.2* skizzierten Herausforderungen unberücksichtigt. Ebenso fehlt es an einem

Vorgehensmodell und Hilfsmitteln, die Aufschluss darüber geben, wie mit den Erfolgsfaktoren neue Geschäftsmodelle entwickelt werden können.

A9) Planung von Maßnahmen zur Umsetzung: Die für den Übergang von der strategischen in die operative Ebene erforderliche Maßnahmenplanung wird von drei der im Stand der Technik untersuchten Ansätze adressiert. Besonders hervorzuheben ist die technologieinduzierte Produkt- und Technologieplanung nach WALL, in der die erarbeiteten Teilergebnisse aus dem Vorgehensmodell zur Planung der weiteren Umsetzung in einer Technology-Push-Roadmap gebündelt werden. Dieses Prinzip ist in der zu entwickelnden Systematik auf den Kontext AR-basierter Produkt-Service-Systeme zu übertragen.

Fazit: Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass keiner der untersuchten Ansätze alle in *Abschnitt 2.5* gestellten Anforderungen vollumfänglich erfüllt. Auch keine triviale Kombination der Ansätze wird den Anforderungen vollständig gerecht. Die wesentlichen Defizite bestehen zum einen in der transparenten Darstellung der Einsatz- und Nutzenpotentiale von AR für das Produkt-Service-Geschäft sowie zum anderen in der durchgängigen methodischen Unterstützung der strategischen Planung, in der sowohl das Potential von AR als Problemlöser als auch die mit AR einhergehenden technologiespezifischen Herausforderungen gleichermaßen Berücksichtigung finden. Es besteht somit Handlungsbedarf für eine *Systematik zur strategischen Planung von Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft*.

4 Systematik zur strategischen Planung von AR für das Produkt-Service-Geschäft

Dieses Kapitel beschreibt eine *Systematik zur strategischen Planung von Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft* und bildet den Kern der vorliegenden Arbeit. Die Systematik erhebt den Anspruch, den in der Problemanalyse identifizierten Anforderungen (vgl. *Abschnitt 2.5*) sowie dem aus dem Stand der Technik abgeleiteten Handlungsbedarf (vgl. *Abschnitt 3.5*) gerecht zu werden. *Abschnitt 4.1* gibt zunächst einen Überblick über die Systematik und ihre Bestandteile. Das Fundament der Systematik bildet ein Katalog aus AR-Anwendungsszenarien, der in *Abschnitt 4.2* vorgestellt wird. Gegenstand der *Abschnitte 4.3* und *4.4* sind die Geschäftsideenfindung sowie Umsetzungsplanung, die jeweils ein Vorgehensmodell sowie zugehörige Hilfsmittel umfassen.

4.1 Die Systematik im Überblick

Die *Systematik zur strategischen Planung von Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft* gliedert sich, wie in Bild 4-1 dargestellt, in drei **Bestandteile**: AR-Anwendungsszenarien, Geschäftsideenfindung und Umsetzungsplanung[27].

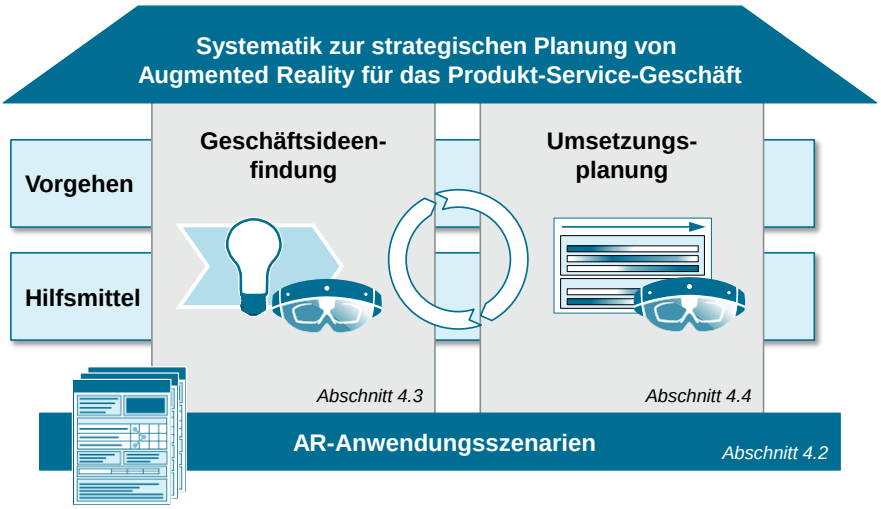


Bild 4-1: Aufbau der Systematik

Ziel der Systematik ist die Befähigung von Unternehmen, die Potentiale von AR für das Produkt-Service-Geschäft zu identifizieren, in Geschäftsideen zu überführen und deren Umsetzung unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf das Produkt-Service-System und Geschäftsmodell systematisch zu planen. Gemäß dem Referenzmodell der strategischen Planung und integrativen Entwicklung von Marktleistungen nach GAUSEMEIER ET

[27] Teilergebnisse bzw. Evolutionsstufen der Systematik wurden im Vorfeld der Dissertation veröffentlicht. Für die *AR-Anwendungsszenarien* sei verwiesen auf [RD20], [RAD16], für die *Geschäftsideenfindung* auf [RWA+17] und für die *Umsetzungsplanung* auf [RWG+19], [RWA+18], [RBN+18].

AL. [GAD+14, S. 11ff.], [GDE+19, S. 89ff.] ist die Systematik damit integraler Bestandteil der **strategischen Produktplanung** und weist **Schnittstellen** zu den **Zyklen der Produkt- und Dienstleistungsentwicklung** auf (vgl. *Abschnitt 2.4*).

Im Vordergrund der Systematik steht die **Weiterentwicklung eines bestehenden Produkt-Service-Systems**. Ausgangspunkt bilden daher Produkte oder Produkt-Service-Kombinationen, die um neue, auf dem Einsatz von AR basierende Funktionalitäten erweitert werden sollen. **Zielgruppe** der Systematik sind innovationsverantwortliche Entscheider produzierender Unternehmen, insbesondere Produktmanager oder mit den Aufgaben eines Produktmanagers[28] betraute Personen (in kleineren Unternehmen z.B. ein Geschäftsführer). **Resultat** der Systematik ist ein AR-Roadbook, das alle relevanten Informationen zur Umsetzung der Geschäftsidee in einem Entwicklungsauftrag bündelt und als Bindeglied zu nachfolgenden Entwicklungsprojekten dient.

AR-Anwendungsszenarien: Die Basis der Systematik bildet ein Katalog aus AR-Anwendungsszenarien. Er liefert eine strukturierte Übersicht der Einsatzmöglichkeiten von AR sowie der damit verbundenen Chancen und Risiken für das Produkt-Service-Geschäft. Die Herleitung der AR-Anwendungsszenarien beruht auf einem systematischen Vorgehen: Grundlage bildet ein Klassifikationsschema bestehend aus acht Klassifikationsmerkmalen mit jeweils mehreren möglichen Merkmalsausprägungen. Mit Hilfe des Klassifikationsschemas wurden 75 industrielle Anwendungsbeispiele für AR beschrieben und mit Hilfe einer Clusteranalyse zu generischen Anwendungsszenarien verdichtet. Jedes Anwendungsszenario ist in einem Steckbrief einheitlich dokumentiert. In diesem sind die für die strategische Planung wichtigsten Informationen abgebildet. Die AR-Anwendungsszenarien schaffen Transparenz über die Einsatz- und Nutzenpotentiale von AR, bieten Orientierung für den Übertrag auf unternehmensspezifische Kontexte und liefern somit Innovationsimpulse zur Weiterentwicklung des Produkt-Service-Geschäfts.

Geschäftsideenfindung: Unter Rückgriff auf die AR-Anwendungsszenarien beschreibt die Geschäftsideenfindung die systematische Identifikation, Bewertung und Auswahl von Geschäftsideen für AR-basierte Produkt-Service-Systeme. Im Sinne des Market Pull und Technology Push (vgl. *Abschnitt 2.2.3*) wird zwischen einer bedarfs- und einer technologieinduzierten Geschäftsideenfindung unterschieden – abhängig davon, ob ein bestimmter Kundenbedarf oder ein umzusetzendes AR-Anwendungsszenario als Ausgangspunkt dient. Für beide Stoßrichtungen liefert die Geschäftsideenfindung ein Vorgehensmodell mit einer Beschreibung der durchzuführenden Tätigkeiten sowie Hilfsmittel, die den Anwender bei der Ausübung der Tätigkeiten unterstützen. Resultat der Geschäftsideenfindung sind priorisierte Geschäftsideen für AR-basierte Produkt-Service-Systeme.

---

[28] Die *Aufgaben eines Produktmanagers* umfassen nach HERRMANN und HUBER *„alle Überlegungen, Entscheidungen und Handlungen, die im Zusammenhang mit der Kombination und Variation einer Leistung stehen“* [HH13, S. 1]. Dazu zählen die Analyse, Konzipierung, Umsetzung und Optimierung von Produkten und Dienstleistungen sowie deren Begleitung entlang des Lebenszyklus, von der Idee über die Vermarktung bis zur Eliminierung aus dem Markt [HH13, S. 3f.], [VDI4520].

Umsetzungsplanung: Anknüpfend an die Geschäftsideenfindung beschreibt die Umsetzungsplanung die Konkretisierung der Geschäftsidee und die Überführung in eine Umsetzungsroadmap. Entsprechend der an die Ideenfindung anknüpfenden Aufgabenbereiche der strategischen Produktplanung umfasst die Umsetzungsplanung die integrative Konzipierung von AR- und Produkt-Service-System (Aufgabenbereiche: Produkt- und Dienstleistungskonzipierung) sowie die Entwicklung des Geschäftsmodells (Aufgabenbereich: Geschäftsplanung). Schwerpunkt liegt dabei auf der Analyse der durch die Integration von AR bedingten Änderungsauswirkungen auf das bestehende Produkt-Service-System und Geschäftsmodell. Zur Planung der operativen Umsetzung werden Maßnahmen definiert. Die Umsetzungsplanung mündet in einem AR-Roadbook, welches die zentralen Ergebnisse in einem Entwicklungsauftrag zusammenfasst.

4.2 AR-Anwendungsszenarien

Um die für die strategische Planung entscheidenden Fragen nach Einsatzmöglichkeit und Nutzen von AR zu beantworten, wird im Folgenden ein Katalog bestehend aus AR-Anwendungsszenarien vorgestellt. Er schafft Transparenz über konkrete Einsatzmöglichkeiten von AR für das Produkt-Service-Geschäft, strukturiert die einhergehenden Nutzenvorteile für Anbieter und Kunde und stellt dem Anwender der Systematik für die strategische Planung erforderliches Lösungswissen zu AR zur Verfügung. *Abschnitt 4.2.1* gibt zunächst einen Überblick des Vorgehens, mit dessen Hilfe die AR-Anwendungsszenarien ermittelt wurden. Grundlage der AR-Anwendungsszenarien bildet ein Klassifikationsschema, das in *Abschnitt 4.2.2* erläutert wird. Mit Hilfe des Klassifikationsschemas wurden 75 industrielle Anwendungsbeispiele von AR bewertet und durch Anwendung einer Clusteranalyse entsprechend ihrer Ähnlichkeit klassifiziert. Als Ergebnis liegen 16 AR-Anwendungsszenarien vor, die in *Abschnitt 4.2.3* beschrieben sind. Die Dokumentation der AR-Anwendungsszenarien in Steckbriefen zeigt schließlich *Abschnitt 4.2.4* auf.

4.2.1 Vorgehen zur Ermittlung der AR-Anwendungsszenarien

Die Ermittlung der AR-Anwendungsszenarien beruht auf einer **Klassifikation**[29] **mittels einer hierarchischen Clusteranalyse** und folgt dem in Bild 4-2 gezeigten vierstufigen Vorgehen in Anlehnung an GAUSEMEIER ET AL. [GP14, S. 63f.] bzw. BACHER ET AL. [BPW10, S. 156]. Als Klassifikationsobjekte dienen AR-Anwendungsbeispiele, d.h. konkrete Umsetzungen von AR im industriellen Kontext aus Wissenschaft und Wirtschaft. Mit Hilfe einer Clusteranalyse wurden die AR-Anwendungsbeispiele entsprechend ihrer

[29] DAHLBERG zufolge bezeichnet *Klassifikation* allgemein das Einteilen von Objekten nach Merkmalen [Dah74, S. 17]. Darüber hinaus ist der Begriff mehrdeutig und kann abhängig vom Kontext (1) den *Prozess der Klassenbildung*, d.h. die Erstellung der Klassengrenzen, (2) die *Gesamtheit aller Klassen* als Ergebnis der Klassenbildung sowie (3) den *Vorgang des Klassierens* als Zuordnung von Objekten zu Klassen verstanden werden [Man04, S. 127], [Dah74, S. 17]. Sofern nicht anders vermerkt, bezeichnet Klassifikation im Folgenden die Menge aller Klassen als Resultat der Klassenbildung.

Ähnlichkeit in homogene Gruppen (sog. *Cluster*[30]) unterteilt. Als Grundlage zur Bewertung der Ähnlichkeit zwischen den AR-Anwendungsbeispielen dient ein Klassifikationsschema. Die einzelnen Schritte des Vorgehens werden im Folgenden näher erläutert.

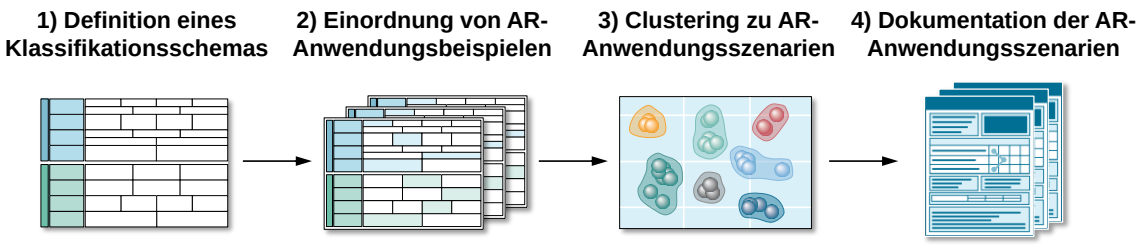


Bild 4-2: Methodisches Vorgehen zur Ermittlung der AR-Anwendungsszenarien

1) Definition eines Klassifikationsschemas: Ausgangspunkt für die Ermittlung der AR-Anwendungsszenarien bildet ein Klassifikationsschema, das acht Klassifikationsmerkmale mit jeweils mehreren möglichen Merkmalsausprägungen umfasst. Das Klassifikationsschema ist zweigeteilt und umfasst Merkmale, die zum einen den Kontext der AR-Anwendung und zum anderen die mittels AR dargestellten Inhalte konkretisieren. Die Klassifikationsmerkmale und deren Ausprägungen resultieren aus einer Analyse bestehender Strukturierungsrahmen und Klassifikationsschemata aus der wissenschaftlichen Literatur. Hierzu zählen die im Stand der Technik in *Abschnitt 3.1* untersuchten Ansätze sowie weitere, die im Zuge einer Literaturrecherche ermittelt wurden. Insgesamt wurden 106 Klassifikationsmerkmale und Merkmalsausprägungen für AR identifiziert und analysiert. Die Selektion erfolgte auf Basis der prinzipiellen Eignung der Merkmale und Ausprägungen, zwischen unterschiedlichen Anwendungsfällen von AR zu unterscheiden. Dabei wurden teils sich ergänzende, komplementäre Merkmalsausprägungen aus unterschiedlichen Quellen miteinander kombiniert und verdichtet (siehe *Abschnitt 4.2.2*).

2) Einordnung von AR-Anwendungsbeispielen: Im Rahmen einer Internet- und Literaturrecherche wurden insgesamt 75 AR-Anwendungsbeispiele ermittelt und mit Hilfe des Klassifikationsschemas beschrieben. Für die Recherche wurde eine Suchstrategie formuliert, die ein möglichst umfassendes Bild der Einsatzmöglichkeiten von AR liefert: Als Grundlage dienten die von FITE-GEORGEL beschriebenen AR-Anwendungsbeispiele, die für den Zeitraum bis zum Jahr 2010 eine umfassende Übersicht zum Status quo der industriellen Anwendung von AR zeichnen (vgl. *Abschnitt 3.1.3*). Dabei wurden diejenigen AR-Anwendungsbeispiele von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen, die nicht unter die in *Abschnitt 2.1.4* gefasste Definition von AR fallen. Um der dynamischen Entwicklung von AR gerecht zu werden, wurden mit Hilfe von Suchtermini („Industrial“, „Augmented Reality“ und „Use Cases“) etablierte Publikationsdatenbanken (Scopus, IEEE

[30] Der Bildung von *Clustern* liegt das Grundprinzip der Homogenität zugrunde: Objekte innerhalb eines Clusters sollen einander möglichst ähnlich, Objekte unterschiedlicher Cluster möglichst verschieden sein [BPW10, S. 16], [EKR02, 203]. CORMACK spricht dabei von *interner Kohäsion* (Homogenität innerhalb von Clustern) und *externer Isolierung* (Heterogenität zwischen Clustern) [Cor71, S. 329].

Xplorer, ACM Digital Library) durchsucht und weitere AR-Anwendungsbeispiele extrahiert. Einen Schwerpunkt bildeten hierbei die Leitprojekte AVILUS und ARVIDA (vgl. *Abschnitt 2.3.1*) Bei der Selektion der Rechercheergebnisse wurden denjenigen Beiträgen Vorrang gegeben, die entweder für eine AR-Anwendung grundlegend sind oder eine signifikante Weiterentwicklung eines Anwendungskontextes beschreiben. Zur Erweiterung der wissenschaftlichen Perspektive wurden zudem bereits am Markt erhältliche industrielle AR-Lösungen (u.a. von Firmen wie RE'FLEKT) berücksichtigt. Eine Übersicht der Bewertungen für alle 75 AR-Anwendungsbeispiele ist in *Anhang A2.1* abgebildet.

3) Clustering zu AR-Anwendungsszenarien: Auf Basis der mit Hilfe des Klassifikationsschemas beschriebenen AR-Anwendungsbeispiele erfolgte eine Klassifizierung. Dazu wurden die AR-Anwendungsbeispiele nach der Ähnlichkeit ihrer Merkmalsausprägungen mittels einer hierarchisch-agglomerativen Clusteranalyse[31] gruppiert. Die Ergebnisinterpretation und Visualisierung erfolgte mit Hilfe eines Dendrogramms und einer multidimensionalen Skalierung. Als Resultat liegen 16 Cluster vor, die ähnliche AR-Anwendungsbeispiele enthalten. Die Cluster werden als AR-Anwendungsszenarien bezeichnet und liefern Aufschluss über die industriellen Einsatzmöglichkeiten von AR.

4) Dokumentation der AR-Anwendungsszenarien: Im Anschluss an die Clusteranalyse wurden für die AR-Anwendungsszenarien weiterführende, für die strategische Planung des Produkt-Service-Geschäfts relevante Informationen ermittelt und in Steckbriefen dokumentiert. Als Informationsquellen dienten hierzu die Beschreibungen aus den Publikationen zu den AR-Anwendungsbeispielen, die auf den Kontext des Produkt-Service-Geschäfts übertragen und um eigene Überlegungen ergänzt wurden. Neben dem spezifischen Nutzen sowie den Chancen und Risiken enthalten die Steckbriefe für das jeweilige AR-Anwendungsszenario die entsprechenden Merkmalsausprägungen im Klassifikationsschema sowie zur Konkretisierung eine Übersicht der zugehörigen AR-Anwendungsbeispiele. Die Gesamtheit der Steckbriefe bildet einen Katalog mit AR-Anwendungsszenarien, auf den im Zuge der Geschäftsideenfindung zurückgegriffen wird.

Im Folgenden werden die zentralen **Resultate** aus dem Vorgehen vorgestellt. Hierzu zählen das Klassifikationsschema aus der ersten Phase (vgl. *Abschnitt 4.2.2*), die Klassifikation der AR-Anwendungsbeispiele aus der zweiten und dritten Phase (vgl. *Abschnitt 4.2.3*) sowie die Steckbriefe zu den AR-Anwendungsszenarien aus der vierten Phase (vgl. *Abschnitt 4.2.4*).

4.2.2 Klassifikationsschema

Grundlage für die Klassifikation der AR-Anwendungsszenarien bildet ein Klassifikationsschema. Es ermöglicht eine **einheitliche Beschreibung industrieller Anwendungen**

[31] Bei einer *hierarchisch-agglomerativen Clusteranalyse* werden aus n Objekten zunächst n Cluster gebildet. Entsprechend ihrer anhand eines Proximitätsmaß ermittelten Ähnlichkeit werden die Cluster schrittweise zusammengelegt, bis letztlich alle Objekte einem Cluster angehören [BPW10, S. 19].

von AR, erlaubt die Darstellung von Unterschieden und Gemeinsamkeiten anhand charakteristischer Merkmale und schafft damit die nötigen Voraussetzungen zur Beurteilung der Ähnlichkeit zwischen den AR-Anwendungsbeispielen. Darüber hinaus dient das Klassifikationsschema als **Hilfsmittel zur Förderung der Kreativität**: Analog zu einem morphologischen Kasten[32] strukturiert es den Lösungsraum, indem es die Gesamtheit möglicher Ausprägungen aufzeigt. Vor diesem Hintergrund eignet sich das Klassifikationsschema, um neue Anwendungsideen für AR zu identifizieren oder ausgehend von den Ausprägungen bestehender AR-Anwendungsszenarien gezielt Variationen zu bilden.

Das **Klassifikationsschema** setzt sich aus acht Klassifikationsmerkmalen mit jeweils mehreren Merkmalsausprägungen zusammen. Wie in Bild 4-3 dargestellt, gliedert sich das Klassifikationsschema in kontext- und technologiebezogene Klassifikationsmerkmale, die miteinander in Beziehung stehen.

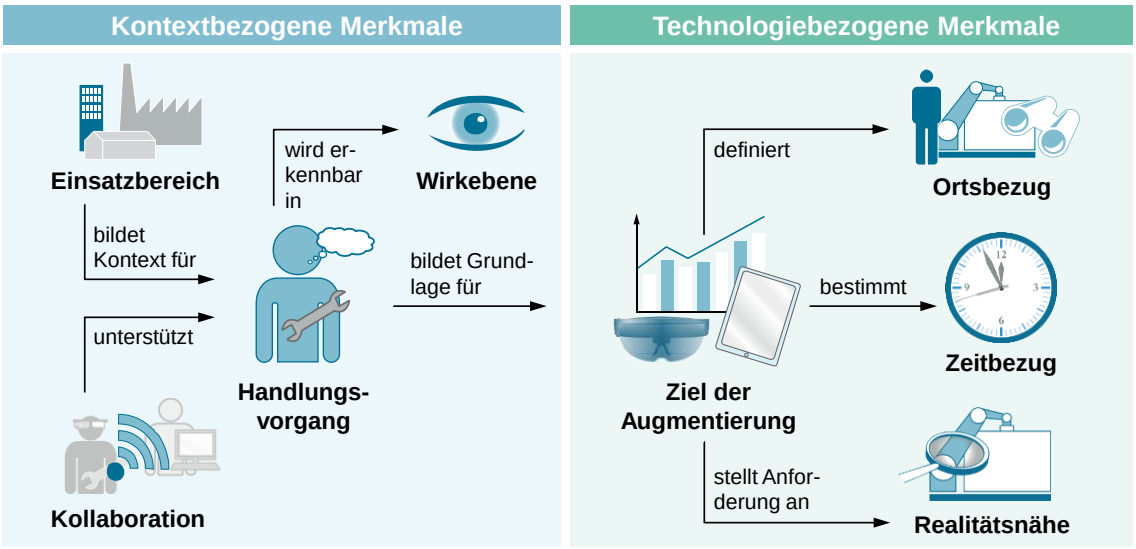


Bild 4-3: Beziehung zwischen den Merkmalen des Klassifikationsschemas

Kontextbezogene Klassifikationsmerkmale beschreiben den inhaltlichen Sinn- und Situationszusammenhang, in dem eine AR-Anwendung steht. Im Mittelpunkt steht ein *Handlungsvorgang*, der durch AR unterstützt wird. Dieser erfolgt im Kontext eines definierten *Einsatzbereichs* und kann durch *Kollaboration* unterstützt werden. In einer *Wirkebene* manifestiert sich das Ergebnis des Handlungsvorgangs.

Technologiebezogene Klassifikationsmerkmale beziehen sich auf die mittels AR dargestellten Inhalte. Ausgehend von dem zu unterstützenden Handlungsvorgang leitet sich

[32] Der *morphologische Kasten* bildet den Kern der morphologischen Analyse, eine auf den Schweizer Astrophysiker ZWICKY zurückgehende Kreativitätstechnik. In einer mehrdimensionalen Matrix zeigt der morphologische Kasten für die Bestandteile eines Problems prinzipielle Lösungsmöglichkeiten auf, aus deren Kombination Gesamtlösungen gebildet werden [Zwi49].

ein spezifisches *Ziel der Augmentierung* ab. Dieses bildet die Grundlage für den *Ortsbezug* und *Zeitbezug* der dargestellten virtuellen Inhalte. Zudem leiten sich aus der Zielsetzung Anforderungen an die *Realitätsnähe* der Darstellung ab.

Jedem Klassifikationsmerkmal sind mögliche **Merkmalsausprägungen** zugeordnet, wie in Bild 4-4 dargestellt. Die Anzahl der Merkmalsausprägungen variiert dabei in Abhängigkeit des Klassifikationsmerkmals. Das Klassifikationsschema umfasst ausschließlich nominalskalierte Merkmale, d.h. die Ausprägungen sind gleichwertig und bilden keine Rangfolge. Jedem Klassifikationsmerkmal kann zudem nur eine Merkmalsausprägung zugeordnet werden (sog. *nicht-häufbare Merkmale*).

Kontext	**Einsatzbereich**	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungs-vorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron a. gleich. Ort	Synchron a. vers. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	**Ziel der Augmentierung**	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungs-steigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Bild 4-4: Klassifikationsschema mit Merkmalen und Merkmalsausprägungen

Die **Klassifikationsmerkmale** und **Ausprägungen** werden im Folgenden näher erläutert.

Kontextbezogene Klassifikationsmerkmale

- **Einsatzbereich:** Anhand der zentralen Lebenszyklusphasen eines Produkt-Service-Systems aus Kundensicht (vgl. *Abschnitt 2.1.3*) beschreibt das Klassifikationsmerkmal in Anlehnung an FITE-GEORGEL [Fit11, S. 202] den grundlegenden Bereich, in dem die AR-Anwendung verwendet wird. Die Merkmalsausprägungen reichen von der *Beschaffung* über die Nutzung (*Entwicklung*, *Produktion*, *Logistik*, *Instandhaltung*) bis zur *Außerbetriebnahme* sowie *Aus- und Weiterbildung*.

- **Handlungsvorgang:** Das Klassifikationsmerkmal definiert, welche Phasen zielorientierten menschlichen Handelns die AR-Anwendung unterstützt. Die Merkmalsausprägungen umfassen die Handlungsvorgänge *Informieren*, *Planen*, *Ausführen* sowie *Kontrollieren* und orientieren sich an den Arbeiten zur Systematisierung von Assistenzsystemen, nach WANDKE [Wan05, S. 136ff.], SCHALLER [Sch16, S. 13] und LUDWIG [Lud15, S. 59ff.].

- **Kollaboration:** Mit dem Klassifikationsmerkmal wird bestimmt, inwiefern die AR-Anwendung die gemeinsame Zusammenarbeit mit anderen Personen vorsieht. Neben

der Ausprägung *keine Kollaboration* ergeben sich in Abhängigkeit der zeitlichen und räumlichen Verteilung vier charakteristische Ausprägungen: *Synchron am gleichen Ort* (z.B. Beurteilung eines Produktentwurfs), *synchron an verschiedenen Orten* (z.B. Zuschaltung eines Experten) sowie *asynchron am gleichen Ort* (z.B. zeitversetztes Annotieren eines Objekts) und *asynchron an verschiedenen Orten* (z.B. zeitversetztes, verteiltes Arbeiten an einem virtuellen Modell) [SH16, S. 362ff.].

- **Wirkebene:** In Anlehnung an DUBOIS und NIGAY [DN00, S. 165f.] beschreibt dieses Klassifikationsmerkmal, in welcher Ebene das Ergebnis des Handlungsvorgangs erkennbar wird. Abhängig davon, ob der Anwender den Handlungsvorgang durchführt, um ein physisch existierendes oder ein virtuelles Objekt zu manipulieren, ergeben sich zwei Merkmalsausprägungen für die Wirkebene: *reale Welt* (z.B. Reparatur einer Maschine) und *virtuelle Welt* (z.B. Erstellung eines digitalen Fertigungslayouts).

Technologiebezogene Klassifikationsmerkmale

- **Ziel der Augmentierung:** Dieses Klassifikationsmerkmal spiegelt den der AR-Anwendung zugrundeliegenden Sinn und Zweck wider. Die Arbeiten von DUBOIS und NIGAY [DN00, S. 166] erweiternd umfasst es drei Merkmalsausprägungen: *Leistungssteigerung* bezeichnet das Ziel, Aufgaben durch den Einsatz von AR effizienter, d.h. schneller oder mit höherer Ergebnisqualität, durchzuführen. *Befähigung* zielt darauf ab, den Anwender durch zusätzliche Informationen überhaupt erst in die Lage zu versetzen, bestimmte Aufgaben lösen zu können. *Wahrnehmungssteigerung* fokussiert hingegen eine Erweiterung der Sinneswahrnehmung, indem komplexe räumliche Konfigurationen realitätsgetreu dargestellt oder auf natürliche Weise nicht wahrnehmbare Informationen zugänglich gemacht werden (z.B. „Röntgenblick“).

- **Ortsbezug:** Mit dem Klassifikationsmerkmal wird beschrieben, wo die virtuellen Inhalte in der realen Welt positioniert werden. Nach TOENNIS und PLECHER [TP11, S. 9] ergeben sich drei prinzipielle Merkmalsausprägungen: Virtuelle Inhalte können unmittelbar am *Nutzer* selbst dargestellt werden, z.B. an dessen Hand, Gesicht oder Körper. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit, virtuelle Inhalte an bestimmte physische *Objekte* (z.B. eine Maschine) zu knüpfen oder sie in der *Umgebung* des Nutzers (z.B. einer Maschinenhalle) zu platzieren.

- **Zeitbezug:** Basierend auf HUGUES ET AL. [HFN11, S. 55ff.] und NORMAND ET AL. [NSM12, S. 5] spezifiziert das Klassifikationsmerkmal den zeitlichen Bezug der mittels AR dargestellten virtuellen Inhalte (vgl. *Abschnitte 3.1.4* und *3.1.5*). Neben der Visualisierung von rein imaginären Inhalten ohne Zeitbezug (*Fiktion*) wird entlang der drei grundlegenden Zeitintervalle differenziert zwischen *Vergangenheit* (Veranschaulichung eines früher existierenden Zustandes), *Gegenwart* (Anreicherung von Informationen mit Bezug zum gegenwärtigen Geschehen) und *Zukunft* (Darstellung der geistigen Vorwegnahme eines zukünftigen Zustandes).

- **Realitätsnähe:** Das Klassifikationsmerkmal beschreibt, wie realitätsnah die virtuellen Informationen dargestellt werden. Ist eine *Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert*, werden die computergenerierten Inhalte so visualisiert, dass sie klar als solche erkenntlich sind. *Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität* zielt hingegen auf die Illusion realexistierender Objekte ab und stellt hohe Anforderungen an die Darstellungsqualität [FHM+15, S. 28].

4.2.3 Klassifikation von AR-Anwendungsbeispielen

Zur Ermittlung der AR-Anwendungsszenarien wurden – wie in *Abschnitt 4.2.1* beschrieben – insgesamt **75 AR-Anwendungsbeispiele** mit Hilfe des Klassifikationsschemas bewertet. Grundlage für die Auswahl der zutreffenden Merkmalsausprägungen bildeten die im Rahmen der Recherche ermittelten Informationen zu den AR-Anwendungsbeispielen (z.B. aus wissenschaftlichen Publikationen, Case Studies). Je Klassifikationsmerkmal wurde den AR-Anwendungsbeispielen jeweils eine Merkmalsausprägung zugeordnet.

Bild 4-5 zeigt exemplarisch das befüllte Klassifikationsschema für das AR-Anwendungsbeispiel **Smart Service Assistant**. Die von den Firmen RE'FLEKT und Leybold entwickelte Software unterstützt mit Hilfe von Schritt-für-Schritt-Anleitungen und visuellen Checklisten den Öl- und Filterwechsel von Vakuumpumpen [Ste18, S. 8ff.]. Dementsprechend handelt es sich um einen *ausführenden Handlungsvorgang* (Wechsel von Öl und Filter) im Kontext der *Instandhaltung* (Wartung von Pumpen) *ohne Kollaboration*, dessen Ergebnis sich in der *realen Welt* in Form einer gewarteten Pumpe widerspiegelt. Ziel der Augmentierung ist die *Befähigung* von Kunden von Leybold zur eigenständigen Durchführung der Instandhaltungstätigkeiten. Die dazu erforderlichen Instruktionen beziehen sich auf die *Gegenwart* und werden unmittelbar am *Objekt* (der zu wartenden Pumpe) angezeigt, wobei eine *Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert* ist (Wahrnehmung der virtuellen Instruktionen als solche). Eine Übersicht der Bewertungen für alle AR-Anwendungsszenarien ist *Anhang A2.1* zu entnehmen.

Kontext	Einsatzbereich	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungsvorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron a. gleich. Ort	Synchron a. vers. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	Ziel der Augmentierung	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungssteigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Beispiel: Smart Service Assistant

RE'FLEKT Leybold

Bild 4-5: Beschreibung des AR-Anwendungsbeispiels „Smart Service Assistant"

Die mit Hilfe des Klassifikationsschemas beschriebenen AR-Anwendungsbeispiele wurden anschließend mit einer **hierarchischen Clusteranalyse** entsprechend der Ähnlichkeit der Merkmalsausprägungen gruppiert. Die Clusteranalyse wurde mit Hilfe der Statistik-Software SPSS der Firma IBM durchgeführt. Als Clusterverfahren diente *Complete Linkage*[33] und als Proximitätsmaß der *Jaccard-Ähnlichkeitskoeffizient*[34]. Zur Initialisierung der Clusteranalyse wurden die nominal-skalierten Klassifikationsmerkmale *dichotomisiert*, indem die Merkmalsausprägungen in binäre Indikatorvariablen (sog. *Dummy-Variablen*) aufgespalten wurden (*1 = vorhanden*, *0 = nicht vorhanden*) [BEP+16, S. 473].

Die graphische Interpretation der Clusteranalyse erfolgt über ein **Dendrogramm**, wie in Bild 4-6 dargestellt. Es zeigt die schrittweise Fusionierung der Cluster in Form einer Baumstruktur. Die Nummerierung im linken Teil des Bildes ermöglicht die Zuordnung zu den im *Anhang A2.1* aufgeführten AR-Anwendungsbeispielen und den zugehörigen Bewertungen. Die horizontale Achse dient als Maß für die Unähnlichkeit, während senkrechte Striche die Zusammenführung von Clustern anzeigen [BPW10, S. 236f.]. Die Anzahl der Cluster wurde mit Hilfe des *Ellbogen-Kriteriums*[35] unter Berücksichtigung interpretatorischer Gesichtspunkte ermittelt. Im Dendrogramm entspricht die Anzahl der Cluster der Anzahl an horizontalen Linien, die von der blauen, vertikal verlaufenden Linie geschnitten werden. Wie Bild 4-6 zeigt, wurden insgesamt 16 Cluster identifiziert.

Da die Klassifikation auf einer empirischen Untersuchung von 75 AR-Anwendungsbeispielen beruht, können die identifizierten AR-Anwendungsszenarien keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Sie sind vielmehr als Resultat eines induktiven Schlusses zu verstehen und spiegeln prinzipielle industrielle Einsatzmöglichkeiten von AR auf Grundlage des Stands der Technik wider. Gleichwohl zeichnet sich die Klassifikation durch eine **Aktualisier- und Erweiterbarkeit** aus: Mit dem Klassifikationsschema können weitere AR-Anwendungsbeispiele (z.B. aus neuen Publikationen oder eigenen Überlegungen) beschrieben werden, aus denen sich – dem in *Abschnitt 4.2.1* erläuterten Vorgehen folgend – im Zeitverlauf neue AR-Anwendungsszenarien ableiten lassen.

---

[33] Das *Complete-Linkage-Verfahren* berechnet die Distanz zwischen zwei Clustern auf Basis der beiden am entferntesten liegenden Objekte beider Cluster. Es werden diejenigen Cluster zusammengefasst, deren Distanz zueinander minimal ist. Dadurch neigt das Verfahren zur Bildung zahlreicher, vergleichsweise kompakter Cluster [BPW10, S. 152], [Pie15, S. 377].

[34] Zur Bestimmung der Ähnlichkeit dividiert der *Jaccard-Ähnlichkeitskoeffizient* die Anzahl der Wertepaare, bei der eine Merkmalsausprägung gemeinsam auftritt, durch die Anzahl der Wertepaare, bei denen die Ausprägung mindestens einmal vorkommt. Daraus resultiert, dass das gemeinsame Nichtvorhandensein von Merkmalsausprägungen nicht in die Beurteilung der Ähnlichkeit eingeht [BEP+16, S. 461ff.].

[35] Im sog. *Scree-Diagramm* wird der Informationsverlust über die Anzahl der Cluster aufgetragen. Es empfiehlt sich die Auswahl derjenigen Clusteranzahl, bei der der Informationsverlust bei kleiner werdender Clusteranzahl sprunghaft ansteigt (*ellbogenförmiger Knick*) [BEP+16, S. 495], [BPW10, S. 241f.].

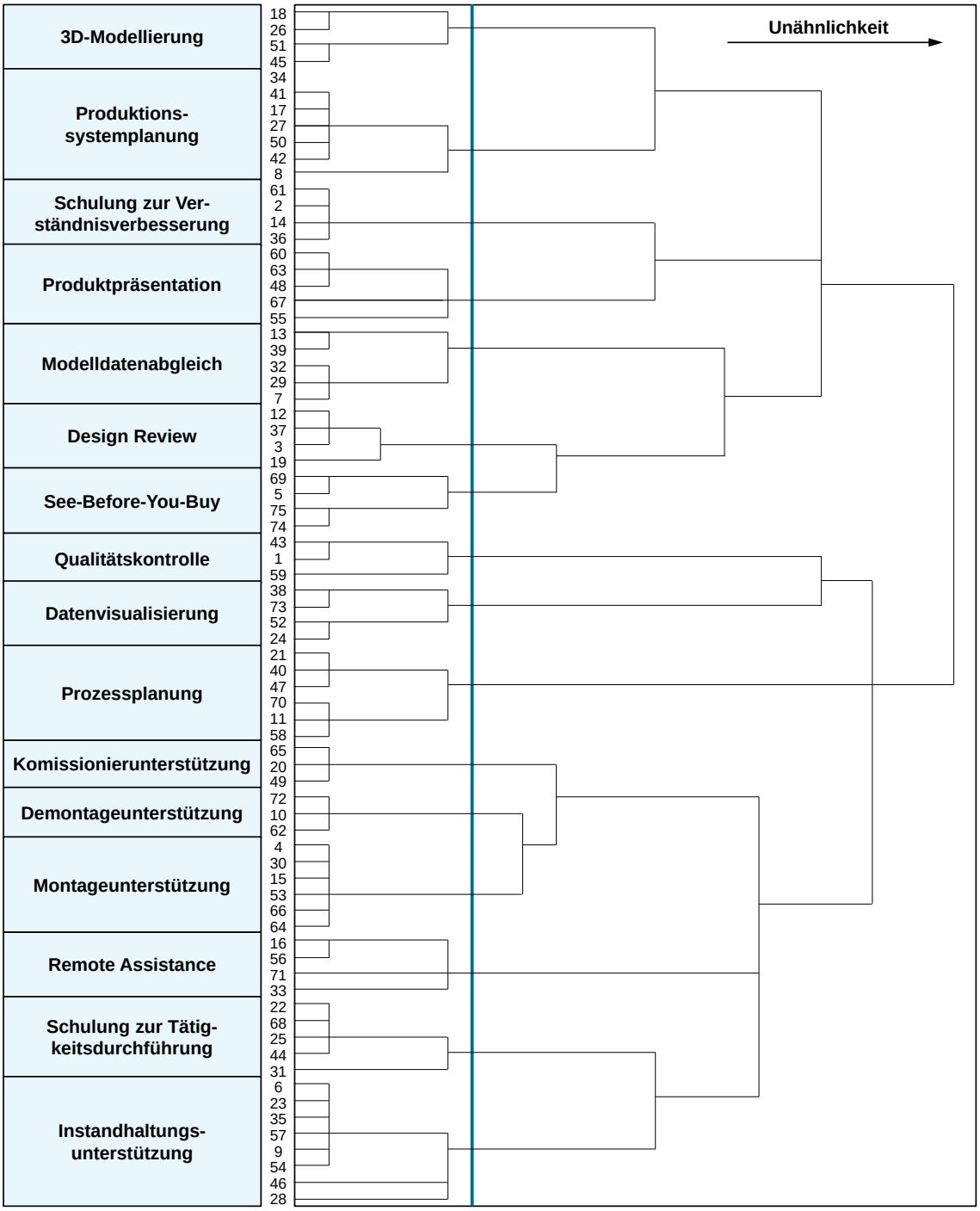


Bild 4-6: Darstellung der Ergebnisse der Clusteranalyse in einem Dendrogramm

Zur Veranschaulichung wurden die Ergebnisse der Clusteranalyse in einer **multidimensionalen Skalierung** (MDS) visualisiert. In dieser sind die Ähnlichkeiten zwischen den AR-Anwendungsbeispielen durch räumliche Distanzen dargestellt: Sich ähnliche AR-Anwendungsbeispiele sind nah und sich unähnliche weiter entfernt voneinander angeordnet [BEW15, S. 350ff.]. Bild 4-7 zeigt die MDS, in der die AR-Anwendungsbeispiele als Kugeln und die AR-Anwendungsszenarien als Farbhinterlegung gekennzeichnet sind.

Zudem lassen sich die AR-Anwendungsszenarien in die zwei übergeordneten Kategorien *Instruktion* und *Veranschaulichung* einteilen.

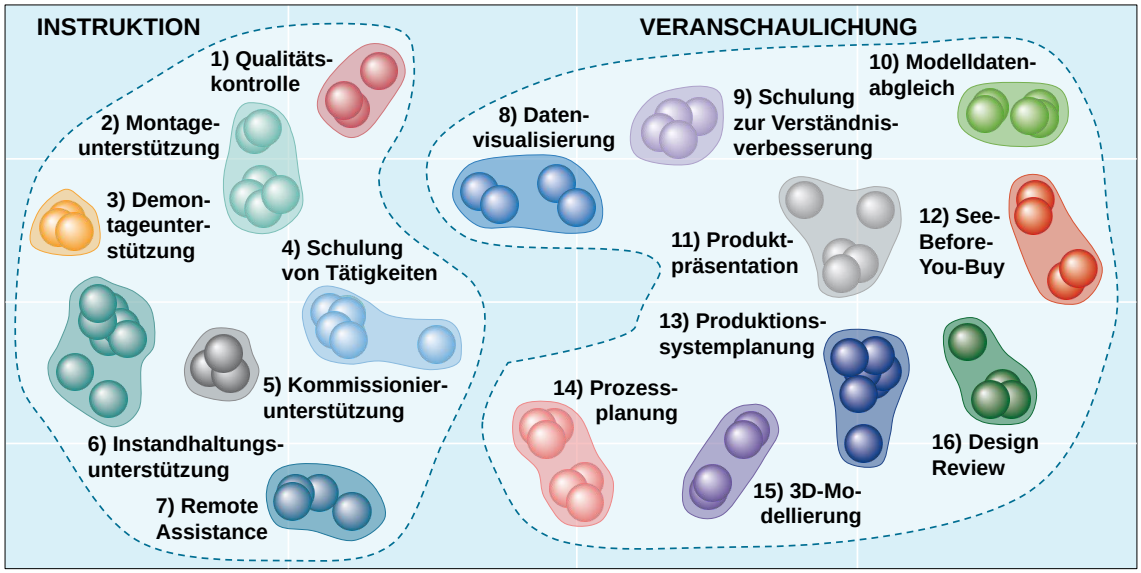


Bild 4-7: Darstellung der AR-Anwendungsbeispiele in einer multidimensionalen Skalierung (MDS)

Im Folgenden werden die identifizierten **AR-Anwendungsszenarien** näher erläutert:

Instruktion

Zur Kategorie *Instruktion* gehören AR-Anwendungsszenarien, die darauf abzielen, den Anwender in der Ausführung von Tätigkeiten zu unterweisen. Bei den eingeblendeten virtuellen Informationen handelt es sich demnach vorrangig um Handlungsanweisungen, die Grundlage für die Tätigkeitsausführung bilden.

1) Qualitätskontrolle: Zu Zwecken der Qualitätssicherung werden mittels AR Soll-Ist-Abgleiche unterstützt. Im Vordergrund steht die Identifikation von Abweichungen zwischen Bau- und Planständen (z.B. Positionierung von Schweißbolzen). Durch die orts- und lagekorrekte Positionierung der Informationen können prüfrelevante Merkmale und etwaige Abweichungen unmittelbar an dem relevanten Bauteil hervorgehoben werden.

2) Montageunterstützung: Mit Hilfe von AR werden Montagetätigkeiten unterstützt, indem auftragsspezifische Arbeitsanweisungen sowie Dokumentationsprotokolle digital verfügbar gemacht werden. Gegenüber statischen papierbasierten Anweisungen ermöglicht es AR, die Montageinformationen kontextsensitiv und intuitiv verständlich bereitzustellen, wodurch sich Effizienzvorteile und eine flexiblere Arbeitsplanung eröffnen.

3) Demontageunterstützung: Die logische Umkehrung des AR-Anwendungsszenarios Montageunterstützung stellt die Demontageunterstützung dar. Ziel ist es, den Anwender mit Hilfe von AR bei dem Zerlegen technischer Systeme zu unterstützen, um z.B. beim Rückbau sicherheitskritischer Anlagen Gefahrenpotentiale zu minimieren oder gezielt Materialien für die Wiederverwertung zu gewinnen.

4) Schulung zur Tätigkeitsdurchführung: In diesem AR-Anwendungsszenario dient AR als Medium, um den Anwender bei der Erlernung von Tätigkeiten zu unterstützen. Dazu werden mittels Schritt-für-Schritt-Anleitungen Tätigkeitssequenzen unmittelbar an physischen Objekten visualisiert. Die multisensualen Lerninhalte ermöglichen eine höhere Immersion in die Lernszenerie, wodurch sich Potentiale im Hinblick auf einen schnelleren Wissenserwerb und einen nachhaltigeren Wissenserhalt ergeben.

5) Kommissionierunterstützung: Dem Anwender werden mittels AR Instruktionen zur Durchführung von Kommissioniertätigkeiten zur Verfügung gestellt. Dazu zählen auftragsspezifische Informationen zu der Art und Anzahl der zu entnehmenden Ware, deren Lagerort und der kürzesten Route zu diesen. Ziel ist es, insbesondere Kommissionierzeiten (z.B. durch Einsparung von Suchzeiten) und Kommissionierfehler (z.B. optisches Hervorheben des Lagerortes) zu reduzieren.

6) Instandhaltungsunterstützung: Durch den Einsatz von AR werden Anweisungen zur Durchführung von Instandhaltungstätigkeiten eingeblendet (z.B. Reparatur und Wartung von technischen Anlagen). Hierdurch können auch geringer qualifizierte Personengruppen dazu befähigt werden, einen Beitrag zur Problemlösung zu leisten. Dies erlaubt es, Service-Aktivitäten an den Kunden auszulagern, Wartezeiten zu minimieren und die Maschinenverfügbarkeit zu erhöhen.

7) Remote Assistance: AR wird dazu eingesetzt, um Akteure in Echtzeit audiovisuell miteinander zu vernetzen und hierdurch das häufig an bestimmte Personen gebundene Expertenwissen orts- und organisationsübergreifend verfügbar zu machen. Mit Hilfe mobiler Endgeräte wird das Sichtfeld des hilfesuchenden Akteurs an einen Experten gespiegelt. Dieser erhält Einblicke in die Gegebenheiten vor Ort und kann durch Sprachhinweise sowie die Einblendung visueller Instruktionen bei der Problemlösung unterstützen.

Veranschaulichung

Bei den AR-Anwendungsszenarien in der Kategorie *Veranschaulichung* wird AR zur Visualisierung komplexer räumlicher Konfigurationen verwendet. Ziel ist es, das Vorstellungsvermögen des Anwenders zu erweitern und ihn dadurch zu befähigen, Entscheidungen fundierter treffen zu können.

8) Datenvisualisierung: Mit Hilfe von AR werden Daten aus unterschiedlichen Quellen kontextspezifisch visualisiert. Hierzu zählen u.a. Echtzeitdaten aus Sensoren (z.B. Diagnosedaten), Prozessparameter (z.B. eingestellte Vorschubgeschwindigkeit) oder aggregierte Leistungskennzahlen (z.B. Prozessfähigkeitsindizes). Potentiale ergeben sich dadurch, dass die Informationsbereitstellung nicht mehr an festinstallierte Displays gekoppelt ist, sondern flexibel im gewünschten Kontext erfolgen kann.

9) Schulung zur Verständnisverbesserung: Der Einsatz von AR zielt auf die Unterstützung der Wissensvermittlung in der Aus- und Weiterbildung ab. Durch die ort- und lagekorrekte Positionierung virtueller Modelle werden komplexe Sachverhalte veranschau-

licht und im relevanten Kontext verständlich gemacht. Im Vergleich zum AR-Anwendungsszenario zur Schulung von Tätigkeiten steht hier weniger das Trainieren motorischer Fertigkeiten als vielmehr die Vermittlung theoretischen Wissens im Vordergrund.

10) Modelldatenabgleich: Mit Hilfe von AR werden physische Objekte in der realen Welt mit den ihnen hinterlegten Plandaten in der virtuellen Welt abgeglichen. Ziel ist die Schaffung von Konsistenz, indem Abweichungen identifiziert und darauf aufbauend die Plandaten korrigiert werden. Beispiele für einen AR-basierten Modelldatenabgleich sind die Validierung von Simulationsergebnissen durch Überlagerung der Berechnungsdaten mit realen Versuchsdaten sowie die Abnahme von Bauleistungen (z.B. einer Fertigungshalle) durch Abgleich des Bauobjekts mit den entsprechenden Bauplänen.

11) Produktpräsentation: Zur Unterstützung des Vertriebs werden mittels AR kaufentscheidende Informationen unmittelbar an dem Verkaufsobjekt visualisiert. So lassen sich Zusammenhänge verdeutlichen, die mit dem bloßen Auge nicht sichtbar sind („Röntgenblick“). Dies trägt zu einem tieferen Verständnis bei und erlaubt es, gezielt neue Features, Wirkprinzipien und Unterschiede zu konkurrierenden Produkten zu präsentieren.

12) See-Before-You-Buy: AR ermöglicht es, Produkte noch vor dem Kauf als virtuelle Modelle maßstabsgetreu in der geplanten Einsatzumgebung zu visualisieren. Hierdurch können kaufentscheidende Aspekte frühzeitig evaluiert werden, etwa der reale Platzbedarf, etwaige Kollisionen mit angrenzenden Objekten und die Zugänglichkeit zu Anschlüssen in der Umgebung. Aus Sicht des Kunden lässt sich dadurch insbesondere bei komplexen Investitionsgütern das Risiko für Fehlentscheidungen maßgeblich reduzieren.

13) Produktionssystemplanung: Zur Erhöhung der Planungssicherheit und Verkürzung der Planungszeit wird AR dazu verwendet, verschiedene Anordnungen und Varianten von Produktionssystemen zu visualisieren und deren Einpassung in die bestehende Fertigungsumgebung zu analysieren. Effizienzvorteile ergeben sich insbesondere für die Restrukturierung existierender Fertigungsumgebungen, für die keine aktuellen Plandaten zur Verfügung stehen. Unter Rückgriff auf dreidimensionale Menschmodelle ermöglicht AR zudem die Berücksichtigung ergonomischer Aspekte bei der Produktionssystemplanung.

14) Prozessplanung: Durch AR wird die Planung von Prozessen vereinfacht, indem Arbeitsvorgänge visualisiert und virtuell erprobt werden. Hierzu zählen die Unterstützung von Programmiertätigkeiten durch Visualisierung von Bewegungs- und Verfahrensabläufen (z.B. Kinematik von Robotersystemen) sowie die Evaluierung von Prozesssequenzen (z.B. Montageabfolgen) und Maschinenprogrammen (z.B. CNC-Fertigungsprozesse).

15) 3D-Modellierung: In diesem AR-Anwendungsszenario dient AR als immersives Modellierungswerkzeug. Der Anwender erhält die Möglichkeit, virtuelle Geometrien zu erzeugen, in Größe, Form und Farbe zu verändern und mit Objekten und Umgebungen der realen Welt in Bezug zu setzen (Kontextualisierung der Modelle). An der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Fertigung können z.B. Kabelleitungen unter Berücksichtigung der Bausituation konfiguriert und unmittelbar in Auftrag gegeben werden.

16) Design Review: Zur Unterstützung des Produktentwicklungsprozesses werden mittels AR Produkt- und Designentwürfe evaluiert. Mit dem Ziel, Änderungskosten durch frühes Ergebnisfeedback zu reduzieren, werden die Entwürfe möglichst realitätsnah dargestellt und u.a. in Hinblick auf Form, Farbe und Anmutung diskutiert. Durch die Verwendung virtueller Modelle können Änderungen schneller visualisiert, der Bau physischer Prototypen reduziert und dadurch Zeit und Kosten gespart werden.

Angesichts des in der vorliegenden Arbeit fokussierten Einsatzes von AR im Produkt-Service-Geschäft zeigt Bild 4-8 eine Strukturierung der identifizierten AR-Anwendungsszenarien entlang des **PSS-Lebenszyklus aus Kundenperspektive** nach MANNWEILER ET AL. [MMF10, S. 17] und AURICH ET AL. [AFD04, S. 151] (vgl. *Abschnitt 2.1.3*).

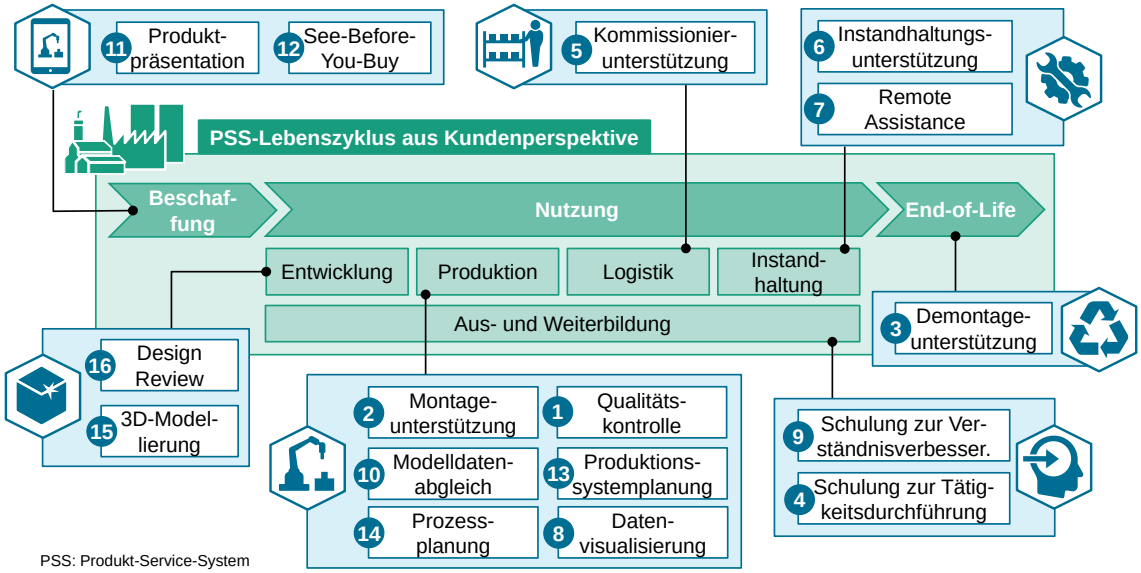


Bild 4-8: Einordnung der AR-Anwendungsszenarien in den Lebenszyklus eines Produkt-Service-Systems aus Kundenperspektive

Der Zuordnung liegen hierbei **zwei Annahmen** zugrunde: (1) Alle identifizierten AR-Anwendungsszenarien lassen sich prinzipiell auf das Produkt-Service-Geschäft übertragen und in einer Anbieter-Kunde-Beziehung monetisieren. (2) Die Nutzung der AR-Applikation erfolgt vorrangig durch den Kunden, der daraus einen unmittelbaren Nutzen zieht. Abhängig von dem AR-Anwendungsszenario ist der Anbieter in unterschiedlicher Intensität in die Nutzung einbezogen – von einer beratenden Funktion, z.B. bei der Produktionssystemplanung, bis hin zur Rolle eines Kollaborationspartners, z.B. bei Remote Assistance. In vielen Fällen resultieren aus den AR-Anwendungsszenarien auch für den Anbieter Nutzenvorteile, die über die reine Umsatzsteigerung hinausgehen.

4.2.4 Katalog mit AR-Anwendungsszenario-Steckbriefen

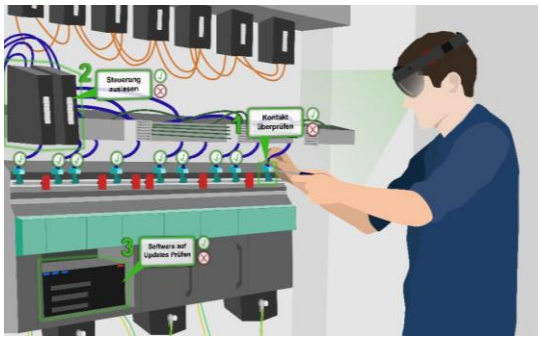
Jedes AR-Anwendungsszenario ist in einem **AR-Anwendungsszenario-Steckbrief** detailliert beschrieben. Bild 4-9 zeigt einen solchen Steckbrief am Beispiel der AR-basierten Instandhaltungsunterstützung; alle weiteren Steckbriefe sind in *Anhang A2.2* abgebildet.

6 AR-Anwendungsszenario: Instandhaltungsunterstützung

Kategorie

Beschreibung

Instandhaltungsvorgänge, wie z.B. die Reparatur oder Wartung einer technischen Anlage, werden durch AR-basierte Visualisierungen unterstützt. Dem Anwender werden über ein AR-System, z.B. ein Tablet oder eine Datenbrille, schrittweise Instruktionen zur Tätigkeitsdurchführung eingeblendet. Hierdurch kann auch ungeschultes Personal des Kunden zur Ausübung komplexer Tätigkeiten befähigt werden (Self-Service).



Nutzenpotentiale

		0	1	2	3
Kunde	Kürzere Wartezeiten				●
	Schnellere Tätigkeitsdurchführung		●		
	Verbesserte Fehlervermeidung	●			
	Verbesserte Fehlererkennung			●	
	Erhöhte Sicherheit		●		
	Kognitive Entlastung	●			
	Verbesserte Fertigkeiten		●		
	Verbessertes Verständnis		●		

		0	1	2	3
Anbieter	Eingesparte Reisekosten				●
	Erhöhte Wissensverfügbarkeit			●	
	Entfallene Tätigkeiten				●
	Verb. Verständnis über Kunden		●		
	Vereinf. Kommunikation m. Kunde	●			
	Synergien für die interne AR-Nutz.			●	

Legende: 0 = keine Ausprägung, 1 = geringe Ausprägung, 2 = mittlere Ausprägung, 3 = hohe Ausprägung

Chancen

- **Verringerung der Reaktionszeit:** Durch erhöhte Unabhängigkeit vom Service-Personal des Anbieters kann der Kunde beim Auftreten von Fehlern schneller und flexibler reagieren (Self-Service)
- **Einsparung von Reisekosten:** Reisen müssen nur bei hochkomplexen Problemen angetreten werden
- **Synergieeffekte:** Neben der Instandhaltung kann die AR-Applikation für Schulungen genutzt werden

Risiken

- **Nutzerakzeptanz:** Kunde ist unter Umständen nicht bereit, Tätigkeiten zu übernehmen, die klassischerweise durch den Anbieter erbracht werden
- **Fehlende Kompetenzen:** Personal des Kunden mangelt es ggf. an Kompetenz und Erfahrung im Umgang mit AR (z.B. Bedienung von Datenbrillen)
- **Zahlungsbereitschaft:** Zahlung eines Aufpreises bei Self-Service ggf. schwer zu kommunizieren

Klassifikation

Legende: in ≥ 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt; in < 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt

Kontext	Einsatzbereich	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungsvorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron am gleichen Ort	Synchron an versch. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	Ziel der Augmentierung	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungssteigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Konkretisierende Beispiele

- **(6) Columbia University:** Knowledge-based AR for Maintenance Assistance (KARMA) [FMS93]
- **(9) Range Rover | RE'FLEKT:** AR-basierte Reparaturunterstützung für Fahrzeuge [Ref19a]
- **(46) University of Patras:** Remote-Maintenance-Plattform für Robotiksysteme [MZV17]
- **(57) Leybold | RE'FLEKT:** Smart Service Assistant für die Instandhaltung von Pumpen [Ste18]

Bild 4-9: Steckbrief für das AR-Anwendungsszenario „Instandhaltungsunterstützung"

Die Steckbriefe zu den AR-Anwendungsszenarien enthalten eine kompakte Übersicht der für die strategische Planung relevanten Informationen: Neben der Zuordnung zu den Kategorien *Instruktion* und *Veranschaulichung* umfasst der obere Teil des Steckbriefs eine **Kurzbeschreibung** des Anwendungsszenarios, eine **graphische Illustration** einer beispielhaften Umsetzung (in Bild 4-9 z.B. die Reparatur eines Schaltschranks) sowie eine Darstellung der charakteristischen *Nutzenpotentiale* aus Kunden- und Anbietersicht. Im mittleren Teil des Steckbriefs befindet sich eine Übersicht der *Chancen* und *Risiken*, die sich aus der Umsetzung des AR-Anwendungsszenarios für das Produkt-Service-Geschäft ergeben, sowie eine charakteristische Ausprägung des **Klassifikationsschemas**. Da es sich bei den AR-Anwendungsszenarien um Gruppen ähnlicher AR-Anwendungsbeispiele handelt, sind mehrere Ausprägungen je Klassifikationsmerkmal möglich. Über Farbabstufungen wird zwischen starken (in ≥ 50% der AR-Anwendungsbeispiele enthalten) und schwachen Ausprägungen (in < 50% der AR-Anwendungsbeispiele enthalten) unterschieden. Die **konkretisierenden Beispiele** im unteren Abschnitt verweisen auf die dem AR-Anwendungsszenario zugrundeliegenden AR-Anwendungsbeispiele.

Kern des Steckbriefs bildet eine Darstellung der spezifischen **Nutzenpotentiale** aus Sicht des Kunden und des Anbieters. Aufbauend auf einer Analyse der AR-Anwendungsbeispiele wurden insgesamt 14 generische Nutzenpotentiale[36] identifiziert. Entsprechend der spezifischen Relevanz für ein AR-Anwendungsszenario ist in den Steckbriefen für jedes Nutzenpotential eine Bewertung auf einer Skala von 0 (keine Ausprägung in dem AR-Anwendungsszenario) bis 3 (starke Ausprägung in dem AR-Anwendungsszenario) hinterlegt. Die Gesamtheit der Bewertungen ergibt für jedes AR-Anwendungsszenario ein charakteristisches Nutzenprofil, wie in Bild 4-9 zu sehen ist.

Zu den **Nutzenpotentialen aus Kundensicht** zählen *kürzere Wartezeiten* infolge der Befähigung durch AR (z.B. selbstständige Reparatur einer Anlage), die *schnellere Durchführung von Tätigkeiten* (z.B. durch eine effizientere Informationsbereitstellung), eine *verbesserte Fehlervermeidung* (z.B. aufgrund präventiver Hinweise auf mögliche Fehlerquellen) sowie eine *verbesserte Fehlererkennung* (z.B. infolge einer visuellen Unterstützung bei der Fehlerursachensuche). Weitere Nutzenpotentiale sind eine *erhöhte Sicherheit* (z.B. durch Hinweise auf potentielle Gefahrenherde für Mensch und Technik), eine *kognitive Entlastung* (z.B. infolge einer visuellen Prozessführung), *verbesserte Fertigkeiten* (z.B. durch eine assistierte Tätigkeitsausführung) sowie ein *verbessertes Verständnis* (z.B. aufgrund der Veranschaulichung komplexer Wirkzusammenhänge).

Die **Nutzenpotentiale aus Anbietersicht** umfassen *eingesparte Reisekosten* (z.B. aufgrund ortsübergreifender Vernetzung mittels AR), *erhöhte Wissensverfügbarkeit* durch zeitlich-räumliche Entkopplung von Wissen und Wissensträgern (z.B. durch Kapselung

[36] Die *generischen Nutzenpotentiale* beruhen auf einer Zusammenfassung der in den Primärquellen genannten Nutzenbeschreibungen zu den 75 AR-Anwendungsbeispielen sowie Ergänzungen aus der wissenschaftlichen Literatur (vgl. *Abschnitt 2.3.2*).

von Expertenwissen in AR-Applikationen) sowie *entfallende Tätigkeiten* durch Verlagerung von Aufgaben an den Kunden (z.B. eigenständige Reparatur einer Anlage als Self-Service). Zu den weiteren Nutzenpotentialen aus Anbietersicht zählen ein *verbessertes Verständnis über den Kunden* (z.B. Rückschlüsse durch die Nutzung von AR auf dessen Bedürfnisse), eine *vereinfachte Kommunikation mit dem Kunden* (z.B. Verbesserung der Informationsqualität durch audiovisuelle Vernetzung mittels AR) sowie *Synergien für die weitere Nutzung der AR-Applikation*, d.h. deren Übertragbarkeit auf andere Anwendungskontexte (z.B. Nutzung einer AR-basierten Reparaturanleitung zu Schulungszwecken).

Als Resultat des ersten Bestandteils der Systematik (vgl. *Abschnitt 4.1*) liegt ein **Katalog bestehend aus 16 AR-Anwendungszenario-Steckbriefen** vor. Sie enthalten für die strategische Planung erforderliches Lösungswissen; damit sind sie zentrales Hilfsmittel und Fundament für die Geschäftsideenfindung, die Gegenstand des folgenden Abschnittes ist.

4.3 Geschäftsideenfindung

Ziel der Geschäftsideenfindung ist die Identifikation, Bewertung und Auswahl Erfolg versprechender Geschäftsideen für AR-basierte Produkt-Service-Systeme. Damit korrespondiert die Geschäftsideenfindung mit dem **Aufgabenprofil der Produktfindung** in der strategischen Produktplanung (vgl. *Abschnitt 2.4.1*). Zentrales Hilfsmittel für die Geschäftsideenfindung bilden die AR-Anwendungsszenarien aus *Abschnitt 4.2*.

Wie in Bild 4-10 dargestellt, werden nach dem Grundgedanken des Market Pull und Technology Push (vgl. *Abschnitt 2.2.3*) zwei grundlegende **Stoßrichtungen für die Geschäftsideenfindung** unterschieden: Die *bedarfsinduzierte Geschäftsideenfindung* beantwortet die Frage, welches AR-Anwendungsszenario für ein gegebenes Geschäftsfeld Erfolg versprechend ist. Invers hierzu untersucht die *technologieinduzierte Geschäftsideenfindung*, welches Geschäftsfeld für ein gegebenes AR-Anwendungsszenario am aussichtsreichsten ist. Die Stoßrichtungen unterscheiden sich demnach im Hinblick auf Ausgangspunkt (bedarfsinduziert: Geschäftsfeld, technologieinduziert: AR-Anwendungsszenario) und Zielobjekt (bedarfsinduziert: AR-Anwendungsszenario, technologieinduziert: Geschäftsfeld).

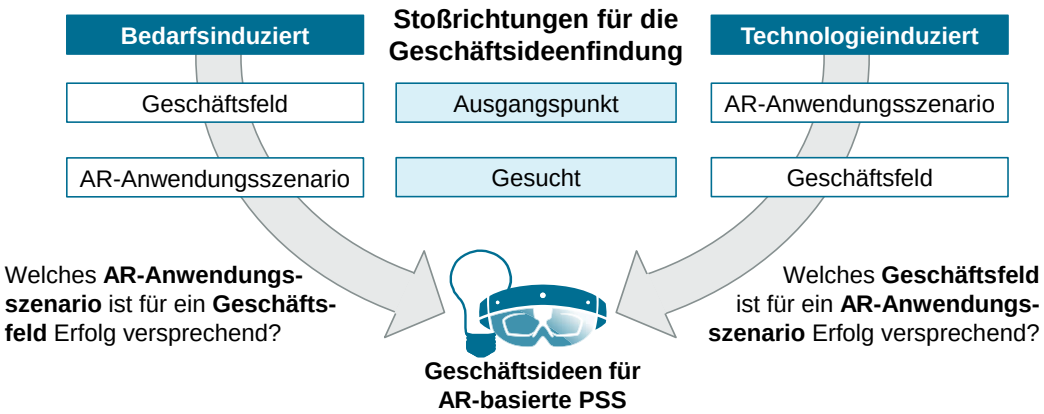


Bild 4-10: Übersicht der Stoßrichtungen für die Geschäftsideenfindung

Für beide Stoßrichtungen liefert die Systematik ein Vorgehensmodell und Hilfsmittel. Das **Vorgehensmodell** beschreibt entlang von jeweils drei Phasen die durchzuführenden Tätigkeiten und daraus resultierenden Ergebnisse. Die **Hilfsmittel** sind den Phasen zugeordnet und unterstützen den Anwender bei der Durchführung der Tätigkeiten. Im Folgenden werden beide Stoßrichtungen vorgestellt. *Abschnitt 4.3.1* widmet sich der *bedarfsinduzierten Geschäftsideenfindung*, *Abschnitt 4.3.2* der *technologieinduzierten Geschäftsideenfindung*. Die Erläuterung von Vorgehensmodell und Hilfsmitteln erfolgt integrativ entlang der Phasen. Als **Resultat** der Geschäftsideenfindung liegen für beide Stoßrichtungen priorisierte Geschäftsideen für AR-basierte Produkt-Service-Systeme vor.

4.3.1 Bedarfsinduzierte Geschäftsideenfindung

Bei der bedarfsinduzierten Geschäftsideenfindung bildet ein ausgewähltes Geschäftsfeld den Ausgangspunkt für die Suche nach Geschäftsideen. Damit eignet sich die bedarfsinduzierte Geschäftsideenfindung speziell für solche Situationen der unternehmerischen Praxis, in denen innerhalb eines bestimmten Geschäftsfelds eine **gezielte Verbesserung der Wettbewerbsposition** erreicht werden soll. Die erzielbaren Wettbewerbsvorteile beruhen dabei auf Potentialen zur Produktwertsteigerung [GDE+19, S. 325ff.], die aus dem Einsatz von AR resultieren (z.B. Steigerung der Produktattraktivität durch Angebot einer produktbegleitenden Dienstleistung wie Remote Assistance).

Das **Vorgehensmodell** zur bedarfsinduzierten Geschäftsideenfindung zeigt Bild 4-11. Es handelt sich dabei um eine idealtypische sequentielle Darstellung; in der praktischen Anwendung sind Iterationen und Rücksprünge zulässig. Das Vorgehen eignet sich, um Geschäftsideen sowohl für einzelne als auch für mehrere Geschäftsfelder zu identifizieren. Für jedes Geschäftsfeld sind die erste und zweite Phase zu durchlaufen. Die Konsolidierung und Auswertung der Ergebnisse erfolgt gesamtheitlich in der dritten Phase.

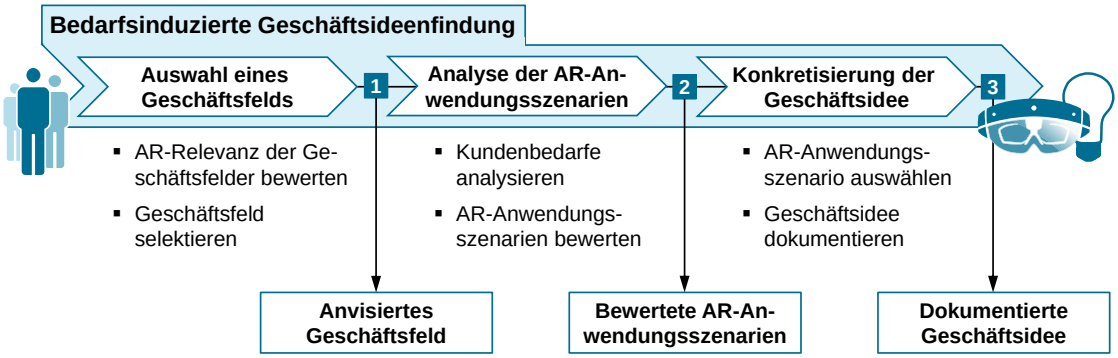


Bild 4-11: Vorgehensmodell zur bedarfsinduzierten Geschäftsideenfindung

Das Vorgehensmodell gliedert sich in drei Phasen: Die erste Phase umfasst die **Auswahl eines Geschäftsfelds**, für das neue Geschäftsideen gefunden werden sollen. Als Basis für die Auswahl dient eine Bewertung der AR-Relevanz der Geschäftsfelder. In der zweiten Phase erfolgt eine **Analyse der AR-Anwendungsszenarien** (vgl. *Abschnitt 4.2*) für das

anvisierte Geschäftsfeld. Dazu wird zunächst überprüft, inwiefern das bestehende Produkt-Service-Portfolio die Bedarfe der Kunden innerhalb des Geschäftsfelds erfüllt. Hieraus ergeben sich unbefriedigte Kundenbedarfe, die den in den AR-Anwendungsszenario-Steckbriefen dokumentierten Nutzenpotentialen (vgl. *Abschnitt 4.2.3*) gegenübergestellt werden. Darauf aufbauend werden die AR-Anwendungsszenarien hinsichtlich der Dimensionen *Nutzen*, *Umsetzungsaufwand* und *Umsatzpotential* bewertet. In der dritten Phase erfolgt die **Konkretisierung der Geschäftsidee**. Hierzu wird auf Grundlage der Bewertungen ein Erfolg versprechendes AR-Anwendungsszenario ausgewählt, auf den individuellen Kontext des Unternehmens übertragen und in eine Geschäftsidee überführt.

Innerhalb der Phasen des Vorgehensmodells kommen verschiedene **Hilfsmittel** zur Durchführung der Tätigkeiten zum Einsatz. Hierzu zählen sowohl bestehende Hilfsmittel als auch solche, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit neu entwickelt wurden. Die in der Geschäftsideenfindung zum Einsatz kommenden neu entwickelten Hilfsmittel umfassen einen *Katalog aus 16 AR-Anwendungsszenario-Steckbriefen* (vgl. *Abschnitt 4.2.3*), ein *erweitertes Marktportfolio* zur Auswahl von Geschäftsfeldern (vgl. *Abschnitt 4.3.1.1*), eine *Nutzenpotential-Kundenbedarfs-Matrix* zur Nutzenbewertung der AR-Anwendungsszenarien (vgl. *Abschnitt 4.3.1.2*), *Bewertungskriterien zur Abschätzung des Umsetzungsaufwands* der AR-Anwendungsszenarien (vgl. *Abschnitt 4.3.1.2*) sowie eine *Anwendungsszenario-Marktsegmente-Matrix* zur Unterstützung der Auswahl eines AR-Anwendungsszenarios (vgl. *Abschnitt 4.3.1.3*). Der Einsatz der Hilfsmittel wird in den folgenden Abschnitten entlang der drei Phasen erläutert.

4.3.1.1 Phase 1: Auswahl eines Geschäftsfelds

Ziel der ersten Phase ist die Auswahl eines Geschäftsfeldes, für das Geschäftsideen basierend auf dem Einsatz von AR gesucht werden sollen. Ausgangspunkt bildet daher das bestehende Geschäft eines Unternehmens. Zur Strukturierung der Geschäftsfelder wird auf die **Marktleistungs-Marktsegmente-Matrix** zurückgegriffen [GP14, S. 117ff.]. In dieser werden die relevanten Marktsegmente den angebotenen Produkten und Dienstleistungen des Unternehmens zugeordnet. Aus den belegten Feldern der Matrix lassen sich Geschäftsfelder und Hauptgeschäftsfelder[37] ableiten.

Die **Bewertung der Geschäftsfelder** erfolgt anhand der drei Dimensionen *Marktattraktivität*, *Wettbewerbsstärke* und *AR-Potential*. Damit erweitert der für die vorliegende Arbeit gewählte Bewertungsansatz das Marktportfolio nach GAUSEMEIER und PLASS [GP14, S. 129ff.] um eine zusätzliche technologiespezifische Bewertungsdimension. Die Ermittlung von Marktattraktivität, Wettbewerbsstärke und AR-Potential erfolgt auf Basis einer

[37] *Hauptgeschäftsfelder* sind verwandte Gruppen von Geschäftsfeldern und kennzeichnen Geschäftsschwerpunkte. Sie zeichnen sich durch ein hohes Maß an Eigenständigkeit ihrer Marktleistungen und Marktsegmente aus, tragen maßgeblich zum Unternehmensergebnis bei und sind im Hinblick auf strategische Entscheidungen weitestgehend unabhängig [GP14, S. 118f.].

gewichteten Punktebewertung, wobei sich jede Dimension in mehrere Kriterien gliedert. Vor dem Hintergrund der individuellen Unternehmens- und Marktgegebenheiten sind die Kriterien entsprechend ihrer relativen Bedeutung zu gewichten. Die drei Dimensionen und die ihnen zugrundeliegenden Kriterien werden im Folgenden näher erläutert. Es empfiehlt sich, die für jedes Kriterium vorgeschlagenen generischen Bewertungsskalen durch unternehmensindividuell festzulegende Schwellwerte zu konkretisieren.

- **Marktattraktivität:** In der Marktattraktivität spiegeln sich die in der Regel nicht beeinflussbaren Rahmenbedingungen des Marktes wider. Folgende vier Kriterien dienen zu ihrer Bewertung: Das *Marktvolumen* beschreibt die abgesetzten Mengen bzw. den erzielten Umsatz aller Anbieter in dem betrachteten Markt (von *0 = sehr gering* bis *3 = hoch*). Die auf einen definierten Zeitraum bezogene relative Veränderung des Marktvolumens findet durch das Kriterium *Marktentwicklung* Berücksichtigung (von *0 = Rückgang* bis *3 = hohes Wachstum*). Das *Marktpotential* beschreibt die Aufnahmefähigkeit des Marktes und bildet die unter optimalen Bedingungen erzielbare Obergrenze für das Marktvolumen (von *0 = sehr gering* bis *3 = hoch*). Als Indikator für den ausgeübten Konkurrenzdruck dient die *Wettbewerbsintensität*; sie wird beeinflusst durch die Anzahl und Stärke der Wettbewerber im betrachteten Markt (von *0 = ruinös* bis *3 = wenige, schwache Wettbewerber*).

- **Wettbewerbsstärke:** Aus der Wettbewerbsstärke geht die Positionierung des Unternehmens im Markt hervor. In ihre Bewertung fließen vier Kriterien ein: Der *Marktanteil* bezeichnet den durch das Unternehmen erzielten mengen- bzw. wertmäßigen Anteil am Marktvolumen (von *0 = vernachlässigbar* bis *3 = Marktführer*). Die *Umsatzentwicklung* beschreibt die Veränderung des Umsatzes innerhalb einer definierten Zeitperiode in Relation zum Marktwachstum (von *0 = Verlust von Marktanteilen* bis *3 = Wachstum größer als der Markt*). Die *Differenzierungsstärke* bemisst das Ausmaß, mit dem sich das Leistungsangebot von dem der Wettbewerber abgrenzt (von *0 = nicht vorhanden* bis *3 = sehr hoch*). Die wirtschaftliche Ertragskraft spiegelt sich in der *Profitabilität* wider und kennzeichnet den finanziellen Erfolg, der sich z.B. aus dem Gewinn vor Steuern ergibt (von *0 = Verlust* bis *3 = hoher Gewinn*).

- **AR-Potential:** Das AR-Potential dient der initialen Beurteilung der Erfolgsaussichten für das Angebot AR-basierter Produkt-Service-Systeme. Es beruht auf drei Kriterien: *Technologieaufgeschlossenheit* bemisst die grundsätzliche Haltung und Offenheit gegenüber neuen Technologien und ihren Anwendungen (von *0 = ablehnend* bis *3 = sehr interessiert*) [TBE+14, S. 10]. Sie ermöglicht eine Abschätzung der Technologieakzeptanz[38], die Voraussetzung für den breitenwirksamen Einsatz von AR und damit den Erfolg der Geschäftsidee ist [MSH+14, S. 28], [RR16, S. 124ff.].

[38] *Technologieoffenheit* ist eine notwendige, jedoch nicht hinreichende Bedingung für *Technologieakzeptanz*, die durch weitere Faktoren wie Nutzen, Risiken und Werte beeinflusst wird [TBE+14, S. 11]. Zur Priorisierung der Geschäftsfelder eignet sie sich jedoch als Indikator für eine initiale Einschätzung.

Die Kriterien *Instruktions-* und *Veranschaulichungsbedarf* beziehen sich auf die Kategorien Instruktion und Veranschaulichung, in die sich die AR-Anwendungsszenarien unterteilen (vgl. *Abschnitt 4.2.3*). Anhand des Aufgabenprofils der in dem Geschäftsfeld anvisierten Kundensegmente erfolgt eine Abschätzung[39], inwiefern durch die Bereitstellung von Anweisungen (*Instruktionsbedarf*) bzw. die Veranschaulichung komplexer Sachverhalte (*Veranschaulichungsbedarf*) Nutzen gestiftet werden kann (jeweils von *0 = nicht vorhanden* bis *3 = sehr hoch*).

Zur visuellen Interpretation werden die Bewertungen in ein Portfolio überführt. Bild 4-12 zeigt im rechten Teil das **erweiterte Marktportfolio**, in dem Marktattraktivität auf der Ordinate, das AR-Potential auf der Abszisse und die Wettbewerbsstärke über die Größe des Kugeldurchmessers dargestellt sind. Die zu untersuchenden (Haupt-)Geschäftsfelder sind im Portfolio als Kugeln dargestellt und stammen aus der Marktleistungs-Marktsegmente-Matrix, die im linken Teil von Bild 4-12 zu erkennen ist.

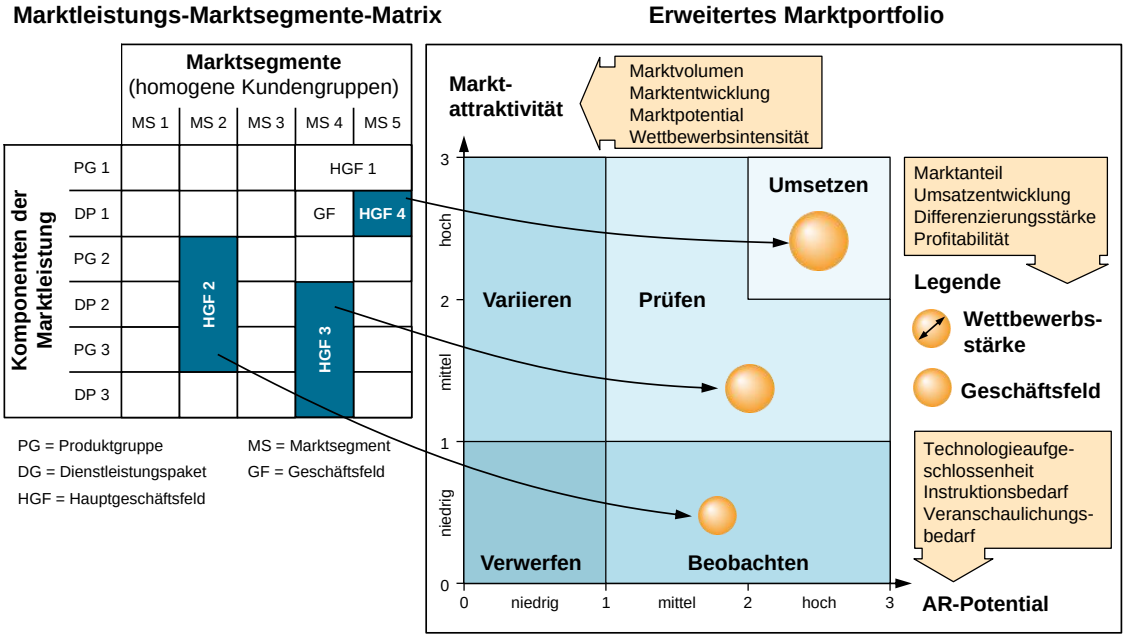


Bild 4-12: Analyse der Geschäftsfelder in einem erweiterten Marktportfolio

In Abhängigkeit der Positionierung im Portfolio ergeben sich fünf generische **Normstrategien** mit Handlungsempfehlungen für den weiteren Umgang mit den Geschäftsfeldern.

- **Umsetzen:** Geschäftsfelder in diesem Bereich weisen eine hohe Marktattraktivität und ein hohes AR-Potential auf. Daher sollten sie im Zuge der Systematik weiterverfolgt werden. Abhängig von der Wettbewerbsstärke zielt der Einsatz von AR auf die Sicherung der Marktführerschaft (hohe Wettbewerbsstärke) bzw. den Ausbau der Wettbewerbsposition (mittlere bis geringe Wettbewerbsstärke) ab.

[39] Eine unterschiedliche Priorisierung der Kategorien kann über die Gewichtung der Kriterien erfolgen.

- **Prüfen:** In diesem Bereich befindliche Geschäftsfelder sind durch eine mittlere Marktattraktivität und/oder ein mittleres AR-Potential gekennzeichnet. Es empfiehlt sich unter Einbeziehung der Wettbewerbsstärke und unternehmensstrategischer Gesichtspunkte im Einzelfall über das weitere Vorgehen zu entscheiden.
- **Beobachten:** Geschäftsfelder, die in diesem Bereich positioniert sind, weisen ein mittleres bis hohes AR-Potential bei geringer Marktattraktivität auf. Zwar ist der Einsatz von AR für diese Geschäftsfelder potentiell nutzenstiftend, die geringe Marktattraktivität weckt jedoch Zweifel an der Profitabilität. Daher sollte näher untersucht werden, durch welche Faktoren sich die geringe Marktattraktivität begründet. Die Faktoren sind im Zeitverlauf zu beobachten, um Veränderungen frühzeitig zu erkennen. Unter Umständen handelt es sich um Zukunftsmärkte, deren Geschäftspotential sich erst zu einem späteren Zeitpunkt entfaltet.
- **Variieren:** Charakteristisch für Geschäftsfelder in diesem Bereich ist eine mittlere bis hohe Marktattraktivität bei geringem AR-Potential. Aus diesem Grund sind sie für die vorliegende Systematik weniger relevant. Ungeachtet dessen weisen die Geschäftsfelder jedoch ein hohes Erfolgspotential auf und sollten unter Berücksichtigung der Wettbewerbsstärke mit alternativem Technologieeinsatz ausgebaut werden.
- **Verwerfen:** In diesem Bereich des Portfolios befinden sich Geschäftsfelder, die sowohl eine geringe Marktattraktivität als auch ein geringes AR-Potential aufweisen. Sie sind daher für die vorliegende Systematik nicht relevant und sollten abgeschöpft bzw. zumindest nicht ausgebaut werden.

Als **Resultat** liegen in Abhängigkeit des Untersuchungsumfangs ein oder mehrere ausgewählte Geschäftsfelder vor, für die im Folgenden eine Analyse der AR-Anwendungsszenarien durchgeführt wird.

4.3.1.2 Phase 2: Analyse der AR-Anwendungsszenarien

Ziel der zweiten Phase ist eine **Bewertung der AR-Anwendungsszenarien** aus *Abschnitt 4.2* für die ausgewählten Geschäftsfelder. Dazu werden für die AR-Anwendungsszenarien der *Nutzen* (aus Sicht von Kunde und Anbieter), der *Umsetzungsaufwand* und das *Umsatzpotential* bewertet[40]. Das Vorgehen hierfür wird im Folgenden näher erläutert.

Bewertung des Kundennutzens

Eine **Analyse der spezifischen Kundenbedarfe** innerhalb eines Geschäftsfelds bildet die Grundlage für die Bewertung des Kundennutzens. Als Hilfsmittel dient die **Value**

[40] Erfahrungen aus der Anwendung der Systematik zeigen, dass die *Bewertungen der 16 AR-Anwendungsszenarien* für ein Geschäftsfeld i.d.R. in einem eintägigen Workshop durchgeführt werden können. Sollte Bedarf bestehen, den Aufwand zu reduzieren, kann vor dem Hintergrund des betrachteten Geschäftsfelds die Anzahl der zu bewertenden AR-Anwendungsszenarien durch eine Vorauswahl reduziert werden.

Proposition Canvas nach OSTERWALDER ET AL. [OPB+14, S. 8ff.] (vgl. *Abschnitt 3.2.4*), die sich in die zwei Bereiche Kundenprofil und Wertangebot gliedert. Wie in Bild 4-13 dargestellt, greift die Value Proposition Canvas für das Kundenprofil auf die Marktsegmente und für das Wertangebot auf die Marktleistungen des zu untersuchenden Geschäftsfelds aus der Marktleistungs-Marktsegmente-Matrix zurück.

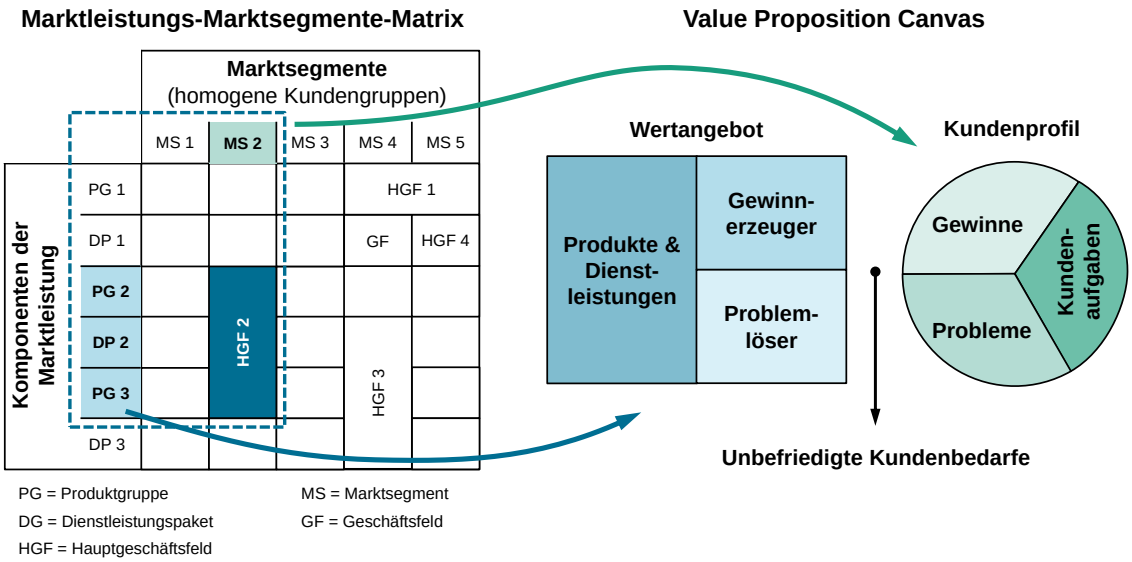


Bild 4-13: Ermittlung von unbefriedigten Kundenbedarfen mit Hilfe einer Value Proposition Canvas in Anlehnung an OSTERWALDER ET AL. [OPB+14, S. 8]

Die *Kundenaufgaben* sowie die damit verbundenen *Gewinne* und *Probleme* werden im **Kundenprofil** dokumentiert. Ziel ist ein tieferes Verständnis der Bedürfnisse des Kunden; daher empfiehlt es sich, im Idealfall den Kunden selbst oder zumindest Mitarbeiter mit intensivem Kundenkontakt (z.B. Vertrieb, Produktmanagement) in die Bearbeitung einzubeziehen. Zur Ausgestaltung des Kundenprofils kann auf Hilfsmittel zurückgegriffen werden, die dabei unterstützen, die Perspektive des Kunden einzunehmen und das Kundenverständnis zu schärfen, z.B. Jobs-To-Be-Done [Ulw16], Empathic Design [LR97] und Customer Process Monitoring [WW08, S. 199ff.].

Das **Wertangebot** gibt Aufschluss darüber, welche *Produkte und Dienstleistungen* das Unternehmen anbietet und welchen Beitrag diese leisten, um die Gewinne des Kunden zu erzeugen (*Gewinnerzeuger*) bzw. dessen Probleme zu lösen (*Problemlöser*). Da das Kundenprofil und Wertangebot i.d.R. marktsegmentspezifisch sind, sollte für jedes Marktsegment eines Geschäftsfelds eine separate Value Proposition Canvas erstellt werden.

Aus dem Abgleich von Kundenprofil und Wertangebot lassen sich **unbefriedigte Kundenbedarfe** identifizieren. Das sind Gewinne und Probleme des Kunden, die bislang nicht bzw. nur unzureichend durch das Leistungsangebot des Unternehmens adressiert werden. In diesen Bedarfen spiegeln sich Innovationspotentiale wider, an denen sich der Kundennutzen der AR-Anwendungsszenarien bemessen lässt.

Zur Ermittlung des Kundennutzens werden die unbefriedigten Kundenbedarfe den acht charakteristischen AR-Nutzenpotentialen aus Kundensicht aus den AR-Anwendungsszenario-Steckbriefen gegenübergestellt (vgl. *Abschnitt 4.2.4*). Der Abgleich erfolgt in Form einer **Nutzenpotential-Kundenbedarfs-Matrix**, die in Bild 4-14 dargestellt ist.

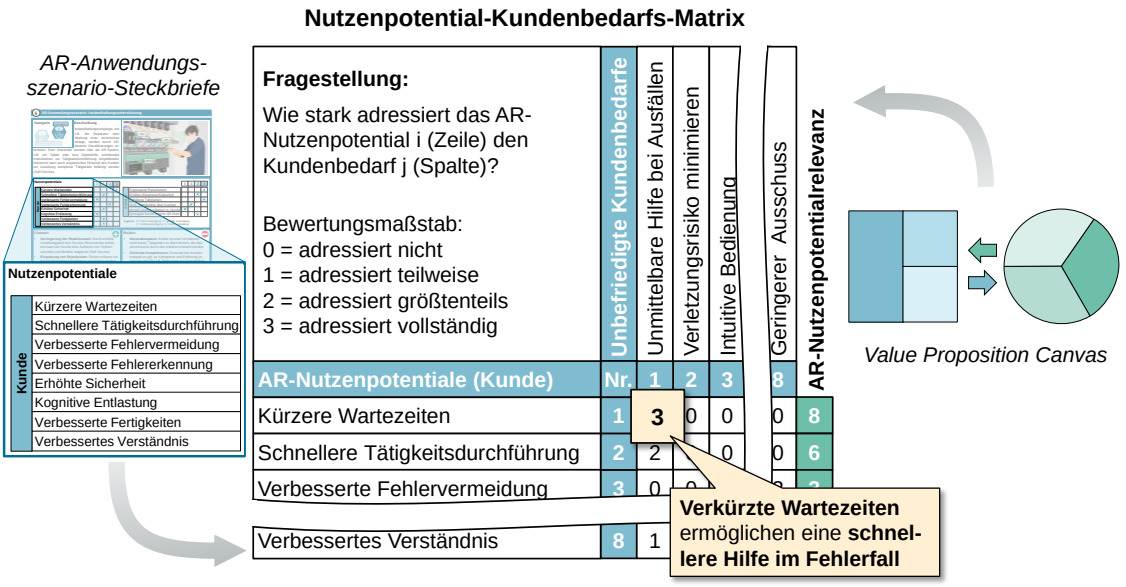


Bild 4-14: Priorisierung der AR-Nutzenpotentiale in einer Nutzenpotential-Kundenbedarfs-Matrix

In einem paarweisen Vergleich wird jeweils bewertet, wie geeignet das AR-Nutzenpotential (Zeile) ist, den unbefriedigten Kundenbedarf (Spalte) zu decken (von *0 = AR-Nutzenpotential adressiert Kundenbedarf nicht* bis *3 = AR-Nutzenpotential adressiert Kundenbedarf vollständig*). Bezogen auf das Beispiel aus Bild 4-14 ermöglicht das AR-Nutzenpotential *kürzere Wartezeiten* eine schnellere Hilfe im Fehlerfall und weist daher eine hohe Übereinstimmung mit dem Kundenbedarf *unmittelbare Hilfe bei Ausfällen* auf. Dieser Logik folgend sind für jeden zu untersuchenden Kundenbedarf acht Bewertungen vorzunehmen. Durch Aufsummieren der einzelnen Bewertungen einer Zeile ergibt sich für jedes AR-Nutzenpotential eine charakteristische Kennzahl, die sog. **AR-Nutzenpotentialrelevanz**. Sie dient als Indikator dafür, wie geeignet ein AR-Nutzenpotential ist, die Gesamtheit der unbefriedigten Kundenbedarfe zu erfüllen.

Mit Hilfe der AR-Nutzenpotentialrelevanz und den in den AR-Anwendungsszenario-Steckbriefen hinterlegten Ausprägungen der AR-Nutzenpotentiale kann für jedes AR-Anwendungsszenario[41] ein Wert für den **spezifischen Kundennutzen** ermittelt werden.

[41] Grundlage der Betrachtung bilden die 16 AR-Anwendungsszenarien aus *Abschnitt 4.2.3*. Weitere AR-Anwendungsszenarien, die beispielsweise ausgehend von den Kundenbedarfen oder mit Hilfe des Klassifikationsschemas identifziert wurden, können jedoch ebenfalls im weiteren Vorgehen berücksichtigt werden. Einzige Voraussetzung ist eine Beschreibung anhand der AR-Nutzenpotentiale.

Dazu erfolgt eine **gewichtete Punktebewertung**[42], wie in Bild 4-15 dargestellt. Als Gewichtung dient die AR-Nutzenpotentialrelevanz, aus der hervorgeht, wie wichtig ein AR-Nutzenpotential für das untersuchte Marktsegment ist. Die Gewichtung drückt dabei die absoluten Werte der AR-Nutzenpotentialrelevanz als prozentuale Anteile aus. Die Bewertungen, mit denen die Gewichte multipliziert werden, entsprechen den in den AR-Anwendungsszenario-Steckbriefen hinterlegten Ausprägungen der AR-Nutzenpotentiale aus Kundensicht. Sie spiegeln wider, wie stark ein AR-Nutzenpotential in einem AR-Anwendungsszenario zum Ausdruck kommt. Die Summe der gewichteten Punktebewertungen über alle AR-Nutzenpotentiale mündet in einer Kennzahl für den spezifischen Kundennutzen eines AR-Anwendungsszenarios.

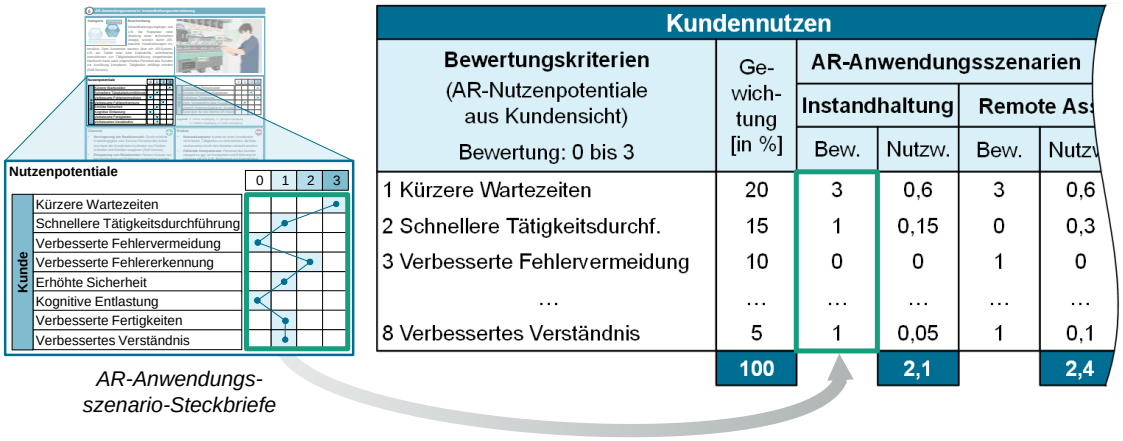


Bild 4-15: Gewichtete Punktebewertung des Kundennutzens für die AR-Anwendungsszenarien

Bewertung des Anbieternutzens

Wie in *Abschnitt 4.2.4* dargelegt, ergibt sich aus den AR-Anwendungsszenarien neben dem Nutzen für den Kunden auch ein Nutzen für den Anbieter, der über die monetäre Steigerung des Umsatzes hinausgeht. Die Ermittlung des Anbieternutzens erfolgt analog zu dem im vorigen Absatz beschriebenen Vorgehen. Grundlage bilden die **AR-Nutzenpotentiale aus Anbietersicht** (vgl. *Abschnitt 4.2.4*). Die Bewertungen werden den in den AR-Anwendungsszenario-Steckbriefen hinterlegten Nutzenprofilen entnommen. Die Gewichtung der Nutzenpotentiale ist marktsegmentspezifisch unter Berücksichtigung der

[42] Die *gewichtete Punktebewertung* dient der Entscheidungsunterstützung bei komplexen Problemen [EM13, S. 536f.]. Für potentielle Lösungsalternativen wird anhand von Kriterien, die nach ihrer Bedeutung für die Problemlösung gewichtet sind, eine Punktzahl ermittelt, in der sich die Problemlösungsgüte der Lösungsalternative widerspiegelt. Das Prinzip der gewichteten Punktebewertung findet u.a. in der Nutzwertanalyse nach ZANGEMEISTER [Zan70] Anwendung [Lin05, S. 240f.], [FGN+13, S. 387f.].

mit dem Einsatz von AR verbundenen strategischen Zielsetzung vorzunehmen; die Festlegung der Gewichte kann durch eine **Relevanzmatrix**[43] methodisch unterstützt werden.

Bewertung des Umsetzungsaufwands

Um den Nutzen in Relation zu dem zur Realisierung verbundenen Aufwand beurteilen zu können, erfolgt für die AR-Anwendungsszenarien eine Abschätzung des Umsetzungsaufwands. Als Hilfsmittel dienen **Bewertungskriterien**, die als Auszug in Bild 4-16 dargestellt sind. Der vollständige Kriterienkatalog ist in *Anhang A2.3* abgebildet. Er umfasst sechs Kriterien mit vordefinierten Ausprägungen, in denen sich charakteristische Aufwände für die Umsetzung von AR widerspiegeln. Die Bewertungsskala ist dabei so definiert, dass mit steigender Punktzahl ein geringerer Umsetzungsaufwand einhergeht.

Bewertungskriterien zur Abschätzung des Umsetzungsaufwands	
Kriterien	**Ausprägungen**
IT-Integrationsaufwand bezeichnet alle Aufwendungen zur Einbindung der AR-Hard- und Software in die IT-Infrastruktur (i.d.R. des Kunden)	**0 =** hoher Aufwand mit kundenindividueller IT-Integration **1 =** mittlerer Aufwand mit routinemäßigen Konfigurationstätigkeiten **2 =** geringer Aufwand bei homogener IT-Landschaft **3 =** kein Integrationsaufwand
Erstellung der virtuellen Inhalte umfasst Aufwände, die zur initialen Erschaffung der AR-Inhalte (z.B. 3D-Modelle) erforderlich sind	**0 =** Erstellung hochkomplexer virtueller Inhalte **1 =** Erstellung virtueller Inhalte mit moderater Komplexität **2 =** Erstellung einfacher virtueller Inhalte **3 =** kein Aufwand, Integration bestehender virtueller Inhalte
Aktualisierung der virtuellen Inhalte bezeichnet Aufwände für die Überarbeitung und Anpassung der AR-Inhalte im	**0 =** fortlaufende umfängliche Aktualisierungen erforderlich **1 =** gelegentliche Aktualisierungen mit moderatem Aufwand **2 =** seltene, geringfügige Aktualisierungen

Bild 4-16: Bewertungskriterien zur Abschätzung des Umsetzungsaufwands (Auszug)

Bewertung des Umsatzpotentials

Mit einer Abschätzung des Umsatzpotentials wird die nutzen- und aufwandsbezogene Bewertung der AR-Anwendungsszenarien um eine marktorientierte Perspektive erweitert. Das Umsatzpotential beruht auf einer **Prognose des erzielbaren Umsatzes**, der sich unter optimalen Bedingungen mit dem jeweiligen AR-Anwendungsszenario generieren lässt [TH04, S. 2]. Unter Berücksichtigung der Marktsegmentgröße sind sowohl direkte Erlöse durch das Angebot der Dienstleistung als auch indirekte Effekte (z.B. Absatzsteigerung im Kerngeschäft) einzubeziehen. Analog zu den vorherigen Bewertungen wird eine dreistufige Skala zugrundegelegt (*0 = geringes* bis *3 = sehr hohes Umsatzpotential*).

Als **Resultat** liegen für jedes AR-Anwendungsszenario marktsegmentspezifische Bewertungen für den *Nutzen aus Kunden- und Anbietersicht*, den *Umsetzungsaufwand* sowie das *Umsatzpotential* vor.

---

[43] In einer *Relevanzmatrix* (auch *Präferenzmatrix* genannt) werden die zu untersuchenden Objekte einander gegenübergestellt. In einem paarweisen Vergleich wird binär bewertet, ob dem Objekt in der Zeile eine höhere Priorität zuzuweisen ist als dem in der Spalte (*0 = unwichtiger*, *1 = wichtiger*). Durch zeilenweises Aufsummieren der Bewertungen lässt sich eine Rangfolge der Untersuchungsobjekte bilden [EM13, S. 535f.], [Lin05, S. 256].

4.3.1.3 Phase 3: Konkretisierung der Geschäftsidee

Aufbauend auf den vorliegenden Bewertungen erfolgt die Auswahl einer Erfolg versprechenden AR-Anwendungsszenario-Marktsegment-Kombination und deren Konkretisierung zu einer Geschäftsidee. In einer **AR-Anwendungsszenario-Marktsegmente-Matrix** werden zunächst die Bewertungen tabellarisch dokumentiert. Wie im linken Teil von Bild 4-17 zu sehen, werden in den Zeilen die AR-Anwendungsszenarien und in den Spalten die Marktsegmente des untersuchten Geschäftsfelds aufgetragen. An den Schnittpunkten wird der jeweilige Kunden- und Anbieternutzen, der Umsetzungsaufwand sowie das Umsatzpotential vermerkt. Abhängig von der Anzahl der Marktsegmente und der betrachteten AR-Anwendungsszenarien setzt sich die Matrix aus einer oder mehreren Spalten bzw. Zeilen zusammen.

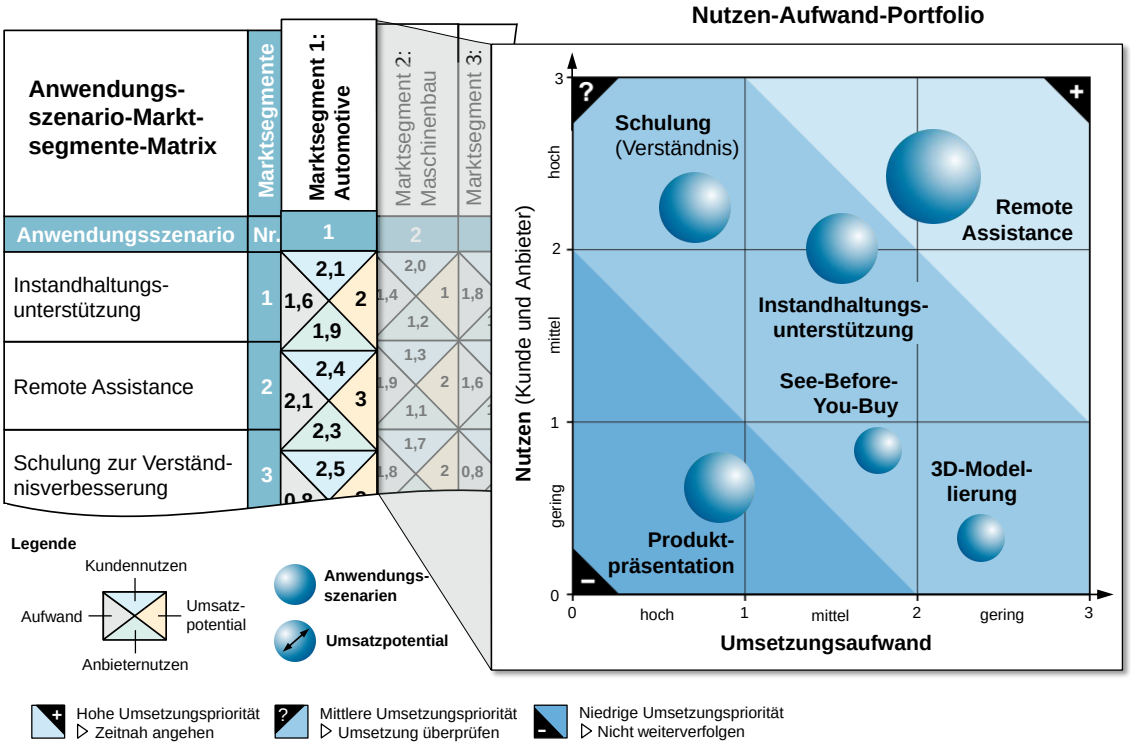


Bild 4-17: Visualisierung der Bewertungen im Nutzen-Aufwand-Portfolio

Zur Visualisierung und Interpretation werden die Ergebnisse in ein **Nutzen-Aufwand-Portfolio** überführt. Wie im rechten Teil von Bild 4-17 zu sehen, ist auf der Ordinate der aggregierte Kunden- und Anbieternutzen[44] und auf der Abszisse der Umsetzungsaufwand aufgetragen. Der Durchmesser der Kugeln spiegelt das Umsatzpotential wider.

[44] Die Zusammenfassung von *Kunden- und Anbieternutzen* dient einer besseren visuellen Interpretierbarkeit der Ergebnisse durch die Reduktion auf drei Dimensionen. Über eine Gewichtung kann die relative Bedeutung zwischen Kunden- und Anbieternutzen variiert werden.

Mit Hilfe des Portfolios können **unterschiedliche Sichten** auf die Bewertungen in der Anwendungsszenario-Marktsegmente-Matrix gebildet und damit unterschiedliche Fragestellungen beantwortet werden. Über spaltenweises Auswerten der Bewertungen lassen sich die AR-Anwendungsszenarien im Hinblick auf einzelne Marktsegmente analysieren (*Welches AR-Anwendungsszenario verspricht für das betrachtete Marktsegment den größten Erfolg?*). Dieser Fall ist exemplarisch in Bild 4-17 dargestellt. Durch die Bildung von Durchschnittswerten können auch Aussagen für mehrere Marktsegmente bzw. ganze Geschäftsfelder getroffen werden. Eine zeilenweise Auswertung der Matrix erlaubt es, die Attraktivität von Marktsegmenten hinsichtlich eines oder mehrerer der AR-Anwendungsszenarien zu betrachten (*In welchem Marktsegment ist das betrachtete AR-Anwendungsszenario am aussichtsreichsten?*). In diesem Fall stellen die Kugeln im Nutzen-Aufwand-Portfolio keine AR-Anwendungsszenarien, sondern Marktsegmente dar.

Aus der Positionierung im Nutzen-Aufwand-Portfolio lassen sich Rückschlüsse auf die **Umsetzungspriorität** ziehen. Grundsätzlich empfiehlt sich die Auswahl von Anwendungsszenario-Marktsegment-Kombinationen, die durch einen hohen Kunden- und Anbieternutzen, einen geringen Umsetzungsaufwand sowie ein hohes Umsatzpotential charakterisiert sind. Für sie ergibt sich eine *hohe Umsetzungspriorität*. Einer genaueren Prüfung zu unterziehen sind Anwendungsszenario-Marktsegment-Kombinationen mit einer *mittleren Umsetzungspriorität*: Solche mit einem geringen Umsetzungsaufwand bei mittlerem Nutzen können sich für Pilotprojekte und Demonstratoren eignen, mit denen Unternehmen aufwandsarm erste Erfahrungen im Umgang mit AR sammeln können. Hingegen deutet ein hoher Nutzen in Kombination mit einem aussichtsreichen Umsatzpotential auf eine positive marktseitige Resonanz hin. Aufgrund des gleichzeitig hohen Umsetzungsaufwands ist jedoch die Wirtschaftlichkeit fraglich. In diesen Fällen ist daher zu prüfen, ob angesichts des gebotenen Nutzens die Zahlungsbereitschaft des Kunden den Aufwand für die Umsetzung überwiegt. Anwendungsszenario-Marktsegment-Kombinationen mit einer *geringen Umsetzungspriorität* sind nicht weiterzuverfolgen.

Die Anwendungsszenario-Marktsegment-Kombination beinhaltet Informationen zu dem Einsatzzweck von AR (Anwendungsszenario) sowie dem spezifischen Kontext (Marktsegment). Im Kern spiegelt sich damit in jeder Anwendungsszenario-Marktsegment-Kombination eine **Geschäftsidee** wider. Nicht zwangsläufig handelt es sich dabei um 1:1-Beziehungen. Sofern keine Eindeutigkeit besteht, sollte eine Aufspaltung erfolgen. Beispielsweise könnte die die Kombination aus dem AR-Anwendungsszenario *Remote Assistance* und dem Marktsegment *Automotive* unter Rückgriff auf die ermittelten Kundenbedarfe unterteilt werden in eine Unterstützung beim Auftreten von Fehlerfällen und eine Abwicklung von Reklamationen.

Für die weiterzuverfolgenden Anwendungsszenario-Marktsegment-Kombinationen erfolgt eine Konkretisierung der zugrundeliegenden Geschäftsidee sowie deren Dokumentation. Hierzu bietet sich die Anfertigung eines **Geschäftsideensteckbriefs** an, in dem unter Einhaltung unternehmensindividueller Vorgaben aus dem Innovationsprozess die

wichtigsten Informationen (z.B. Kurzbeschreibung, Chancen und Risiken, Verantwortliche) enthalten sind (vgl. [GDE+19, S. 212f.]).

Mit der Anfertigung der Geschäftsideensteckbriefe ist die dritte und letzte Phase der bedarfsinduzierten Geschäftsideenfindung abgeschlossen. Als **Resultat** liegen Erfolg versprechende Geschäftsideen für AR-basierte Produkt-Service-Systeme vor, die auf Grundlage von Kundenbedarfen für ausgewählte Geschäftsfelder ermittelt wurden.

4.3.2 Technologieinduzierte Geschäftsideenfindung

In der im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen bedarfsinduzierten Geschäftsideenfindung erfolgte die Suche nach Geschäftsideen zielgerichtet für ein ausgewähltes Geschäftsfeld. Mit der technologieinduzierten Geschäftsideenfindung wird dieser marktorientierte Ansatz um eine technologiebezogene Perspektive erweitert. Ausgangspunkt bildet ein ausgewähltes AR-Anwendungsszenario, für das Erfolg versprechende Marktsegmente gesucht werden. Damit empfiehlt sich die technologieinduzierte Geschäftsideenfindung für solche Situationen, in denen bereits eine **klare Vorstellung über die Verwendung von AR** besteht. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn bereits bestehende AR-Lösungen auf zusätzliche Märkte ausgeweitet werden sollen (Marktentwicklungsstrategie nach ANSOFF, vgl. [Ans65]) oder aus strategischen Gründen mit einem bestimmten AR-Anwendungsszenario auf den Wettbewerb reagiert werden soll.

Das **Vorgehensmodell** zur technologieinduzierten Geschäftsideenfindung setzt sich aus drei Phasen zusammen und ist in Bild 4-18 dargestellt.

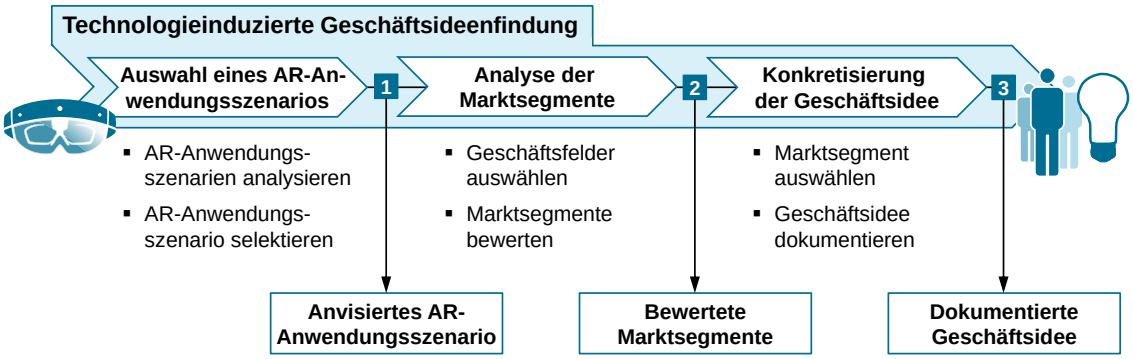


Bild 4-18: Vorgehen zur technologieinduzierten Ideenfindung

Gegenstand der ersten Phase ist die **Auswahl eines AR-Anwendungsszenarios**, für das Geschäftsideen identifiziert werden sollen. Vor dem Hintergrund des anvisierten AR-Anwendungsszenarios erfolgt in der zweiten Phase eine zweistufige **Analyse der Marktsegmente**. Zunächst werden Geschäftsfelder ermittelt, für die das Geschäftspotential des AR-Anwendungsszenarios untersucht werden soll. In einer anschließenden Detailanalyse werden die im Geschäftsfeld enthaltenen Marktsegmente hinsichtlich Nutzen, Umsetzungsaufwand und Umsatzpotential bewertet. Die **Konkretisierung der Geschäftsidee**

erfolgt in der dritten Phase durch die Auswahl eines Marktsegments und die Anfertigung eines Geschäftsideensteckbriefs.

Analog zur bedarfsinduzierten Geschäftsideenfindung erlaubt das in Bild 4-18 idealtypisch und sequentiell dargestellte Vorgehen Rücksprünge zwischen den einzelnen Phasen. Das grundsätzliche methodische Vorgehen weist **Parallelen zur bedarfsinduzierten Geschäftsideenfindung** auf und greift auf die **gleichen Hilfsmittel** zurück (vgl. *Abschnitt 4.3.1*). Aus diesem Grund konzentrieren sich die nachfolgenden Beschreibungen der einzelnen Phasen auf die Unterschiede zur bedarfsinduzierten Geschäftsideenfindung. Um Redundanzen zu vermeiden, wird zur Erläuterung der Hilfsmittel auf Ausführungen der vorangegangenen Abschnitte verwiesen.

4.3.2.1 Phase 1: Auswahl eines AR-Anwendungsszenarios

Ziel der ersten Phase ist die Auswahl eines AR-Anwendungsszenarios, für das gezielt Geschäftsideen gesucht werden sollen. Mit der kompetenz- und marktorientierten Auswahl können **zwei grundsätzliche Auswahlansätze** differenziert werden. Als Hilfsmittel dienen der Katalog mit AR-Anwendungsszenarien (vgl. *Abschnitt 4.2.4*) sowie das Klassifikationsschema (vgl. *Abschnitt 4.2.2*) für den Fall, dass neue AR-Anwendungsszenarien[45] generiert werden sollen.

Bei der **kompetenzorientierten Auswahl** werden im Rahmen einer Bestandsaufnahme des Leistungsportfolios bereits bestehende AR-Anwendungen im Unternehmen ermittelt und diejenigen ausgewählt, für die der Eintritt in neue Marktsegmente geprüft werden soll. Dabei kann es sich sowohl um AR-Applikationen handeln, die das Unternehmen bislang intern nutzt und die nun als Marktleistung kommerzialisiert werden sollen (z.B. Angebot einer bislang ausschließlich für die Weiterbildung der eigenen Mitarbeiter genutzten Schulung am Markt), als auch bereits bestehende AR-basierte Produkt-Service-Systeme, die im Zuge einer Marktentwicklungsstrategie in weiteren Märkten angeboten werden sollen (z.B. Angebot einer Remote-Assistance-Lösung in weiteren Marktsegmenten). In diesen Fällen bilden die vorhandenen Kompetenzen im Unternehmen den Ausschlag für die Auswahl des AR-Anwendungsszenarios.

Die **marktorientierte Auswahl** beruht hingegen auf markt- und wettbewerbsstrategischen Gesichtspunkten. So kann das Angebot eines bestimmten AR-Anwendungsszenarios als Reaktion auf den Schachzug eines Wettbewerbers erforderlich sein oder es zeichnet sich am Markt ein spezifisches Interesse an einem bestimmten AR-Anwendungsszenario ab (z.B. in Kundengesprächen, auf Messen oder Branchentreffen). Auslöser hierfür

[45] Für die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Phasen ist es erforderlich, dass für die AR-Anwendungsszenarien zumindest ein Nutzenprofil für Kunde und Anbieter vorliegt. Sollten also neue AR-Anwendungsszenarien mit dem Klassifikationsschema entwickelt werden, empfiehlt es sich, diese in einem Steckbrief entsprechend der Struktur aus *Abschnitt 4.2.3* zu dokumentieren.

sind häufig technologische Entwicklungen in verwandten Branchen sowie vor- und nachgelagerten Stufen in der Wertschöpfungskette des Kunden (z.B. Etablierung von Remote Assistance für Maschinen eines nachgelagerten Produktionsschrittes). Ausgangspunkt für die technologieinduzierte Geschäftsideenfindung können darüber hinaus Ergebnisse einer der vorliegenden Systematik vorausgegangenen Potentialabschätzung sein oder es sollen gezielt neue AR-Anwendungsszenarien, die mit Hilfe des Klassifikationsschemas generiert wurden, im Hinblick auf ihr Geschäftspotential untersucht werden. Allen genannten Fällen ist gemein, dass Markt- und Wettbewerbsüberlegungen die Grundlage für die Auswahl des AR-Anwendungsszenarios bilden.

Als **Resultat** liegen ausgewählte AR-Anwendungsszenarien vor, für die im weiteren Verlauf Geschäftsideen generiert werden sollen.

4.3.2.2 Phase 2: Analyse der Marktsegmente

Gegenstand der zweiten Phase ist die Analyse der Marktsegmente vor dem Hintergrund der zuvor ausgewählten AR-Anwendungsszenarien. Grundlage bildet ein **zweistufiger Analyseprozess**: Zunächst erfolgt eine *Vorauswahl* der zu untersuchenden Geschäftsfelder. In der *Detailanalyse* werden die Marktsegmente innerhalb der Geschäftsfelder analog zur bedarfsinduzierten Geschäftsideenfindung im Hinblick auf den *Kunden- und Anbieternutzen*, den *Umsetzungsaufwand* sowie das *Umsatzpotential* bewertet.

Im Rahmen der **Vorauswahl** werden zunächst für jedes AR-Anwendungsszenario relevante Geschäftsfelder ermittelt. Eine Übersicht der aktuellen Geschäftstätigkeit liefert die *Marktleistungs-Marktsegmente-Matrix* (vgl. *Abschnitt 4.3.1.1*), der die Geschäftsfelder entnommen werden können. Entsprechend dem Vorgehen zur bedarfsinduzierten Geschäftsideenfindung werden die Geschäftsfelder unter Rückgriff auf das *erweiterte Marktportfolio* (vgl. *Abschnitt 4.3.1.1*) hinsichtlich der *Marktattraktivität*, *Wettbewerbsstärke* und des *AR-Potentials* bewertet. Im Gegensatz zur bedarfsinduzierten Geschäftsideenfindung liegt nun ein ausgewähltes AR-Anwendungsszenario als Bewertungsgrundlage vor. Daher erfolgt die Beurteilung des *AR-Potentials* auf Basis der in den AR-Anwendungsszenario-Steckbriefen hinterlegten Nutzenpotentiale aus Kundensicht. Aufbauend auf den Bewertungen wird schließlich eine Auswahl vorgenommen. Als Ergebnis liegen Geschäftsfelder vor, die unter markt- und wettbewerbsrelevanten Gesichtspunkten ein hohes Erfolgspotential für das anvisierte AR-Anwendungsszenario aufweisen.

Die **Detailanalyse** erfolgt spezifisch für die Marktsegmente innerhalb der ausgewählten Geschäftsfelder und orientiert sich an dem Vorgehen zur bedarfsinduzierten Geschäftsideenfindung. Zur Bewertung des **Nutzens aus Kundensicht** werden mit Hilfe der *Value Proposition Canvas* (vgl. *Abschnitt 4.3.1.2*) unbefriedigte Kundenbedarfe ermittelt und diese in einer *Nutzenpotential-Kundenbedarfs-Matrix* (vgl. *Abschnitt 4.3.1.2*) den AR-Nutzenpotentialen gegenübergestellt. Durch zeilenweises Aufsummieren der Bewertungen wird die *AR-Nutzenpotentialrelevanz* berechnet, in der sich die relative Bedeutung

der AR-Nutzenpotentiale im Hinblick auf die unbefriedigten Kundenbedarfe eines Marktsegments widerspiegelt. Darauf aufbauend wird mit Hilfe einer *gewichteten Punktebewertung* (vgl. *Abschnitt 4.3.1.2*) der Kundennutzen ermittelt. Die Bewertungen entsprechen den charakteristischen Ausprägungen der AR-Nutzenpotentiale aus dem Steckbrief des ausgewählten AR-Anwendungsszenarios. Als Gewichtung dient die AR-Nutzenpotentialrelevanz. Dadurch ergibt sich für jedes zu untersuchende Marktsegment eine separate Punktwerttabelle, wie in Bild 4-19 dargestellt.

Kundennutzen

Bewertungskriterien (AR-Nutzenpotentiale aus Kundensicht) Bewertung: 0 bis 3	Gewichtung [in %]	Marktsegment 1: Automotive – Instandhaltung: Bew.	Marktsegment 1: Automotive – Instandhaltung: Nutzw.
1 Kürzere Wartezeiten	20	3	0,6
2 Schnellere Tätigkeitsdurchführ.	15	1	0,15
3 Verbesserte Fehlervermeidung	10	0	0
…	…	…	…
8 Verbessertes Verständnis	5	1	0,05
	100		2,1

Kundennutzen

Gewichtung [in %]	Marktsegment 2: Maschinenbau – Instandhaltung: Bew.	Marktsegment 2: Maschinenbau – Instandhaltung: Nutzw.
30	3	0,9
10	1	0,1
0	0	0
…	…	…
20	1	0,2
100		2,0

Kundennutzen

Gewichtung [in %]	Marktsegment 3: Landtechnik – Instandhaltung: Bew.	Marktsegment 3: Landtechnik – Instandhaltung: Nutzw.
20	3	0,6
20	1	0,2
0	0	0
…	…	…
10	1	0,1
100		1,8

Bild 4-19: Marktsegmentspezifische Punktwerttabellen für den Kundennutzen

Zusätzlich zum Kundennutzen wird für die Marktsegmente der **Anbieternutzen**, der **Umsetzungsaufwand** sowie das **Umsatzpotential** bewertet. Das Vorgehen ist dabei identisch zur bedarfsinduzierten Geschäftsideenfindung (vgl. *Abschnitt 4.3.1.2*). Für die Beurteilung des Anbieternutzens wird auf die Ausprägungen der AR-Nutzenpotentiale aus Anbietersicht zurückgegriffen, für den Umsetzungsaufwand auf die Bewertungskriterien aus *Anhang A2.3*. Für den Fall, dass die unternehmensindividuell vorzunehmende Gewichtung der AR-Nutzenpotentiale zwischen den Marktsegmenten variiert, ergibt sich wie beim Kundennutzen für jedes Marktsegment eine separate Punktwerttabelle.

Zentrales **Resultat** sind Bewertungen der Marktsegmente im Hinblick auf den *Kunden- und Anbieternutzen*, den *Umsetzungsaufwand* sowie das *Umsatzpotential* vor dem Hintergrund des ausgewählten AR-Anwendungsszenarios.

4.3.2.3 Phase 3: Konkretisierung der Geschäftsidee

Unter Rückgriff auf die Bewertungen erfolgt in der dritten Phase die **Auswahl einer AR-Anwendungsszenario-Marktsegment-Kombination** und deren Ausarbeitung zu einer Geschäftsidee. Analog zur bedarfsinduzierten Geschäftsideenfindung werden der Nutzen aus Kunden- und Anbietersicht, der Umsetzungsaufwand sowie das Umsatzpotential in einer *Anwendungsszenario-Marktsegmente-Matrix* (vgl. *Abschnitt 4.3.1.3*) dokumentiert. In der Art und Weise, wie die Anwendungsszenario-Marktsegmente-Matrix befüllt wird,

zeigen sich die Unterschiede zwischen den beiden Stoßrichtungen zur Geschäftsideenfindung: Wie im linken Teil in Bild 4-20 dargestellt, erfolgt bei der *bedarfsinduzierten Geschäftsideenfindung* eine spaltenweise Befüllung der Matrix entsprechend der Fragestellung, welches AR-Anwendungsszenario für ein Marktsegment Erfolg versprechend ist. Im Gegensatz dazu zielt die *technologieinduzierte Geschäftsideenfindung*, wie im rechten Teil in Bild 4-20 zu sehen, auf die Frage ab, für welches Marktsegment ein gegebenes AR-Anwendungsszenario am aussichtsreichsten ist. Die Anwendungsszenario-Marktsegmente-Matrix wird daher zeilenweise mit Einträgen versehen.

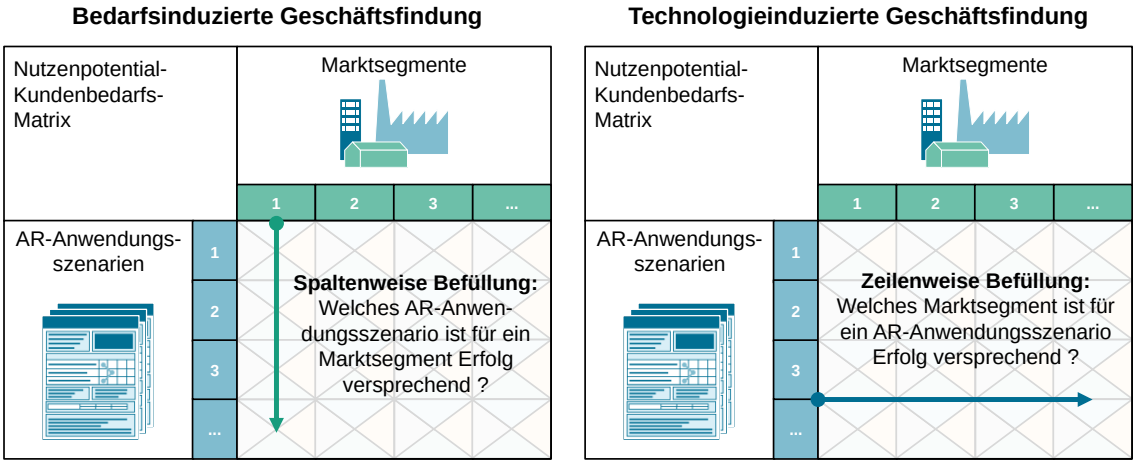


Bild 4-20: Bedarfs- und technologieinduzierte Geschäftsideenfindung in der Anwendungsszenario-Marktsegmente-Matrix

Entsprechend dem Vorgehen zur bedarfsinduzierten Geschäftsideenfindung werden mit Hilfe eines *Nutzen-Aufwand-Portfolios* (vgl. *Abschnitt 4.3.1.3*) unterschiedliche Sichten auf die Ergebnisse erzeugt und eine Erfolg versprechende AR-Anwendungsszenario-Marktsegment-Kombination zur Umsetzung ausgewählt. Die Dokumentation und **Konkretisierung der Geschäftsideen** erfolgt in einem *Geschäftsideensteckbrief* (vgl. *Abschnitt 4.3.1.3*). Mit der Auswahl der umzusetzenden Geschäftsideen ist die technologieinduzierte Geschäftsideenfindung abgeschlossen.

Als **Resultat** liegen für ein ausgewähltes AR-Anwendungsszenario Erfolg versprechende Geschäftsideen vor, die jeweils in einem Geschäftsideensteckbrief dokumentiert sind.

4.4 Umsetzungsplanung

Ziel der Umsetzungsplanung ist die **Ausarbeitung und Operationalisierung der Geschäftsidee** in Form eines AR-Roadbooks. Sie knüpft unmittelbar an die Geschäftsideenfindung an und greift auf die entwickelten Geschäftsideen zurück. Entsprechend der sich an die Produktfindung anschließenden Aufgaben der strategischen Produktplanung adressiert die Umsetzungsplanung die **Produkt- und Dienstleistungskonzipierung sowie Geschäftsplanung** (vgl. *Abschnitt 2.4.1*). Im Vordergrund steht hierbei eine integrative Betrachtung von Produkt-Service-System, AR-System und Geschäftsmodell.

Da sich die vorliegende Arbeit auf die Erweiterung des bestehenden Produkt-Service-Geschäfts konzentriert, zielt die Umsetzungsplanung zum einen darauf ab, die durch die Integration von AR bedingten **Änderungsauswirkungen** auf das bestehende Produkt-Service-System und Geschäftsmodell zu antizipieren. Zum anderen werden aufgrund der engen Verzahnung auch **Wechselwirkungen** zwischen Produkt, Dienstleistung und Geschäftsmodell berücksichtigt. Analog zur Geschäftsideenfindung umfasst die Umsetzungsplanung sowohl ein *Vorgehensmodell*, das die durchzuführenden Tätigkeiten beschreibt und in eine zielführende zeitliche Reihenfolge setzt, als auch verschiedene *Hilfsmittel*, die bei der Durchführung der Tätigkeiten unterstützen.

In Bild 4-21 ist das **Vorgehensmodell** dargestellt, das sich in drei Phasen gliedert.

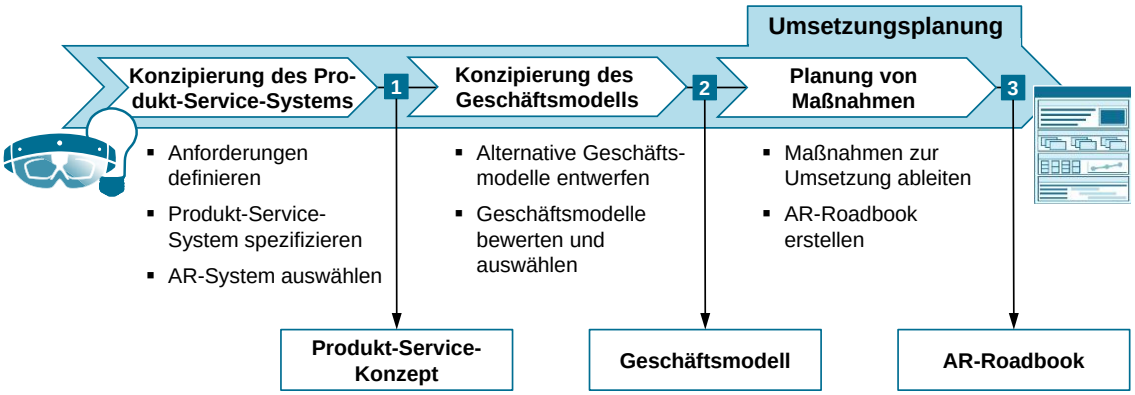


Bild 4-21: Vorgehen zur Umsetzungsplanung

In der ersten Phase erfolgt die **Konzipierung des Produkt-Service-Systems**. Unter Rückgriff auf die Spezifikationstechnik CONSENS (vgl. *Abschnitt 3.3.4*) werden Anforderungen definiert und davon ausgehend das AR-basierte Produkt-Service-System spezifiziert. Im Anschluss daran erfolgt in der zweiten Phase die **Konzipierung des Geschäftsmodells**. Mit Hilfe eines Geschäftsmodellkartensets werden unter Berücksichtigung von Anforderungen aus der Produkt-Service-System-Konzipierung Geschäftsmodellalternativen entwickelt und priorisiert. In der dritten Phase erfolgt die **Planung von Maßnahmen** zur Umsetzung des AR-basierten Produkt-Service-Systems. Mit dem *AR-Roadbook* liegt als **Resultat** der Umsetzungsplanung ein Entwicklungsauftrag vor.

Verschiedene **Hilfsmittel** unterstützen den Anwender bei der Durchführung der im Vorgehensmodell beschriebenen Tätigkeiten. Zu den im Rahmen der Arbeit neu entwickelten Hilfsmitteln zählen für die erste Phase ein *Leitfragenkatalog zur Erhebung von Anforderungen* sowie ein *Leitfaden zur Auswahl eines AR-Systems* (vgl. *Abschnitt 4.4.1*), für die zweite Phase ein *Geschäftsmodellkartenset* zur Berücksichtigung der AR-spezifischen Herausforderungen (vgl. *Abschnitt 4.4.2*) sowie für die dritte Phase eine *Vorlage für ein AR-Roadbook*, in dem die Teilergebnisse der Umsetzungsplanung zusammengefasst werden (vgl. *Abschnitt 4.4.3*). Die einzelnen Phasen und die darin zum Einsatz kommenden Hilfsmittel werden in den folgenden Abschnitten detailliert erläutert.

4.4.1 Phase 1: Konzipierung des Produkt-Service-Systems

Ausgehend von der umzusetzenden Geschäftsidee widmet sich die erste Phase der **integrativen Konzipierung von AR- und Produkt-Service-System**. Da die Arbeit die Weiterentwicklung des Produkt-Service-Geschäfts fokussiert, stehen hierbei die aus der Integration von AR resultierenden Auswirkungen auf das bestehende Produkt-Service-System im Vordergrund. Den Untersuchungsgegenstand bilden daher diejenigen Produkte und Dienstleistungen, auf die sich die Geschäftsidee bezieht und die um neue, auf dem Einsatz von AR basierende Funktionalitäten erweitert werden sollen. Sie können entsprechend des für die Ideenfindung ausgewählten Geschäftsfelds unmittelbar der Marktleistungs-Marktsegmente-Matrix entnommen werden (vgl. *Abschnitte 4.3.1.1* und *4.3.2.2*).

Mit Blick auf die **Erweiterung des Produkt-Service-Portfolios um AR** sind im Rahmen der Arbeit zwei Fälle[46] zu unterscheiden: (1) Die Geschäftsidee führt zu dem Angebot einer neuen, bislang noch nicht angebotenen Dienstleistung (z.B. AR-gestützte Instandhaltungsunterstützung für eine Maschine, für die bislang kein Service angeboten wurde). In diesem Fall ist ein *neues Dienstleistungskonzept* unter Berücksichtigung der Wechselwirkungen mit dem bestehenden Produktkonzept zu entwickeln. (2) Die Geschäftsidee bezieht sich auf eine bestehende Produkt-Service-Kombination, für die sich infolge der Integration von AR Anpassungsbedarfe ergeben. In diesem Fall sind *Änderungsauswirkungen auf das bestehende Produkt-Service-Konzept* zu ermitteln. Für beide Fälle sind das im Folgenden beschriebene Vorgehen und die Hilfsmittel gleichermaßen geeignet.

Zur ganzheitlichen und disziplinübergreifenden Beschreibung des Produkt-Service-Konzepts wird auf die **Spezifikationstechnik CONSENS** zurückgegriffen (vgl. *Abschnitt 3.3.4*) [GDE+19, S. 416ff.]. Mit Hilfe der in Bild 4-22 dargestellten neun Aspekte[47] wird das Produkt-Service-Konzept auf der Abstraktionsebene einer Prinziplösung beschrieben. Die Aspekte *Umfeld*, *Anwendungsszenarien*, *Funktionen*, *Wirkstruktur* und *Verhalten* spezifizieren das **Produkt**, die Aspekte *Prozesse*, *Personal* und *Werkzeug* die **Dienstleistung**. Als Bindeglied zwischen Produkt und Dienstleistung dient der Aspekt Anforderungen. Die Aspekte werden rechnerintern durch Partialmodelle repräsentiert, die zueinander in Beziehung stehen. Die Gesamtheit der Partialmodelle bildet das Systemmodell, das sämtliche fachdisziplinübergreifend relevanten Informationen umfasst und die Prinziplösung für das Produkt-Service-System widerspiegelt. Aus der Integration von AR resultierende **Modifikationsbedarfe** werden in den Partialmodellen als solche kenntlich gemacht. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird hierfür ein Symbol für eine Datenbrille verwendet (vgl. Bild 4-22).

---

[46] Im Rahmen der Arbeit nicht näher betrachtet wird der in der Praxis eher selten auftretende Fall, dass die Geschäftsidee die *Neuentwicklung einer Sachleistung* erfordert.

[47] Angesichts der hier fokussierten frühen Phasen im Produktentstehungsprozess sowie der in der Regel für die grundsätzliche Geometrie des Produkts nicht ausschlaggebenden Änderungen durch AR erfolgt die Betrachtung des Aspekts *Gestalt* im Rahmen der Feinplanung im Anschluss an die Systematik.

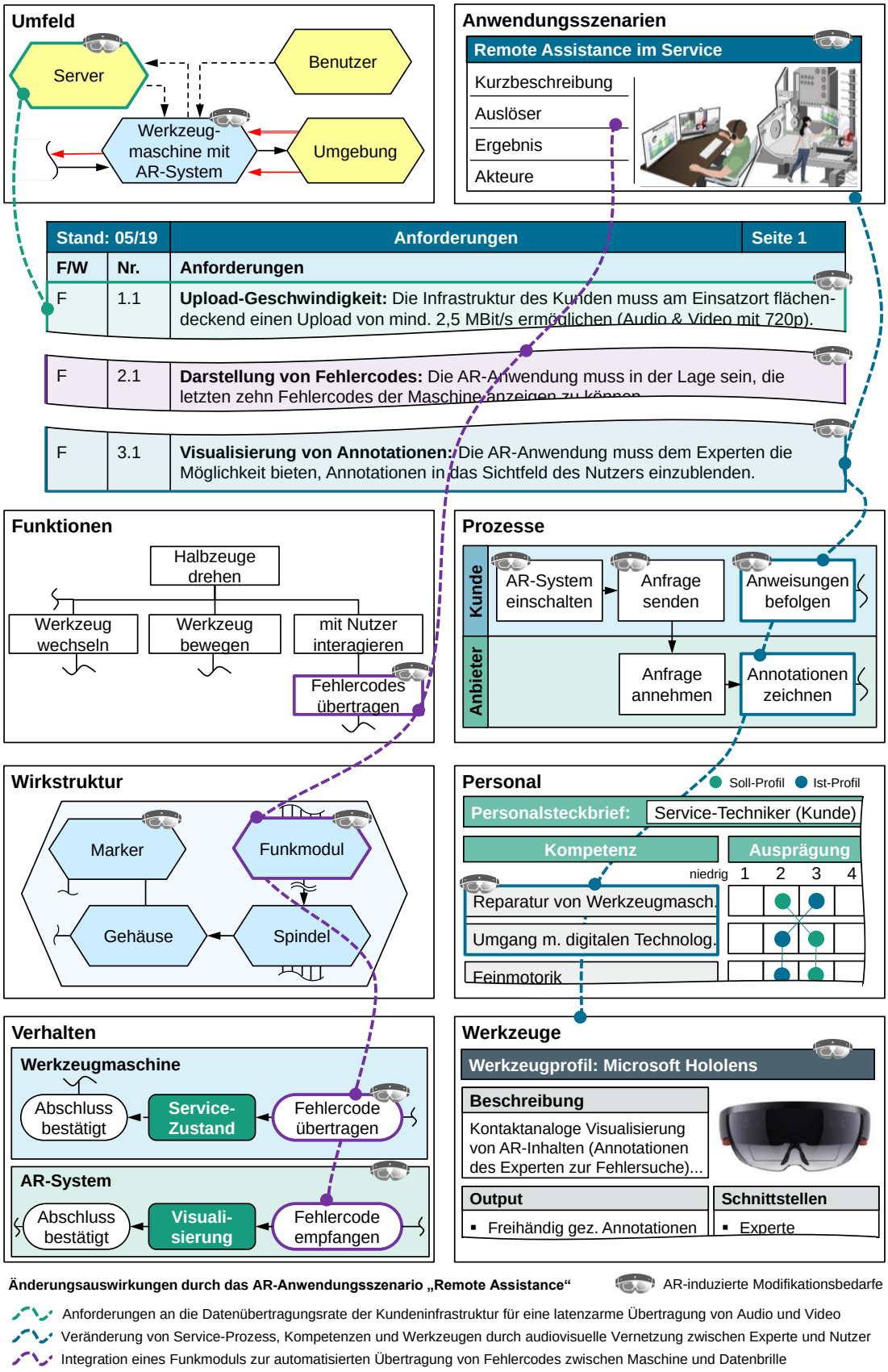


Bild 4-22: Spezifikation AR-basierter Produkt-Service-Systeme mit Hilfe von CONSENS

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit dient das **Systemmodell als Kommunikations- und Kooperationsplattform** für die an der Entwicklung beteiligten Akteure (z.B. Produktmanagement, Service, Entwicklung): Es fördert ein gemeinsames Systemverständnis und unterstützt dadurch die interdisziplinäre Zusammenarbeit. Darüber hinaus ermöglicht es Transparenz über die durch die Integration von AR bedingten Änderungsauswirkungen auf Produkt und Dienstleistung. Über die Beziehungen der Partialmodelle untereinander finden zudem wechselseitige Abhängigkeiten zwischen dem Produkt- und Dienstleistungskonzept Berücksichtigung. Analog zum Vorgehen von CONSENS gliedert sich die Produkt-Service-Konzipierung in die zwei Schritte *Analyse* und *Synthese*. Diese werden im Folgenden näher erläutert und anhand der in Bild 4-22 skizzierten beispielhaften Änderungsauswirkungen durch das AR-Anwendungsszenario *Remote Assistance* illustriert.

Analyse

Ausgangspunkt bildet das Systemmodell des bestehenden Produkt-Service-Systems, für das sich ausgehend von der umzusetzenden Geschäftsidee **Änderungsbedarfe** abzeichnen. Konkretisiert werden die Änderungsbedarfe über neue bzw. Modifikationen bestehender Anforderungen, die sich aus der Geschäftsidee ergeben. In der Analyse wird auf die Partialmodelle *Umfeld*, *Anwendungsszenarien* und *Anforderungen* zurückgegriffen.

Umfeld: In dem Partialmodell *Umfeld* werden die Wirkbeziehungen zwischen dem Produkt-Service-System und Elementen seiner Umwelt systematisch analysiert. Dabei wird unterschieden zwischen der Beziehungsart (Stoff, Energie, (Mess-)Information und mechanische Verbindung) und der Auswirkung auf das System (Störfluss, kein Störfluss). Die Integration von AR führt in der Regel zur einer Erweiterung der Systemgrenze um ein produktbegleitendes AR-System, dessen Funktionsfähigkeit in starkem Maße durch die Einsatzumgebung (z.B. Licht, Schmutz, Temperatur) beeinflusst wird (vgl. *Abschnitt 2.3.3*). Im Rahmen der Umfeldanalyse wird das Umfeldmodell des bestehenden Produkt-Service-Systems um diese Einflüsse sowie ggf. damit verbundene neue Umfeldelemente ergänzt. Als Hilfsmittel dienen Leitfragen, die Bestandteil eines umfassenden Katalogs sind, der im Absatz zu dem Partialmodell *Anforderungen* näher erläutert wird. Relevant für die Umfeldanalyse sind dabei diejenigen Leitfragen aus dem Abschnitt *Umgebung* (vgl. *Anhang A2.4*). Die aus dem Umfeld resultierenden Anforderungen werden in der Anforderungsliste des Partialmodells *Anforderungen* dokumentiert. Für das AR-Anwendungsszenario Remote Assistance in Bild 4-22 lassen sich aus der Umfeldanalyse beispielsweise Anforderungen an die Einbindung in die Kundeninfrastruktur ableiten (z.B. minimale Datenübertragungsrate für eine latenzfreie Audio- und Videoübertragung).

Anwendungsszenarien: Das Partialmodell *Anwendungsszenarien* beschreibt typische Betriebssituationen des Systems entlang dessen Lebenszyklus. In Form von Steckbriefen wird das geforderte Systemverhalten innerhalb dieser Situationen in groben Zügen spezifiziert. Mit dem Einsatz von AR gehen in der Regel unmittelbare Veränderungen der Anwendungsszenarien einher. Abhängig von der Geschäftsidee sind neue Betriebssituatio-

nen zu ergänzen oder die Verhaltensbeschreibungen in bestehenden Anwendungsszenarien zu modifizieren. In besonderem Maße von Veränderungen betroffen sind dabei Anwendungsszenarien, welche die Interaktion mit dem Anwender beschreiben und auf die AR daher direkten Einfluss nimmt. Im AR-Anwendungsszenario Remote Assistance in Bild 4-22 ergeben sich Änderungen beispielsweise im Hinblick auf die Instandhaltung der Maschine, die nun audiovisuell assistiert wird. Aus den Anwendungsszenarien lassen sich unterstützt durch den Leitfragenkatalog (insb. Leitfragen aus dem Abschnitt *Anwender*) Anforderungen ableiten, um die das Partialmodell *Anforderungen* ergänzt wird.

Anforderungen: In diesem Partialmodell werden sämtliche Anforderungen an das System in einer Anforderungsliste strukturiert zusammengetragen. Neue Anforderungen ergeben sich u.a. aus den Partialmodellen *Umfeld* und *Anwendungsszenarien*. Im Rahmen der Systematik wird die Erhebung der technologiespezifischen Anforderungen von AR zusätzlich durch einen *Leitfragenkatalog* unterstützt. Er umfasst 28 Leitfragen, die nach den Bestandteilen der Architektur eines AR-Systems nach VOGL [Vog08, S. 30] (vgl. *Abschnitt 2.3.3*) in sechs Kategorien geordnet sind: *Umgebung*, *Anwender*, *Sensorik*, *Recheneinheit*, *Modelldaten* und *Display*. Die Leitfragen ermöglichen eine zielgerichtete Auseinandersetzung mit potentiellen Quellen für Anforderungen und unterstützen dabei, alle wichtigen Aspekte zu berücksichtigen. Jede Leitfrage ist mit einem erläuternden Text versehen, der bei der Festlegung der Anforderungen unterstützt und mögliche Lösungsoptionen zur Erfüllung der Anforderungen aufzeigt. Der Leitfragenkatalog ist auszugsweise in Bild 4-23 dargestellt, eine vollständige Übersicht ist *Anhang A2.4* zu entnehmen.

Nr.	Leitfrage	Erläuterung
1	**Umgebung**	
1.1	**Lichtverhältnisse:** Unter welchen Lichtverhältnissen muss die AR-Applikation funktionieren?	Die Lichtverhältnisse werden bestimmt durch natürliche (Tageslicht) und künstliche Lichtquellen (z.B. Leuchten). Insbesondere optische Trackingverfahren erfordern zur räumlichen Positionserfassung eine ausreichende Beleuchtung der Umgebung (vgl. Leitfrage 3.1). Hierbei sind zeitliche Schwankungen der Lichtverhältnisse (z.B. abhängig von der Tageszeit) zu berücksichtigen. Einer mangelnden Ausleuchtung kann mit einer zusätzlichen aktiven Beleuchtung entgegen gewirkt werden. Hierzu zählt Licht innerhalb des durch den Menschen wahrnehmbaren Spektrums (380 bis 780nm) sowie nicht sichtbares Licht (z.B. Infrarot), das entweder unstrukturiert oder strukturiert (d.h. durch Projektion bekannter Muster) eingebracht werden kann [SH16, S. 106ff.], [KR13, S. 36].
1.2	**Fremdkörper und Feuchtigkeit:** Welchen Einflüssen durch Fremdkörper und Feuchtigkeit ist	Abhängig von der Einsatzumgebung kann das AR-System mit Fremdkörpern (z.B. Staub) und Feuchtigkeit (z.B. Sprühwasser) in Kontakt kommen. Um die Funktionsfähigkeit und den sicheren Einsatz zu gewährleisten, muss das AR-System daher bestimmte Eigenschaften aufweisen. Die Eignung elektrischer Betriebsmittel für verschiedene Umgebungsbedingungen wird durch unterschiedliche Schutzarten beschrieben. Die Norm DIN EN 60529 definiert hierfür

Bild 4-23: Leitfragenkatalog zur Erhebung von Anforderungen (Auszug)

Synthese

Aufbauend auf den Anforderungen wird im Rahmen der Synthese eine prinzipielle Lösung konzipiert, die den gestellten Anforderungen genügt. Für das Produktkonzept wird auf die Partialmodelle *Funktionen*, *Wirkstruktur* und *Verhalten* zurückgegriffen, für das Dienstleistungskonzept auf die Partialmodelle *Prozesse*, *Werkzeuge* und *Personal*.

Funktionen: In dem Partialmodell *Funktionen* werden ausgehend von der Anforderungsliste Funktionen definiert, wobei sich der Begriff Funktion auf den Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgangsgrößen bezieht, um eine bestimmte Aufgabe zu erfüllen [FGG+13, S. 242]. Die Funktionen werden in einer *Funktionshierarchie* gegliedert, die sich aus der schrittweisen Unterteilung der Hauptfunktion in Teilfunktionen ergibt. Auf Grundlage der aus der Geschäftsidee resultierenden Anforderungen ist die Funktionshierarchie des bestehenden Produkt-Service-Systems zu aktualisieren, indem neue Funktionen ergänzt bzw. bestehende modifiziert werden. Für das in Bild 4-22 dargestellte AR-Anwendungsszenario Remote Assistance ergibt sich beispielsweise ausgehend von der Anforderung, Fehlercodes in die Kollaboration zwischen Experte und Anwender einzubeziehen, die neue Funktion „Fehlercodes übertragen".

Wirkstruktur: Das Partialmodell *Wirkstruktur* beschreibt anhand von Systemelementen (z.B. Bauteile, Softwarekomponenten) und deren Wirkzusammenhängen (Stoff, Energie, (Mess-)Information und mechanische Verbindung) die prinzipielle Wirkungsweise des Systems. Die Systemelemente der Wirkstruktur sind verknüpft mit den Beziehungen aus dem Umfeld sowie den Teilfunktionen der Funktionshierarchie. Die durch AR bedingten Änderungen der Partialmodelle *Umfeld* und *Funktionen* spiegeln sich daher auch in der Wirkstruktur als modifizierte Flussbeziehung bzw. als neues Systemelement wider. Im Beispiel aus Bild 4-22 mündet die Funktion „Fehlercodes übertragen" in einem neuen Systemelement „Funkmodul", das zur Realisierung der Funktion erforderlich ist.

Verhalten: Mit dem Partialmodell *Verhalten* wird die in der Wirkstruktur dargestellte statische Sicht auf die Wirkzusammenhänge im System um eine dynamische Perspektive erweitert. Es wird zwischen den Verhaltensbeschreibungen *Zustände*, *Aktivitäten* und *Sequenzen* unterschieden. *Zustände* bilden die möglichen Betriebszustände sowie Zustandsübergänge ab, mit denen das System auf bestimmte Ereignisse reagiert. *Aktivitäten* beschreiben die im System ablaufenden Prozesse, die sich in einem Zustand vollziehen. Die sequentiellen Interaktionen zwischen Umfeld- und Systemelementen und deren temporale Abfolge werden mit Hilfe von *Sequenzen* beschrieben. Änderungsbedarfe an den Verhaltensmodellen ergeben sich infolge von AR insbesondere über neu hinzukommende Interaktionen zwischen Produkt und AR-System. In dem in Bild 4-22 dargestellten AR-Anwendungsszenario Remote Assistance erfolgt beispielsweise eine direkte Übertragung der Fehlercodes von der Maschine an das AR-System.

Prozesse: Das Partialmodell *Prozesse* definiert die erforderlichen Aktivitäten zur Erbringung der Dienstleistung und bildet den Kern des Dienstleistungskonzepts. Die Dokumentation erfolgt in Form eines *Service Blueprint* [BOM08, S. 72ff.], [Sho84, S. 134ff.] (vgl. *Abschnitt 3.3.4*), der einerseits zwischen Anbieter- und Kundenaktivitäten und andererseits zwischen sichtbaren und nicht sichtbaren Aktivitäten unterscheidet. Da der Einsatz von AR vorrangig die Dienstleistungsdimension des Produkt-Service-Systems beeinflusst, ergeben sich aus der umzusetzenden Geschäftsidee weitreichende Änderungen an dem Dienstleistungsprozess. In vielen Fällen ist eine Verlagerung von ehemals durch den

Anbieter durchgeführten Aktivitäten an den Kunden zu beobachten – im AR-Anwendungsszenario Remote Assistance in Bild 4-22 beispielsweise die Reparatur einer Maschine. Zudem ist der Dienstleistungsprozess eng mit den Verhaltensmodellen verknüpft. So können einerseits im Verhaltensmodell beschriebene Ereignisse Dienstleistungsprozesse auslösen (z.B. Maschinenausfall führt zum Starten eines Reparaturprozesses), andererseits können Aktivitäten im Prozessmodell Zustandsübergänge initiieren (z.B. Rückkehr der Maschine in den Betriebsmodus nach erfolgreichem Reparaturprozess).

Personal: Im Partialmodell *Personal* werden die im Dienstleistungsprozess involvierten Akteure mit Hilfe von Personalprofilen spezifiziert. Diese enthalten im Kern eine Darstellung der zur Ausführung der Tätigkeiten erforderlichen Kompetenzen in Form eines Spinnennetzdiagramms. Hilfestellung bei der Spezifikation der Kompetenzen liefern *Kompetenzkataloge*, u.a. [BHL+18], [RS03]. Die Erweiterung von Dienstleistungen um den Einsatz von AR kann sowohl die Einbindung weiterer Akteure erfordern als auch zu einer Verschiebung der Kompetenzprofile führen. Dies begründet sich einerseits in der Verlagerung von Tätigkeiten im Dienstleistungsprozess, andererseits in der Handhabung der für AR erforderlichen Werkzeuge (z.B. Bedienung von Datenbrillen). Das in Bild 4-22 dargestellte AR-Anwendungsszenario Remote Assistance führt beispielsweise durch die audiovisuelle Vernetzung mit einem Experten zu geringeren Anforderungen an die Reparaturfähigkeiten des Service-Technikers vor Ort, gleichzeitig jedoch zu höheren Anforderungen an dessen Fähigkeiten im Umgang mit digitalen Assistenzsystemen.

Werkzeuge: In dem Partialmodell *Werkzeuge* werden die zur Erbringung der Dienstleistung erforderlichen materiellen und immateriellen Arbeitsmittel definiert. Analog zu den Akteuren im Partialmodell *Personal* werden diese in Form von Profilen beschrieben. Die Werkzeugprofile umfassen u.a. eine Beschreibung der Funktionen und Eigenschaften des Werkzeugs, eine graphische Darstellung sowie eine Übersicht der Akteure, die das Werkzeug im Dienstleistungsprozess nutzen. Veränderungen an den Werkzeugen ergeben sich infolge der Integration von AR einerseits aus der Verschiebung der Dienstleistungsprozesse, andererseits aus der Notwendigkeit eines AR-Systems zur Visualisierung der virtuellen Inhalte. Das AR-Anwendungsszenario Remote Assistance in Bild 4-22 erfordert neben einem mobilen AR-System für den Service-Techniker unter anderem auch einen mit Headset ausgestatteten Computerarbeitsplatz für den zuzuschaltenden Experten.

Mit der Spezifikation der Werkzeuge erfolgt die **Festlegung eines AR-Systems**. Wie in der Problemanalyse aufgezeigt (vgl. *Abschnitt 2.3.3*), ist die Auswahl eines dem AR-Anwendungsszenario angemessenen AR-Systems von entscheidender Bedeutung. Dies begründet sich darin, dass das AR-System in erheblichem Maße das Nutzungserlebnis beeinflusst. Speziell im Hinblick auf die Auswahl von Datenbrillen gilt es aufgrund der eingeschränkten technischen Reife, Kompromisse im Hinblick auf Leistungsfähigkeit und Ergonomie abzuwägen [Cra13, S. 214f.]. Um den Anwender bei dem Auswahlprozess zu unterstützen stellt die Systematik als Hilfsmittel einen *Leitfaden zur Auswahl eines AR-Systems* bereit, der in den folgenden Absätzen näher erläutert wird.

Leitfaden zur Auswahl eines AR-Systems

Ausgangspunkt für die Auswahl bildet der Geschäftsideen-Steckbrief (vgl. *Abschnitte 4.3.1.3* und *4.3.2.3*) sowie die Anforderungsliste des Partialmodells *Anforderungen*. Mit Blick auf die in *Abschnitt 2.3.3* beschriebenen **Typen von AR-Systemen**[48] ist zunächst zu entscheiden, ob die Umsetzung mit Hilfe eines Handheld-Systems (z.B. Tablet, Smartphone) oder einer Datenbrille erfolgen soll. Zur Entscheidungsunterstützung wird ein **Bewertungsschema mit 15 Eignungsindikatoren** bereitgestellt, die auf den Arbeiten von GRAUEL ET AL. [GWA12, S. 49ff.], [BAU16, S. 10ff.] aufbauen (vgl. *Abschnitt 3.2.3*). Jeder Indikator ist auf einer Likert-Skala (von *0 = trifft nicht zu* bis *3 = trifft voll* zu) zu bewerten. Die Indikatoren sind dabei so formuliert, dass das Zutreffen des Indikators für den Einsatz von Datenbrillen spricht. Umgekehrt deutet eine Verneinung des Indikators auf die Eignung von Handheld-Systemen hin. Einen Auszug des Bewertungsschemas zeigt Bild 4-24, die vollständige Darstellung ist *Anhang A2.5* zu entnehmen.

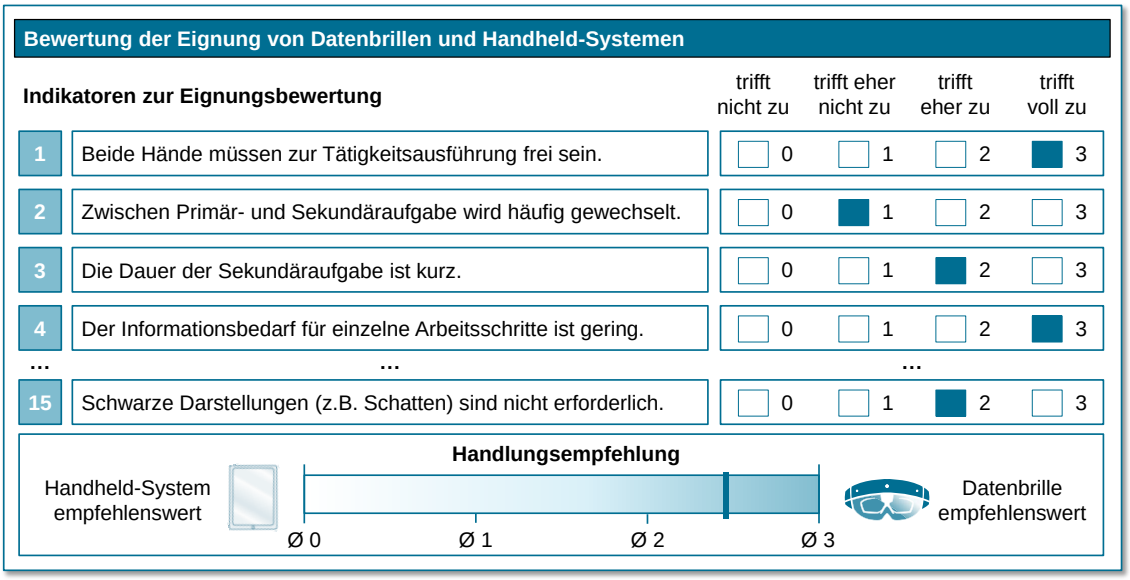


Bild 4-24: Indikatoren zur Bewertung von Datenbrillen und Handheld-Systemen

Aus dem Durchschnitt aller Bewertungen resultiert eine **Handlungsempfehlung** für die Auswahl eines Handheld-Systems bzw. einer Datenbrille. Für den Fall, dass die Indikatoren für die Umsetzung mittels eines **Handheld-Systems** sprechen, erfolgt unter Berücksichtigung der Anforderungen an Gewicht, Displaygröße und Betriebssystem der Rückgriff auf handelsübliche Tablets und Smartphones.

Sofern die Indikatoren für die Verwendung einer **Datenbrille** sprechen, werden die für die Auswahl einer Datenbrille relevanten Anforderungen aus der Anforderungsliste extrahiert und in eine **Anforderungsschablone** überführt. Diese gliedert sich in fünfzehn

[48] Aufgrund der vorrangigen Betrachtung mobiler AR-Lösungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die Verwendung *stationärer AR-Systeme* in dem Leitfaden nicht näher betrachtet (vgl. *Abschnitt 2.1.4*).

Leistungsanforderungen und fünf Ergonomieanforderungen, die einzelne, für Datenbrillen relevante Aspekte des Leitfragenkatalogs aus *Anhang A2.4* detaillieren. Während Leistungsanforderungen die technische Ausstattung und damit verbundene Leistungsfähigkeit der Datenbrille adressieren (z.B. Auflösung, Sichtfeld), zielen Ergonomieanforderungen auf das Wechselspiel der Datenbrille mit dem Menschen ab (z.B. Gewicht, Kompatibilität zu Sehhilfen). Die Anforderungen orientieren sich an den Bewertungskriterien nach SYBERFELDT ET AL. [SDG17, S. 9123] (vgl. *Abschnitt 3.3.3*), die zum Teil verdichtet und zum Teil um zusätzliche Aspekte erweitert wurden. Jeder Anforderung sind zudem drei Ausprägungen in aufsteigender Reihenfolge zugeordnet (z.B. Staffelung des Sichtfelds in die Ausprägungen <30°, 30-60° und >60°). Bild 4-25 zeigt einen Auszug der Anforderungsschablone; eine vollständige Darstellung ist in *Anhang A2.6* abgebildet.

	Anforderung	Ausprägungen		
Leistung	**Display-Auflösung**	<720p	720p-1080p	>1080p
	Sichtfeld	<30°	30-60°	>60°
	Farbdarstellung	Monochrom	Bichrom	Polychrom
	Sprachsteuerung	Keine Sprachsteuerung	Vordefinierte	Semantische
Ergonomie	**Akkuwechsel**	Batterien	Wechselbare Batterien	Hot Swap
	Sehhilfen-kompatibilität	Keine Kompatibilität	Brillengläser integrierbar	Brillen übereinander tragbar
	Verkabelung	Stationäre Verkabelung	Mobile Verkabelung	Keine Verkabelung
	Hygiene	Kein Wechsel möglich	Austausch möglich	Keine hygienerelevanten Komponenten verbaut

■ Anforderungsprofil an die Datenbrille

Bild 4-25: Anforderungsschablone zur Spezifizierung der Anforderungen an die Datenbrille (Auszug)

Mit dem Ausfüllen der Anforderungsschablone bildet sich sukzessive ein Pfad entlang der Ausprägungen. Das resultierende **Anforderungsprofil** spiegelt die im Hinblick auf das AR-Anwendungsszenario geforderten Eigenschaften der Datenbrille in Bezug auf Leistungsfähigkeit und Ergonomie wider und wird im Folgenden für einen Abgleich mit den Eigenschaften am Markt verfügbarer Datenbrillen verwendet.

Für den Abgleich zwischen dem Anforderungsprofil und dem Leistungsstand existierender Datenbrillen wird auf **Datenbrillen-Steckbriefe** zurückgegriffen. Diese liefern eine kompakte Übersicht der wichtigsten Informationen zur jeweils betrachteten Datenbrille. Neben einer Illustration der Datenbrille und Angaben zu Preis, Marktverfügbarkeit und den relevanten Hardware-Komponenten eines AR-Systems (vgl. *Abschnitt 2.3.3*) beinhaltet der Steckbrief eine Spezifikation des Leistungsprofils der Datenbrille anhand der Leistungs- und Ergonomieanforderungen der Anforderungsschablone. Ein exemplarischer Datenbrillen-Steckbrief ist auszugsweise in Bild 4-26 dargestellt. Insgesamt sechs Steckbriefe zu Datenbrillen, die laut einer Umfrage von Digi-Capital [Dig18] von Unternehmen als besonders bedeutsam erachtetet sind, finden sich in *Anhang A2.7*.

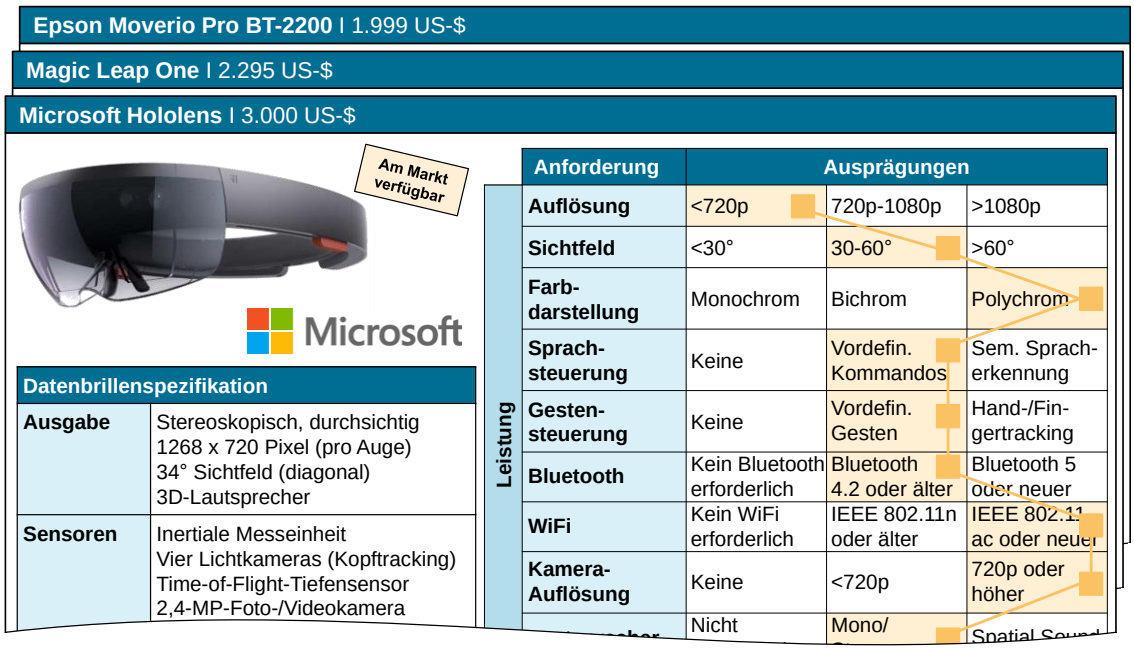


Bild 4-26: Exemplarische Darstellung von drei Datenbrillen-Steckbriefen (Auszug)

Aufgrund der hohen Dynamik im Markt für AR (vgl. *Abschnitt 2.3.1*) und der erforderlichen Vorlaufzeit bis zum Markteintritt des AR-basierten Produkt-Service-Systems empfiehlt es sich, neben bereits am Markt erhältlichen sich auch noch im Stadium eines Prototyps befindliche Datenbrillen in Betracht zu ziehen. Die Datenbrillen-Steckbriefe verstehen sich vor diesem Hintergrund als **Wissensbasis**, die dem technischen Fortschritt und Puls der Zeit folgend bedarfsgerecht erweitert werden kann[49]. Hierzu zählt sowohl die fortlaufende Ergänzung weiterer Datenbrillen als auch die Aktualisierung der Ausprägungen der Leistungs- und Ergnonomieanforderungen an den Stand der Technik.

Zur Eignungsbewertung der Datenbrillen erfolgt ein Abgleich des Anforderungsprofils mit den in den Datenbrillen-Steckbriefen hinterlegten Leistungsprofilen. Ziel ist die Identifikation derjenigen Datenbrille, die das Anforderungsprofil bestmöglich erfüllt. Zu diesem Zweck werden die Datenbrillen gemäß dem **Erfüllungsgrad** der Leistungs- und Ergonomieanforderungen des AR-Anwendungsszenarios in einem **Datenbrillen-Portfolio** positioniert, das in Bild 4-27 dargestellt ist. In diesem ist der Erfüllungsgrad der Leistungsanforderungen auf der Ordinate und der Ergonomieanforderungen auf der Abszisse aufgetragen. Als Bezugspunkt für die Bestimmung des Erfüllungsgrades dienen die Ausprägungen des Anforderungsprofils[50]. Zur Berechnung des Erfüllungsgrades werden die

[49] Zur Aktualisierung der Datenbrillen-Steckbriefe kann auf spezifische, teils kostenpflichtige *Studien* und *Wissensdatenbanken* zurückgegriffen werden, in denen Spezifikationen von Datenbrillen dokumentiert und aktuell gehalten werden, beispielsweise [Pad18-ol], [WKS18-ol], [Van18-ol].

[50] Bei Bedarf können die Anforderungen in Abhängigkeit des betrachteten AR-Anwendungsszenarios unter Zuhilfenahme einer *Relevanzmatrix* (vgl. *Abschnitt 4.3.1.2*) unterschiedlich gewichtet werden.

Ausprägungen in eine gleichmäßig verteilte Punkteskala überführt und die Differenz zwischen abweichenden Ausprägungen berücksichtigt[51]. Wie sich der Erfüllungsgrad zusammensetzt, ist den Detailansichten der Anforderungsschablone zu entnehmen, wie rechts in Bild 4-27 dargestellt (d.h. Erfüllung bzw. Unter-/Übererfüllung der Anforderungen).

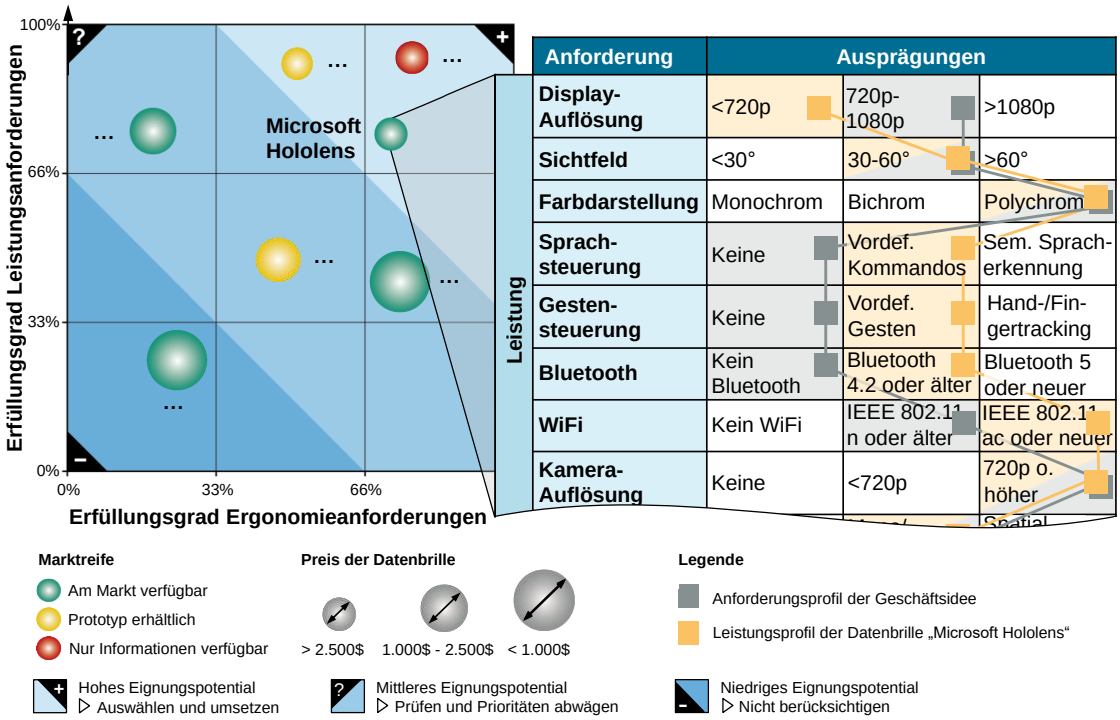


Bild 4-27: Bewertung der Anforderungserfüllung der Datenbrillen

Im Datenbrillen-Portfolio werden zudem über die Farbgebung die Marktreife sowie über den Kugeldurchmesser der Preis der Datenbrille berücksichtigt. Die Staffelung der **Marktreife** ermöglicht einerseits eine Einschätzung der zeitlichen Verfügbarkeit, andererseits dient sie als Indikator für die Unsicherheit der zu den Datenbrillen verfügbaren Informationen. Mit Hilfe des **Preises** kann die Leistungsfähigkeit der Datenbrillen in Relation zu den verbundenen Kosten gesetzt werden. Bei Überschreitung definierter Grenzen können Datenbrillen von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden.

Entsprechend der Konstellation im Datenbrillen-Portfolio ergeben sich **Handlungsempfehlungen** für die Auswahl einer Datenbrille. Unter Berücksichtigung von Erfüllungsgrad, Marktreife und Preis lassen sich folgende Konstellationen unterscheiden:

- **Datenbrille auswählen:** Die gestellten Anforderungen werden durch eine am Markt erhältliche und innerhalb des Preisrahmens liegende Datenbrille erfüllt. Damit kann die Beschaffung angestoßen und das AR-Anwendungsszenario umgesetzt werden.

[51] Da sich der Bezugspunkt aus den geforderten Ausprägungen der umzusetzenden Geschäftsidee ergibt, hat eine *Übererfüllung einer Anforderung* keine Auswirkung auf die Berechnung des Erfüllungsgrades.

- **Prioritäten abwägen:** Die gestellten Anforderungen werden durch eine Datenbrille erfüllt, die noch nicht am Markt verfügbar ist oder die Preisvorgabe übersteigt. Unter Berücksichtigung unternehmensindividueller Faktoren ist zu entscheiden, ob bis zum Markteintritt der Datenbrille gewartet bzw. die Preisvorgabe korrigiert werden kann.
- **Anforderungen anpassen:** Die gestellten Anforderungen werden durch keine Datenbrille erfüllt. Eine am Markt befindliche und im Preisrahmen liegende Datenbrille weist den höchsten Erfüllungsgrad auf. Es empfiehlt sich zu überprüfen, ob die Anforderungen derart angepasst werden können, dass die Datenbrille diese erfüllt. So könnte ein im Funktionsumfang eingeschränktes Release umgesetzt werden, welches bei Verfügbarkeit leistungsfähigerer Datenbrillen sukzessive weiterentwickelt wird.
- **Alternativen prüfen**: Keine der untersuchten Datenbrillen erfüllt die gestellten Anforderungen. Da das Anwendungsszenario selbst mit zukünftig verfügbaren Datenbrillen nicht ohne Einschränkung umgesetzt werden kann, empfiehlt es sich, die Umsetzung mit einem Handheld-System erneut zu überprüfen oder die Machbarkeit zu einem späteren Zeitpunkt neu zu bewerten.

Der Leitfaden endet mit der Auswahl eines AR-Systems. Das ausgewählte AR-System ist in einem **Werkzeugprofil** zu dokumentieren und in das Partialmodell *Werkzeuge* zu integrieren.

Als **Resultat** der Produkt-Service-Konzipierung liegt eine disziplinübergreifende Beschreibung des Produkt-Service-Systems für die umzusetzende Geschäftsidee vor. Als Kommunikations- und Kollaborationsplattform dient das Produkt-Service-Konzept der Verständigung der beteiligten Akteure und bildet den Grundstein für die sich an die Systematik anschließenden Entwicklungsaktivitäten.

4.4.2 Phase 2: Konzipierung des Geschäftsmodells

Anknüpfend an die Konzipierung des Produkt-Service-Systems erfolgt die Entwicklung eines tragfähigen Geschäftsmodells für die umzusetzende Geschäftsidee. Aufgrund der in der vorliegenden Arbeit fokussierten Weiterentwicklung des Produkt-Service-Portfolios zielt die Geschäftsmodellkonzipierung dabei auf eine **angebotsinduzierte Transformation des bestehenden Geschäftsmodells** ab. Vor dem Hintergrund der Ausführungen in *Abschnitt 2.3.2* gilt das Hauptaugenmerk dieser Phase der Berücksichtigung **technologiespezifischer Herausforderungen,** die mit dem Einsatz von AR verbunden sind. Zudem wird den wechselseitigen Abhängigkeiten zwischen Produkt-Service-Konzept und Geschäftsmodell durch einen **integrativen Betrachtungsansatz** Rechnung getragen.

Die Beschreibung des Geschäftsmodells erfolgt mit Hilfe eines **Geschäftsmodellrahmens** in Anlehnung an KÖSTER [Kös14, S. 96ff.] und GAUSEMEIER ET AL. [GWE+17, S. 25ff.]. Dieser baut auf der Business Model Canvas nach OSTERWALDER und PIGNEUR [OP10, S. 44] auf (vgl. *Abschnitt 3.4.1*) und umfasst zehn *Geschäftsmodellelemente* (u.a.

Kundensegment, Nutzenversprechen, Marktleistung), die in vier *Partialmodellen* (u.a. Angebotsmodell, Kundenmodell) zusammengefasst sind. Zusätzlich beinhaltet der Geschäftsmodellrahmen ein Feld, um spezifische Risiken, die mit einem Geschäftsmodell verbunden sind, zu dokumentieren. Im Zuge der Geschäftsmodellkonzipierung erfolgt eine schrittweise Ausgestaltung der Geschäftsmodellelemente. Um eine kundenorientierte Sichtweise zu gewährleisten, folgt die Arbeit der für die strategische Produktplanung vorgeschlagenen **angebotsgetriebenen Bearbeitungsreihenfolge** [Kös14, S. 122]. Diese sieht eine Bearbeitung des Geschäftsmodellrahmens beginnend mit dem Angebotsmodell über das Kunden- und Wertschöpfungsmodell bis zum Finanzmodell vor.

Eingangsgröße für die Geschäftsmodellkonzipierung bilden neben dem bestehenden Geschäftsmodell Informationen aus der Geschäftsideenfindung und Produkt-Service-Konzipierung. Die Notwendigkeit einer **integrativen Betrachtung von Geschäftsmodell, Produkt-Service-Konzept und Geschäftsidee** wird mit Blick auf die vorangegangenen Schritte der Systematik deutlich: Mit der Auswahl einer Geschäftsidee (vgl. *Abschnitt 4.3*) und der Entwicklung des Produkt-Service-Konzepts (vgl. *Abschnitt 4.4.1*) wurden bereits Maßgaben für die Ausgestaltung des Geschäftsmodells festgelegt. Wie in Bild 4-28 dargestellt, betrifft dies vorrangig das Angebotsmodell, dessen Geschäftsmodellelemente durch die Partialmodelle des Produkt-Service-Konzepts (Marktleistung) sowie die Value Proposition Canvas (Kundensegment, Nutzenversprechen) beschrieben sind.

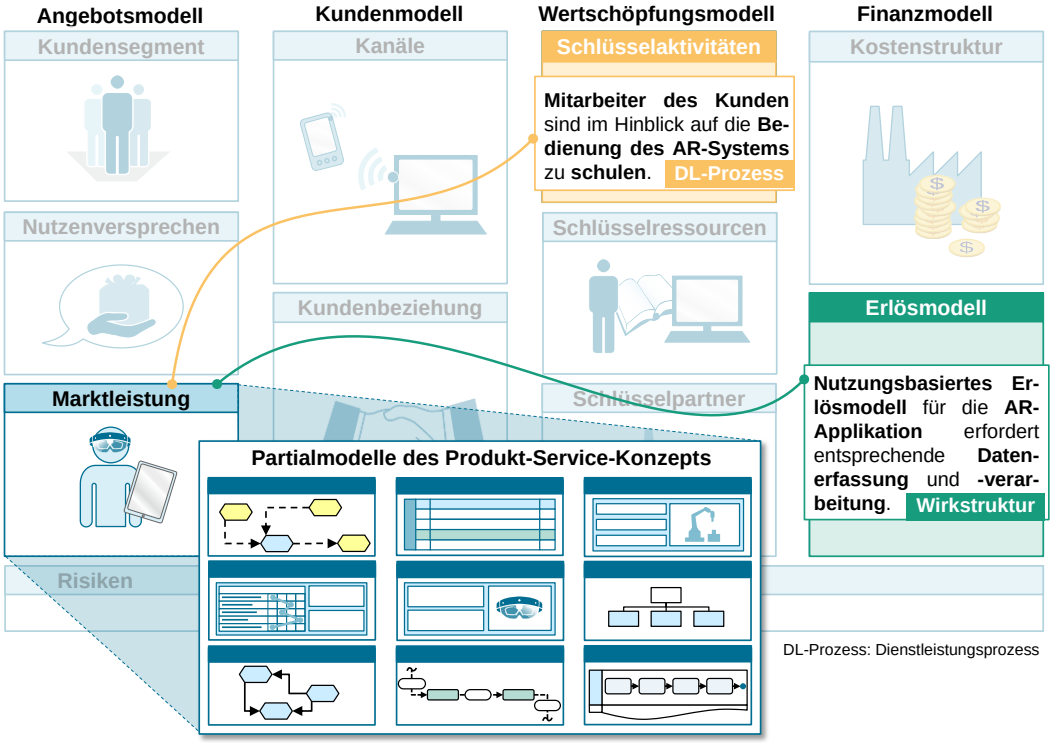


Bild 4-28: Wechselwirkungen zwischen Produkt-Service-Konzept und Geschäftsmodell

Zur Ableitung von Informationen aus der Geschäftsideenfindung und Produkt-Service-Konzipierung sind die bis hierhin erarbeiteten **Ergebnisdokumente** auf ihren Beitrag zur

Geschäftsmodellkonzipierung zu untersuchen[52]. Neben direkten Vorgaben für die Ausprägungen einzelner Geschäftsmodellelemente (z.B. Übernahme des Kundensegments aus der Value Proposition Canvas) lassen sich – wie in Bild 4-28 dargestellt – aus den Ergebnisdokumenten auch Rückschlüsse auf erforderliche Aktivitäten und Ressourcen für das Geschäftsmodell ziehen (z.B. Schulung des Kunden im Umgang mit dem AR-System). Da Geschäftsmodell, Produkt-Service-Konzept und Geschäftsidee in einer **wechselseitigen Abhängigkeit** zueinanderstehen, sind in gleichem Maße Einflüsse des Geschäftsmodells auf das Produkt-Service-Konzept (z.B. Integration geeigneter Mechanismen zur Datenerfassung und -verarbeitung bei Wahl eines nutzungsbasierten Erlöskonzeptes) und die Geschäftsidee (z.B. Auswahl einer alternativen Geschäftsidee in Ermangelung eines geeigneten Kanals zur Kundenansprache) zu berücksichtigen. Im Sinne eines iterativen Vorgehens sind daher Rücksprünge in vorgelagerte Phasen möglich.

Um die technologiespezifischen Auswirkungen auf das bestehende Geschäftsmodell transparent darzulegen, stellt die Systematik ein **Geschäftsmodellkartenset** als Hilfsmittel bereit. Dieses beruht auf zehn, in einer Literaturrecherche identifizierten und in Expertengesprächen im Forschungsprojekt AcRoSS diskutierten Herausforderungen, mit denen sich Unternehmen bei der Entwicklung von Geschäftsmodellen für AR konfrontiert sehen [RWG+19]. Grundlage bilden die in *Abschnitt 2.3.2* erläuterten Herausforderungen im industriellen Einsatz von AR, die auf ihre Relevanz für die Geschäftsmodellentwicklung geprüft und um zusätzliche Aspekte erweitert wurden. Eine Übersicht der im Geschäftsmodellkartenset adressierten Herausforderungen zeigt Bild 4-29.

Bild 4-29: AR-spezifische Herausforderungen bei der Geschäftsmodellentwicklung

[52] Zu den Ergebnisdokumenten zählen die *Value Proposition Canvas* und der *Geschäftsideensteckbrief* aus der Geschäftsideenfindung (vgl. *Abschnitt 4.2*) sowie die *Partialmodelle zur Beschreibung des Produkt-Service-Systems* aus der Produkt-Service-Konzipierung (vgl. *Abschnitt 4.4.1*). Der Abgleich zwischen Geschäftsmodell, Produkt-Service-Konzept und Geschäftsidee kann in Form einer tabellarischen Gegenüberstellung der Ergebnisdokumente mit den Geschäftsmodellelementen erfolgen.

Im Folgenden werden die **AR-spezifischen Herausforderungen** näher erläutert.

1) Ungewissheit der Nutzerakzeptanz: Aufgrund ihrer bislang vergleichsweise geringen Verbreitung ist der Umgang mit AR-Anwendungen für viele Anwender eine ungewohnte Erfahrung. Neue Anforderungen ergeben sich beispielsweise aus der Verwendung von Datenbrillen, deren Bedienkonzepte sich teils erheblich von etablierten Mobilgeräten unterscheiden (z.B. Kombination aus Kopfbewegung und Handgesten). Neben neuer technologieimmanenter Formen der Nutzerführung und -interaktion erfordern bestimmte AR-Anwendungsszenarien darüber hinaus die Bereitschaft, neue Aufgaben zu übernehmen (z.B. Reparatur einer Maschine). Aus diesem Grund sind im Rahmen der Geschäftsmodellentwicklung Mechanismen zur Sicherstellung der Nutzerakzeptanz zu berücksichtigen [ISO18039, S. 45], [RR16, S. 139ff.].

2) Abhängigkeit zur Einsatzumgebung des Kunden: Wird AR als Bestandteil eines Produkt-Service-Systems angeboten, befindet sich die Einsatzumgebung der AR-Applikation in der Regel beim Kunden und damit außerhalb des Unternehmens des Anbieters. Häufig unterscheidet sich die Einsatzumgebung zudem von Kunde zu Kunde und kann nur begrenzt beeinflusst werden (z.B. Lichtverhältnisse, IT-Infrastruktur). Angesichts der hohen Bedeutung der Umgebungseinflüsse auf die Funktionstauglichkeit der AR-Applikation sind Lösungen zur Sicherstellung der Funktionalität in unterschiedlich ausgeprägten Einsatzumgebungen zu finden [Cra13, S. 215ff.], [QKG+18, S. 1134].

3) Konformität zu rechtlichen Fragestellungen: Die Funktionsweise von AR bedingt, dass Informationen aus der Umgebung in Echtzeit erfasst und digital erweitert ausgegeben werden. Vor diesem Hintergrund sind rechtliche Fragestellungen ins Kalkül zu ziehen, u.a. in Bezug auf die Informationssicherheit (Security, Privacy), Betriebssicherheit (Safety) und Haftung, die teils von der Art der technischen Umsetzung abhängig sind (z.B. Ort der Datenspeicherung). Gleichzeitig sind noch nicht alle Fragen von der derzeitigen, zum Teil zwischen einzelnen Ländern variierenden Rechtsprechung zweifelsfrei geklärt [RKD+14, S. 1283ff.], [KFJ+19, S. 90ff.].

4) Unsicherheit bei der Auswahl von AR-Technologien: Der Markt für AR-Technologien (z.B. Hard- und Software-Komponenten) ist durch eine hohe Dynamik geprägt. Aufgrund des technischen Fortschritts besteht die Gefahr, dass Technologien schnell veralten (z.B. Leistungsfähigkeit, Ergonomie) oder nicht mehr unterstützt werden (z.B. Einstellung der Technologie-Plattform Tango von Google in 2017). Gleichzeitig ist es für Anbieter von AR-Lösungen entscheidend, mit der technologischen Entwicklung Schritt zu halten, um im Wettbewerb bestehen zu können. Den daraus resultierenden Unsicherheiten bei der Auswahl von AR-Technologien und der Festlegung des Investitionszeitpunkts sind im Geschäftsmodell geeignet zu entgegnen [Cra13, S. 134f.], [KFJ+19, S. 77ff.].

5) Fehlende Kompetenzen im Unternehmen: Durch das Angebot AR-basierter Produkt-Service-Systeme werden in vielen Fällen neue Kompetenzen im Unternehmen benötigt. Dazu gehören unter anderem die Entwicklung, das Testen und die Wartung der AR-Applikation, die Konzipierung, der Aufbau und die Administration der erforderlichen

IT-Infrastruktur, die Kommerzialisierung durch Marketing und Vertrieb sowie die Unterstützung des Kunden im After-Sales. Im Rahmen der Geschäftsmodellentwicklung ist daher zu entscheiden, wie diese Kompetenzen sichergestellt werden können (z.B. Aufbau, Outtasking) [PH16, S. 10f.], [NST18, S. 177f.].

6) Eingeschränkte Verfügbarkeit von Modelldaten: Für die Visualisierung mit AR sind i.d.R. speziell aufbereitete 3D-Modelle erforderlich. Im Kontext von Produkt-Service-Systemen sind diese 3D-Modelle häufig Repräsentationen von Komponenten der Sachleistung (z.B. Bauteil einer Maschine), die mit Hilfe von AR veranschaulicht werden. Bei einer geringen Fertigungstiefe der Sachleistung werden die Dateien, aus denen die 3D-Modelle gewonnen werden können (z.B. CAD-Modelle), jedoch häufig vom Lieferanten gehalten und sind nicht oder nicht in der aktuellsten Version zugänglich. Vor diesem Hintergrund sind geeignete Ansätze zur Bereitstellung der benötigten Modelldaten zu überlegen [ZON13, 1713], [PH16, S. 12].

7) Aufwand für die Bereitstellung der Inhalte für die AR-Applikation: Zentraler Bestandteil einer AR-Applikation sind die Modelldaten, die aktuell und konsistent zu der spezifischen Konfiguration des Produkts beim Kunden gehalten werden müssen. Der Aufwand für die Erstellung der Inhalte und die Häufigkeit notwendiger Aktualisierungen kann in Abhängigkeit des AR-Anwendungsszenarios und unternehmensspezifischer Faktoren (z.B. Anzahl der Produktvarianten) sehr hoch sein. Im Zuge der Geschäftsmodellentwicklung sind daher Überlegungen zu treffen, wie die Inhalte für die AR-Applikation mit vertretbarem Aufwand bereitgestellt werden können [MS16, S. 26], [JER18, S. 18ff.].

8) Unsicherheit bei der Auswahl von Partnern: Der Markt für AR-Applikationen ist hochgradig dynamisch und fragmentiert (vgl. *Abschnitt 2.3.1*). Bislang konnten sich kaum Standards etablieren, das Marktgeschehen ist gekennzeichnet durch das Nebeneinander zahlreicher, auf den ersten Blick nahezu gleichwertiger Angebote. Darüber hinaus treten viele Start-ups in den Markt ein, deren Fortbestand ungewiss ist, woraus sich Risiken ergeben – etwa mangelnder Support durch Insolvenz oder Erwerb durch Dritte (z.B. Akquisition der Firma metaio durch Apple in 2015). Darüber hinaus versuchen Softwareanbieter, Unternehmen an ihre Produkte zu binden (Vendor Lock-In). Für Unternehmen ist die Auswahl von Schlüsselpartnern daher mit einer hohen Unsicherheit verbunden [Ped17, S. 291f.], [KFJ+19, S. 33].

9) Wirtschaftliche Bereitstellung der AR-Systeme: Für die Verwendung einer AR-Applikation wird zwangsläufig ein AR-System benötigt. Im industriellen Umfeld sind diese bislang jedoch wenig verbreitet (speziell Datenbrillen), was die Skalierbarkeit des Geschäftsmodells erschwert. Angesichts der aktuell hohen marktüblichen Preise für AR-Systeme (Handheld-Systeme: 500-1.000 €; Datenbrillen: 1.500-3.000 €) ist der Einsatz von AR daher in vielen Fällen mit erheblichen Investitionen verbunden. Im Geschäftsmodell sind daher geeignete Mechanismen zur Kompensation der hohen Startinvestitionen zu finden [PH16, S. 13], [QKG+18, S. 1134].

10) Zahlungsbereitschaft des Kunden: Häufig stellen AR-Anwendungsszenarien die Weiterentwicklung einer bestehenden Dienstleistung dar, für die der Kunde bereits einen Preis entrichtet (z.B. Reparatur als Bestandteil eines Service-Vertrags). Damit das Angebot AR-basierter Produkt-Service-Systeme profitabel ist, müssen höhere Kosten, die mit AR verbunden sind, durch höhere Einnahmen oder Kosteneinsparungen gedeckt werden. Aufgrund der Neuartigkeit von AR und mangelnder Erfahrung bestehen seitens des Kunden jedoch unter Umständen Vorbehalte, einen Aufpreis gegenüber der bestehenden Dienstleistung zu zahlen, denen im Geschäftsmodell mit geeigneten Erlösmodellen zu entgegnen ist [NST18, S. 178], [MS14, S. 134f.].

Jede der aufgeführten Herausforderungen ist steckbriefartig in einer sog. **Geschäftsmodellkarte** beschrieben, wie exemplarisch in Bild 4-30 dargestellt. Eine vollständige Übersicht der Geschäftsmodellkarten ist in *Anhang A2.8* abgebildet.

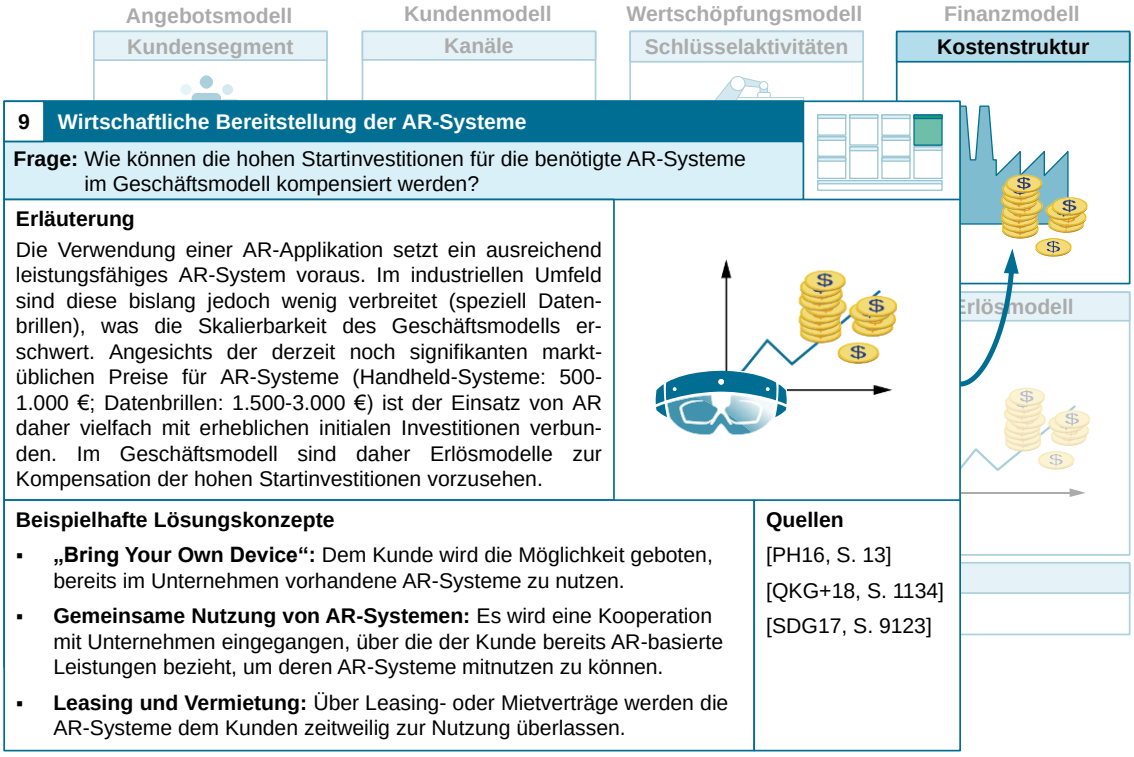


Bild 4-30: Geschäftsmodellkarten als Hilfsmittel bei der Geschäftsmodellentwicklung

Jede Geschäftsmodellkarte enthält eine **Eräuterung** der Herausforderung sowie eine zugehörige **Schlüsselfrage**, die im Rahmen der Geschäftsmodellentwicklung zu beantworten ist. Darüber hinaus beinhaltet die Geschäftsmodellkarte **beispielhafte Lösungskonzepte**, die sich für die Bewältigung der Herausforderung eignen. Um etwa die hohen Anfangsinvestitionen für AR-Systeme zu reduzieren, kann– wie in Bild 4-30 dargestellt – Kunden die Möglichkeit geboten werden, eigene, bereits bestehende Endgeräte zu verwenden (*Bring Your Own Device*). Eine **Zuordnung zu den Geschäftsmodellelementen**, auf die sich die Geschäftsmodellkarte bezieht, ermöglicht eine zielgerichtete Diskus-

sion zu einzelnen Aspekten des Geschäftsmodellrahmens (z.B. Erlösmodell, Schlüsselressourcen). Zudem sind **Literaturquellen** referenziert, die weiterführende Informationen zu der auf der Geschäftsmodellkarte beschriebenen Herausforderung enthalten.

Das Kartenset dient als methodisches Hilfsmittel zur Detaillierung des Geschäftsmodellrahmens. Die Verwendung der Geschäftsmodellkarten erfolgt in interdisziplinären Teams im Rahmen von **Geschäftsmodellworkshops**. Es empfiehlt sich, ausgehend von dem bestehenden Geschäftsmodell und der zuvor analysierten Ergebnisdokumente einen initialen Entwurf für das neue Geschäftsmodell zu erstellen und diesen anschließend mit Hilfe der Geschäftsmodellkarten weiterzuentwickeln. Sofern das bestehende Geschäftsmodell als Grundlage genommen wird, sind analog zur Produkt-Service-System-Konzipierung die aus der Integration von AR resultierenden Veränderungen an den Geschäftsmodellelementen als solche kenntlich zu machen. Anhand der auf den Karten beschriebenen Herausforderungen lassen sich mögliche Schwachstellen und versteckte Fallstricke des Geschäftsmodellentwurfs aufdecken, während die beispielhaften Lösungsansätze Anregung für konkrete Gestaltungsoptionen liefern. Um die Robustheit des Geschäftsmodells zu gewährleisten, empfiehlt es sich, sämtliche Geschäftsmodellkarten zu berücksichtigen. Die Leitfragen sowie die beispielhaften Lösungskonzepte auf den Geschäftsmodellkarten fördern die Kreativität, unterstützen den Lösungsfindungsprozess und münden in einer Vielfalt an Ideen, aus denen sich verschiedene Geschäftsmodellvarianten ableiten lassen. Im Zuge der Ausgestaltung der Geschäftsmodelle ist sicherzustellen, dass die gewählten Gestaltungsoptionen widerspruchsfrei und konsistent zueinander sind [Sch15b, S. 316f.].

Als Ergebnis der Geschäftsmodellworkshops liegen mehrere Geschäftsmodellvarianten vor. Um zu bestimmen, welches Geschäftsmodell das größte Erfolgspotential aufweist, wird für die **Geschäftsmodellbewertung** auf bestehende Bewertungsansätze aus der Literatur zurückgegriffen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden die Geschäftsmodellvarianten in Anlehnung an BÄTZEL [Bät04, S. 126] und AMSHOFF [Ams16, S. 141ff.] hinsichtlich der Dimensionen *Attraktivität* und *Erreichbarkeit* bewertet[53].

Die **Attraktivität** spiegelt wider, wie Erfolg versprechend die Umsetzung des Geschäftsmodells aus Sicht des anbietenden Unternehmens ist. Zur Bewertung der Attraktivität werden insgesamt drei Kriterien ins Kalkül gezogen: Das Kriterium *Wirtschaftlichkeit* betrachtet die ökonomischen Erfolgsaussichten des Geschäftsmodells. Diese ergeben sich

[53] Zur Fundierung der im Folgenden beschriebenen Bewertung empfiehlt sich der Rückgriff auf *zusätzliches Wissen aus der strategischen Planung*, dessen Erarbeitung jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit ist (z.B. Branchenanalyse, Zukunftsszenarien). Für eine Übersicht geeigneter Methoden zur Generierung der Wissensartefakte sei verwiesen auf [GDE+19, S. 97ff.].

aus der Betrachtung des Business Cases[54] als Konkretisierung des Finanzmodells. Zusätzlich wird die zu erwartende *Wettbewerbsintensität* beurteilt, die den Grad und die Ausprägung des Konkurrenzverhaltens und damit die Umkämpftheit des anvisierten Marktes beschreibt. Mit der *Zukunftsrobustheit* wird das Geschäftsmodell vor dem Hintergrund zukünftiger Entwicklungen bewertet. Das Geschäftsmodell kann als zukunftsrobust angesehen werden, wenn es in eine hohe Konsistenz zu einer möglichst großen Breite für die Zukunft prognostizierter Entwicklungen aufweist.

Die Dimension **Erreichbarkeit** subsumiert unter Berücksichtigung der bestehenden Kompetenzen den Aufwand, der mit der Realisierung eines Geschäftsmodells verbunden ist. Dem Verständnis von LOMBRISER und ABPLANALP folgend, die unter Kompetenzen die Kombination von Fähigkeiten und Ressourcen verstehen [LA05, S. 167], wird das Geschäftsmodell im Hinblick auf *Synergien mit bestehenden Ressourcen* (sowohl materiell, z.B. Anlagen, als auch immateriell, z.B. Patente) und *Synergien mit bestehenden Fähigkeiten* (z.B. Unternehmensfunktionen, Prozesse) bewertet. Darüber hinaus wird auf Grundlage der Unsicherheit, die mit den im Business Case getroffenen Prämissen verbunden ist, das *Umsetzungsrisiko* beurteilt. Orientierung bieten dabei die im Geschäftsmodellrahmen dokumentierten Risiken.

Unter Verwendung einer gewichteten Punktebewertung (vgl. *Abschnitt 4.3.1.2*) werden die entwickelten Geschäftsmodellvarianten im Hinblick auf ihre Attraktivität und Erreichbarkeit beurteilt. Zur visuellen Interpretation werden die Ergebnisse in Anlehnung an AMSHOFF in einem **Geschäftsmodellportfolio** mit den Achsen *Attraktivität* (Ordinate) und *Erreichbarkeit* (Abszisse) dargestellt [Ams16, S. 144]. Entsprechend der Geschäftsmodellpriorität, die sich entlang der Diagonalen des Portfolios ergibt, ist eine Geschäftsmodellvariante für die Umsetzung auszuwählen.

Als **Resultat** der Geschäftsmodellkonzipierung liegt ein Erfolg versprechendes Geschäftsmodell für die umzusetzende Geschäftsidee vor. Es ist in einem Geschäftsmodellrahmen dokumentiert und beschreibt die Logik zur ökonomischen Inwertsetzung des AR-basierten Produkt-Service-Systems.

4.4.3 Phase 3: Planung von Maßnahmen

Im Anschluss an die Produkt-Service- und Geschäftsmodellkonzipierung erfolgt die Erstellung einer Umsetzungsroadmap. Ziel ist die Festlegung einer zielführenden Reihenfolge der für die Umsetzung erforderlichen Maßnahmen unter Berücksichtigung der zeitlichen und inhaltlichen Abhängigkeiten. Zur Erstellung der Umsetzungsroadmap empfiehlt sich der Rückgriff auf etablierte **Instrumente der Projektplanung** [Blo94, S. 203],

[54] Ein *Business Case* ist ein Instrument zur Analyse der finanziellen Auswirkungen von Investitionen und dient der unternehmerischen Entscheidungsunterstützung [VBG13, S. 9f.], [Tas17, S. 5ff.]. Die Berechnung von Business Cases erfolgt durch Rückgriff auf Methoden der Investitionsrechnung, z.B. Kapitalwertmethode, Amortisationsrechnung [Mes13, S. 90ff.], [Tas17, S. 83ff.].

[KHL+11, S. 120ff.]. Mit Hilfe eines *Projektstrukturplans*[55] wird zunächst eine vollständige hierarchische Gliederung des Projektes in Teilaufgaben und Arbeitspakete erstellt. Konkrete Anhaltspunkte für die Ableitung von Maßnahmen bilden die Ergebnisdokumente aus den vorangegangenen Phasen der Systematik sowie die über Symbole darin kenntlich gemachten Modifikationsbedarfe (vgl. *Abschnitte 4.4.1* und *4.4.2*). Der daraus hervorgehende Handlungsbedarf umfasst die erforderlichen Anpassungen sowohl am Produkt-Service-System als auch am Geschäftsmodell. Die ermittelten Maßnahmen werden anschließend mittels der *Netzplantechnik*[56] unter Einbeziehung der verfügbaren Ressourcen in eine zeitliche und logische Reihenfolge gebracht.

Für eine intuitiv verständliche Darstellung werden die zeitlichen Abläufe in einer **Umsetzungsroadmap**[57] visualisiert. Als *Planungsobjekte* dienen die identifizierten Maßnahmen, die entlang einer horizontal verlaufenden *Zeitachse* entsprechend ihrer geplanten Bearbeitungszeit in Balkenform dargestellt sind. *Abhängigkeiten zwischen den Planungsobjekten* (z.B. definierte Meilensteine) werden durch vertikal verlaufende Linien gekennzeichnet. Über die *Planungsebenen* können die Planungsobjekte den verantwortlichen Funktionsbereichen zugeordnet werden. Die Umsetzungsroadmap bildet damit einen konkreten Plan für die Operationalisierung der Geschäftsidee.

Mit den Ergebnisdokumenten aus der Produkt-Service- und Geschäftsmodellkonzipierung sowie der Umsetzungsroadmap liegen alle relevanten Informationen für einen Entwicklungsauftrag vor. In Anlehnung an Köster [Kös14, S. 143ff.] werden die Ergebnisse in einem sog. **AR-Roadbook** prägnant zusammengefasst. Das in Bild 4-31 gezeigte *Deckblatt für das AR-Roadbook* versteht sich als Visualisierungsvorschlag und kann entsprechend unternehmensindividueller Vorgaben aus dem Innovations- und Produktentwicklungsprozess angepasst werden.

---

[55] Gemäß DIN 69901 dient ein *Projektstrukturplan* der übersichtlichen Darstellung der Gesamtheit aller Aufgaben eines Projektes mit dem Ziel, Orientierung für die Stakeholder zu schaffen. Die Projektstrukturierung erfolgt durch fortlaufende Untergliederung der Gesamtaufgabe in Teilaufgaben bis hin zu Arbeitspaketen auf der untersten Gliederungsebene. Arbeitspakete sind in sich geschlossene, delegierbare Aufgaben, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit als Maßnahmen verstanden werden [DIN69901].

[56] Die *Netzplantechnik* ist ein Instrument zur Planung und Steuerung von Abläufen unter Berücksichtigung von Zeit, Kosten und Ressourcen auf Basis der Graphentheorie. Entsprechend ihrer Abhängigkeiten werden Abläufe miteinander verkettet und in einem Netzplan graphisch abgebildet [DIN69900].

[57] *Roadmaps* sind ein Instrument der strategischen Planung und dienen der Synchronisierung und graphischen Repräsentation der zeitlichen Verknüpfung von Planungsobjekten [MI08, S. 3ff.], [SKS+11, S. 207], [Bri10, S. 31]. In Anlehnung an die European INDUSTRIAL RESEARCH MANAGEMENT ASSOCIATION umfasst eine Roadmap in der vorliegenden Arbeit eine Zeitachse mit Planungsebenen, entlang derer die Planungsobjekte in Form von Balken sowie ihre Verknüpfungen dargestellt sind [EIR97].

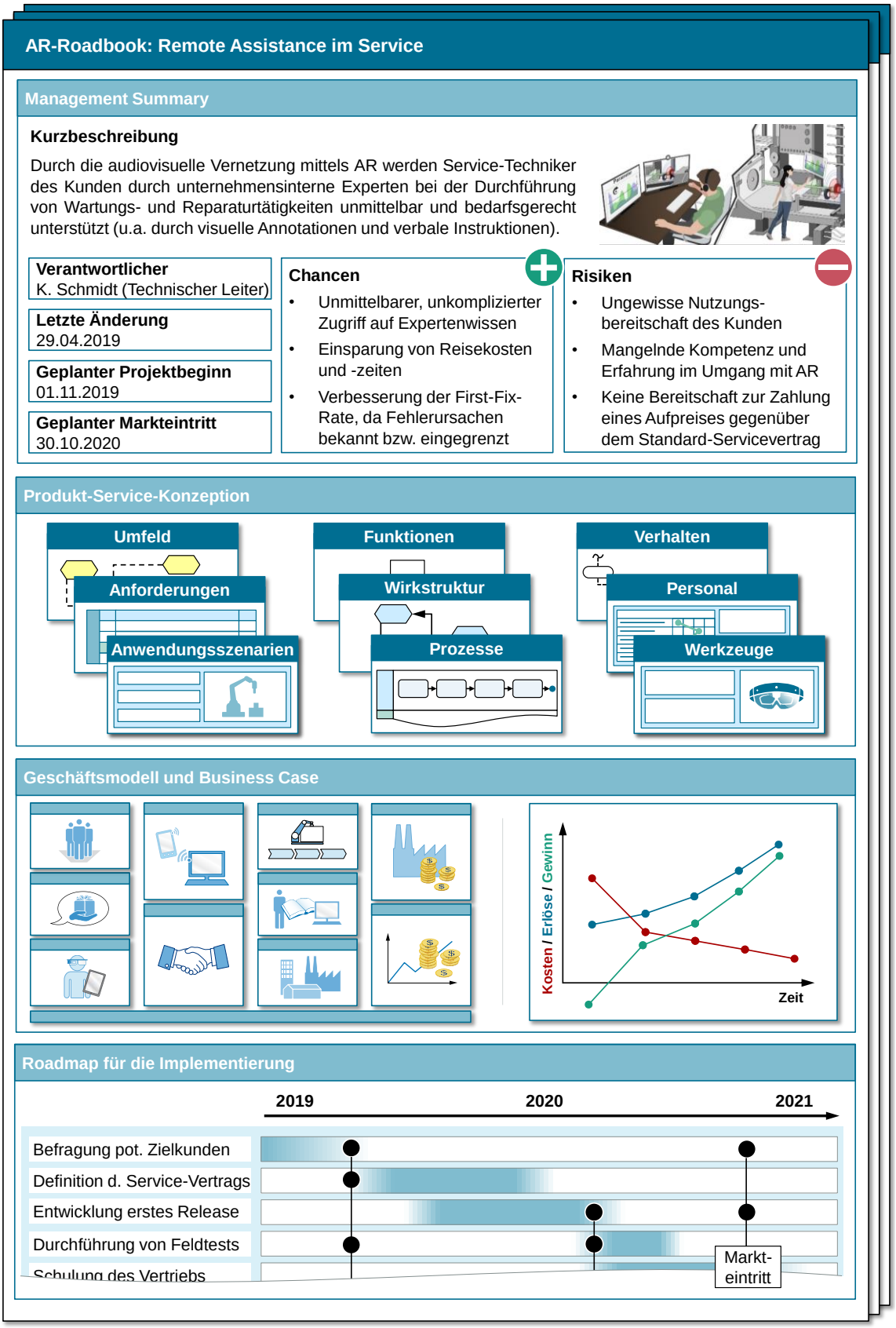


Bild 4-31: Zusammenfassung der Ergebnisse in einem AR-Roadbook

Das AR-Roadbook enthält eine **Management Summary**, in der die Geschäftsidee mit den verbundenen Chancen und Risiken sowie projektrelevanten Eckdaten (z.B. Verantwortlichkeiten, Projektlaufzeit) beschrieben ist. Mit den **Partialmodellen für das Produkt-Service-System**, dem **Geschäftsmodell** sowie dem **Business Case**, die dem Deckblatt als Anlage beigefügt sind, enthält das AR-Roadbook die zentralen Ergebnisdokumente aus der Produkt-Service- und Geschäftsmodellkonzipierung. Komplettiert wird das AR-Roadbook durch die **Umsetzungsroadmap**, aus der die zeitliche Ablaufplanung der erforderlichen Schritte für die Umsetzung der Geschäftsidee hervorgeht.

Mit dem AR-Roadbook liegt als abschließendes und zusammenfassendes **Ergebnis** der Systematik ein Entwicklungsauftrag vor. Es enthält alle relevanten Informationen für die erforderlichen Anpassungen des bestehenden Produkt-Service-Systems und Geschäftsmodells sowie einen konkreten Plan für die schrittweise Realisierung der Geschäftsidee in Form einer Umsetzungsroadmap.

5 Anwendung und Bewertung

Das vorliegende Kapitel beschreibt die exemplarische Anwendung der *Systematik zur strategischen Planung von Augmented Reality* auf eine konkrete Problemstellung aus dem Forschungsverbundprojekt AcRoSS. Gegenstand des Anwendungsbeispiels ist die Untersuchung der Potentiale von AR für das Produkt-Service-Geschäft eines mittelständischen Unternehmens, das Maschinen und Anlagen für das industrielle Druckwesen herstellt (vgl. *Abschnitt 5.1*). Vor diesem Hintergrund wird in den *Abschnitten 5.2* und *5.3* gezeigt, wie die Bestandteile der Systematik in der Anwendung funktionieren. Aus Gründen der Geheimhaltung erfolgt die Darstellung der Ergebnisse mit veränderten Bewertungen. Das Kapitel endet mit einer Bewertung der Systematik anhand der Anforderungen aus der Problemanalyse (vgl. *Abschnitt 2.5*) in *Abschnitt 5.4*.

5.1 Anwendungsbeispiel: AR im industriellen Druckwesen

Die folgenden Ausführungen zeigen die Anwendung der Systematik auf ein Beispiel aus dem Maschinen- und Anlagenbau im Kontext des **industriellen Druckwesens**. Die Darstellung erfolgt aus Perspektive eines mittelständischen Unternehmens, das Lösungen für die Druckvorstufe entwickelt, produziert und am Markt vertreibt.

Die **Druckvorstufe** umfasst alle Arbeitsschritte, die dem eigentlichen Druckprozess vorgelagert sind [Kip10, S. 25]. Hierzu zählen u.a. die Bildbearbeitung, die Layout-Erstellung sowie die Herstellung der Druckform (z.B. Druckplatte), mit deren Hilfe im Druckprozess Informationen auf einen Druckträger (z.B. Papier) übertragen werden. Mit der steigenden Automatisierung und Digitalisierung unterliegt die Druckvorstufe seit Ende der 1980er-Jahre einem evolutionären Veränderungsprozess, der zur Realisierung einer weitestgehend digitalen Druckvorstufe geführt hat [EIR09, S. 2]. Die Zusammenführung und Vorbereitung von Texten, Bildern und Grafiken für den Druck erfolgt nunmehr an einem einzigen PC-Arbeitsplatz. Per digitalem Workflow wird der Druckauftrag an die nachgelagerten Anlagen zur Druckformherstellung übermittelt, wo die Informationen vorrangig mit Hilfe der Technologie *Computer-to-Plate*[58] auf lichtempfindliche Druckplatten übertragen werden [Kip10, S. 27f.].

Über die technologische Veränderung in der Druckvorstufe hinaus hat die Digitalisierung zu einem grundlegenden **Strukturwandel im industriellen Druckwesen** geführt. Sinkende Auflagen für gedruckte Zeitungen, Zeitschriften und Bücher setzen die Branche unter einen enormen Kosten- und Wettbewerbsdruck, der Druckereien und Zulieferer für

[58] *Computer-to-Plate (CtP)* ist ein übergeordneter Begriff für Verfahren, die eine direkte Bebilderung von Druckplatten aus einem digitalen Datensatz heraus ermöglichen [Kip10, S. 623]. Gegenüber klassischen Filmbelichtungsverfahren zeichnet sich CtP durch geringere Kosten (Entfall von Filmmaterial als Zwischenträger) [Bla98, S. 275] und kürzere Einrichtezeiten an den Druckmaschinen aus [Kip10, S. 641].

die Druck- und Medienindustrie gleichermaßen betrifft [Zac16, S. 14]. Vor diesem Hintergrund ergibt sich die Forderung nach einer steigenden Produktivität, die ein reibungsloses Funktionieren der im Prozess involvierten Maschinen und einen durchgängigen digitalen Datenfluss von der Druckvorstufe über den Druck bis zur Weiterverarbeitung erfordert [Kip10, S. 11].

Die Produkte und Dienstleistungen des im Anwendungsbeispiels **betrachteten Unternehmens** betten sich in die Druckvorstufe ein und decken den gesamten Prozess vom Workflowmanagement über die Belichtung und Entwicklung der Druckplatten bis zu deren Bereitstellung am Druckturm ab. Um die Zuverlässigkeit und Effizienz seiner Maschinen zu verbessern und damit seine Wettbewerbsposition zu sichern, arbeitet das Unternehmen an der digitalen Weiterentwicklung seines Produkt-Service-Portfolios. Für die strategische Ausrichtung wurde hierfür eine Vision für die digital vernetzte Druckstufe entworfen, in die sich die zukünftigen Marktleistungen einbetten (vgl. Bild 5-1).

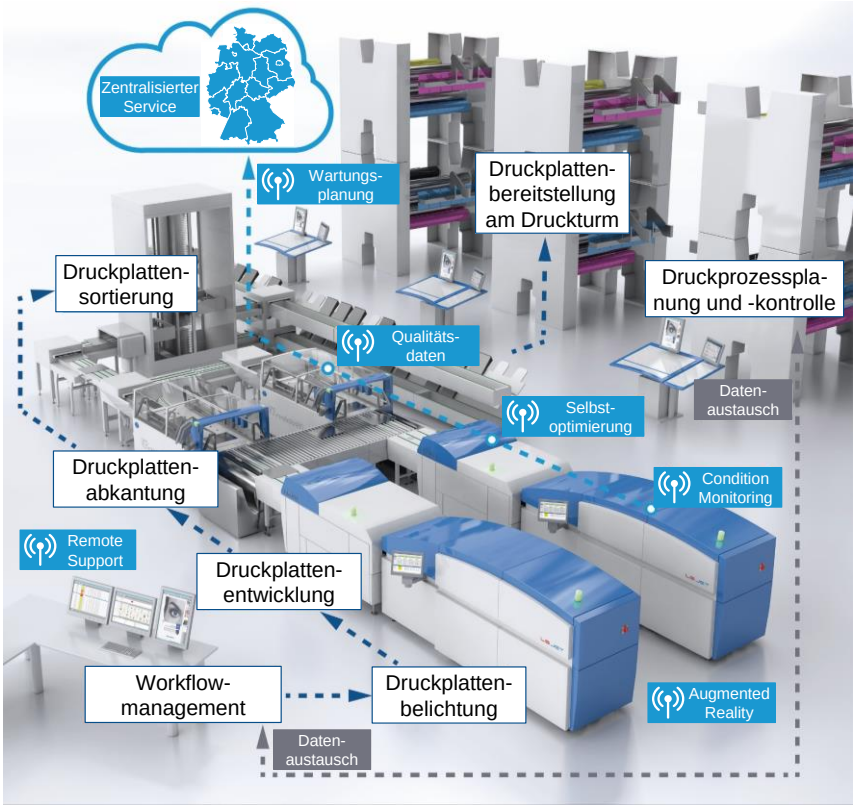


Bild 5-1: Vision einer digital vernetzten Druckvorstufe

Neben der Erweiterung um zusätzliche datenbasierte Services (z.B. Condition Monitoring) sollen speziell die **Einsatz- und Nutzenpotentiale von AR** zur Unterstützung des Kunden in der Druckvorstufe untersucht werden. Ausgehend von dieser Zielsetzung wird nachfolgend gezeigt, wie mit Hilfe der Systematik Potentiale für AR identifiziert, in Geschäftsideen überführt und deren Umsetzung strategisch geplant werden kann.

5.2 Geschäftsideenfindung

Vor dem Hintergrund der skizzierten Zielsetzung ist zunächst eine Stoßrichtung für die Geschäftsideenfindung auszuwählen. Da keine Vorüberlegungen zu einem konkreten AR-Anwendungsszenario vorliegen, wird für das weitere Vorgehen die **bedarfsinduzierte Geschäftsideenfindung** ausgewählt. Daher orientieren sich die folgenden Schritte an dem Vorgehensmodell und den beschriebenen Hilfsmitteln in *Abschnitt 4.3.1*.

5.2.1 Phase 1: Auswahl eines Geschäftsfelds

In der ersten Phase erfolgt die Auswahl eines Geschäftsfelds, für das auf dem Einsatz von AR basierende Geschäftsideen gefunden werden sollen. Zur Strukturierung des bestehenden Geschäfts werden in einer **Marktleistungs-Marktsegmente-Matrix** die angebotenen Marktleistungen des Unternehmens den Marktsegmenten gegenübergestellt. Aus den Schnittpunkten lassen sich Geschäftsfelder bzw. Hauptgeschäftsfelder als Schwerpunkte der Geschäftstätigkeit ableiten. Wie links in Bild 5-2 zu sehen, gliedert sich das Geschäft des betrachteten Unternehmens in vier Geschäftsfelder und drei Hauptgeschäftsfelder.

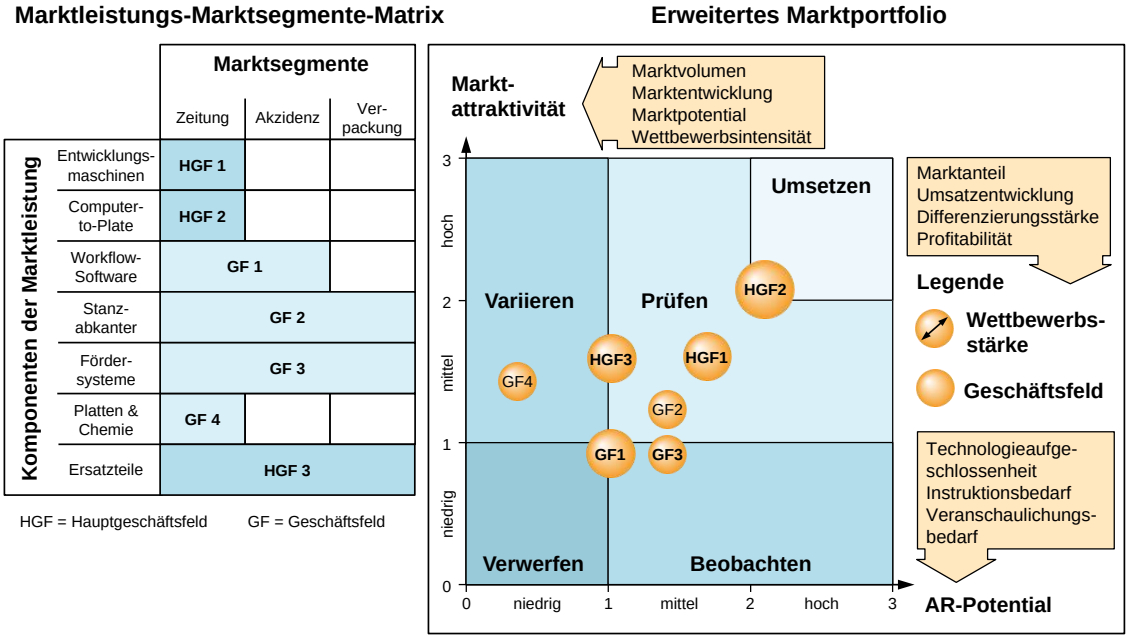


Bild 5-2: Bewertung der Geschäftsfelder im erweiterten Marktportfolio

Wichtigstes Marktsegment ist der **Zeitungsdruck**, für den u.a. Entwicklungsmaschinen (HGF 1) und Computer-to-Plate-Systeme (HGF 2) angeboten werden. Das Ersatzteilgeschäft (HGF 3) erstreckt sich als separates Geschäftsfeld über alle drei Marktsegmente. Die weiteren Marktleistungen wie Workflow-Software, Stanzabkanter und Fördersysteme werden als Handelsware für den Zeitungs-, Akzidenz- und Verpackungsdruck in Form eigenständiger Geschäftsfelder vertrieben.

Anhand der in *Abschnitt 4.3.1.1* beschriebenen Kriterien werden die Hauptgeschäftsfelder und Geschäftsfelder im Hinblick auf die drei Dimensionen *Marktattraktivität*, *Wettbewerbsstärke* und *AR-Potential* bewertet und in einem **erweiterten Marktportfolio** angeordnet, wie im rechten Teil von Bild 5-2 zu sehen. Die Ergebnisse zeigen, dass das Geschäftsfeld *Computer-to-Plate-Systeme für den Zeitungsdruck* in allen drei Dimensionen die höchste Bewertung aufweist. Während die hohe Bewertung der Marktattraktivität aus der Schlüsselrolle von CtP-Systemen in der Druckvorstufe resultiert, begründet sich die hohe Wettbewerbsstärke in der Rolle des betrachteten Unternehmens als einer der weltweiten Marktführer. Da es sich bei CtP-Systemen um komplexe mechatronische Produkte handelt, deren Nutzung mit wissensintensiven manuellen Vorgängen verbunden ist (z.B. Einrichten und Kalibrieren der Optik, Austausch von Systemkomponenten), ergibt sich zudem eine hohe Bewertung des AR-Potentials. Entsprechend der mit der Positionierung im Portfolio verbundenen Handlungsempfehlung wird das Geschäftsfeld *Computer-to-Plate-Systeme für den Zeitungsdruck* für die weitere Betrachtung ausgewählt.

Als **Resultat** der ersten Phase liegt ein ausgewähltes Geschäftsfeld vor, für das im Folgenden eine Analyse der AR-Anwendungsszenarien vorgenommen wird.

5.2.2 Phase 2: Analyse der AR-Anwendungsszenarien

Gegenstand der zweiten Phase ist die **Bewertung der AR-Anwendungsszenarien** aus *Abschnitt 4.2.4* vor dem Hintergrund des zuvor ausgewählten Geschäftsfeldes. Dazu werden die AR-Anwendungsszenarien dem Vorgehen in *Abschnitt 4.3.1.2* folgend im Hinblick auf den *Nutzen aus Sicht von Kunde und Anbieter*, den *Umsetzungsaufwand* sowie das *Umsatzpotential* bewertet.

Grundlage für die Bewertung des **Kundennutzens** bildet eine Analyse der Kundenbedarfe mittels einer *Value Proposition Canvas*, wie auszugsweise in Bild 5-3 dargestellt.

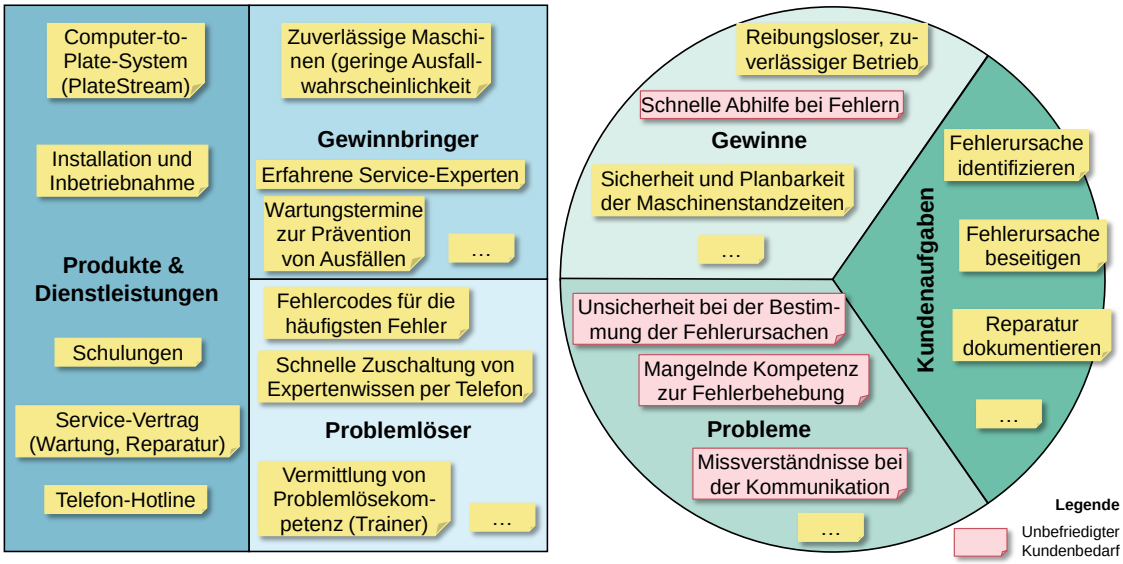


Bild 5-3: Analyse unbefriedigter Kundenbedarfe in einer Value Proposition Canvas

Zur Erhöhung der Validität erfolgt die Erstellung der **Value Proposition Canvas** in einem interdisziplinären Workshop unter Einbeziehung von Mitarbeitern einer mittelständischen Druckerei, die als repräsentative Kunden für das anvisierte Marktsegment gelten. Den *Kundenaufgaben* und den damit verbundenen *Gewinnen* und *Problemen* (rechter Teil in Bild 5-3) werden die vom betrachteten Unternehmen angebotenen Marktleistungen (linker Teil in Bild 5-3) gegenübergestellt. Es wird geprüft, welchen Beitrag die *Produkte und Dienstleistungen* leisten, um die Gewinne des Kunden zu erzeugen (*Gewinnerzeuger*) bzw. dessen Probleme zu lösen (*Problemlöser*).

Aus der Gegenüberstellung resultieren **unbefriedigte Kundenbedarfe**, also Gewinne und Probleme, die bislang nicht oder nur unzureichend durch das Leistungsangebot des Unternehmens adressiert werden (in Bild 5-3 rot markiert). Es zeigt sich, dass der Kunde beim Auftreten von Störungen im Betrieb des CtP-Systems mit Unsicherheiten bei der Bestimmung von Fehlerursachen konfrontiert ist. Zwar zeigt das CtP-System für ausgewählte Fehlerzustände korrespondierende Fehlercodes an, diesen können jedoch mitunter verschiedene Fehlerursachen zugrunde liegen. Darüber hinaus mangelt es den Maschinenbedienern bzw. Service-Technikern des Kunden häufig an der erforderlichen Kompetenz, die vorliegenden Fehler zu beheben. Die angebotene Telefon-Hotline liefert hier nur unzureichende Abhilfe, da es bei der Kommunikation häufig zu Missverständnissen kommt. Gleichzeitig mangelt es an Zeit für langwierige Abstimmungen, da der Zeitungsdruck zu später Stunde in einem eng bemessenen Zeitraum erfolgt, um eine möglichst hohe Anzahl tagesaktueller Informationen in den Ausgaben abdrucken zu können.

Zur Bestimmung des Kundennutzens werden die unbefriedigten Kundenbedarfe in einer **Nutzenpotential-Kundenbedarfs-Matrix** den AR-Nutzenpotentialen aus Kundensicht aus den AR-Anwendungsszenario-Steckbriefen (vgl. *Abschnitt 4.2.4*) gegenübergestellt. Aus der paarweisen Bewertung der AR-Nutzenpotentiale mit den unbefriedigten Kundenbedarfen (von *0 = AR-Nutzenpotential adressiert Kundenbedarf nicht* bis *3 = AR-Nutzenpotential adressiert Kundenbedarf vollständig*) ergibt sich durch das Aufsummieren der Bewertungen für jedes AR-Nutzenpotential eine Kennzahl: Die AR-Nutzenpotentialrelevanz spiegelt wider, wie geeignet das AR-Nutzenpotential ist, die unbefriedigten Kundenbedarfe zu erfüllen. So leistet u.a. das AR-Nutzenpotential *verbesserte Fehlererkennung* einen wesentlichen Beitrag, dem unbefriedigten Kundenbedarf *Unsicherheiten bei der Bestimmung von Fehlerursachen* zu entgegnen. Mit Hilfe einer gewichteten Punktebewertung wird der spezifische **Kundennutzen** für jedes AR-Anwendungsszenario bewertet. Die AR-Nutzenpotentialrelevanz dient dabei als Gewichtung. Die Bewertungen, mit denen die Gewichte multipliziert werden, stammen aus den in den Steckbriefen hinterlegten Ausprägungen der AR-Nutzenpotentiale aus Kundensicht.

Analog zu dem beschriebenen Vorgehen wird der **Anbieternutzen** für jedes AR-Anwendungsszenario berechnet, indem die Bewertungen für die AR-Nutzenpotentiale aus Anbietersicht aus den AR-Anwendungsszenario-Steckbriefen mit Gewichten multipliziert werden. Zur Bestimmung der Gewichte wird eine Relevanzmatrix verwendet. In dieser wird in paarweisen Vergleichen die Priorität der AR-Nutzenpotentiale aus Anbietersicht

bewertet und darauf aufbauend eine Rangfolge gebildet. Die Ergebnisse der Relevanzmatrix zeigen, dass aufgrund des branchenbedingten Kostendrucks den AR-Nutzenpotentialen *Entfall von Tätigkeiten* und *erhöhte Verfügbarkeit personengebundenen Wissens* im Anwendungsbeispiel die höchste Bedeutung zukommt. Durch Aufsummieren der mit den Gewichten multiplizierten Bewertungen ergibt sich für jedes AR-Anwendungsszenario ein spezifischer Wert für den Anbieternutzen.

Zusätzlich wird unter Einbeziehung von Mitarbeitern aus dem Vertrieb eine Einschätzung für das **Umsatzpotential** eines jeden AR-Anwendungsszenarios formuliert. Damit wird die nutzenorientierte Bewertung um eine marktorientierte Perspektive erweitert. Aus der Bewertung geht hervor, dass die AR-Anwendungsszenarien *AR-gestützte Instandhaltung*, gefolgt von *Remote Assistance* die aussichtsreichsten Umsatzprognosen aufweisen.

Komplettiert wird die Analyse der AR-Anwendungsszenarien durch eine Bewertung des **Umsetzungsaufwands**. Dazu wird auf den Kriterienkatalog zur Abschätzung des Umsetzungsaufwands in *Anhang A2.3* zurückgegriffen. Aufgrund des als gering eingestuften Integrationsaufwands in die IT-Infrastruktur des Kunden sowie der hohen Verfügbarkeit der Modelldaten wird den AR-Anwendungsszenarien *AR-gestützte Instandhaltung* und *Schulung zur Tätigkeitsdurchführung* ein mittlerer bis geringer Aufwand zugewiesen.

Als **Resultat** der zweiten Phase liegt für jedes AR-Anwendungsszenario eine Bewertung für den *Nutzen aus Kunden- und Anbietersicht*, den *Umsetzungsaufwand* sowie das *Umsatzpotential* vor.

5.2.3 Phase 3: Konkretisierung der Geschäftsidee

In der dritten Phase erfolgt auf Grundlage der Bewertungen der AR-Anwendungsszenarien die Auswahl einer Erfolg versprechenden AR-Anwendungsszenario-Marktsegment-Kombination und darauf aufbauend die Formulierung einer Geschäftsidee. Dazu werden zunächst die vorliegenden Bewertungen für die AR-Anwendungsszenarien in einer **AR-Anwendungsszenario-Marktsegmente-Matrix** tabellarisch zusammengetragen. In den Zeilen werden die AR-Anwendungsszenarien aufgetragen, in den Spalten die untersuchten Marktsegmente. Da das untersuchte Geschäftsfeld im Anwendungsbeispiel ein einziges Marktsegment umfasst, besteht die Matrix folglich aus einer Spalte. An den Schnittpunkten wird für das jeweilige AR-Anwendungsszenario der Kunden- und Anbieternutzen, der Umsetzungsaufwand sowie das Umsatzpotential notiert.

Zur visuellen Interpretation werden die Bewertungen in ein **Nutzen-Aufwand-Portfolio** übertragen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit beschränkt sich die Darstellung in Bild 5-4 auf die fünf bestbewerteten AR-Anwendungsszenarien für das Anwendungsbeispiel. Die Zusammenfassung des Nutzens auf der Ordinate beruht auf einer gleich hohen Gewichtung von Kunden- und Anbieternutzen.

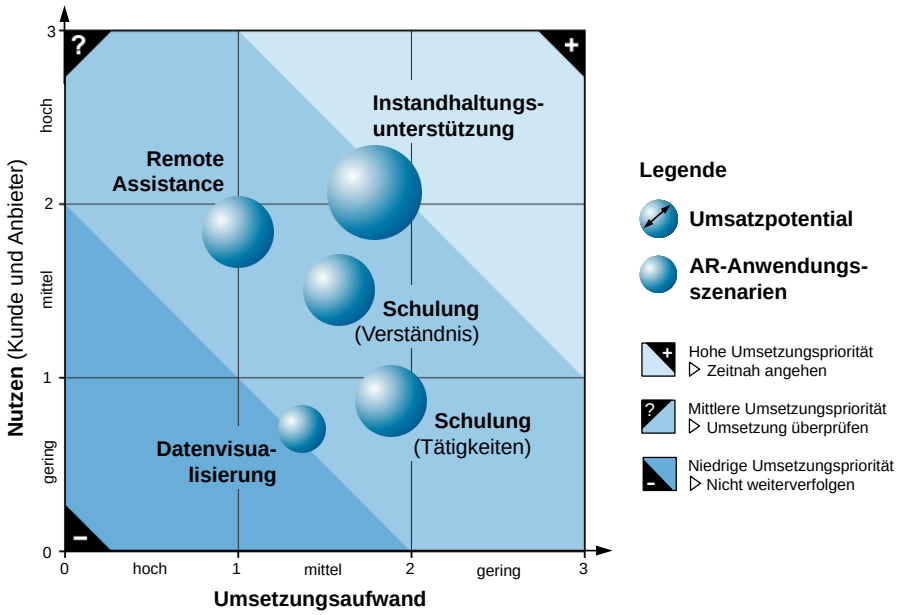


Bild 5-4: Nutzen-Aufwand-Portfolio zur Selektion eines AR-Anwendungsszenarios

Die **Ergebnisse** zeigen, dass das AR-Anwendungsszenario *AR-gestützte Instandhaltung* die höchste Umsetzungspriorität aufweist. Dies ist auf die hohen Bewertungen für Nutzen und Umsatzpotential in Kombination mit einem moderaten Umsetzungsaufwand zurückzuführen. An zweiter Stelle folgen mit einer mittleren Umsetzungspriorität die AR-Anwendungsszenarien *Remote Assistance* sowie *AR-gestützte Schulung zur Verständnisverbesserung*. Die geringere Nutzenbewertung für das AR-Anwendungsszenario *Remote Assistance* beruht u.a. auf der überproportionalen Gewichtung des AR-Nutzenpotentials *Entfall von Tätigkeiten* (vgl. *Abschnitt 5.2.2*), das in diesem AR-Anwendungsszenario gering ausgeprägt ist, da jede Kollaboration die Zuschaltung eines Experten erfordert. Die AR-Anwendungsszenarien *AR-gestützte Schulung zur Tätigkeitsdurchführung* sowie *AR-gestützte Datenvisualisierung* weisen aufgrund der geringen Nutzenbewertung lediglich eine mittlere bis geringe Umsetzungspriorität auf. Zusammen mit den elf weiteren AR-Anwendungsszenarien, die aus Gründen der Übersichtlichkeit in Bild 5-3 nicht gezeigt sind, empfiehlt es sich, diese in dem Anwendungsbeispiel nicht weiterzuverfolgen.

Aufbauend auf der Darstellung im Portfolio erfolgt die Auswahl einer AR-Anwendungsszenario-Marktsegment-Kombination. Vor dem Hintergrund der beschränkten Ressourcen des betrachteten mittelständischen Unternehmens wird mit der **AR-gestütztem Instandhaltung für den Zeitungsdruck** zunächst eine AR-Anwendungsszenario-Marktsegment-Kombination für die weitere Umsetzung ausgewählt.

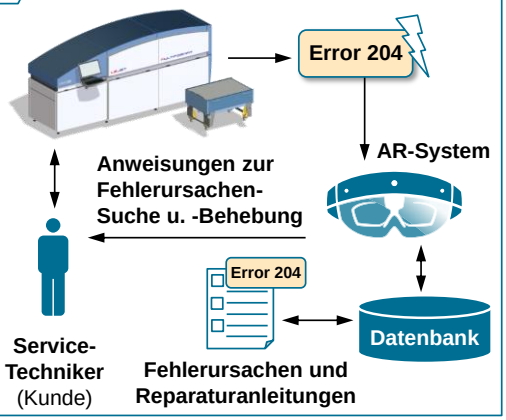
Die umzusetzende AR-Anwendungsszenario-Marktsegment-Kombination beinhaltet generische Informationen zum Einsatzzweck (AR-gestützte Instandhaltung) und zur anvisierten Zielgruppe (Zeitungsdruck). Zur Überführung dieser generischen Informationen in eine Geschäftsidee erfolgt unter Rückgriff auf die Value Proposition Canvas eine Detaillierung und Anreicherung um zusätzliche Kontextinformationen. Die Dokumentation der Geschäftsidee erfolgt in einem **Geschäftsideensteckbrief**, wie in Bild 5-5 dargestellt.

Geschäftsideensteckbrief: AR-gestützte Fehlerursachen-Suche und -Behebung

Kurzbeschreibung

Der Service-Techniker des Kunden wird im Falle einer auftretenden Störung an einem CtP-System mit Hilfe von AR bei der Identifikation der Fehlerursache und deren Behebung unterstützt. Grundlage hierfür bilden Fehlerbäume, in denen für bekannte Fehlercodes mögliche Fehlerursachen und Schritt-für-Schritt-Anleitungen zur Fehlerbehebung hinterlegt sind. In Abhängigkeit der vorliegenden Störung zielt die Anleitung entweder auf die Beseitigung der Fehlerursache (bei einfachen Fehlern, z.B. Beseitigung von Papierstau) oder die Bereitstellung von Workarounds zur temporären Wiederherstellung der Betriebsfähigkeit des CtP-Systems (bei komplexeren Fehlern, z.B. Fehlverhalten des Optikmoduls).

Funktionsprinzip



Chancen

- Unmittelbarer, unkomplizierter Zugriff auf Expertenwissen (Kundensicht)
- Einsparung von Reisekosten und -zeiten
- Verbesserung der First-Time-Fix-Rate, da Fehlerursachen bekannt bzw. eingegrenzt sind

Risiken

- Ungewisse Nutzungsbereitschaft des Kunden
- Mangelnde Kompetenz und Erfahrung im Umgang mit AR
- Keine Bereitschaft zur Zahlung eines Aufpreises gegenüber dem Standard-Servicevertrag

Auswirkungen auf das Produkt-Service-Portfolio

- Betroffenes Geschäftsfeld: CtP-Systeme für den Zeitungsdruck
- Betroffenes Produkt: CtP-System, perspektivisch auf weitere Modelle erweiterbar
- Betroffene Dienstleistung: Erweiterung des Service-Vertrags um einen optionalen Bestandteil

Bild 5-5: Dokumentation der Geschäftsidee in einem Geschäftsideensteckbrief

Der Geschäftsideensteckbrief enthält neben einer Kurzbeschreibung eine Skizze des Funktionsprinzips, eine Übersicht der spezifischen Chancen und Risiken sowie Informationen zu den betroffenen Bestandteilen des Produkt-Service-Portfolios. Aus der Übertragung der AR-Anwendungsszenario-Marktsegment-Kombination auf den Kontext des Anwendungsbeispiels resultiert die Geschäftsidee **AR-gestützte Fehlerursachen-Suche und -Behebung**. Ausgehend von den Fehlercodes, die das CtP-System meldet, werden dem Service-Techniker des Kunden über ein AR-System Anweisungen zur Identifikation von Fehlerursachen sowie deren Behebung bereitgestellt. Ziel ist eine schnelle, personenunabhängige Bereitstellung von Problemlösekompetenz beim Auftreten von Störungen. Im Idealfall können dadurch Reparaturen durch den Kunden selbst vorgenommen werden bzw. beim Vorliegen komplexerer Störungen die First-Time-Fix-Rate durch Eingrenzung möglicher Fehlerursachen verbessert werden. Von der Geschäftsidee betroffen sind einerseits das CtP-System selbst, andererseits die konventionelle Reparaturdienstleistung, die als Bestandteil eines Service-Vertrags dem Kunden angeboten wird.

Als **Resultat** der dritten und gleichzeitig letzten Phase der Geschäftsideenfindung liegt mit der *AR-gestützten Fehlerursachen-Suche und -Behebung* eine Erfolg versprechende Geschäftsidee für das Anwendungsbeispiel vor. Sie ist in einem Geschäftsideensteckbrief dokumentiert.

5.3 Umsetzungsplanung

Im Anschluss an die Geschäftsideenfindung erfolgt die Umsetzungsplanung für die zuvor ausgewählte Geschäftsidee. Ziel ist die Identifikation der AR-induzierten Änderungsauswirkungen auf das bestehende Produkt-Service-System und Geschäftsmodell sowie darauf aufbauend die Erstellung einer Umsetzungsroadmap als Plan für die Operationalisierung der Geschäftsidee. Grundlage für die Umsetzungsplanung bilden das Vorgehensmodell und die Hilfsmittel aus *Abschnitt 4.4*.

5.3.1 Phase 1: Konzipierung des Produkt-Service-Systems

Gegenstand der ersten Phase der Umsetzungsplanung bildet die Konzipierung des Produkt-Service-Systems. Im Vordergrund steht dabei die **Analyse von Änderungsauswirkungen**, die sich ausgehend von der umzusetzenden Geschäftsidee für die angebotenen Produkte und Dienstleistungen des betrachteten Unternehmens ergeben. Ausgangspunkt für die Produkt-Service-Konzipierung bildet der Geschäftsideensteckbrief. Anhand der in Bild 5-5 skizzierten Auswirkungen auf das Produkt-Service-Portfolio wird deutlich, dass die Geschäftsidee Anpassungen am CtP-System (Produkt) und der konventionellen Reparaturdienstleistung (Service) erfordert. Vor diesem Hintergrund erfolgt die im Folgenden beschriebene Ermittlung der Änderungsauswirkungen auf Grundlage des bestehenden Systemmodells für das CtP-System und die Reparaturdienstleistung.

Analyse

In der Analyse werden die durch die Geschäftsidee induzierten Änderungsbedarfe über neue bzw. Modifikationen bestehender Anforderungen konkretisiert. Dies erfolgt unter Rückgriff auf die Partialmodelle *Umfeld*, *Anwendungsszenarien* und *Anforderungen*.

Umfeld: In dem Partialmodell *Umfeld* werden die Elemente des Umfelds und deren Einflüsse auf das Produkt-Service-System untersucht. Bild 5-6 zeigt einen Auszug des Umfeldmodells für das Anwendungsbeispiel. Es wird deutlich, dass die Integration von AR neben einer *Erweiterung der Systemgrenze* um ein produktbegleitendes AR-System auch zu neuen Flussbeziehungen führt. Modifikationen gegenüber dem bestehenden Umfeldmodell sind über ein Symbol als solche kenntlich gemacht. Veränderungen betreffen u.a. die *Interaktion mit dem Nutzer* (z.B. Ein- und Ausgaben des AR-Systems) sowie die *Anbindung an die IT-Infrastruktur* (z.B. zur Aktualisierung der AR-Applikation). Darüber hinaus sind Veränderungen in der Bedeutung von *Umgebungseinflüssen* zu berücksichtigen (z.B. Staub, Lichtverhältnisse). So zeigt sich aus der Umfeldanalyse, dass die Reparatur des CtP-Systems unter gedimmtem Gelblicht erfolgt, um eine unerwünschte Belichtung der lichtempfindlichen Druckplatten zu vermeiden. Vor diesem Hintergrund ist die Funktionsfähigkeit der AR-Applikation unter Gelblicht sicherzustellen.

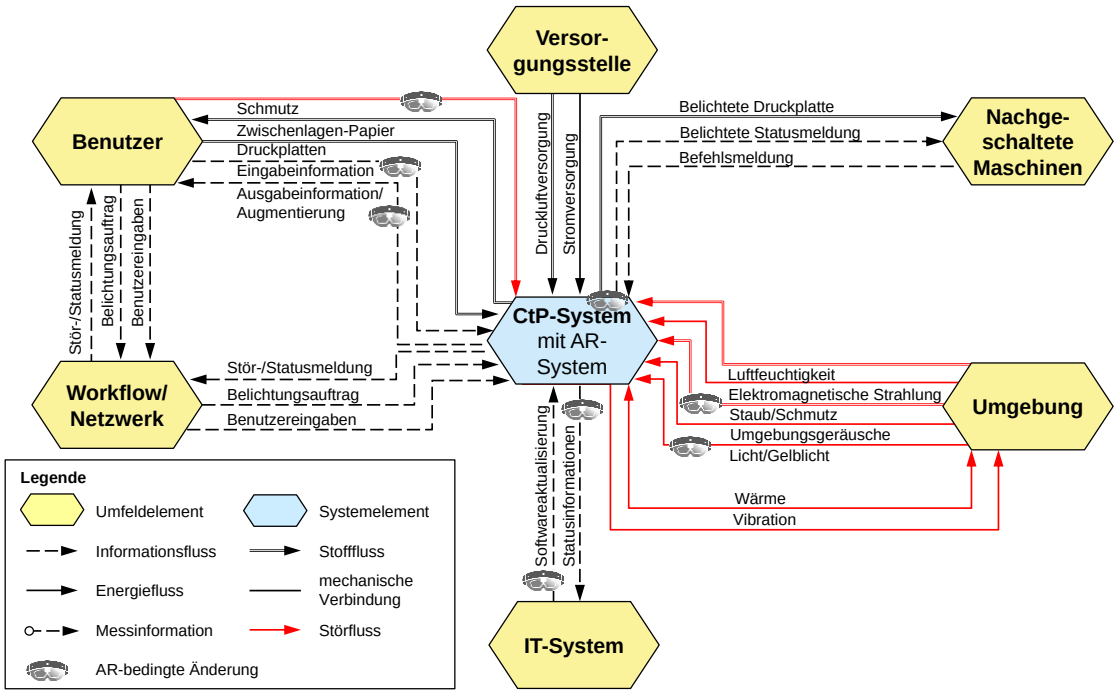


Bild 5-6: Analyse des Systemumfelds in einem Umfeldmodell (Auszug)

Anwendungsszenarien: In dem Partialmodell *Anwendungsszenarien* werden entlang des Lebenszyklus typische Betriebssituationen des Produkt-Service-Systems beschrieben. Aus dem Geschäftsideensteckbrief leiten sich unmittelbare Änderungsbedarfe ab. Im Anwendungsbeispiel sind dabei in besonderem Maße diejenigen Anwendungsszenarien betroffen, die sich auf die *Reparatur des CtP-Systems* beziehen (vgl. Bild 5-7).

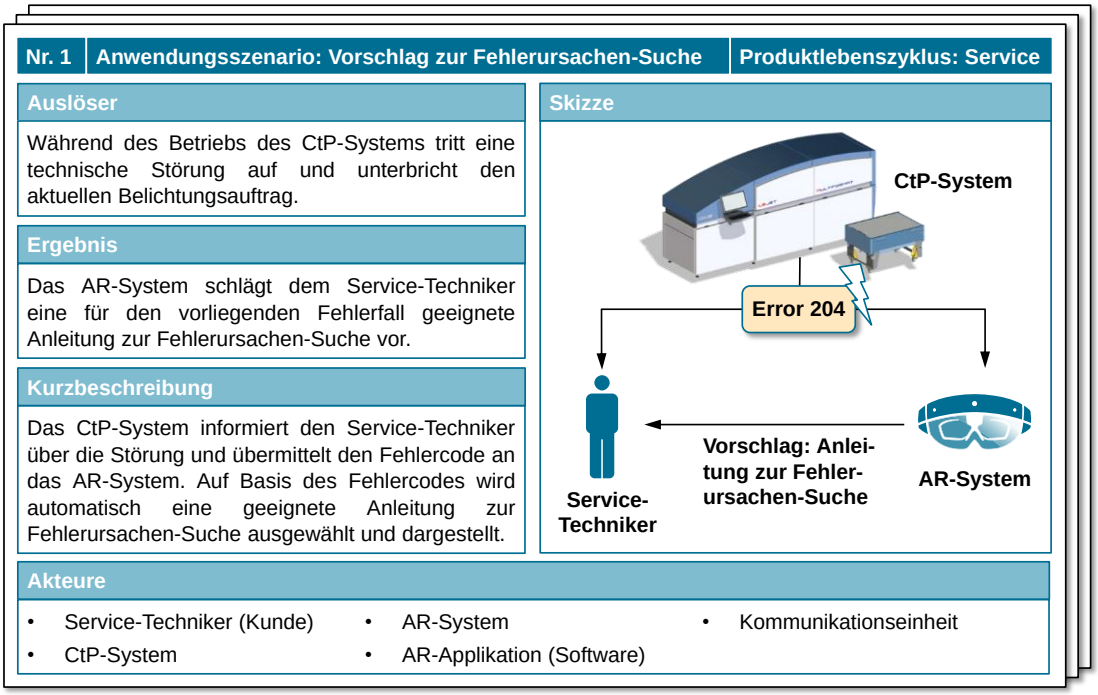


Bild 5-7: Modifiziertes Anwendungsszenario „Vorschlag zur Fehlerursachen-Suche“

Aus der Verwendung des AR-Systems und der damit verbundenen Übertragung von Tätigkeiten an den Kunden ergeben sich weitreichende Veränderungen an dem klassischen Reparaturprozess. Bild 5-7 zeigt exemplarisch das Anwendungsszenario zur *AR-gestützten Fehlerursachen-Suche*: Beim Auftreten einer Störung wird dem Service-Techniker des Kunden über ein AR-System eine für den vorliegenden Fehlerfall geeignete Anleitung zur Fehlerursachen-Suche vorgeschlagen. Die modifizierten Anwendungsszenarien bilden die Grundlage zur Ableitung von Anforderungen, so etwa die Bereitstellung von Anweisungen zur Fehlerursachen-Suche.

Anforderungen: Das Partialmodell *Anforderungen* fasst die Anforderungen an das Produkt-Service-System in einer Anforderungsliste zusammen. Modifikationsbedarfe an den Anforderungen ergeben sich primär aus den Veränderungen der Partialmodelle *Umfeld* und *Anwendungsszenarien*. Die Anforderungsermittlung wird darüber hinaus durch den Leitfragenkatalog in *Anhang A2.4* unterstützt. Ergebnis ist eine *Anforderungsliste*, wie sie auszugsweise in Bild 5-8 dargestellt ist. Die Anforderungen beinhalten u.a. Vorgaben zu den Inhalten der AR-Applikation (z.B. Unterstützung bei der Fehlerursachen-Suche), zu der Darstellung der virtuellen Inhalte (z.B. Genauigkeit der geometrischen Registrierung) sowie zur Nutzerführung (z.B. Wechsel zu vorgelagerten Schritten der Anleitung).

Stand: 10.11.2019		**Anforderungsliste AR-gestützte Fehlerursachen-Suche und -Behebung**
F/W	**Nr.**	**Anforderungen**
	A.1	**AR-Applikation**
F	A.1.1	*Unterstützung bei der Fehlerursachen-Suche:* Die AR-Applikation muss für definierte Fehler Anleitungen zur Verfügung stellen, die den Nutzer bei der Identifikation der Fehlerursache unterstützen.
F	A.1.2	*Bereitstellung von Schritt-für-Schritt-Anweisungen:* Die AR-Applikation muss dem Nutzer die Anleitungen zur Fehlerursachen-Suche in Form von Schritt-für-Schritt-Anweisungen bereitstellen.
F	A.1.3	*Geometrische Registrierung:* Die AR-Applikation muss diejenigen Schritt-für-Schritt-Anweisungen, die einen räumlichen Bezug zum CtP-System und dessen Umgebung aufweisen, geometrisch registriert darstellen.
F	A.1.4	*Genauigkeit der geometrischen Registrierung:* Die AR-Applikation muss die geometrisch registrierten Schritt-für-Schritt-Anweisungen so darstellen, dass die Abweichung zwischen virtueller Repräsentation und realem Bezugsobjekt weniger als 20 mm beträgt.
F	A.1.5	*Anzeige des Fortschritts:* Die AR-Applikation muss dem Nutzer in jedem Schritt der Anleitung den jeweiligen Fortschritt in Bezug auf die insgesamt erforderlichen Schritte der Anleitung darstellen.
F	A.1.6	*Wechsel zu vorgelagerten Schritten der Anleitung:* Die AR-Applikation muss dem Nutzer in jedem Schritt der Anleitung – mit Ausnahme des ersten Schrittes – die Möglichkeit bieten, zu vorgelagerten Schritten der Anleitung zurückzukehren.
F	A.1.7	*Quittierung der Schritt-für-Schritt-Anweisungen:* Die AR-Applikation muss den Nutzer dazu verpflichten, die Durchführung einzelner Schritte der Anleitung zu quittieren, um zum nächsten Schritt der Anleitung zu gehen.

Legende F: Festforderung | W: Wunschforderung

Bild 5-8: Dokumentation der Anforderungen in einer Anforderungsliste (Auszug)

Synthese

In der Synthese wird auf Basis der Anforderungen mit Hilfe der Partialmodelle *Funktionen*, *Wirkstruktur*, *Verhalten* (Fokus: CtP-System) sowie *Prozesse*, *Werkzeuge*, *Personal* (Fokus: AR-gestützte Reparaturdienstleistung) eine prinzipielle Lösung erarbeitet.

Funktionen: Ausgehend von der Anforderungsliste wird die *Funktionshierarchie* des CtP-Systems modifiziert bzw. um neue Funktionen erweitert. Analog zum Umfeldmodell werden Änderungen über ein Symbol kenntlich gemacht. Mit Blick auf das Anwendungsbeispiel ergeben sich neue Funktionen u.a. im Hinblick auf die Übermittlung von Fehlercodes (Funktion *Fehlercodes übertragen*), die Registrierung der Maschine durch das AR-System (Funktion *Registrierung ermöglichen*) sowie die Bereitstellung ausreichender Lichtverhältnisse im Inneren des CtP-Systems (Funktion *Beleuchtung bereitstellen*).

Wirkstruktur: In dem Partialmodell *Wirkstruktur* wird die prinzipielle Wirkungsweise des CtP-Systems mit Hilfe von Systemelementen sowie deren Wirkzusammenhängen beschrieben. Aufbauend auf den modifizierten bzw. hinzugefügten Funktionen in der Funktionshierarchie wird die bestehende Wirkstruktur des CtP-Systems um *neue Systemelemente und Flussbeziehungen* erweitert. Einen Auszug der Wirkstruktur für das Anwendungsbeispiel zeigt Bild 5-9, wobei die AR-bedingten Modifikationen über ein Symbol gekennzeichnet sind. Es wird deutlich, dass die in der Funktionshierarchie ergänzten Funktionen in einer Erweiterung der Wirkstruktur um zusätzliche Systemelemente wie einen Marker (Funktion *Registrierung ermöglichen*) und eine Gelblicht-Leuchte (Funktion *Beleuchtung bereitstellen*) sowie zugehörige Flussbeziehungen (z.B. mechanische Verbindungen, Licht) resultieren.

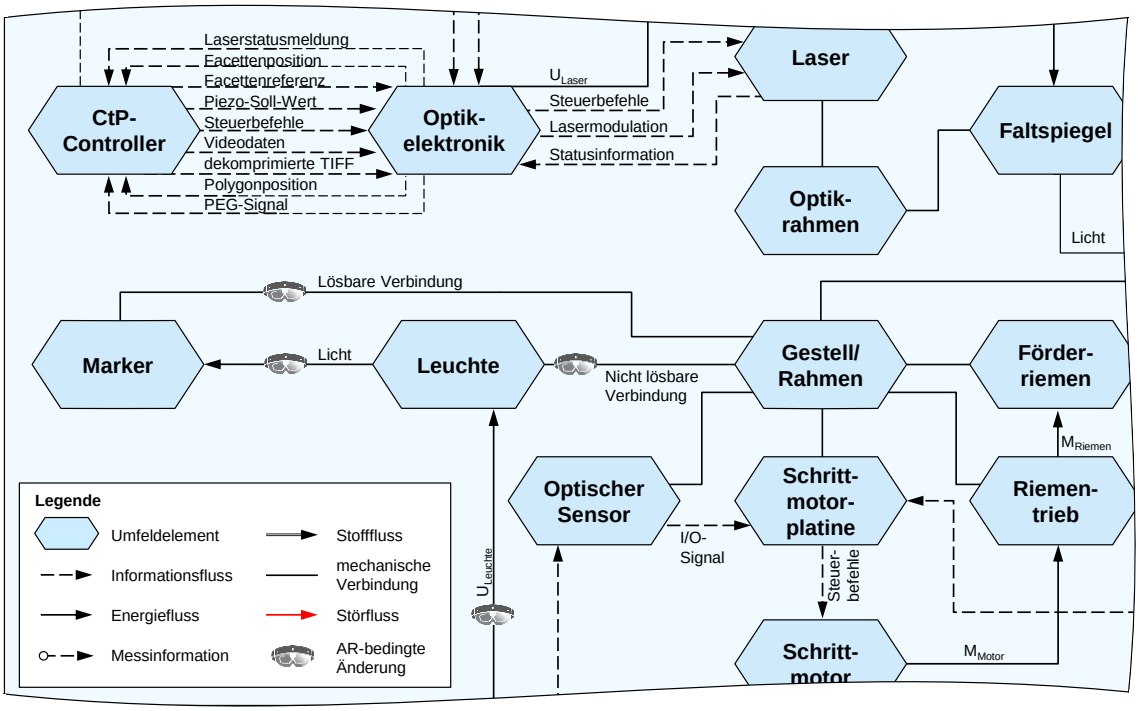


Bild 5-9: Erweiterung der Wirkstruktur des CtP-Systems (Auszug)

Verhalten: Das Partialmodell *Verhalten* beschreibt die dynamischen Wirkzusammenhänge des CtP-Systems mit Hilfe von Zuständen, Aktivitäten und Sequenzen. Für das Anwendungsbeispiel ergeben sich Modifikationen der Verhaltensbeschreibungen infolge der *automatischen Übertragung von Fehlercodes* zwischen dem CtP-System und dem

AR-System, sobald der Betrieb des CtP-Systems durch das Auftreten einer Störung unterbrochen wird. Um Transparenz über die erforderlichen Anpassungen zu schaffen, werden Änderungen an den Verhaltensmodellen über Symbole kenntlich gemacht.

Prozesse: In dem Partialmodell *Prozesse* werden die erforderlichen Aktivitäten zur Erbringung der Dienstleistung in einem *Service Blueprint* in ihrer zeitlichen Reihenfolge beschrieben. Die AR-gestützte Fehlerursachen-Suche und -Behebung führt zu weitreichenden Änderungen des bestehenden Dienstleistungsprozesses und zu einer Verlagerung von Aktivitäten vom Anbieter an den Kunden. Ein Auszug des Service Blueprint für das Anwendungsbeispiel ist im oberen Teilausschnitt von Bild 5-10 vereinfacht dargestellt. Zu den neuen Aktivitäten im Dienstleistungsprozess zählen u.a. die Aktivierung des AR-Systems, die Auswahl einer Anleitung zur Fehlerursachen-Suche sowie die Befolgung der auf dem AR-System dargestellten Anweisungen. Verknüpfungen zu angrenzenden Dienstleistungen sind über Verweise kenntlich gemacht (z.B. Unterstützung durch Telefon-Hotline, wenn die Fehlerursache nicht gefunden werden konnte).

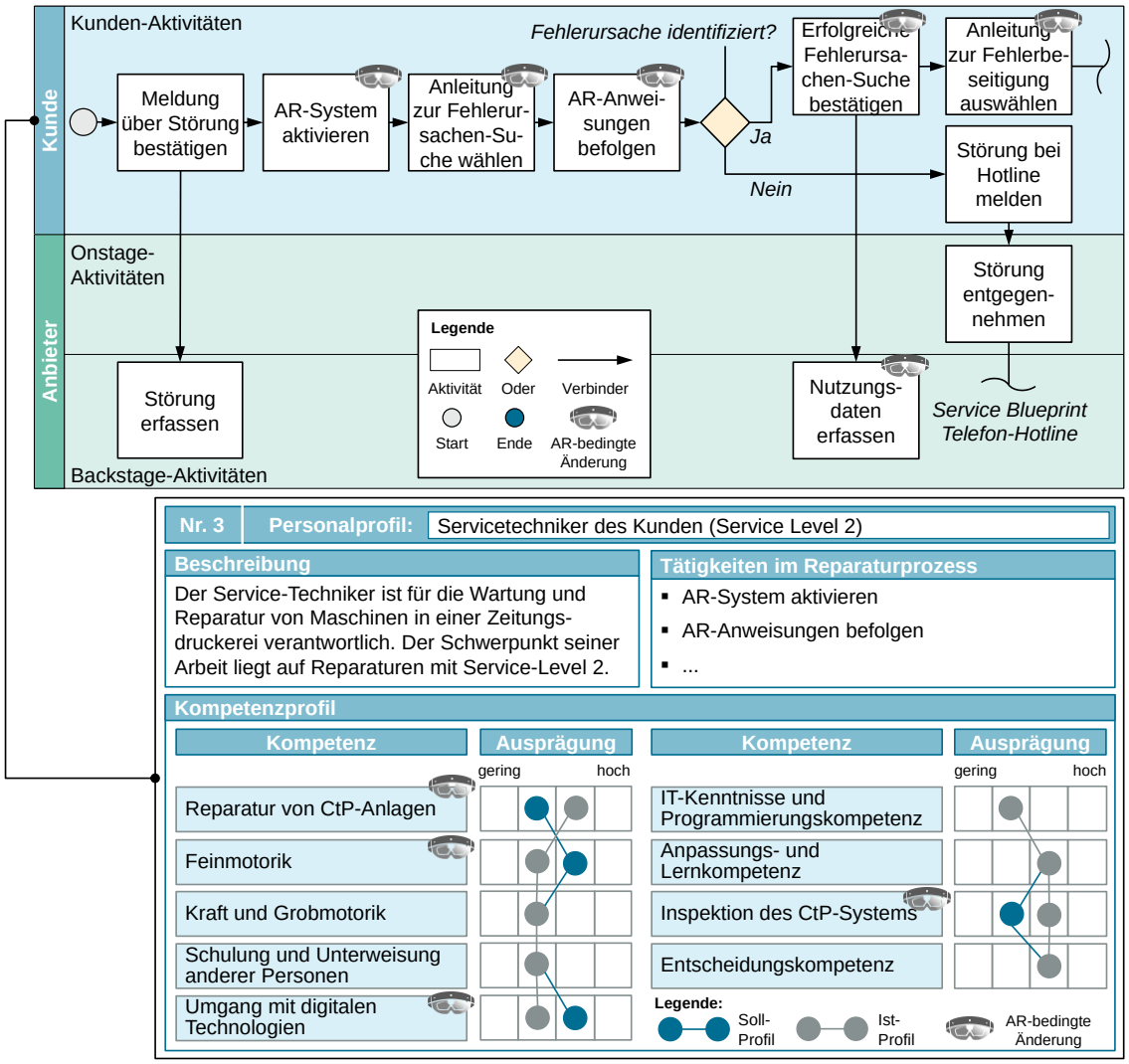


Bild 5-10: Anpassungen an dem Service-Blueprint und den Personalprofilen (Auszug)

Personal: Im Partialmodell *Personal* werden mit Hilfe von Personalprofilen die im Dienstleistungsprozess involvierten Akteure näher beschrieben. Im unteren Teilausschnitt von Bild 5-10 ist ein Personalprofil für den Service-Techniker des Kunden dargestellt. Das Personalprofil nimmt Bezug auf die Tätigkeiten des Service Blueprint und spezifiziert die zur Ausführung der Tätigkeiten erforderlichen Kompetenzen des jeweiligen Akteurs. Es wird deutlich, dass die Realisierung einer AR-gestützten Fehlerursachen-Suche und -Behebung zu einer *Veränderung des Kompetenzprofils* führt. Während infolge der Unterstützung durch AR einerseits die Anforderungen an das spezifische Wissen zur Inspektion und Reparatur von CtP-Systemen sinken, sind andererseits aufgrund der angestrebten Befähigung zur Durchführung komplexer Reparaturen ein höheres Maß an Feinmotorik (z.B. für den Austausch von Komponenten) sowie eine höhere Expertise im Umgang mit digitalen Technologien (z.B. Bedienung des AR-Systems) erforderlich.

Werkzeuge: Das Partialmodell *Werkzeuge* spezifiziert mit Hilfe von Werkzeugprofilen die materiellen und immateriellen Arbeitsmittel, die zur Durchführung der im Dienstleistungsprozess beschriebenen Tätigkeiten erforderlich sind. Im Anwendungsbeispiel umfassen die neu erforderlichen Werkzeugen u.a. das AR-System zur Visualisierung der Instruktionen sowie einen Service-Koffer mit spezifischen Ersatzteilen und Ausrüstungen, die der Kunde zur Reparatur benötigt. Analog zu den Personalprofilen werden die Werkzeugprofile den jeweiligen Tätigkeiten im Service Blueprint zugeordnet.

Die Definition der Werkzeuge wird durch den in *Abschnitt 4.4.1* beschriebenen **Leitfaden zur Auswahl eines AR-Systems** unterstützt. Eine Bewertung anhand der *Eignungsindikatoren* in Bild 5-11 zeigt, dass aufgrund fehlender Erfahrungswerte des Kunden im Umgang mit Datenbrillen und des vorherrschenden Kostendrucks in der Druckindustrie der *Einsatz eines Handheld-Systems* gegenüber einer Datenbrille vorzuziehen ist. Da die neueren CtP-Systeme standardmäßig bereits mit einem Tablet als Benutzerschnittstelle ausgeliefert werden, bietet es sich an, dieses auch für den Einsatz von AR zu verwenden.

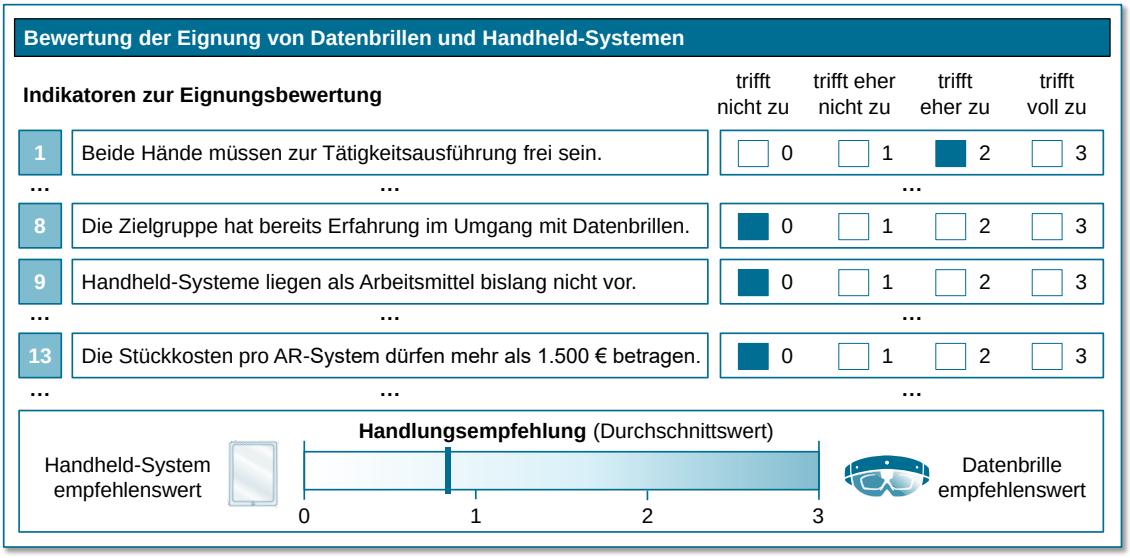


Bild 5-11: Bewertung der Eignungsindikatoren für die Auswahl eines AR-Systems

Als **Resultat** der Produkt-Service-Konzipierung liegt eine disziplinübergreifende Beschreibung des Produkt-Service-Systems für die *AR-gestützte Fehlerursachen-Suche und -Behebung für CtP-Systeme* vor. Es stellt die erforderlichen Modifikationsbedarfe an dem bestehenden Produkt-Service-System transparent dar.

5.3.2 Phase 2: Konzipierung des Geschäftsmodells

In der zweiten Phase der Umsetzungsplanung erfolgt die Konzipierung des Geschäftsmodells für die *AR-gestützte Fehlerursachen-Suche und -Behebung*. Ausgehend von dem bestehenden Geschäftsmodell (CtP-System mit konventioneller Reparaturanleitung) werden unter Berücksichtigung der **technologiespezifischen Herausforderungen von AR** und der **wechselseitigen Abhängigkeiten mit dem Produkt-Service-Konzept** Geschäftsmodellvarianten entwickelt und bewertet (vgl. *Abschnitt 4.4.2*).

Die Entwicklung der Geschäftsmodellvarianten erfolgt im Rahmen eines **Geschäftsmodellworkshops**. Zunächst werden die vorliegenden Ergebnisdokumente – hierzu zählen die Value Proposition Canvas, der Geschäftsideensteckbrief sowie die Partialmodelle des Produkt-Service-Konzepts – auf ihren Beitrag zur Geschäftsmodellkonzipierung untersucht. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wird ein initialer Entwurf für das Geschäftsmodell erstellt, der Informationen zu dem anvisierten *Kundensegment* (Zeitungsdruckereien), dem *Nutzenversprechen* (u.a. unmittelbare Hilfe bei Störungen des CtP-Systems) sowie der angebotenen *Marktleistung* (u.a. AR-Applikation) enthält, die bereits in den vorgelagerten Phasen der Systematik festgelegt wurden. Aus den Partialmodellen des Produkt-Service-Konzepts lassen sich darüber hinaus Anhaltspunkte für das Wertschöpfungsmodell ableiten. Hierzu zählen *Schlüsselaktivitäten* aus dem Prozessmodell der Dienstleistung (z.B. Gerätemanagement, Durchführung von Schulungen) sowie Hinweise auf benötigte *Schlüsselressourcen* aus den Werkzeug- und Personalprofilen (z.B. Tablet als AR-System, Entwicklungswerkzeuge).

Unter Rückgriff auf das **Geschäftsmodellkartenset** (vgl. *Abschnitt 4.4.2*) werden anschließend Geschäftsmodellvarianten unter Berücksichtigung der technologiespezifischen Herausforderungen von AR ausgearbeitet. Dazu werden ausgehend von den auf den Geschäftsmodellkarten beschriebenen Leitfragen geeignete Gestaltungsoptionen identifiziert und in den Geschäftsmodellrahmen übertragen. Impulse für konkrete Gestaltungsoptionen liefern die auf den Geschäftsmodellkarten skizzierten Lösungsansätze. Als Ergebnis des Geschäftsmodellworkshops liegen für das Anwendungsbeispiel drei Geschäftsmodellvarianten vor, die sich schwerpunktmäßig im Hinblick auf die Wertschöpfungstiefe voneinander differenzieren: *Eigenentwicklung von Software und AR-Inhalten*, *Auslagerung von Softwareentwicklung und Eigenentwicklung der AR-Inhalte* und *Vollständige Auslagerung der Entwicklung von Software und AR-Inhalten.*

Ein Auszug aus der **Geschäftsmodellvariante** *Auslagerung der Softwarenentwicklung und Eigenentwicklung der AR-Inhalte* ist in Bild 5-12 dargestellt.

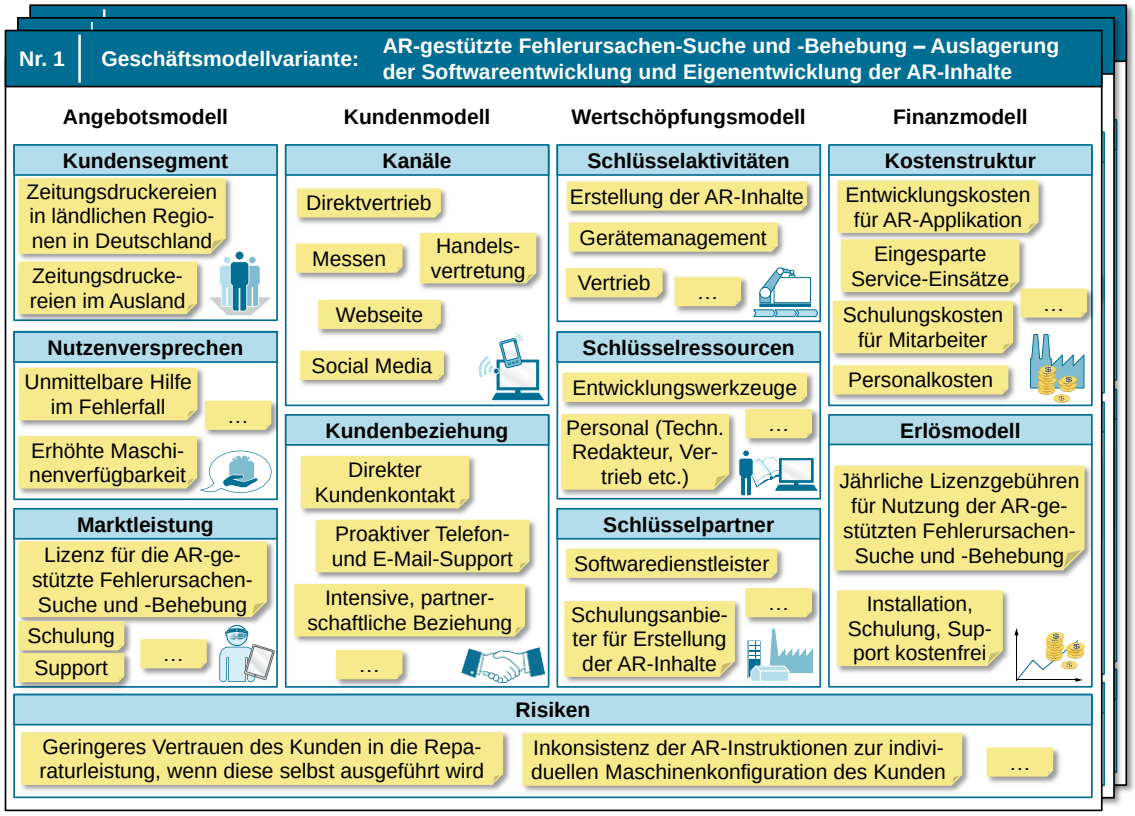


Bild 5-12: Auszug aus der Geschäftsmodellvariante „Auslagerung der Softwareentwicklung und Eigenentwicklung der AR-Inhalte“

In der Geschäftsmodellvariante **Auslagerung der Softwareentwicklung und Eigenentwicklung der AR-Inahlte** wird die AR-gestützte Fehlerursachen-Suche und -Behebung in Form von Lizenzen über direkten Kundenkontakt an Zeitungsdruckereien in ländlichen Regionen und im Ausland vertrieben. Das Angebot wird unterstützt durch produktbegleitende Schulungen und einen ganztägig erreichbaren Kundensupport, die in den jährlich anfallenden Lizenzgebühren enthalten sind. Die Erstellung der AR-Inhalte erfolgt durch das betrachtete Unternehmen, wohingegen die Entwicklung der Software an einen externen Dienstleister ausgelagert wird. Um die initialen Kosten für den Kunden zu minimieren, werden die bereits am CtP-System als Benutzerschnittstelle installierten Tablets als mobiles AR-System verwendet. Zu den Risiken, die mit der Geschäftsmodellvariante verbunden sind, zählen u.a. ein geringeres Vertrauen in die Reparaturleistung, wenn diese durch den Kunden selbst vorgenommen wird sowie die Sicherstellung der Konsistenz der AR-Applikation zu der individuellen Maschinenkonfiguration des Kunden.

Um eine Aussage über die Wirtschaftlichkeit der entwickelten Geschäftsmodellvarianten zu treffen, werden ausgehend von dem Finanzmodell **Business Cases** berechnet. In Form einer Gewinnvergleichsrechnung werden die prognostizierten Erlöse, Kosten und der aus der Differenz resultierende Gewinn über den Zeitverlauf aufgetragen, wie in Bild 5-13 für die Geschäftsmodellvariante *Auslagerung der Softwareentwicklung und Eigenentwicklung der AR-Inhalte* zu sehen ist.

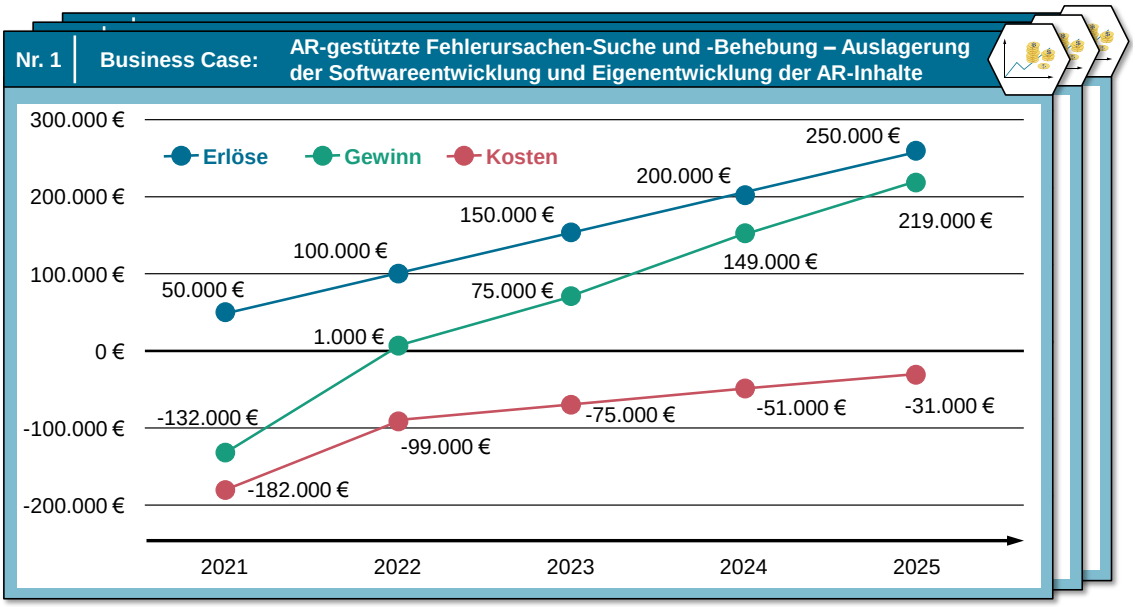


Bild 5-13: Beurteilung der Wirtschaftlichkeit mit Hilfe eines Business Cases

Den jährlich **gleichmäßig ansteigenden Erlösen** steht ein **abflachender Kostenverlauf** gegenüber, der aus der sukzessiven Reduktion der initialen Kosten (z.B. Entwicklung der Software, Erstellung der virtuellen Inhalte) bei gleichzeitig ansteigenden Reiseersparnissen (z.B. Reduktion von Reisekosten und -zeiten durch Selbsthilfe des Kunden im Fehlerfall) resultiert.

Die **Bewertung der Geschäftsmodellvarianten** erfolgt im Rahmen einer gewichteten Punktebewertung im Hinblick auf die Dimensionen *Attraktivität* und *Erreichbarkeit*. Unter Berücksichtigung der Business Cases sowie vorliegender Zukunftsszenarien aus der Vorausschau werden für die Beurteilung der Attraktivität die *Wirtschaftlichkeit*, *Wettbewerbsintensität* und *Zukunftsrobustheit* der Geschäftsmodellvarianten bewertet. Die Erreichbarkeit ergibt sich aus den *Synergien mit bestehenden Ressourcen und Fähigkeiten* sowie dem *Umsetzungsrisiko*, für das die im Geschäftsmodellrahmen dokumentierten Risiken eine erste Indikation geben.

Zur Interpretation der Ergebnisse werden die Bewertungen in ein **Geschäftsmodellportfolio** übertragen, das in Bild 5-14 dargestellt ist. Es wird deutlich, dass die Geschäftsmodellvariante *Auslagerung von Softwareentwicklung und Eigenentwicklung der AR-Inhalte* die höchste Geschäftsmodellpriorität aufweist. Zwar zeichnet sich die Geschäftsmodellvariante *Vollständige Auslagerung der Entwicklung von Software und AR-Inhalten* durch eine höhere Erreichbarkeit aus, allerdings verfügt sie aufgrund der deutlich schlechteren ökonomischen Erfolgsaussichten über eine geringe Attraktivität. Da das betrachtete Unternehmen bislang über keine Erfahrungswerte mit AR verfügt, ist die Erreichbarkeit der Geschäftsmodellvariante *Eigenentwicklung von Software und AR-Inhalten* als gering anzusehen. Vor dem Hintergrund der Bewertungen wird die Geschäftsmodellvariante *Auslagerung von Softwareentwicklung und Eigenentwicklung der AR-Inhalte* für die Umsetzung ausgewählt.

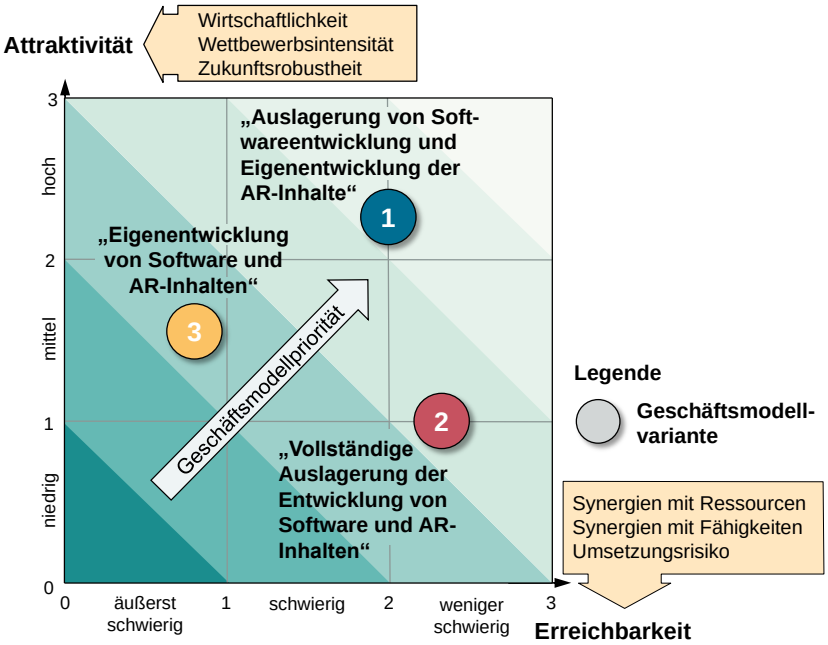


Bild 5-14: Bewertung der Geschäftsmodellvarianten in einem Geschäftsmodellportfolio

Als **Resultat** der zweiten Phase der Umsetzungsplanung liegt mit der Geschäftsmodellvariante *Auslagerung von Softwareentwicklung und Eigenentwicklung der AR-Inhalte* ein Erfolg versprechendes Geschäftsmodell für die Umsetzung der *AR-gestützten Fehlerursachen-Suche und -Behebung* vor.

5.3.3 Phase 3: Planung von Maßnahmen

Anknüpfend an die Produkt-Service- und Geschäftsmodellkonzipierung erfolgt in der dritten und letzten Phase der Umsetzungsplanung die Erstellung einer Umsetzungsroadmap. Sie dient als **Plan zur Operationalisierung der Geschäftsidee** und ordnet die zur Umsetzung erforderlichen Maßnahmen in eine zeitliche Reihenfolge. Zur Vorbereitung der Umsetzungsroadmap wird zunächst ein *Projektstrukturplan* erstellt, indem Teilaufgaben und Arbeitspakete definiert werden. Hierzu zählen u.a. die Entwicklung der AR-Applikation für die *AR-gestützte Fehlerursachen-Suche und -Behebung*, die konstruktive Anpassung des CtP-Systems und die Entwicklung eines Marketingkonzeptes. Unter Rückgriff auf die Ergebnisdokumente aus den vorgelagerten Phasen und den darin kenntlich gemachten AR-induzierten Änderungsbedarfen werden Maßnahmen abgeleitet und mit Hilfe der *Netzplantechnik* in eine zeitliche und logische Reihenfolge gebracht.

Zur Veranschaulichung werden die Ergebnisse in eine **Umsetzungsroadmap** überführt, wie auszugsweise in Bild 5-15 zu sehen ist. In dieser sind die Maßnahmen entsprechend ihres zeitlichen Verlaufs entlang einer Zeitachse angeordnet und über farbliche Kennzeichnung den verantwortlichen Funktionsbereichen des betrachteten Unternehmens zugeordnet. Vertikal verlaufende Linien kennzeichnen Meilensteine und zeigen funktionsbereichsübergreifende Abhängigkeiten zwischen den Maßnahmen auf.

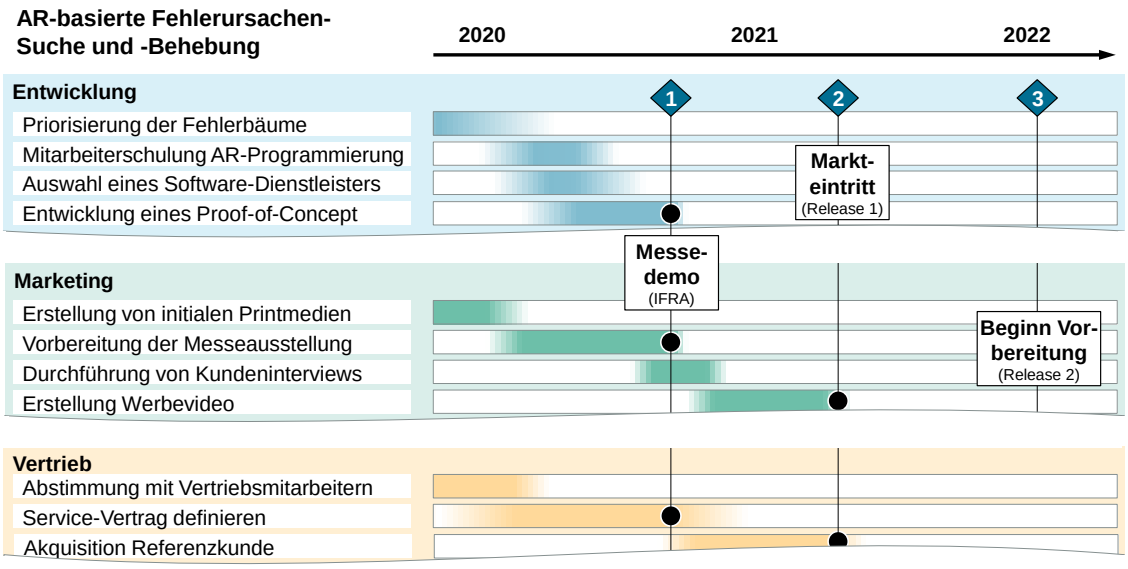


Bild 5-15: Zeit- und Ablaufplanung in einer Umsetzungsroadmap (Auszug)

Aus der Umsetzungsroadmap lassen sich die identifizierten **Maßnahmen** für das Anwendungsbeispiel ablesen. Wie in Bild 5-15 zu erkennen, geht dem für das Frühjahr 2021 geplanten Markteintritt die Ausstellung eines Demonstrators auf einer branchenrelevanten Messe voraus, die im Geschäftsmodell als wichtiger Kundenkanal definiert wurde. Bis zu diesem Zeitpunkt sind u.a. die Mitarbeiter entsprechend der geforderten Kompetenzen im Personalprofil zu schulen, ein geeigneter Software-Dienstleister zu identifizieren und ein Proof-of-Concept zu entwickeln, um auf der Messe ein erstes Stimmungsbild potentieller Zielkunden einzuholen. Aufbauend auf den Erfahrungen der Messe erfolgen schließlich die konstruktiven Anpassungen am CtP-System entsprechend der Modifikationsbedarfe in der Wirkstruktur (z.B. Installation einer zusätzlichen Leuchte) und die Entwicklung der AR-Applikation entsprechend der Anforderungsliste. Aufbauend auf den Erfahrungen nach dem Markteintritt ist in der mittel- bis langfristigen Perspektive ein zweites Release vorgesehen, um weitere Funktionen bereitzustellen und die AR-Applikation ggf. auf weitere Produktgruppen auszuweiten.

In einem **AR-Roadbook** werden die Umsetzungsroadmap sowie die Ergebnisdokumente aus den vorgelagerten Phasen zusammengefasst (vgl. Bild 5-16). Neben einer Management Summary beinhaltet das AR-Roadbook Angaben zu den erforderlichen Anpassungen am bestehenden Produkt-Service-System, Informationen zu dem Geschäftsmodell mitsamt Business Case sowie eine Übersicht der für die Realisierung der Geschäftsidee zu ergreifenden Maßnahmen in Form einer Umsetzungsroadmap.

Als abschließendes **Resultat** der Umsetzungsplanung liegt mit dem AR-Roadbook eine kompakte Übersicht der relevanten Informationen zur Realisierung der *AR-gestützten Fehlerursachen-Suche und -Behebung* vor. Das AR-Roadbook hat den Charakter eines Entwicklungsauftrags und bildet die Grundlage für an die Systematik anknüpfende Entwicklungsprojekte.

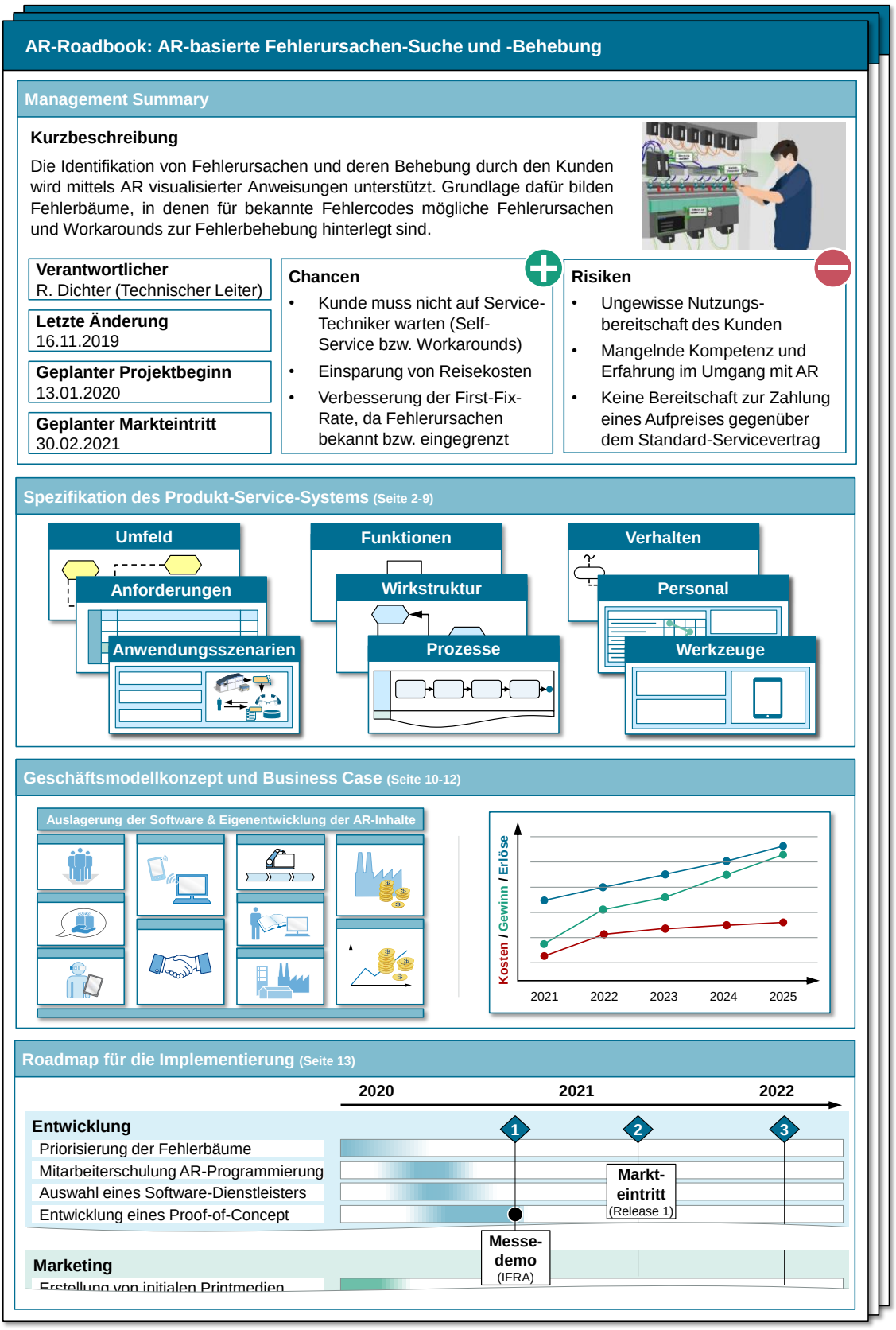


Bild 5-16: AR-Roadbook für die AR-gestützte Fehlerursachen-Suche und -Behebung

5.4 Bewertung der Systematik anhand der Anforderungen

In diesem Abschnitt wird die Systematik anhand der Anforderungen aus *Abschnitt 2.5* bewertet. Vor diesem Hintergrund wird im Folgenden für jede Anforderung detailliert dargelegt, inwiefern sie durch einzelne Bestandteile bzw. das Zusammenwirken der Systematik erfüllt wird. Den Bezug der Anforderungen zu der Systematik zeigt Bild 5-17.

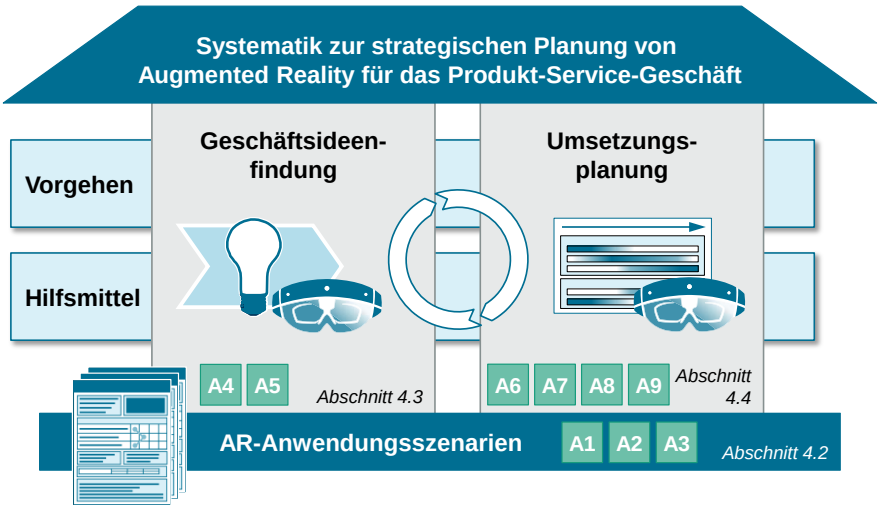


Bild 5-17: Erfüllung der Anforderungen durch die Systematik

Anforderungen an die Strukturierung der Einsatz- und Nutzenpotentiale von AR

A1) Anwendungsszenarien von AR für Produkt-Service-Systeme: Die Systematik liefert einen *Katalog aus 16 AR-Anwendungsszenarien*, der eine strukturierte Übersicht der Einsatzmöglichkeiten von AR entlang des Lebenszyklus eines Produkt-Service-Systems gibt (vgl. *Abschnitt 4.2.3*). Die Anwendungsszenarien sind einheitlich in *Steckbriefen* dokumentiert, in denen die für die strategische Planung relevanten Informationen kompakt zusammengefasst sind. Um Orientierung für den Übertrag auf unternehmensspezifische Kontexte zu bieten, umfassen die Steckbriefe sowohl allgemeingültige Beschreibungen des AR-Anwendungsszenarios (textuelle Kurzbeschreibung, graphische Illustration) als auch weiterführende Informationen zu konkreten Implementierungen (Verweis auf die zur Herleitung des Anwendungsszenarios verwendeten AR-Anwendungsbeispiele). Darüber hinaus wird mit dem *Klassifikationsschema* (vgl. *Abschnitt 4.2.2*) eine Schablone mit prinzipiellen Gestaltungsoptionen für AR-Anwendungsszenarien bereitgestellt, die es ermöglicht, sowohl neue Anwendungsideen für AR zu identifizieren als auch ausgehend von Ausprägungen bestehender AR-Anwendungsszenarien gezielt Variationen zu bilden.

A2) Transparenz über Chancen und Risiken für das Produkt-Service-Geschäft: Einen elementaren Bestandteil der Steckbriefe zu den AR-Anwendungsszenarien bilden die spezifischen *Chancen und Risiken* für das Produkt-Service-Geschäft (vgl. *Abschnitt 4.2.3*). Zusätzlich wird der Nutzen des Anwendungsszenarios aus Sicht des Kunden und des Anbieters des Produkt-Service-Systems anhand von *14 generischen Nutzenpotentia-*

len beleuchtet. Hieraus resultiert ein *charakteristisches Nutzenprofil* für jedes AR-Anwendungsszenario, das eine differenzierte und intuitiv verständliche Einschätzung der Mehrwerte für das Produkt-Service-Geschäft ermöglicht.

A3) Systematische Herleitung und Erweiterbarkeit: Die Ermittlung der AR-Anwendungsszenarien beruht auf einem *systematischen Vorgehen* (vgl. *Abschnitt 4.2.1*). Ausgehend von einer Literaturrecherche wurden 75 AR-Anwendungsbeispiele identifiziert, mit Hilfe eines Klassifikationsschemas einheitlich beschrieben und unter Zuhilfenahme einer Clusteranalyse zu AR-Anwendungsszenarien verdichtet. Durch das umfassend beschriebene Vorgehen und die in *Anhang A2.1* transparent dargelegten Bewertungen der AR-Anwendungsszenarien sind die Ergebnisse reproduzierbar. Damit werden die Weichen für eine fortlaufende *Aktualiserung* und *Erweiterung* der Klassifikation im Zeitverlauf gestellt und der hohen Dynamik von AR als Schlüsseltechnologie Rechnung getragen.

Anforderungen an die Ideenfindung für AR-basierte Produkt-Service-Systeme

A4) Ideenfindung auf Basis der Potentiale von AR: Die *Geschäftsideenfindung* bildet einen zentralen Bestandteil der Systematik (vgl. *Abschnitt 4.3*). Es werden Vorgehensmodelle und Hilfsmittel bereitgestellt, die eine systematische Identifikation und Bewertung von Ideen unter Berücksichtigung der spezifischen Potentiale von AR ermöglichen (u.a. *Kriterien zur Bewertung des Umsetzungsaufwands*, *Kundenbedarfs-Nutzenpotential-Matrix*). Hierbei erfolgt ein Rückgriff auf die in den Steckbriefen zu den AR-Anwendungsszenarien hinterlegten Nutzenpotentiale (vgl. *Abschnitt 4.2.3*). Die Unterscheidung zwischen der *bedarfs- und technologieinduzierten Geschäftsideenfindung* gewährleistet eine universelle Anwendbarkeit der entwickelten Hilfsmittel unter Berücksichtigung der inviduellen Zielsetzung eines Unternehmens (Market Pull und Technology Push).

A5) Berücksichtigung der Kundenbedarfe: Um der sowohl für Produkt-Service-Systeme als auch für AR als Erfolgsfaktor geltenden Kundenorientierung gerecht zu werden, stellt die Systematik die strukturierte Durchdringung der Kundenbedarfe an den Ausgangspunkt der Ideenfindung (vgl. *Abschnitt 4.3.1.2* und *4.3.2.2*). Unter Rückgriff auf die *Value Proposition Canvas* wird ein etabliertes Werkzeug für die Kundenanalyse verwendet, dessen Ergebnisse mit den spezifischen Nutzenpotentialen der AR-Anwendungsszenarien synchronisiert werden. Hierdurch wird der vom Task-Technology-Fit-Modell geforderten Passung zwischen Aufgabenkontext und Technologie Rechnung getragen, woraus positive Effekte auf die Akzeptanz und damit die Erfolgswahrscheinlichkeit der Geschäftsidee resultieren.

Anforderungen an die integrative Konzipierung AR-basierter Produkt-Service-Systeme

A6) Unterstützung bei der Spezifikation und Auswahl des AR-Systems: Die entwickelte Systematik stellt verschiedene Hilfsmittel für die Spezifikation und Auswahl des AR-Systems bereit. Die Erhebung von Anforderungen wird durch einen *Leitfragenkatalog* (vgl. *Abschnitt 4.4.1*) unterstützt, der sich an den Komponenten der in *Abschnitt 2.3.3*

beschriebenen Architektur eines AR-Systems nach VOGL orientiert. Der Leitfragenkatalog ist allgemeinverständlich formuliert und hilft dabei, die zahlreichen Einflüsse auf das AR-System transparent zu machen und in Anforderungen zu überführen. Ferner liefert die Systematik einen *Leitfaden*, der aufbauend auf den Anforderungen die Auswahl eines geeigneten AR-Systems methodisch unterstützt (vgl. *Abschnitt 4.4.1*). Besonderer Fokus liegt dabei auf Datenbrillen, deren Auswahl aufgrund der steigenden Relevanz und gleichzeitig hohen Marktdynamik ein komplexes Entscheidungsproblem darstellt.

A7) Identifikation von Modifikationsbedarfen an Produkt und Dienstleistung: Um die aus der Integration des AR-Systems resultierenden Modifikationsbedarfe an Sach- und Dienstleistung transparent darzulegen, umfasst die Systematik ein *Vorgehen* für die integrative Konzipierung von Produkt-Service-System und AR-System (vgl. *Abschnitt 4.4.1*). Es baut auf der Spezifikationstechnik CONSENS auf, die eine ganzheitliche und fachdisziplinübergreifende Beschreibung von Produkt-Service-Systemen ermöglicht (vgl. *Abschnitt 3.3.4*). Ausgehend von dem umzusetzenden AR-Anwendungsszenario beschreibt das Vorgehensmodell die erforderlichen Schritte, um Änderungsauswirkungen auf die konstituierenden Bestandteile des Produkt-Service-Systems zu identifizieren und darauf aufbauend das Produkt-Service-Konzept zu modifizieren.

Anforderungen an die Entwicklung von Geschäftsmodellen für AR-basierte Produkt-Service-Systeme

A8) Berücksichtigung AR-spezifischer Herausforderungen: Für die Geschäftsmodellentwicklung wird im Rahmen der Systematik ein *Geschäftsmodellkartenset* als Hilfsmittel bereitgestellt (vgl. *Abschnitt 4.4.2*). Die Geschäftsmodellkarten beziehen sich auf AR-spezifische Herausforderungen, mit denen sich Unternehmen bei der Entwicklung von Geschäftsmodellen für AR konfrontiert sehen. Neben einer Kurzbeschreibung der Herausforderung enthalten die Geschäftsmodellkarten mögliche Gestaltungsoptionen für das Geschäftsmodell, um den Herausforderungen wirksam zu begegnen. Damit stellt das Geschäftsmodellkartenset Lösungswissen für die Entwicklung von Geschäftsmodellen zur Verfügung, das sich aufwandsarm in gängige Geschäftsmodellworkshops einbinden lässt.

A9) Planung von Maßnahmen zur Umsetzung: Ausgehend von dem entwickelten Geschäftsmodell sowie dem Produkt-Service-Konzept werden in der Systematik Maßnahmen zur Umsetzung geplant und in einer *Umsetzungsroadmap* gebündelt (vgl. *Abschnitt 4.4.3*). Hilfestellung für die Maßnahmenplanung bilden die AR-induzierten Änderungsauswirkungen, die entlang der Vorgehensmodelle der Systematik als solche kenntlich gemacht werden. Die Umsetzungsroadmap sowie die weiteren Ergebnisdokumente werden in einem *AR-Roadbook* zusammengefasst (vgl. *Abschnitt 4.4.3*), das die wesentlichen Informationen für einen Entwicklungsauftrag beinhaltet. Hierdurch wird dem Übergang von der strategischen Planung in die operative Umsetzung Rechnung getragen.

Fazit: Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die vorgestellte *Systematik zur strategischen Planung von Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft* die gestellten Anforderungen vollumfänglich erfüllt. Die Systematik schafft Transparenz über die Einsatz- und Nutzenpotentiale von AR und liefert eine durchgängige methodische Hilfestellung, um die Potentiale in neue Geschäftsideen für das Produkt-Service-Geschäft zu überführen sowie deren Umsetzung unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf das Produkt-Service-System und Geschäftsmodell strategisch zu planen. Anhand eines Beispiels aus dem Maschinen- und Anlagenbau für das industrielle Druckwesen wurde die prinzipielle Anwendbarkeit der Systematik erfolgreich nachgewiesen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Um sich durch kundenindividuelle Lösungen vom steigenden Wettbewerb zu differenzieren, komplementieren Unternehmen ihre Marktleistungen zunehmend durch zusätzliche Dienstleistungen. Das sachleistungsorientierte Produkt- und Komponentengeschäft wird abgelöst durch **Produkt-Service-Systeme**, die Sach- und Dienstleistungskomponenten integrieren. Der unter dem Schlagwort Servitization of Business subsumierte Wandel zum Produkt-Service-Geschäft wird beschleunigt durch technologieinduzierte Innovationspotentiale, die aus der fortschreitenden Digitalisierung und dem technischen Fortschritt von Informations- und Kommunikationstechnologien resultieren.

Vor diesem Hintergrund zeichnet sich mit **Augmented Reality** (AR) eine Schlüsseltechnologie für die digitale Transformation des Produkt-Service-Geschäfts ab, die jüngst die Reife für den industriellen Einsatz erlangt hat. Durch die computergestützte Erweiterung realer Umgebungen mit virtuellen Informationen schlägt sie eine Brücke zwischen der physischen und virtuellen Welt: Informationen werden zur richtigen Zeit am richtigen Ort bereitgestellt. In der Konsequenz verringert AR die kognitive Belastung für die Informationsaufnahme und -verarbeitung und ermöglicht es dadurch, manuelle Tätigkeiten effizienter und effektiver durchzuführen. Mit Blick auf das Produkt-Service-Geschäft eröffnet AR neue Möglichkeiten, zusätzlichen Kundennutzen zu generieren, sich vom Wettbewerb zu differenzieren und damit verbundene Wettbewerbsvorteile zu erschließen.

Der **Einsatz von AR im Produkt-Service-Geschäft** wurde bislang jedoch allenfalls in Teilausschnitten und damit in seiner Breite nur unzureichend beleuchtet. Dies ist darauf zurückzuführen, dass sich die Forschungsaktivitäten zu AR lange Zeit auf die Lösung technischer Problemstellungen beschränkten. Mit der zunehmenden technischen Reife rücken jedoch in zunehmendem Maße geschäftsstrategische Fragestellungen zur Erschließung der Einsatz- und Nutzenpotentiale von AR in den Vordergrund, die einer Beantwortung bedürfen. In diesem Zusammenhang zeigen sich entlang des Prozesses zur strategischen Planung **Herausforderungen**, mit denen sich Unternehmen konfrontiert sehen: Infolge der unstrukturierten Vielfalt der Einsatz- und Nutzenpotentiale von AR fällt es Unternehmen schwer, Erfolg versprechende Anwendungsszenarien für AR zu identifizieren und in Geschäftsideen zu überführen. Zudem ist unklar, wie die Integration von AR unter Berücksichtigung der Änderungsauswirkungen auf das Produkt-Service-System gelingen und Erfolg versprechende Geschäftsmodelle gestaltet werden können.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, bedarf es einer **durchgängigen methodischen Unterstützung**: Es werden ein systematisches Vorgehen und dedizierte Hilfsmittel zur strategischen Planung von AR für das Produkt-Service-Geschäft benötigt. Ein besonderes Augenmerk muss hierbei auf einer transparenten Darstellung der Einsatzmöglichkeiten von AR und den damit verbundenen Chancen und Risiken für das Produkt-Service-Geschäft liegen. Bei der Integration von AR in das Produkt-Service-Portfolio sind neben

den Potentialen von AR als Problemlöser als auch die mit AR einhergehenden technologiespezifischen Anforderungen zu berücksichtigen. Dies gilt für die technische Konzeption ebenso wie für das Geschäftsmodell.

Im **Stand der Technik** wurden bestehende Ansätzen und Arbeiten analysiert, die für die strategische Planung von AR relevant sind.

- Die Untersuchung der **Strukturierungsrahmen und Klassifikationsschemata** zeigt, dass die Einsatzmöglichkeiten von AR für das Produkt-Service-Geschäft allenfalls randständig beleuchtet werden. Gleichwohl zeichnet sich mit der Kombination eines Klassifikationsschemas (u.a. NORMAND ET AL.) und einer literaturbasierten Analyse von AR-Anwendungsbeispielen (FITE-GEORGEL) eine vielversprechende Möglichkeit für die Strukturierung der Einsatz- und Nutzenpotentiale von AR ab.
- Die betrachteten **Ansätze zur Ideenfindung** beschränken sich vielfach auf bestimmte Domänen, AR-Systeme oder Teilausschnitte der Ideenfindung. Mit der Value Proposition Canvas nach OSTERWALDER ET AL. sowie den Einsatzindikatoren für Datenbrillen nach GRAUEL ET AL. kristalliseren sich jedoch geeignete Hilfsmittel heraus, die sich für die Systematik adaptieren lassen.
- Den **Ansätzen zur Konzipierung von AR- und Produkt-Service-System** mangelt es vielfach an einer integrativen Betrachtung. Der Leitfragenkatalog nach SCHILLING sowie die Spezifikationstechnik CONSENS nach GAUSEMEIER ET AL. liefern jedoch wertvolle Ansätze für die Spezifikation des AR-Systems sowie die Analyse der AR-induzierten Modifikationsbedarfe an Sach- und Dienstleistung.
- Die untersuchten **Ansätze zur Geschäftsmodellentwicklung** adressieren die technologiespezifischen Herausforderungen von AR in ihrer Breite nur unzureichend. Mit der Geschäftsmodellontologie nach VAN KLEEF ET AL. sowie dem Referenzmodell nach ISO/IEC DIS 18039 werden jedoch einzelne Erfolgsfaktoren und Gestaltungsoptionen benannt, die Grundlage für eine Adaption bieten.

Zusammenfassend zeigt die Bewertung des Stands der Technik, dass die betrachteten Ansätze die strategische Planung von AR für das Produkt-Service-Geschäft nur partiell unterstützen. Ein Ansatz, der den gestellten Anforderungen vollumfänglich gerecht wird, existiert nicht. Vor diesem Hintergrund zeigt sich **Handlungsbedarf** für eine *Systematik zur strategischen Planung von Augmented Reality für das Produkt-Service-Geschäft*.

Die erarbeitete **Systematik** greift einige der untersuchten Ansätze auf, überträgt diese auf den Einsatz von AR im Produkt-Service-Geschäft und ergänzt sie um neu entwickelte Hilfsmittel. Das Ergebnis setzt sich aus drei übergeordneten Bestandteilen zusammen:

- **AR-Anwendungsszenarien:** Ein Katalog bestehend aus 16 Anwendungsszenarien schafft Transparenz über die Einsatz- und Nutzenpotentiale von AR, bietet Orientierung für den Übertrag der Technologie auf unternehmensspezifische Kontexte und liefert somit Innovationsimpulse zur Weiterentwicklung des Produkt-

Service-Geschäfts. Grundlage bildet ein Klassifikationsschema, mit dessen Hilfe 75 AR-Anwendungsbeispiele einheitlich beschrieben und zu generischen Anwendungsszenarien verdichtet wurden.

- **Geschäftsideenfindung:** Unter Rückgriff auf die AR-Anwendungsszenarien unterstützt die Geschäftsideenfindung mit einem Vorgehensmodell und dedizierten Hilfsmitteln die systematische Identifikation, Bewertung und Auswahl von Geschäftsideen für AR-basierte Produkt-Service-Systeme. Der Dualität von Market Pull und Technology Push folgend gliedert sich die Geschäftsideenfindung in ein bedarfs- und technologieinduziertes Vorgehen und trägt damit unterschiedlichen strategischen Stoßrichtungen für die Integration von AR Rechnung.
- **Umsetzungsplanung:** Zur systematischen Konkretisierung der Geschäftsideen liefert die Umsetzungsplanung ein Vorgehensmodell und Hilfsmittel für die integrative Konzipierung von AR- und Produkt-Service-System, die Entwicklung von Geschäftsmodellen und die Operationalisierung der Ergebnisse in Form einer Umsetzungsroadmap. Die Umsetzungsplanung mündet in ein AR-Roadbook, das alle relevanten Informationen für die Umsetzung der Geschäftsidee bündelt und als Bindeglied für nachfolgende Entwicklungsprojekte dient.

Die **Anwendung der Systematik** erfolgte anhand eines Praxisbeispiels aus dem Forschungsprojekt AcRoSS, in dem die Potentiale von AR für das Produkt-Service-Geschäft eines mittelständischen Unternehmens aus dem Maschinen- und Anlagenbau untersucht wurden. Hierzu wurden die Vorgehensmodelle der Systematik vollständig durchlaufen, die Hilfsmittel angewendet und die so erzielten Resultate vorgestellt. Das Anwendungsbeispiel liefert hierdurch den Nachweis über die Praxistauglichkeit und Industrierelevanz der Arbeit. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Systematik die an sie gestellten Anforderungen vollumfänglich erfüllt.

Anknüpfend an die vorliegende Arbeit besteht **weiterer Forschungsbedarf**, der die Weiterentwicklung der Systematik und darüber hinaus gehende Themenfelder adressiert.

- **Erweiterung der AR-Anwendungsszenarien:** Als aufstrebende Technologie unterliegt AR einer hohen Dynamik. Mit dem technischen Fortschritt werden sich fortlaufend neue Einsatzmöglichkeiten und damit verbundene Nutzenpotentiale für das Produkt-Service-Geschäft abzeichnen, die weit über das derzeit Mögliche hinausgehen [Ped17, S. 159]. Daher bietet es sich an, die vorgestellte Klassifikation der AR-Anwendungsszenarien im Zeitverlauf zu aktualisieren und zu erweitern. Mit dem systematischen Vorgehen wurden in der Arbeit hierfür bereits die Weichen gestellt.
- **Analyse der Potentiale von AR für die interne Wertschöpfung:** Neben dem in der vorliegenden Arbeit im Vordergrund stehenden Produkt-Service-Geschäft eröffnet der Einsatz von AR auch vielfältige Potentiale zur Effizienzverbesserung der Wertschöpfungsprozesse innerhalb eines Unternehmens [PH16, S. 8]. Zukünftige For-

schungsarbeiten sollten sich verstärkt der methodischen Erschließung dieser Potentiale widmen, wobei Teilausschnitte der vorliegenden Arbeit relevante Vorarbeiten hierfür bilden (z.B. AR-Anwendungsszenarien, Vorgehen zur Ideenfindung).

- **Vereinfachte Entwicklung von AR-Applikationen:** Im Hinblick auf die an die Systematik anschließende Umsetzungsphase stellt die Reduzierung des Aufwands für die Entwicklung von AR-Applikationen einen der wichtigsten Forschungsbedarfe dar und gilt gemeinhin als Voraussetzung für den flächendeckenden Durchbruch von AR im B2B- und B2B-Sektor [MS16, S. 26]. Die im Forschungsprojekt *AcRoSS* entwickelte Service-Plattform, auf der wiederwendbare Software-Bausteine bereitgestellt werden, ist ein erster wichtiger Schritt in diese Richtung [RS18, S. 41].
- **Auswirkungen von AR auf die Arbeitswelt:** Die Erforschung der sozio-technischen Auswirkungen von AR auf die Arbeitswelt stellt einen weiteren relevanten Forschungsstrang dar. Im Spitzencluster *it's OWL – Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe* wurden mit der *Nachhaltigkeitsmaßnahme Arbeit 4.0* sowie dem Projekt *AWARE (Arbeit 4.0 – Bedarfsanalyse und Unterstützungsangebote für produzierende Unternehmen)* hierzu erste Initiativen gestartet [DKW19, S. 26ff.].

7 Abkürzungsverzeichnis

AR	Augmented Reality
B2B	Business-to-Business
B2C	Business-to-Consumer
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
bzw.	beziehungsweise
CAD	Computer-Aided Design
CNC	Computer Numerical Control
CONSENS	CONceptual design Specification technique for the Engineering of complex Systems
CPS	Cyber-physisches System
CtP	Computer to Plate
d.h.	das heißt
DIN	Deutsche Industrienorm
DIS	Draft International Standard
DL	Dienstleistung
engl.	Englisch
ERP	Enterprise Resource Planning
et al.	et alii
etc.	et cetera
GF	Geschäftsfeld
HGF	Hauptgeschäftsfeld
IBM	International Business Machines Corporation
IEC	International Electrotechnical Commission
i.d.R.	in der Regel
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
ISAR	International Symposium on Augmented Reality
ISMAR	International Symposium on Mixed and Augmented Reality

ISMR	International Symposium on Mixed Reality
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnik
it’s OWL	Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe
IWAR	International Workshop on Augmented Reality
HF	Handlungsfeld
ggf.	gegebenenfalls
MDS	Multidimensionale Skalierung
MES	Manufacturing Execution System
Mrd.	Milliarde
NFR	Natural Feature Recoginition
Nr.	Nummer
PC	Personal Computer
PSS	Produkt-Service-System
sog.	sogenannt
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
techn.	technisch
u.	und
u.a.	unter anderem
US-$	US-Dollar
VDE	Verband der Elektrotechnik Eletronik Informationstechnik e.V.
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e.V.
vgl.	vergleiche
VR	Virtual Reality
z.B.	zum Beispiel

8 Literaturverzeichnis

[AAB+12] AMTHOR, K.-J.; AUGUST, W.; BECK, E.; BRECHER, C.; BÖCKELMANN, I.; FENG, J.; FEDROWITZ, C.; HEIN, B.; HEUSCHMANN, C.; HUCKAUF, A.; JUNDT, E.; LOHSE, W.; MECKE, R.; MÜLLER, A.; NOTHEIS, S.; RABÄTJE, R.; SCHUBERT, M.; WOHLGEMUTH, W.; ZIMMERMANN, U.: Anwendungen für Fertigung, Betrieb, Service und Wartung. In: Schreiber, W.; Zimmermann, P. (Hrsg.): Virtuelle Techniken im industriellen Umfeld – Das AVILUS-Projekt – Technologien und Anwendungen. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012, S. 213-275

[ABB+01] AZUMA, R. T.; BAILLOT, Y.; BEHRINGER, R.; FEINER, S.; JULIER, S.; MACINTYRE, B.: Recent Advances In Augmented Reality. IEEE Computer Graphics And Applications, Volume 21, Issue 6, Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Piscataway, 2001, pp. 34-47

[AF04] AURICH, J. C.; FUCHS, C.; DEVRIES, M. F.: An Approach To Life Cycle Oriented Technical Service Design. CIRP Annals, Volume 52, Issue 1, Elsevier, Amsterdam, 2004, pp. 151-154

[AGM18] ARNALDI, B.; GUITTON, P.; MOREAU, G.: Conclusion – Where Will VR-AR Be In 10 Years? In: Arnaldi, B.; Guitton, P.; Moreau, G. (Eds.): Virtual Reality And Augmented Reality – Myths And Realities. John Wiley & Sons, Hoboken, 2018, pp. 303-307

[AHG03] AITEANU, D.; HILLERS, B.; GRASER, A.: A Step Forward In Manual Welding – Demonstration Of Augmented Reality Helmet. In: Proceedings Of The 2nd IEEE And ACM International Symposium On Mixed And Augmented Reality (ISMAR 2003). October 7 - 10, Tokio, Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Piscataway, 2003, pp. 309-310

[AL05] ALLMENDINGER, G.; LOMBREGLIA, R.: Four Strategies For The Age Of Smart Services. Harvard Business Review, Volume 83, Issue 10, Harvard Business Publishing, Brighton, 2005, pp. 131-145

[Alb16] ALBRIGHT, B.: Field Service Undergoes A Virtual Revolution. Field Technologies Magazine, Issue 07/16, Field Technologies, Erie, 2016

[AMB+17] ANTAKLI, A.; MOYA, P. A.; BRÜDERLIN, B.; CANZLER, U.; DAMMERTZ, H.; ENDERLEIN, V.; GRÜNINGER, J.; HARTH, A.; HOFFMANN, H.; JUNDT, E.; KEITLER, P.; KEPPMANN, F. L.; KRZIKALLA, R.; LAMPE, S.; LÖFFLER, A.; MEDER, J.; OTTO, M.; PANKRATZ, F.; PFÜTZNER, S.; ROTH, M.; SAUERBIER, R.; SCHREIBER, W.; STECHOW, R.; TÜMLER, J.; VOGELSANG, C.; WASENMÜLLER, O.; WEINMANN, A.; WILLNEFF, J.; WIRSCHING, H.-J.; ZINNIKUS, I.; ZÜRL, K.: Virtuelle Techniken und Semantic-Web. In: Schreiber, W.; Zürl, K.; Zimmermann, P. (Hrsg.): Web-basierte Anwendungen Virtueller Techniken – Das ARVIDA-Projekt – Dienste-basierte Software-Architektur und Anwendungsszenarien für die Industrie. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2017, S. 17-116

[AMS10] AURICH, J. C.; MANNWEILER, C.; SCHWEITZER, E.: How To Design And Offer Services Successfully. CIRP Journal Of Manufacturing Science And Technology, Volume 2, Issue 3, Elsevier, Amsterdam, 2010, pp. 136-143

[Ams16] AMSHOFF, B.: Systematik zur musterbasierten Entwicklung technologie-induzierter Geschäftsmodelle. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 357, Paderborn, 2016

[Ans65] ANSOFF, H. I.: Corporate Strategy – An Analytic Approach To Business Policy For Growth And Expansion. McGraw-Hill, New York, 1965

[ASG+16] ARDOLINO, M.; SACCANI, N.; GAIARDELLI, P.; RAPACCINI, M.: Exploring The Key Enabling Role Of Digital Technologies For PSS Offerings. Procedia CIRP, Volume 47, Elsevier, Amsterdam, 2016, pp. 561-566

[Ash09] ASHTON, K.: That ‚Internet of Things‘ Thing – In The Real World, Things Matter More Than Ideas. RFiD Journal, May/June 2009, Emerald, Alpharetta, 2009, pp. 97-114

[ASS+07] AURICH, J. C.; SCHWEITZER, M.; SIENER, M.; FUCHS, C.; JENNE, F.; KIRSTEN, U.: Life Cycle Management investiver PSS – Gestaltung und Realisierung investiver Produkt-Service-Systeme. wt Werkstattstechnik online, Ausgabe 7/8, VDI-Fachmedien, Düsseldorf, 2007, S. 579-585

[ASW+12] ALT, T.; SCHREIBER, W.; WOHLGEMUTH, W.; ZIMMERMANN, P.: Das Verbundprojekt AVILUS. In: Schreiber, W.; Zimmermann, P. (Hrsg.): Virtuelle Techniken im industriellen Umfeld – Das AVILUS-Projekt – Technologien und Anwendungen. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012, S. 4-18

[Auk17] AUKSTAKALNIS, S.: Practical Augmented Reality – A Guide To The Technologies, Applications, And Human Factors For AR And VR. Addison-Wesyley, Boston, 2017

[AWA+17] ABRAMOVICI, M.; WOLF, M.; ADWERNAT, S.; NEGES, M.: Context-Aware Maintenance Support For Augmented Reality Assistance And Synchronous Multi-User Collaboration. Procedia CIRP, Volume 59, Elsevier, Amsterdam, 2017, pp. 18-22

[Azu97] AZUMA, R. T.: A Survey Of Augmented Reality. Presence Teleoperators And Virtual Environment, Volume 6, No. 4, MIT Press, Cambridge, 1997, pp. 355-385

[Bad12] BADE, C.: Untersuchungen zum Einsatz der Augmented Reality Technologie für Soll/Ist-Vergleiche von Betriebsmitteln in der Fertigungsplanung. Dissertation, Fakultät für Informatik, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Logos Verlag, Berlin, 2012

[Bar19] BARDMANN, M.: Grundlagen der Allgemeinen Betriebswirtschaftslehre – Geschichte, Konzepte, Digitalisierung. 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden, 2019

[Bas19-ol] BASTIAN, M.: Hype-Zyklus 2019 – Gartner schmeißt Augmented und Mixed Reality raus. Unter: https://mixed.de/hype-zyklus-2019-gartner-schmeisst-augmented-und-mixed-reality-raus, 5. September 2019

[Bät04] BÄTZEL, D.: Methode zur Ermittlung und Bewertung von Strategiealternativen im Kontext Fertigungstechnik. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 141, Paderborn, 2004

[Bau01] BAUM, L. F.: The Master Key – An Electrical Fairy Tale. Bowen-Merrill, Indianapolis, 1901

[BAU16] BUNDESANSTALT FÜR ARBEITSSCHUTZ UND ARBEITSMEDIZIN (Hrsg.): Head-Mounted Displays – Arbeitshilfen der Zukunft – Bedingungen für den sicheren und ergonomischen Einsatz monokularer Systeme. Druck & Verlag Kettler, Bönen, 2016

[BBE+01] BREZET, J. C.; BIJIMA, A. S.; EHRENFELD, J.; SILVESTER, S.: The Design Of Eco-Efficient Services – Method, Tools And Review Of The Case Study Based ‚Designing Eco-Efficient Services‘ Project. Delft University Of Technology, Delft, 2001

[BBE03] BACH, N.; BUCHHOLZ, W.; EICHLER, B.: Geschäftsmodelle für Wertschöpfungsnetzwerke – Begriffliche und konzeptionelle Grundlagen. In: Bach, N.; Buchholz, W.; Eichler, B. (Hrsg.): Geschäftsmodelle für Wertschöpfungsnetzwerke. Gabler, Wiesbaden, 2003, S. 1-20

[BBF+17] BOCKHOLT, U.; BRAUNS, S.; FLUCK, O.; HARTH, A.; KEITLER, P.; KORIATH, D.; LENGOWSKI, S.; OLBRICH, M.; STAACK, I.; RAUTENBERG, U.; WIDOR, V.: Werkerassistenz. In: Schreiber, W.; Zürl, K.; Zimmermann, P. (Hrsg.): Web-basierte Anwendungen Virtueller Techniken – Das ARVIDA-Projekt – Dienste-basierte Software-Architektur und Anwendungsszenarien für die Industrie. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2017, S. 309-377

[BBH+90] BLANCHARD, C.; BURGESS, S.; HARVILL, Y.; LANIER, J.; LASKO, A.; OBERMAN, M.; TEITEL, M.: Reality Built For Two – A Virtual Reality Tool. In: Zyda, M. J. (Ed.): Proceedings Of The 1990 Symposium On Interactive 3D Graphics. March 25 - 28, Snowbird, Association For Computing Machinery, New York, 1990, pp. 35-36

[BBH+17] BÄR, T.; BOCKHOLT, U.; HOFFMANN, H.; JUNDT, E.; ROTH, M.; SCHREIBER, W.; STAACK, I.; ZIMMERMANN, P.; ZÜRL, K.: Das Verbundprojekt ARVIDA. In: Schreiber, W.; Zürl, K.;

Zimmermann, P. (Hrsg.): Web-basierte Anwendungen Virtueller Techniken – Das AR-VIDA-Projekt – Dienste-basierte Software-Architektur und Anwendungsszenarien für die Industrie. Springer Vieweg, Wiesbaden, 2017, S. 1-16

[BC11] BERNARDOS, A. M.; CASAR, J. R.: Analyzing Business Models For Mobile Augmented Reality. In: Proceedings Of The 15th International Conference On Intelligence In Next Generation Networks (ICIN 2011). October 4 - 7, Berlin, Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Piscataway, 2011, pp. 97-102

[BC15] BONARD, F.; COTTET, A.: Augmented Reality For The Factory Of The Future – How Airbus Improved Its Quality Control In Product From 3 Weeks To 3 Days. It3D Magazine, 02/15, Immersion, Bordeaux, 2015, pp. 16-17

[BCL15] BILLINGHURST, M.; CLARK, A.; LEE, G.: A Survey Of Augmented Reality. Foundations And Trends In Human-Computer Interaction, Volume 8, No. 2-3, Now Publishers, Boston, Delft, 2015

[BDD+12] BADE, C.; DIERSEN, P.; DOIL, F.; DREYER, D.; HAMADOU, M.; HENZE, A.; HERFS, W.; HILDEBRAND, A.; HOFFMEYER, A.; JUNDT, E.; KORIATH, D.; MACKOWIAK, J.; MAST, M.; MÖHRING, M.; ÖZDEMIR, D.; RABÄTJE, R.; RAUTENBERG, U.; RIEDEL, M.; SCHEER, F.; SCHMIDT, H.; SCHOLZ, J.; SCHUBOTZ, R.; STAACK, I.; STEIN, S.; WOHLGEMUTH, W.: Anwendungen in Design, Konstruktion und Planung. In: Schreiber, W.; Zimmermann, P. (Hrsg.): Virtuelle Techniken im industriellen Umfeld – Das AVILUS-Projekt – Technologien und Anwendungen. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012, S. 149-212

[BEP+16] BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; PLINKE, W.; WEIBER, R.: Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung. 14., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2016

[Ber19-ol] BERSSENBRÜGGE, J.: Augmented-Reality-Lösungskonfigurator zur Angebotsqualifizierung. Unter: https://www.iem.fraunhofer.de/de/referenzen/augmented-reality-loesungskonfigurator-angebotsqualifizierung.html, 25. Januar 2019

[BEW15] BACKHAUS, K.; ERICHSON, B.; WEIBER, R.: Fortgeschrittene Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung. 3., überarbeitete und aktualisierte Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2015

[BG10] BIENZEISLER, B.; GANZ, W.: Management hybrider Wertschöpfung – Einführung in die Problemstellung. In: Ganz, W.; Bienzeisler, B. (Hrsg.): Management hybrider Wertschöpfung – Potenziale, Perspektiven und praxisorientierte Beispiele. Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 2010, S. 7-15

[BGN17] BULLINGER, H.-J.; GANZ, W.; NEUHÜTTLER, J.: Smart Services – Chancen und Herausforderungen digitalisierter Dienstleistungssysteme für Unternehmen. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Dienstleistungen 4.0 – Konzepte, Methoden, Instrumente – Band 1. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2017, S. 97-120

[BH16] BEA, F. X.; HAAS, J.: Strategisches Management – Praxisausgabe. 8., überarbeitete Auflage, UVK Verlagsgesellschaft, Konstanz, München, 2016

[BHL+18] BUGHIN, J.; HAZAN, E.; LUND, S.; DAHLSTRÖM, P.; WIESINGER, A.; SUBRAMANIAM, A.: Skill Shift – Automation And The Future Of The Workforce. McKinsey Global Institute, San Francisco, 2018

[Bin52] BINIEK, G.: Konstruktionssystematik. Feingerätetechnik – technisch-wissenschaftliche Zeitschrift für Feinmechanik, Optik und Meßtechnik, H. 4, VEB Verlag Technik, Berlin, 1952

[BJK+03] BEHRENDT, S.; JASCH, C.; KORTMAN, J.; HRAUDA, G.; PFITZNER, R.; VELTE, D.: Eco-Service Development – Reinventing Supply And Demand In The European Union. Greenleaf Publishing, Sheffield, 2003

[BK04] BISCHOFF, R.; KAZI, A.: Perspectives On Augmented Reality Based Human-Robot Interaction With Industrial Robots. In: Proceedings Of The 2004 IEEE/RSJ International Conference On Intelligent Robots And Systems (IROS 2004). September 28 - October 2, Sendai, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, 2004, pp. 3226-3231

[BK05] BEHZADAN, A. H.; KAMAT, V. R.: Visualization Of Construction Graphics In Outdoor Augmented Reality. In: Kuhl, M. E.; Steiger, N. M.; Armstrong, F. B.; Joines, J. A. (Eds.): Proceedings Of The 2005 Winter Simulation Conference. December 4 - 7, Orlando, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, 2005, pp. 1914-1920

[BL07] BRÖRING, S.; LEKER, J.: Industry Convergence And Ist Implications For The Front End Of Innovations – A Problem Of Absorptive Capacity. Creativity and Innovation Management, Volume 16, Issue 2, John Wiley & Sons, Hoboken, 2007, pp. 165-175

[Bla98] BLANA, H.: Die Herstellung – Ein Handbuch für die Gestaltung, Technik und Kalkulation von Buch, Zeitschrift und Zeitung. 4., überarbeitete und erweiterte Ausgabe, K. G. Saur Verlag, München, 1998

[BLB+09] BAINES, T. S.; LIGHTFOOT, H. W.; BENEDETTINI, O.; KAY, J. M.: The Servitization Of Manufacturing – A Review Of Literature And Reflection On Future Challenges. Journal Of Manufacturing Technology Management, Voume 20, No. 5, Emerald Publishing, Bingley, 2009, pp. 547-567

[BLE+07] BAINES, T. S.; LIGHTFOOT, H. W.; EVANS, S.; NEELY, A.; GREENOUGH, R.; PEPPARD, J.; ROY, R.; SHEHAB, E.; BRAGANZA, A.; TIWARI, A.; ALCOCK, J. R.; ANGUS, J. P.; BASTL, M.; COUSENS, A.; IRVING, P.; JOHNSON, M.; KINGSTON, J.; LOCKETT, H.; MARTINEZ, V.; MICHELE, P.; TRANFIELD, D.; WALTON, I. M.; WILSON, H.: State-Of-The-Art In Product-Service Systems. Proceedings Of The Institution Of Mechanical Engineers, Part B, Journal Of Engineering Manufacture, Volume 221, Issue 10, SAGE Publishing, Thousand Oaks, 2007, pp. 1543-1552

[Blo94] BLOECH, J.: Berichte in der strategischen Planung. In: Bloech, J.; Götze, U.; Huch, B.; Lücke, W.; Rudolph, F. (Hrsg.): Strategische Planung – Instrumente, Vorgehensweisen und Informationssysteme. Physica-Verlag, Heidelberg, 1994, S. 193-208

[BM11] BARBA, E.; MACINTYRE, B.: A Scale Model Of Mixed Reality. In: Proceedings Of The 8th ACM Conference On Creativity And Cognition (C&C 2011). November 3 - 6, Atlanta, Association For Computing Machinery, New York, 2011, pp. 117-126

[BMF+17] BÜTTNER, S.; MUCHA, H.; FUNK, M.; KOSCH, T.; AEHNELT, M.; ROBERT, S.; RÖCKER, C.: The Design Space Of Augmented And Virtual Reality Applications For Assistive Environments In Manufacturing – A Visual Approach. In: Proceedings Of The 10th International Conference On Pervasive Technologies Related To Assistive Environments (PETRA 2017). June 21 - 23, Rhodes, Association For Computing Machinery, New York, 2017, pp. 433-440

[BNM+18] BERKEMEIER, L.; NIEMÖLLER, C.; METZGER, D.; THOMAS, O.: Akzeptanz von Smart Glasses für die Aus- und Weiterbildung. In: Thomas, O.; Metzger, D.; Niegemann, H. (Hrsg.): Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung – Virtual und Augmented Reality für Industrie 4.0. Springer Gabler, Wiesbaden, 2018, S. 143-156

[BOM08] BITNER, M. J.; OSTROM, A.; MORGAN, F. N.: Service Blueprinting – A Practical Technique For Service Innovation. California Management Review, Volume 50, No. 3, SAGE Publishing, Thousand Oaks, 2008, pp. 66-94

[Bor02] BORGMEIER, A.: Teleservice im Maschinen- und Anlagenbau – Anwendung und Gestaltungsempfehlungen. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2002

[Bou04] BOULANGER, P.: Application Of Augmented Reality To Industrial Tele-Training. In: Proceedings Of The 1st Canadian Conference On Computer And Robot Vision (CRV 2004). May 17 - 19, London, Ontario, IEEE Computer Society, Washington D.C., 2004, pp. 320-328

[BP08] BRAZ, J. M.; PEREIRA, J. M.: TARCAST – Taxonomy For Augmented Reality Casting With Web Support. The International Journal Of Virtual Reality, Volume 7, No. 4, Arts Et Métiers Institute Of Technology, Paris, 2008, pp. 47-56

[BPW10] BACHER, J.; PÖGE, A.; WENZIG, K.: Clusteranalyse – Anwendungsorientierte Einführung in Klassifikationsverfahren. 3., ergänzte, vollständig überarbeitete und neu gestaltete Auflage, Oldenbourg, München, 2010

[BR05] BIMBER, O.; RASKAR, R.: Spatial Augmented Reality – Merging Real And Virtual Worlds. A K Peters, Wellesley, 2005

[BR11] BIEGER, T.; REINHOLD, S.: Das wertbasierte Geschäftsmodell – Ein aktualisierter Strukturierungsansatz. In: Bieger, T.; zu Knyphausen-Aufseß, D.; Krys, C. (Hrsg.): Innovative Geschäftsmodelle – Konzeptionelle Grundlagen, Gestaltungsfelder und unternehmerische Praxis. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, S. 13-70

[BR12] BONNEMEIER, S.; REICHWALD, R.: Hybride Wertschöpfung – vom Industrieproduzenten zum Lösungsanbieter – ein State-of-the-Art Bericht. Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Volume 64, Supplement 65, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2012, S. 45-72

[Bre86] BRESSAND, A.: Dienstleistungen in der neuen „Weltwirtschaft“ – Auf der Suche nach einem konzeptionellen Bezugsrahmen. In: Pestel, E. (Hrsg.): Perspektiven der Dienstleistungswirtschaft. Vandenhoeck & Ruprecht, Göttingen, 1986, S. 73-82

[Bri10] BRINK, V.: Verfahren zur Entwicklung konsistenter Produkt- und Technologiestrategien. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 280, Paderborn, 2010

[Bro13] BROLL, W.: Augmented Reality. In: Dörner, R.; Broll, W.; Grimm, P.; Jung, B. (Hrsg.): Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2013, S. 241-294

[Bro19-ol] BROCKHAUS: Systematik (bildungssprachlich). Unter: https://brockhaus.de/ecs/permalink/A714072AE5A846F4FD42D8B424A6AD6B.pdf, 21. Dezember 2019

[BS06] BULLINGER, H.-J.; SCHREINER, P.: Service Engineering – Ein Rahmenkonzept für die systematische Entwicklung von Dienstleistungen. In: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): Service Engineering – Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006, S. 53-84

[BS13] BADE, C.; SCHREIBER, W.: Einsatz von Augmented Reality in der Fertigungsplanung. In: Dörner, R.; Broll, W.; Grimm, P.; Jung, B. (Hrsg.): Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2013, S. 316-318

[Bur09] BURIÁNEK, F.: Vertragsgestaltung bei hybriden Leistungsangeboten – Eine ökonomische Betrachtung. Gabler, Wiesbaden, 2009

[Bus05] BUSSE, D.: Innovationsmanagement industrieller Dienstleistungen – Theoretische Grundlagen und praktische Gestaltungsmöglichkeiten. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2005

[BWP+18] BLANKEMEYER, S.; WIEMANN, R.; POSNIAK, L.; PREGIZER, C.; RAATZ, A.: Intuitive Robot Programming Using Augmented Reality. Procedia CIRP, Volume 76, Elsevier, Amsterdam, 2018, pp. 155-160

[Cam13] CAMPHAUSEN, B.: Strategisches Management – Planung, Entscheidung, Controlling. Oldenbourg, München, 2013

[Cas94] CASAGRANDA, M.: Industrielles Service-Management – Grundlagen, Instrumente, Perspektiven. Gabler, Wiesbaden, 1994

[CBH+17] CHATZOPOULOS, D.; BERMEJO, C.; HUANG, Z.; HUI, P.: Mobile Augmented Reality Survey – From Where We Are To Where We Go. IEEE Access, Volume 5, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, 2017, pp. 6917-6950

[CBL18] CAMPBELL, M.; BUSIEK, D.; LANG, J.: The State Of Industrial Augmented Reality – A Spotlight On Industrial Innovation. PTC, Needham, 2018

[CDB+18] COHEN, L.; DUBOÉ, P.; BUVAT, J.; MELTONT, D.; KHADIKAR, A.; SHAH, H.: Augmented And Virtual Reality In Operations. Capgemini Research Institute, Paris, 2018

[CDM+18] CHEN, H.; DAI, Y.; MENG, H.; CHEN, Y.; LI, T.: Understanding The Characteristics Of Mobile Augmented Reality Applications. In: Proceedings Of The 2018 IEEE International Symposium On Performance Analysis Of Systems And Software (ISPASS 2018). April 2 - 4, Belfast, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, 2018, pp. 128-138

[CF11] CARMIGNIANI, J.; FURHT, B.: Augmented Reality – An Overview. In: Fuhrt, B. (Ed.): Handbook Of Augmented Reality. Springer, New York, 2011, pp. 3-46

[CHP18] CHOWDHURY, S.; HAFTOR, D.; PASHKEVICH, N.: Smart Product-Service Systems (Smart PSS) In Industrial Firms – A Literature Review. Procedia CIRP, Volume 73, Elsevier, Amsterdam, 2018, pp. 26-31

[CI13] CASTIGLIONE, C.; INFANTE, D.: ICT As General Purpose Technologies – A Micro-Econometric Investigation On Italian Firms. International Journal Of Trade And Global Markets, Volume 6, Issue 3, Inderscience Publishing, Genf, 2013, pp. 225-241

[CLS+19] CHUANG, A.; LAMEYER, A.; STEINMANN, C.; RENE, G.; KARVONEN, M.; BEDER, S.; SWANSON, S.: Introduction To The AR Cloud With Use Case Examples. VR/AR Association, Palo Alto, 2019

[CM92] CAUDELL, T. P.; MIZELL, D. W.: Augmented Reality – An Application Of Heads-Up Display Technology To Manual Manufacturing Processes. In: Nunamaker, J. F. (Ed.): Proceedings Of The 25th Hawaii International Conference On System Sciences (HICSS 1992). January 7 - 10, Kauai, IEEE Computer Society Press, Washington, D.C., 1992, pp. 659-669

[CON17] CHANG, M. M. L.; ONG, S. K.; NEE, A. Y. C.: AR-Guided Product Disassembly For Maintenance And Remanufacturing. Procedia CIRP, Volume 61, Elsevier, Amsterdam, 2017, pp. 299-304

[Cor71] CORMACK, R. M.: A Review Of Classification. Journal Of The Royal Statistical Society, Series A (General), Volume 134, No. 3, Wiley, Hoboken, 1971, pp. 321-367

[Cor01] CORSTEN, H.: Dienstleistungsmanagement. 4. Auflage, Oldenbourg, München, 2001

[Cra13] CRAIG, A.: Understanding Augmented Reality – Concepts And Applications. Elsevier, Wlatham, 2013

[CT11] CHAROENSEANG, S.; TONGGOED, T.: Human-Robot Collaboration With Augmented Reality. In: Stephanidis, C. (Ed.): HCI International 2011 – Posters' Extended Abstracts – Proceedings Part II. July 9 - 14, Orlando, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, pp. 93-97

[CWC+19] CHEN, Y.; WANG, Q.; CHEN, H.; SONG, X.; TANG, H.; MENGXIAO, T.: An Overview Of Augmented Reality Technology. Journal Of Physics – Conference Series, Volume 1237, Issue 2, IOP Publishing, Bristol, 2019

[Dah74] DAHLBERG, I.: Grundlagen universaler Wissensordnung – Probleme und Möglichkeiten eines universalen Klassifikationssystems des Wissens. Verlag Dokumentation Saur KG, Pullach bei München, 1974

[Dan10] DANZINGER, F.: Kundeninteraktionskompetenz in Industriegütermärkten – Eine empirische Studie zur Interaktions- und Lernorientierung. Gabler, Wiesbaden, 2010

[DDG+14] DOROCIAK, R.; DUMITRESCU, R.; GAUSEMEIER, J.; IWANEK, P.: Specification Technique CONSENS For The Description Of Self-Optimizing Systems. In: Gausemeier, J.; Rammig,

F. J.; Schäfer, W. (Eds.): Design Methodology For Intelligent Technical Systems – Develop Intelligent Technical Systems Of The Future. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014, pp. 119-127

[DEN+16] DOWLING, M.; EBERSPÄCHER, J.; NEUBURGER, R.; NOLL, E.; ZISLER, K.: Neue Produkte in der digitalen Welt. Münchner Kreis, München, 2016

[DF14] DE PAIVA GUIMARÃES, M.; FARINAZZO MARTINS, V.: A Checklist To Evaluate Augmented Reality Applications. In: Proceedings Of The 2014 XVI Symposium On Virtual And Augmented Reality (SVR 2014). May 12 - 15, Salvador, Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Piscataway, 2014, pp. 45-52

[Dic56] DICK, P. K.: The Minority Report. Fantastic Universe, Volume 4, No. 6, King-Size Publications, New York, 1956

[Dig18] DIGI-CAPITAL (Hrsg.): Augmented/Virtual Reality Report Q4 2018. Digi-Capital, Menlo Park, 2018

[Dig19] DIGI-CAPITAL (Hrsg.): Augmented/Virtual Reality Report Q1 2019. Digi-Capital, Menlo Park, 2019

[DIN60529] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (DIN): Schutzarten durch Gehäuse (IP-Code). DIN EN 60529:2014-09, Beuth, Berlin, 2014

[DIN69900] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (DIN): Projektmanagement – Netzplantechnik – Beschreibungen und Begriffe. DIN 69900-1, Beuth, Berlin, 2009

[DIN69901] DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V. (DIN): Projektmanagement – Projektmanagementsysteme – Teil 3: Methoden. DIN 69901-3, Beuth, Berlin, 2009

[DKW19] DUMITRESCU, R.; KORDER, G.; WEBER, H.: Intelligente Technische Systeme OstWestfalen-Lippe – Jahresbericht 2018. it's OWL Clustermanagement, Paderborn, 2019

[DM11] DÜNSER, A.; BILLINGHURST, M.: Evaluating Augmented Reality Systems. In: Furht, B: (Ed.): Handbook Of Augmented Reality. Springer, New York, 2011, pp. 289-307

[DM15] DINI, G.; DALLE MURA, M.: Application Of Augmented Reality Techniques In Through-Life Engineering Services. Procedia CIRP, Volume 38, Elsevier, Amsterdam, 2015, pp. 14-23

[DN00] DUBOIS, E.; NIGAY, L.: Augmented Reality – Which Augmentation For Which Reality? In: Proceedings Of DARE 2000 On Designing Augmented Reality Environments. April 12 - 14, Elsinore, ACM, New York, 2000, pp. 165-166

[Don80] DONABEDIAN, A.: The Definition Of Quality And Approaches To Its Assessment. Explorations In Quality Assessment And Monitoring, Volume 1, Health Administration Press, Ann Arbor, 1980

[DS13] DÖRNER, R.; STEINICKE, F.: Wahrnehmungsaspekte von VR. In: Dörner, R.; Broll, W.; Grimm, P.; Jung, B. (Hrsg.): Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2013, S. 33-63

[Dum10] DUMITRESCU, R.: Entwicklungssystematik zur Integration kognitiver Funktionen in fortgeschrittene mechatronische Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 286, Paderborn, 2010

[Eck18-ol] ECKERTZ, D.: Augmented-Reality-Visualisierung für Messen – Interaktive Visualisierung und Animation eines Raupenfahrwerks. Unter: https://www.iem.fraunhofer.de/de/referenzen/industrieprojekte/claas-ar.html, 29. Oktober 2018

[EFM+12] ELKMANN, N.; FELSCH, T.; MIKOLIK, G.; RILLING, S.; WECHSELBERGER, U.; WOHLGEMUTH, W.; ZIMMERMANN, U.: Anwendungen für Präsentation und Training. In: Schreiber, W.; Zimmermann, P. (Hrsg.): Virtuelle Techniken im industriellen Umfeld – Das AVILUS-Projekt – Technologien und Anwendungen. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012, S. 275-302

[EGL16] ELIA, V.; GNONI, M. G.; LANZILOTTO, A.: Evaluating The Application Of Augmented Reality Devices In Manufacturing From A Process Point Of View – An AHP Based Model. Expert Systems With Applications, Volume 63, Elsevier, Amsterdam, 2016, pp. 187-197

[EIR97] EUROPEAN INDUSTRIAL RESEARCH MANAGEMENT ASSOCIATION (EIRMA) (Hrsg.): Technology Roadmapping – Delivering Business Vision. Working Group Report, No. 52, Paris, 1997

[EIR09] ENGINEERS INDIA RESEARCH INSTITUTE (EIRI) (Hrsg.): Handbook Of Prepress. Engineers India Research Institute, Delhi, 2009

[EKR93] ENGELHARDT, W. H.; KLEINALTENKAMP, M.; RECKENFELDERBÄUMER, M.: Leistungsbündel als Absatzobjekte – Ein Ansatz zur Überwindung der Dichotomie von Sach- und Dienstleistungen. Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung, Volume 45, Springer Gabler, Wiesbaden, 1993, S. 395-426

[EKR02] ECKEY, H.; KOSFELD, R.; RENGERS, M.: Multivariate Statistik – Grundlagen, Methoden, Beispiele. Gabler, Wiesbaden, 2002

[EM13] EHRLENSPIEL, K.; MEERKAMM, H.: Integrierte Produktentwicklung – Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 5., überarbeitete und erweiterte Auflage, Hanser, München, 2013

[ER06] ENGELHARDT, W. H.; RECKENFELDERBÄUMER, M.: Industrielles Service-Management. In: Kleinaltenkamp, M.; Plinke, W.; Jacob, F.; Söllner, A. (Hrsg.): Markt- und Produktmanagement – Die Instrumente des Business-to-Business-Marketing. 2., überarbeitete und erweiterte Auflage, Gabler, Wiesbaden, 2006, S. 209-318

[ES08] ENCARNAÇÃO, J. L.; STRICKER, D.: Augmented Reality für industrielle Anwendungen in Entwicklung, Produktion und Service am Beispiel des Leitprojekts ARVIKA (1999-2003). In: Reuse, B.; Vollmar, R. (Hrsg.): Informatikforschung in Deutschland. Springer, Berlin, Heidelberg, 2008, S. 269-282

[ESK+04] ECHTLER, F.; STURM, F.; KINDERMANN, K.; KLINKER, G.; STILLA, J.; TRILK, J.; NAJAFI, H.: The Intelligent Welding Gun – Augmented Reality For Experimental Vehicle Construction. In: Ong, S. K.; Nee, A. Y. C. (Eds.): Virtual And Augmented Reality Applications In Manufacturing. Springer, London, 2004, pp. 333-360

[FFB+18] FRAGA-LAMAS, P.; FERNÁNDEZ-CARAMÉS, T. M.; BLANCO-NOVOA, Ó.; VILAR-MONTESINOS, M. A.: A Review On Industrial Augmented Reality Systems For The Industry 4.0 Shipyard. IEEE Access, Volume 6, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, 2018, pp. 13358-13375

[FG13] FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H.: Der Produktentstehungsprozess (PEP). In: Feldhusen, J.; Grote, K.-H. (Hrsg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8., vollständig überarbeitete Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2013, S. 11-24

[FGG+13] FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H.; GÖPFERT, J.; TRETOW, G.: Technische Systeme. In: Feldhusen, J.; Grote, K.-H. (Hrsg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8., vollständig überarbeitete Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2013, S. 237-279

[FGN+13] FELDHUSEN, J.; GROTE, K.-H.; NAGARAJAH, A.; PAHL, G.; BEITZ, W.; WARTZACK, S.: Vorgehen bei einzelnen Schritten des Produktentstehungsprozesses. In: Feldhusen, J.; Grote, K.-H. (Hrsg.): Pahl/Beitz Konstruktionslehre – Methoden und Anwendung erfolgreicher Produktentwicklung. 8., vollständig überarbeitete Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2013, S. 291-409

[FHM+15] FELLMANN, M.; HEITMANN, C.; METZGER, D.; NOBBE, L.; THOMAS, O.: TKD 4.0 – Klassifikation, Einordnung und Bewertung der Einsatzpotentiale von Augmented-Reality-Anwendungen für den Technischen Kundendienst. In: Thomas, O. (Hrsg.): Living Lab Business Process Management Research Report Nr 10. Living Lab BPM e.V., Osnabrück, 2015, S. 1-38

[FIO19] FLAVIÁN, C.; IBÁÑEZ-SÁNCHEZ, S.; ORÚS, C.: The Impact Of Virtual, Augmented And Mixed Reality Technologies On The Customer Experience. Journal Of Business Research, Volume 100, Elsevier, Amsterdam, 2019, pp. 547-560

[Fit11] FITE-GEORGEL, P.: Is There A Reality In Industrial Augmented Reality? In: Proceedings Of The 10th IEEE International Symposium On Mixed And Augmented Reality (ISMAR 2011). October 26 - 29, Basel, IEEE Computer Society, Washington, D.C., 2011, pp. 201-210

[FL16] FLIEß, S.; LEXUTT, E.: Erfolgsfaktoren der Service Transition – eine systematische Literaturanalyse. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Servicetransformation – Entwicklung vom Produktanbieter zum Dienstleistungsunternehmen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2016, S. 49-77

[FMN+16] FUNK, M.; MAYER, S.; NISTOR, M.; SCHMIDT, A.: Mobile In-Situ Pick-By-Vision – Order Picking Support Using A Projector Helmet. In: Proceedings Of The 9th ACM International Conference On Pervasive Technologies Related To Assistive Environments (PETRA 2016). June 29 – July 1, Korfu, Association For Computing Machinery, New York, 2016, pp. 1-4

[FMS93] FEINER, S.; MACINTYRE, B.; SELIGMANN, D.: Knowledge-Based Augmented Reality. Communications Of The ACM – Special Issue On Computer Augmented Environments, Volume 36, No. 7, Association For Computing Machinery, New York, 1993, pp. 53-62

[FO06] FÄHNRICH, K.-P.; OPITZ, M.: Service Engineering – Entwicklungspfad und Bild einer jungen Disziplin. In: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): Service Engineering – Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006, S. 85-112

[FR09] FARKHATDINOV, I.; RYU, J.-H.: Development Of Educational System For Automotive Engineering Based On Augmented Reality. In: Lim, S. Y. (Ed.): Proceedings Of The International Conference On Engineering Education & Research (ICEE & ICEER 2009). August 23 - 28, Seoul, Korea University Of Technology And Education, 2009

[Fra06] FRANK, U.: Spezifikationstechnik zur Beschreibung der Prinziplösung selbstoptimierender Systeme. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 175, Paderborn, 2006

[FRB17] FENN, J.; RASKINO, M.; BURTON, B.: Understanding Gartner's Hype Cycle. Gartner, Stamford, 2017

[Fri02] FRIEDRICH, W.: ARVIKA – Augmented Reality For Development, Production And Service. In: Proceedings Of The 1st IEEE International Symposium On Mixed And Augmented Reality (ISMAR 2002). September 30 - October 1, Darmstadt, IEEE Computer Society, Washington, D.C., 2002, pp. 3-4

[FRK+09] FRIEDEWALD, M.; RAABE, O.; KOCH, D. J.; GEORGIEFF, P.; NEUHÄUSLER, P.: Ubiquitäres Computing. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim deutschen Bundestag, Berlin, 2009

[Fun20] FUNKE, C.: Pick-by-Vision – Die Brille für die Intralogistik. In: Voß, P. H. (Hrsg.): Logistik – die unterschätzte Zukunftsindustrie – Strategien und Lösungen entlang der Supply Chain 4.0. Springer Gabler, Wiesbaden, 2020, S. 107-114

[FW04] FRIEDRICH, W.; WOHLGEMUTH, W.: Das Leitprojekt ARVIKA. In: Friedrich, W. (Hrsg.): ARVIKA – Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service. Publicis, Erlangen, 2004, S. 13-27

[Gab18-ol] GABLER WIRTSCHAFTSLEXIKON (Hrsg.): Systematik. Unter: https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/systematik-50801/version-274017, 19. Februar 2018

[GAC+13] GAUSEMEIER, J.; ANACKER, H.; CZAJA, A.; WAßMANN, H.: Auf dem Weg zu intelligenten technischen Systemen. In: Gausemeier, J.; Rammig, F.; Schäfer, W.; Trächtler, A. (Hrsg.): 9. Paderborner Workshop Entwurf mechatronischer Systeme. 18.-19. April, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 310, Paderborn, 2013

[GAD+14] GAUSEMEIER, J.; AMSHOFF, B.; DÜLME, C.; KAGE, M.: Strategische Planung von Marktleistungen im Kontext Industrie 4.0. In: Gausemeier, J. (Hrsg.): Vorausschau und Technologieplanung – 10. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung. 20.-21. November, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 334, Paderborn, 2014, S. 5-36

[GAF+04] GAUCKLER, W.; ALBER, R.; FRICKER, I.; GRÜNENWALD, W.; HAMADOU, M.; JAHN, D.; KIESEL, B.; LESCHER, M.; LÖRCH, G.; SCHULER, H.; VALKYSER, B.: AR im Service für Werkzeugs- und Produktionsmaschinen. In: Friedrich, W. (Hrsg.): ARVIKA – Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service. Publicis, Erlangen, 2004, S. 203-225

[Gan13] GANAPATHY, S.: Design Guidelines For Mobile Augmented Reality – User Experience. In: Huang, W.; Alem, L.; Livingston, M. A. (Eds.): Human Factors In Augmented Reality. Springer Science+Business Media, New York, 2013, pp. 165-180

[Gar98] GARBE, B.: Industrielle Dienstleistungen – Einfluß und Erfolgsfaktoren. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 1998

[GB12] GEISBERGER, E.; BROY, M. (Hrsg.): agendaCPS – Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012

[GBL+16] GAY-BELLILE, V.; BOURGEOIS, S.; LARNAOUT, D.; TAMAAZOUSTI, M.: Applications Of Augmented Reality For The Automotive Industry. In: Barfield, W. (Ed.): Fundamentals Of Wearable Computers And Augmented Reality. Second Edition, CRC Press, Boca Raton, 2016, pp. 433-456

[GBM+13] GUBBI, J.; BUYYA, R.; MARUSIC, S.; PALANISWAMI, M.: Internet Of Things (IoT) – A Vision, Architectural Elements, And Future Directions. Future Generation Computer Systems, Volume 29, Issue 7, Elsevier, Amsterdam, 2013, pp. 1645-1660

[GDE+19] GAUSEMEIER, J.; DUMITRESCU, R.; ECHTERFELD, J.; PFÄNDER, T.; STEFFEN, D.; THIELEMANN, F.: Innovationen für die Märkte von morgen – Strategische Planung von Produkten, Dienstleistungen und Geschäftsmodellen. Hanser, München, 2019

[GDS+13] GAUSEMEIER, J.; DUMITRESCU, R.; STEFFEN, D.; CZAJA, A.; WIEDERKEHR, O.; TSCHIRNER, C.: Systems Engineering in der industriellen Praxis. Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, 2013

[Geb08] GEBAUER, H.: Identifying Service Strategies In Product Manufacturing Companies By Exploring Environment-Strategy Configurations. Industrial Marketing Management, Volume 37, Issue 3, Elsevier, Amsterdam, 2008, pp. 278-291

[GFC13] GASSMANN, O.; FRANKENBERGER, K.; CSIK, M.: Geschäftsmodelle entwickeln – 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator. Carl Hanser Verlag, München, 2013

[GFD+08a] GAUSEMEIER, J.; FRANK, U.; DONOTH, J.; KAHL, S.: Spezifikationstechnik zur Beschreibung der Prinziplösung selbstoptimierender Systeme des Maschinenbaus (Teil 1). Konstruktion, 7/8/2008, Springer-VDI-Verlag, Berlin, 2008, S. 59-66

[GFD+08b] GAUSEMEIER, J.; FRANK, U.; DONOTH, J.; KAHL, S.: Spezifikationstechnik zur Beschreibung der Prinziplösung selbstoptimierender Systeme des Maschinenbaus (Teil 2). Konstruktion, 9/2008, Springer-VDI-Verlag, Berlin, 2008, S. 91-99

[GFF05] GEBAUER, H.; FLEISCH, E.; FRIEDLI, T.: Overcoming The Service Paradox In Manufacturing Companies. European Management Journal, Volume 23, Issue 1, Elsevier, Amsterdam, 2005, pp. 14-26

[GFM02] GAUSEMEIER, J.; FRUEND, J.; MATYSCZOK, C.: AR-Planning Tool – Designing Flexible Manufacturing Systems With Augmented Reality. In: Stürzlinger, W.; Müller, S. (Eds.): Proceedings Of The Eurographics Workshop On Virtual Environments (EWVE 2002). May 30 - 31, Barcelona, Eurographics Association, Goslar, 2002, pp. 19-25

[GGF+12] GEISSBAUER, R.; GRIESMEIER, A.; FELDMANN, S.; TOEPERT, M.: Serviceinnovation – Potenziale industrieller Dienstleistungen erkennen und erfolgreich implementieren. Springer, Berlin, Heidelberg, 2012

[GJS16] GEBAUER, H.; JONCOURT, S.; SAUL, C.: Der Wandel vom Produzenten zum Dienstleister – Eine konzeptionelle Analyse der Servicetransformation im Wassersektor. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Servicetransformation – Entwicklung vom Produktanbieter zum Dienstleistungsunternehmen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2016, S. 750-771

[Göt94] GÖTZE, U.: Strategische Planung auf der Grundlage von Szenarien. In: Bloech, J.; Götze, U.; Huch, B.; Lücke, W.; Rudolph, F. (Hrsg.): Strategische Planung – Instrumente, Vorgehensweisen und Informationssysteme. Physica-Verlag, Heidelberg, 1994, S. 101-124

[GP14] GAUSEMEIER, J.; PLASS, C.: Zukunftsorientierte Unternehmensgestaltung – Strategien, Geschäftsprozesse und IT-Systeme für die Produktion von morgen. 2., überarbeitete Auflage, Hanser, München, 2014

[GR94] GÖTZE, U.; RUDOLPH, F.: Instrumente der strategischen Planung. In: Bloech, J.; Götze, U.; Huch, B.; Lücke, W.; Rudolph, F. (Hrsg.): Strategische Planung – Instrumente, Vorgehensweisen und Informationssysteme. Physica-Verlag, Heidelberg, 1994, S. 1-56

[GRM+14] GAIARDELLI, P.; RESTA, B.; MARTINEZ, V.; PINTO, R.; ALBORES, P.: A Classification Model For Product-Service Offerings. Journal Of Cleaner Production, Volume 66, Issue 1, Elsevier, Amsterdam, 2014, pp. 507-519

[Gro75] GROCHLA, E.: Betriebliche Planung und Informationssysteme – Entwicklung und aktuelle Aspekte. Rowohlt, Reinbek bei Hamburg, 1975

[GS08] GABBARD, J. L.; SWAN II; J. E.: Usability Engineering For Augmented Reality – Employing User-Based Studies To Inform Design. IEEE Transactions On Visualization And Computer Graphics, Volume 14, Issue 3, Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Piscataway, 2008, pp. 513-525

[GSL14] GORECKY, D.; SCHMITT, M.; LOSKYLL, M.: Mensch-Maschine-Interaktion im Industrie-4.0-Zeitalter. 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. 525-542

[GSS+04] GIESLER, B.; SALB, T.; STEINHAUS, P.; DILLMANN, R.: Using Augmented Reality To Interact With An Autonomous Mobile Platform. In: Proceedings Of The 2004 IEEE International Conference On Robotics And Automation (ICRA 2004) – Volume 1. April 26 - May 1, New Orleans, Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Piscataway, 2004, pp. 1009-1014

[GT95] GOODHUE, D. L.; THOMPSON, R. L.: Task-Technology Fit And Individual Performance. MIS Quarterly, Volume 19, No. 2, Management Information Systems Research Center, University Of Minnesota, Minneapolis, 1995, pp. 213-236

[GTD10] GRÄßLE, M.; THOMAS, O.; DOLLMANN, T.: Vorgehensmodelle des Product-Service Systems Engineering. In: Thomas, O.; Loos, P.; Nüttgens, M. (Hrsg.): Hybride Wertschöpfung – Mobile Anwendungssysteme für effiziente Dienstleistungsprozesse im technischen Kundendienst. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010, S. 82-129

[GV17] GRIEVES, M.; VICKERS, J.: Digital Twin – Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior In Complex Systems. In: Kahlen, F.-J.; Flumerfelt, S.; Alves, A. (Eds.): Transdisciplinary Perspectives On Complex Systems – New Findings And Approaches. Springer International Publishing, Basel, 2017, pp. 85-113

[GVT99] GOEDKOOP, M. J.; VAN HALEN, C. J. G.; TE RIELE, H. R. M.; ROMMENS, P. J. M.: Product Service Systems, Ecological And Economic Basics. Netherlands Ministry Of Housing, Spatial Planning And The Environment, Den Haag, 1999

[GVT08] GUTIÉRREZ, M. A.; VEXO, F.; THALMANN, D.: Stepping Into Virtual Reality. Springer, London, 2008

[GWA12] GRAUEL, B.; WILLE, M.; ADOLPH, L.: Vorausgehende Bedingungen für den Einsatz von Head Mounted Displays zur Unterstützung komplexer Aufgaben. In: Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (Hrsg.): Datenbrillen – Aktueller Stand von Forschung und Umsetzung sowie zukünftiger Entwicklungsrichtungen. Bonifatius, Paderborn, 2012, S. 46-52

[GWE+17] GAUSEMEIER, J.; WIESEKE, J.; ECHTERHOFF, B.; ISENBERG, L.; KOLDEWEY, C.; MITTAG, T.; SCHNEIDER, M.: Mit Industrie 4.0 zum Unternehmenserfolg – Integrative Planung von Geschäftsmodellen und Wertschöpfungssystemen. Heinz Nixdorf Institut, Paderborn, 2017

[HAD+16] HOGREVE, J.; ALBRECHT, K.; DOBMEIER, M.; SCHÖNFELDER, J.: Potenziale industrieller Dienstleistungen durch Digitalisierung erfolgreich umsetzen. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Servicetransformation – Entwicklung vom Produktanbieter zum Dienstleistungsunternehmen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2016, S. 261-280

[Han68] HANSEN, F.: Konstruktionssystematik – Grundlagen für eine allgemeine Konstruktionslehre. VEB Verlag Technik, Berlin, 3., durchgesehene Auflage, 1968

[Hay09] HAYES, G.: 16 Top Augmented Reality Business Models. Social Sense & Content Passion, Amsterdam, 2009

[HBR19] HEINZ, M.; BÜTTNER, S.; RÖCKER, C.: Exploring Training Modes For Industrial Augmented Reality Learning. In: Proceedings Of The 12th ACM International Conference On Pervasive Technologies Related To Assistive Environments (PETRA 2019). June 5 - 7, Rhodes, Association For Computing Machinery, 2019, pp. 398-401

[HCG11] HUGUES, O.; CIEUTAT, J.-M.; GUITTON, P.: GIS And Augmented Reality – State Of The Art And Issues. In: Fuhrt, B. (Ed.): Handbook Of Augmented Reality. Springer, New York, 2011, pp. 721-740

[HD94] HUCH, B.; DÖLLE, W.: Informationssysteme zur strategischen Planung. In: Bloech, J.; Götze, U.; Huch, B.; Lücke, W.; Rudolph, F. (Hrsg.): Strategische Planung – Instrumente, Vorgehensweisen und Informationssysteme. Physica-Verlag, Heidelberg, 1994, S. 211-228

[HD20] HAGL, R.; DUANE, A.: Exploring The Impact Of Augmented Reality And Virtual Reality Technologies On Business Model Innovation In Technology Companies In Germany. In: Jung, T.; tom Dieck, M. C.; Rauschnabel, P. A. (Eds.): Augmented Reality And Virtual Reality – Changing Realities In A Dynamic World. Springer, Cham, 2020, pp. 75-84

[HFN11] HUGUES, O.; FUCHS, P.; NANNIPIERI, O.: New Augmented Reality Taxonomy – Technologies And Features Of Augmented Environment. In: Fuhrt, B. (Ed.): Handbook Of Augmented Reality. Springer, New York, 2011, pp. 47-63

[HGM17] HERPICH, F.; GUARESE, R. L. M.; TAROUCO, L. M. R.: A Comparative Analysis Of Augmented Reality Frameworks Aimed At The Development Of Educational Applications. Creative Education, Volume 8, No. 9, Scientific Research Publishing, Wuhan, 2017, pp. 1433-1451

[HH13] HERRMANN, A.; HUBER, F.: Produktmanagement – Grundlagen, Methoden, Beispiele. 3., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden, 2013

[Hil89a] HILKE, W.: Grundprobleme und Entwicklungstendenzen des Dienstleistungs-Marketing. In: Hilke, W. (Hrsg.): Dienstleistungs-Marketing – Banken und Versicherungen, Freie Berufe, Handel und Transport. Gabler, Wiesbaden, 1989, S. 5-44

[Hil89b] HILKE, W. (Hrsg.): Dienstleistungs-Marketing – Banken und Versicherungen, Freie Berufe, Handel und Transport. Gabler, Wiesbaden, 1989

[HKU18] HANSKI, J.; KORTELAINEN, H.; UUSITALO, T.: The Impact Of Digitalization On Product-Service System Development In The Manufacturing Industry. In: Proceedings Of The 13th World Congress On Engineering Asset Management (WCEAM 2018). September 24 - 26, Stavanger, Cluster Of Industrial Asset Management, Stavanger, 2018, pp. 1-9

[HLL12] HUANG, B.-R.; LIN, C. H.; LEE, C.-H.: Mobile Augmented Reality Based On Cloud Computing. In: Proceedings Of The International Conference On Anti-Counterfeiting, Security And

Identification (ASID 2012). August 24 - 26, Taipeh, Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Piscataway, 2012, pp. 1-5

[Höh11] HÖHNE, G.: Die Konstruktionssystematik – eine Thüringer Ingenieurleistung. In: VDI Thüringer Mitteilungen – Dem Fortschritt verpflichtet – 150 Jahre VDI in Thüringen. Sonderheft, Public Verlagsgesellschaft und Anzeigenagentur mbH, Bingen, 2011, S. 78-81

[HRR+18] HERR, D.; REINHARDT, J.; REINA, G.; KRÜGER, R.; FERRARI, R. V.; ERTL, T.: Immersive Modular Factory Layout Planning Using Augmented Reality. Procedia CIRP, Volume 72, Elsevier, Amsterdam, 2018, pp. 1112-1117

[HSK05] HUANG, S. H.; SHEORAN, S. K.; KESKAR, H.: Computer-Assisted Supply Chain Configuration Based On Supply Chain Operations Reference (SCOR) Model. Computers & Industrial Engineering, Volume 48, Issue 2, Elsevier, Amsterdam, 2005, pp. 377-394

[HSR12] HÖGE, B.; SCHMUNTZSCH, U.; RÖTTING, M.: Multimodale Nutzerinterfaces in hybriden Leistungsbündeln. In: Meier, H.; Uhlmann, E. (Hrsg.): Integrierte Industrielle Sach- und Dienstleistungen – Vermarktung, Entwicklung und Erbringung hybrider Leistungsbündel. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2012, S. 217-243

[HUB15a] HERTERICH, M.; UEBERNICKEL, F.; BRENNER, W.: Nutzenpotentiale cyber-physischer Systeme für industrielle Dienstleistungen 4.0. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, Volume 52, Issue 5, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2015, S. 665-680

[HUB15b] HERTERICH, M.; UEBERNICKEL, F.; BRENNER, W.: The Impact Of Cyber-Physical Systems On Industrial Services In Manufacturing. Procedia CIRP, Volume 30, Elsevier, Amsterdam, 2015, pp. 323-328

[Hun14] HUNGENBERG, H.: Strategisches Management in Unternehmen – Ziele, Prozesse, Verfahren. 8., aktualisierte Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden, 2014

[IDC19] INTERNATIONAL DATA CORPORATION (Hrsg.): Worldwide Augmented And Virtual Reality Spending Guide. International Data Corporation, Framingham, 2019

[IL14] IANSITI, M.; LAKHANI, K. R.: Digital Ubiquity – How Connections, Sensors, And Data Are Revolutionizing Business. Harvard Business Review, Volume 92, Issue 11, Harvard Business Publishing, Brighton, 2014, pp. 1-11

[ISN+08] ISHII, H.; SHIMODA, H.; NAKAI, T.; IZUMI, M.; BIAN, Z.; MORISHITA, Y.: Proposal And Evaluation Of A Supporting Method For NPP Decommissioning Work By Augmented Realiy. In: Callaos, N. (Ed.): Proceedings Of The 12th World Multi-Conference On Systemics, Cybernetics And Informatics (WMSCI 2008). June 29 - July 2, Orlando, International Institute Of Informatics And Systemics, Winter Garden, 2008, pp. 157-162

[ISO18939] INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO); INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION (IEC): Information Technology – Computer Graphics, Image Processing And Environmental Data Representation And Coding Of Audio, Picture, Multimedia And Hypermedia Information – Mixed And Augmented Reality (MAR) Reference Model. ISO/IEC DIS 18039:2017, ISO Copyright Office, Genf, 2017

[JER18] JETTER, J.; EIMECKE, J.; RESE, A.: Augmented Reality Tools For Industrial Applications – What Are Potential Key Performance Indicators And Who Benefits? Computers In Human Behavior, Volume 87, Elsevier, Amsterdam, 2018, pp. 18-33

[JKM+17] JOST, J.; KIRKS, T.; MÄTTIG, B.; SINSEL, A.; TRAPP, T. U.: Der Mensch in der Industrie – Innovative Unterstützung durch Augmented Reality. In: Vogel-Heuser, B.; Bauernhansl, T.; ten Hompel, M. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0 – Band 1 – Produktion. 2., erweiterte und bearbeitete Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden, 2017, S. 153-173

[JV13] JUNG, B.; VITZTHUM, A.: Virtuelle Welten. In: Dörner, R.; Broll, W.; Grimm, P.; Jung, B. (Hrsg.): Virtual und Augmented Reality (VR/AR). Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2013, S. 65-95

[KA14] KREUZER, E.; ASCHBACHER, H.: Strategiebasiertes und Agiles Service Engineering – Dienstleistungsinnovationen mit System durch Kundenintegration, interdisziplinäres, inkrementelles und iteratives Vorgehen. In: Granig, P.; Hartlieb, E.; Lercher, H. (Hrsg.): Innovationsstrategien – Von Produkten und Dienstleistungen zu Geschäftsmodellinnovationen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2014, S. 103-115

[Kal98] KALLMEYER, F.: Eine Methode zur Modellierung prinzipieller Lösungen mechatronischer Systeme. Dissertation, Fachbereich Maschinentechnik, Universität-Gesamthochschule Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 42, Paderborn, 1998

[KAY17] KIRYAKOVA, G.; ANGELOVA, N.; YORDANOVA, L.: The Potential Of Augmented Reality To Change The Business. Trakia Journal Of Science, Volume 15, Supplement 1, Trakia University, Stara Sagora, 2017, pp. 394-401

[KBB+18] KIM, K.; BILLINGHURST, M.; BRUDER, G.; DUH, H. B.-L.; WELCH, G. F.: Revisiting Trends In Augmented Reality Research – A Review Of The 2nd Decade Of ISMAR. IEEE Transactions On Visualization And Computer Graphics, Volume 24, Issue 11, Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Piscataway, 2018, pp. 2947-2962

[KBD+15] KÖLMEL, B.; BULANDER, R.; DITTMANN, U.; SCHÄTTER, A.; KÜHN, A.: Sustainability And Competitiveness Through Digital Product-Service-Systems. In: Cunningham, P.; Cunningham, M. (Eds.): Proceedings Of The eChallenges e-2015 Conference. November 25 - 27, Vilnius, Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Piscataway, 2015, pp. 1-9

[KDB+02] KLINKER, G.; DUTOIT, A. H.; BAUER, M.; BAYER, J.; NOVAK, V.; MATZKE, D.: Fata Morgana – A Presentation System For Product Design. In: Proceedings Of The 1st IEEE International Symposium On Mixed And Augmented Reality (ISMAR 2002). September 30 - October 1, Darmstadt, IEEE Computer Society, Washington, D.C., 2002, pp. 76-85

[KFJ+19] KIND, S.; FERDINAND, J.-P.; JETZKE, T.; RICHTER, S.; WEIDE, S.: Virtual und Augmented Reality – Status quo, Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen – TAB-Arbeitsbericht Nr. 180. Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Berlin, 2019

[KGB11] KREIKEBAUM, H.; GILBERT, D. U.; BEHNAM, M.: Strategisches Management. 7., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, W. Kohlhammer, Stuttgart, 2011

[KH16] KROGSTIE, J.; HAUGSTVEDT, A.-C.: Use Of Mobile Augmented Reality For Cultural Heritage. In: Barfield, W. (Ed.): Fundamentals Of Wearable Computers And Augmented Reality. Second Edition, CRC Press, Boca Raton, 2016, pp. 411-431

[KHL+11] KUSTER, J.; HUBER, E.; LIPPMANN, R.; SCHMID, A.; SCHNEIDER, E.; WITSCHI, U.; WÜST, R.: Handbuch Projektmanagement. 3., erweiterte Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011

[Kiy16] KIYOKAWA, K.: Head-Mounted Display Technologies For Augmented Reality. In: Barfield, W. (Ed.): Fundamentals Of Wearable Computers And Augmented Reality. Second Edition, CRC Press, Boca Raton, 2016, pp. 59-84

[KK16] KOTLER, P.; KELLER, K. L.: Marketing Management. Pearson Education, Harlow, 15th Edition, 2016

[KKB07] KOTLER, P.; KELLER, K. L.; BLIEMEL, F.: Marketing-Management – Strategien für wertschaffendes Handeln. 12., aktualisierte Auflage, Pearson Studium, München, 2007

[KKR18] KUNTZ, S.; KULPA, R.; ROYAN, J.: The Democratization of VR-AR. In: Arnaldi, B.; Guitton, P.; Moreau, G. (Eds.): Virtual Reality And Augmented Reality – Myths And Realities. Wiley, Hoboken, 2018, pp. 73-122

[KKZ12] KOUNAVIS, C. D.; KASIMATI, A. E.; ZAMANI, E. D.: Enhancing The Tourism Experience Through Mobile Augmented Reality – Challenges And Prospects. International Journal Of Engineering Business Management, Volume 4, Special Issue Digital And Mobile Economy, Sage Publications, Thousand Oaks, 2012, pp. 1-6

[KNG16] KIM, S.; NUSSBAUM, M. A.; GABBARD, J. L.: Augmented Reality "Smart Glasses" In The Workplace – Industry Perspectives And Challenges For Worker Safety And Health. IIE

Transactions On Occupatzional Ergonomics And Human Factors, Volume 4, Issue 4, Taylor & Francis, Abingdon, 2016, pp. 253-258

[Koc17] KOCH, G.: Augmented Realities. In: Koch, G. (Hrsg.): Digitalisierung – Theorien und Konzepte für die empirische Kulturforschung. Herbert von Halem Verlag, Köln, 2017, S. 309-332

[Kos68] KOSIOL, E.: Einführung in die Betriebswirtschaftslehre – Die Unternehmung als wirtschaftliches Aktionszentrum. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 1968

[Kös14] KÖSTER, O.: Systematik zur Entwicklung von Geschäftsmodellen in der Produktentstehung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 326, Paderborn, 2014

[KPW08] KNACKSTEDT, R.; PÖPPELBUß, J.; WINKELMANN, A.: Integration von Sach- und Dienstleistungen – Ausgewählte Internetquellen zur hybriden Wertschöpfung. Wirtschaftsinformatik, Band 50, Ausgabe 3, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2008, S. 235-247

[KR13] KIPPER, G.; RAMPOLLA, J.: Augmented Reality – An Emerging Technologies Guide To AR. Elsevier, Waltham, 2013

[Kre16] KRESS, B.: Optics For Smart Glasses, Smart Eyewear, Augmented Reality, And Virtual Reality Headsets. In: Barfield, W. (Ed.): Fundamentals Of Wearable Computers And Augmented Reality. Second Edition, CRC Press, Boca Raton, 2016, pp. 85-123

[Kri16] KRIKKEN, M.: Service Transformation Through Remotization – A Competence-Based Analysis Of Remote Service Providers. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Servicetransformation – Entwicklung vom Produktanbieter zum Dienstleistungsunternehmen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2016, pp. 307-329

[KSH+00] KALAWSKY, R. S.; STEDMON, A. W.; HILL, K.; COOK, C. A.: A Taxonomy Of Technology – Defining Augmented Reality. Proceedings Of The Human, Factors And Ergonomics Society Annual Meeting, Volume 44, Issue 5, Sage Publications, Thousand Oaks, 2000, pp. 507-510

[KSN16] KLEINALTENKAMP, M.; STORBACKA, K.; NENONEN, S.: Voraussetzungen der Transformation vom Produkt- zum Lösungsanbieter – Wenn Lösungen zum Problem werden. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Servicetransformation – Entwicklung vom Produktanbieter zum Dienstleistungsunternehmen. Springer Gabler, Wiesbaden, 2016, S. 196-208

[LA05] LOMBRISER, R.; ABPLANALP, P. A.: Strategisches Management – Visionen entwickeln, Strategien umsetzen, Erfolgspotenziale aufbauen. Versus Verlag, Zürich, 4. Auflage, 2005

[Lay14] LAY, G.: Introduction. In: Lay, G. (Ed.): Servitization In Industry. Springer International Publishing, Cham, 2014, pp. 1-20

[LCT+17] LIU, C.; CAO, S.; TSE, W.; XU, X.: Augmented Reality-Assisted Intelligent Window For Cyber-Physical Machine Tools. Journal Of Manufacturing Systems, Volume 44, Part 2, Elsevier, Amsterdam, 2017, pp. 280-286

[Lei12] LEIMEISTER, J. M.: Dienstleistungsengineering und -management. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg, 2012

[Let01] LETTAU, H.-G.: Strategische Planung – Erfolgspotentiale erkennen, Unternehmenswachstum sichern. Gabler, Wiesbaden, 2001

[LG14] LERCH, C.; GOTSCH, M.: Die Rolle der Digitalisierung bei der Transformation vom Produzenten zum produzierenden Dienstleister. Die Unternehmung – Swiss Journal Of Business Research And Practice, Jahrgang 68, Heft 4, Nomos, Baden-Baden, 2014, S. 250-267

[LG15a] LERCH, C.; GOTSCH, M.: Digitalized Product-Service Systems In Manufacturing Firms. Research-Technology Management, Volume 58, Issue 5, Industrial Research Institute, Arlington, 2015, pp. 45-52

[LG15b] LERCH, C.; GOTSCH, M.: How Digitalization Can Accelerate The Transformation From Manufacturer To Service Provider. In: Baines, T.; Harrison, D. (Eds.): Servitization – The Therory And Impact – Proceedings Of The Spring Servitization Conference. May 18 - 19, Aston Business School, Birmingham, 2015, pp. 76-82

[Lin05] LINDEMANN, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte – Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden. Springer, Berlin, Heidelberg, 2005

[LL06] LECOINTRE, G.; LE GUYADER, H.: Biosystematik – Alle Organismen im Überblick. Springer, Berlin, Heidelberg, 2006

[LLW06] LUCZAK, H.; LIESTMANN, V.; WINKELMANN, K.: Service Engineering industrieller Dienstleistungen. In: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): Service Engineering – Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006, S. 443-462

[LN07] LINDEMAN, R. W.; NOMA, H.: A Classification Scheme For Multi-Sensory Augmented Reality. In: Spencer, S. N. (Ed.): Proceedings Of The 2007 ACM Symposium On Virtual Reality Software And Technology (VRST 2007). November 5 - 7, Newport Beach, Association For Computing Machinery, New York, 2007, pp. 175-178

[LNO17] LI, W.; NEE, A. Y. C.; ONG, S. K.: A State-Of-The-Art Review Of Augmented Reality In Engineering Analysis And Simulation. Multimodal Technologies And Interaction, Volume 1, Issue 3, MDPI, Basel, 2017, pp. 1-22

[Luo09] LUO, X.: From Augmented Reality To Augmented Computing – A Look At Cloud-Mobile Convergence. In: Lee, Y.; Suh, Y.; Lee, W. (Eds.): Proceedings Of The 2009 International Symposium On Ubiquitous Virtual Reality (ISUVR 2009). July 8 - 11, Gwangju, Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Piscataway, 2009, pp. 29-32

[LR97] LEONARD, D.; RAYPORT, J. F.: Spark Innovation Through Empathic Design. Harvard Business Review, Volume 75, No. 2, Harvard Business Publishing, Brighton, 1997, pp. 102-113

[LSB+19] LASSNIG, M.; STABAUER, P.; BREITFUß, G.; MÜLLER, J. M.: Erfolgreiche Konzepte und Handlungsempfehlungen für digitale Geschäftsmodellinnovationen. In: Meinhardt, S.; Pflaum, A. (Hrsg.): Digitale Geschäftsmodelle – Band 1 – Geschäftsmodell-Innovationen, digitale Transformation, digitale Plattformen, Internet der Dinge und Industrie 4.0. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2019, S. 201-219

[Lud15] LUDWIG, B.: Planbasierte Mensch-Maschine-Interaktion in multimodalen Assistenzsystemen. Springer, Berlin, 2015

[LV06] LUSCH, R. F.; VARGO, S. L.: Service-Dominant Logic – Reactions, Reflections And Refinement. Marketing Theory, Volume 6, Issue 3, Sage Publications, Thousand Oaks, 2006, pp. 281-288

[LW17] LIU, H.; WANG, L.: An AR-based Worker Support System For Human-Robot Collaboration. In: Pellicciari, M.; Peruzzini, M. (Eds.): Proceedings Of The 27th International Conference On Flexible Automation And Intelligent Manufacturing (FAIM 2017). June 27 - 30, Modena, Procedia Manufacturing, Volume 11, Elsevier, Amsterdam, 2017, pp. 22-30

[LZS+13] LI, H.; ZHANG, X.; SHI, G.; QU, H.; WU, Y.; ZHANG, J.: Review And Analysis Of Avionic Helmet-Mounted Displays. Optical Engineering, Volume 52, No. 11, SPIE, Bellingham, 2013, pp. 1-14

[Mac95] MACHARZINA, K.: Unternehmensführung – Das internationale Managementwissen – Konzepte, Methoden, Praxis. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 1995

[Mai98] MAIER, M. W.: Architecting Principles For Systems-Of-Systems. Systems Engineering, Volume 1, Issue 4, John Wiley & Sons, Hoboken, 1998, pp. 267-284

[Man04] MANECKE, H.: Klassifikation, Klassieren. In: Kuhlen, R.; Seeger, T.; Strauch, D. (Hrsg.): Grundlagen der praktischen Information und Dokumentation – Band 1 – Handbuch zur Einführung in die Informationswissenschaft und -praxis. 5., völlig neu gefasste Ausgabe, K. G. Saur Verlag, München, 2004, S. 127-140

[Man10] MANNWEILER, C.: Einleitung. In: Aurich, J. C.; Clement, M. H. (Hrsg.): Produkt-Service Systeme – Gestaltung und Realisierung. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010, S. 1-6

[Mar20] MARKETSANDMARKETS (Hrsg.): Augmented Reality Market – Global Forecast To 2024. MarketsandMarkets, Pune, 2020

[MBK08] MEFFERT, H.; BURMANN, C.; KIRCHGEORG, M.: Marketing – Grundlagen marktorientierter Unternehmensführung. 10., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Gabler, Wiesbaden, 2008

[MC99] MILGRIM, P.; COLQUHOUN, H.: A Taxonomy Of Real And Virtual Display Integration. In: Ohta, Y.; Tamura, H. (Eds.): Mixed Reality – Merging Real And Virtual Worlds, Springer, Berlin, Heidelberg, 1999, pp. 1-26

[MC07] MA, J. Y.; CHOI, J. S.: The Virtuality And Reality Of Augmented Reality. Journal Of Multimedia, Volume 2, Issue 1, Academy Publisher, Oulu, 2007, pp. 32-37

[MC11] MARTÍN-GUTIÉRREZ, J.; CONTERO, M.: Improving Academic Performance And Motivation In Engineering Education With Augmented Reality. In: Stephanidis, C. (Ed.): HCI International 2011 – Posters' Extended Abstracts – Part II. July 9 - 14, Orlando, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, pp. 509-513

[MDS18] MARTÍN-PEÑA, M.; DÍAZ-GARRIDO, E.; SÁNCHEZ-LÓPEZ, J.: The Digitalization And Servitization Of Manufacturing – A Review On Digital Business Models. Briefings In Entrepreneurial Finance, Special Issue – Digital Business Models, Volume 27, Issue 2, John Wiley & Sons, Hoboken, 2018, pp. 91-99

[MDS19] MARTÍN-PEÑA, M.; DÍAZ-GARRIDO, E.; SÁNCHEZ-LÓPEZ, J.: Servitization And Digitalization In Manufacturing – The Influence On Firm Performance. Journal of Business & Industrial Marketing, Volume 35, Issue 3, Emerald Publishing, Bingley, 2019, pp. 564-574

[ME19] MASOOD, T.; EGGER, J.: Augmented Reality In Support Of Industry 4.0 – Implementation Challenges And Success Factors. Robotics And Computer-Integrated Manufacturing, Volume 58, Elsevier, Amsterdam, 2019, pp. 181-195

[Mes13] MESSNER, W.: Making The Compelling Business Case – Decision-Making Techniques For Successful Business Growth. Palgrave Macmillan, London, 2013

[MFT+19] MEHRFARD, A.; FOTOUHI, J.; TAYLOR, G.; FORSTER, T.; NAVAB, N.; FUERST, B.: A Comparative Analysis Of Virtual Reality Head-Mounted Display Systems. Preprint, arXiv, Cornell University, Ithaca, 2019

[MI08] MÖHRLE, M. G.; ISENMANN, R.: Grundlagen des Technologie-Roadmapping. In: Möhrle, M. G.; Isenmann, R. (Hrsg.): Technologie-Roadmapping – Zukunftsstrategien für Technologieunternehmen. 3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2008, S. 1-15

[MK94] MILGRAM, P.; KISHINO, F.: A Taxonomy Of Mixed Reality Visual Displays. IEICE Transactions On Information Systems, Volume E77-D, No. 12, Institute Of Electronics, Information And Communication Engineers, Tokio, 1994, pp. 1321-1329

[ML14] MEKNI, M.; LEMIEUX, A.: Augmented Reality – Applications, Challenges And Future Trends. In: Proceedings Of The 13th International Conference On Applied Computer And Applied Computational Science. April 23 - 25, Kuala Lumpur, World Scientific And Engineering Academy And Society, Athen, 2014, pp. 205-214

[MMA+10] MEIGUINS, B. S.; MEIGUINS, A. S. G.; ALMEIDA, L. H.; DE MORAES LOURENÇO, R. A.; PINHEIRO, S. C. V.: Coordinated And Multiple Data Views In Augmented Reality Environment. In: Maad, S. (Ed.): Augmented Reality. Intech, Vukovar, 2010, pp. 1-14

[MMD20] MUÑOZ-SAAVEDRA, L.; MIRÓ-AMARANTE, L.; DOMINGUEZ-MORALES, M.: Augmented And Virtual Reality Evolution And Future Tendency. Applied Sciences, Volume 10, Issue 1, MDPI, Basel, 2020, pp. 1-23

[MMF10] MANNWEILER, C.; MÖHRER, J.; FIEKERS, C.: Planung investiver Produkt-Service-Systeme. In: Aurich, J. C.; Clement, M. H. (Hrsg.): Produkt-Service Systeme – Gestaltung und Realisierung. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010, S. 15-30

[MNT14] METZGER, D.; NIEMÖLLER, C.; THOMAS, O.: The Impact Of Augmented Reality On The Technical Customer Service Value Chain. In: Proceedings Of The 2nd International Conference On Multimedia And Human-Computer Interaction (MHCI 2014). August 14 - 15, Prag, Avestia Publishing, Orléans, 2014, pp. 1-7

[MNT17] METZGER, D.; NIEMÖLLER, C.; THOMAS, O.: Design And Demonstration Of An Engineering Method For Service Support Systems. Information Systems And e-Business Management, Volume 15, Issue 4, Springer, Berlin, Heidelberg, 2017, pp. 789-823

[MNT18] METZGER, D.; NIEMÖLLER, C.; THOMAS, O.: Konstruktion und Anwendung einer Entwicklungsmethodik für Service-Unterstützungssysteme. In: Thomas, O.; Metzger, D.; Niegemann, H. (Hrsg.): Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung – Virtual und Augmented Reality für Industrie 4.0. Springer Gabler, Wiesbaden, 2018, S. 50-63

[Mon02] MONT, O. K.: Clarifying The Concept Of Product-Service Systems. Journal Of Cleaner Production, Volume 10, Issue 3, Elsevier, Amsterdam, 2002, pp. 237-245

[Moo65] MOORE, G. E.: Cramming More Components Onto Integrated Circuits. Electronics, Volume 38, No. 8, McGraw-Hill, New York, 1965, pp. 114-117

[MRS10] MEIER, H.; ROY, R.; SELIGER, G.: Industrial Product-Service Systems – IPS². CIRP Annals, Volume 59, Issue 2, Elsevier, Amsterdam, 2010, pp. 607-627

[MS10] MÜLLER, P.; STARK, R.: A Generic PSS Development Process Model Based On Theory And An Empirical Study. In: Marjanovic, D.; Storga, M.; Pavkovic, N.; Bojcetic, N. (Eds.): Proceedings Of The 11th International DESIGN Conference. May 17 - 20, Dubrovnik, The Design Society, Glasgow, 2010, pp. 361-370

[MS14] MEHLER-BICHER, A.; STEIGER, L.: Augmented Reality – Theorie und Praxis. 2., überarbeitete Auflage, Oldenbourg, München, 2014

[MS16] MANURI, F.; SANNA, A.: A Survey On Applications Of Augmented Reality. Advances In Computer Science – An International Journal, Volume 5, Issue 1, No. 19, ACSIJ Press, 2016, pp. 18-27

[MSH+14] MARTÍNEZ, H.; SKOURNETOU, D.; HYPPÖLÄ, J.; LAUKKANEN, S.; HEIKKILÄ, A.: Drivers And Bottlenecks In The Adoption Of Augmented Reality Applications. Journal Of Multimedia Theory And Applications, Volume 2, Issue 1, Avestia Publishing, Orléans, 2014, pp. 27-44

[MTU+95] MILGRAM, P.; TAKEMURA, H.; UTSUMI, A.; KISHINO, F.: Augmented Reality – A Class Of Displays On The Reality-Virtuality Continuum. Proceedings Of SPIE – The International Society For Optical Engineering, Volume 2351, Telemanipulator And Telepresence Technologies, SPIE, Bellingham, 1995, pp. 282-292

[MU12] MEIER, H.; UHLMANN, E.: Hybride Leistungsbündel – ein neues Produktverständnis. In: Meier, H.; Uhlmann, E. (Hrsg.): Integrierte Industrielle Sach- und Dienstleistungen – Vermarktung, Entwicklung und Erbringung hybrider Leistungsbündel. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2012, S. 1-21

[MV03] MANZINI, E.; VEZZOLI, C.: A Strategic Design Approach To Develop Sustainable Product Service Systems – Examples Taken From The ‘Environment Friendly Innovation’ Italian Prize. Journal Of Cleaner Production, Volume 11, Issue 8, Elsevier, Amsterdam, 2003, pp. 851-857

[MZV17] MOURTZIS, D.; ZOGOPOULOS, V.; VLACHOU, E.: Augmented Reality Application To Support Remote Maintenance As A Service In The Robotics Industry. Procedia CIRP, Volume 63, Elsevier, Amsterdam, 2017, pp. 46-51

[Nee08] NEELY, A.: Exploring The Financial Consequences Of The Servitization Of Manufacturing. Operations Management Research, Volume 1, Issue 2, Springer US, New York, 2008, pp. 103-118

[NHL98] NÜTTGENS, M.; HECKMANN, M.; LUZIUS, M. J.: Service Engineering Rahmenkonzept. IM – Fachzeitschrift für Information, Management und Consulting, Band 13, Sonderausgabe Service Engineering, IMC, Saarbrücken, München, 1998, S. 14-19

[NK06] NOELLE, S.; KLINKER, G.: Augmented Reality As A Comparison Tool In Automotive Industry. In: Proceedings Of The 5th IEEE International Symposium On Mixed And Augmented Reality (ISMAR 2006). October 22 - 25, Santa Barbara, IEEE Computer Society, Washington, D.C., 2006, pp. 249-250

[NN18] NIEGEMANN, L.; NIEGEMANN, H.: Potenziale und Hemmnisse von AR- und VR-Medien zur Unterstützung der Aus- und Weiterbildung im technischen Service. In: Thomas, O.; Metzger, D.; Niegemann, H. (Hrsg.): Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung – Virtual und Augmented Reality für Industrie 4.0. Springer Gabler, Wiesbaden, 2018, S. 35-48

[Noe02] NOELLE, S.: Stereo Augmentation Of Simulation Results On A Projection Wall By Combining Two Basic ARVIKA Systems. In: Proceedings Of The 1st IEEE International Symposium On Mixed And Augmented Reality (ISMAR 2002). September 30 - October 1, Darmstadt, IEEE Computer Society, Washington, D.C., 2002, pp. 271-322

[NON10] NG, L. X.; ONG, S. K.; NEE, A. Y. C.: ARCADE – A Simple And Fast Augmented Reality Computer-Aided Design Environment Using Everyday Objects. In: Blashki, K. (Ed.): Proceedings Of The IADIS International Conferences Interfaces And Human Computer Interaction 2010 And Game And Entertainment Technologies 2010. July 26 - 30, Freiburg, IADIS Press, Lissabon, 2010, pp. 227-234

[NSM12] NORMAND, J.; SERVIÈRES, M.; MOREAU, G.: A New Typology Of Augmented Reality Applications. In: Proceedings Of The 3rd Augmented Human International Conference. March 8 - 9, Megève, Association For Computing Machinery, New York, 2012, pp. 1-8

[NST18] NIEMÖLLER, C.; SCHOMAKER, T.; THOMAS, O.: Einsatz von Smart Glasses in Unternehmen – Analyse und Gestaltung von Geschäftsmodellen. In: Thomas, O.; Metzger, D.; Niegemann, H. (Hrsg.): Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung – Virtual und Augmented Reality für Industrie 4.0. Springer Gabler, Wiesbaden, 2018, S. 170-181

[NZB+17] NIEMÖLLER, C.; ZOBEL, B.; BERKEMEIER, L.; METZGER, D.; WERNING, S.; ADELMEYER, T.; ICKEROTT, I.; THOMAS, O.: Sind Smart Glasses die Zukunft der Digitalisierung von Arbeitsprozessen? Explorative Fallstudien zukünftiger Einsatzszenarien in der Logistik. In: Leimeister, J. M.; Brenner, W. (Hrsg.): Tagungsband der 13. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik. 12.-15. Februar, St. Gallen, Universität St. Gallen, St. Gallen, 2017, S. 410-424

[OCL+17] OSTI, F.; CERUTI, A.; LIVERANI, A.; CALIGIANA, G.: Semi-Automatic Design For Disassembly Strategy Planning – An Augmented Reality Approach. Procedia Manufacturing, Volume 11, Elsevier, Amsterdam, 2017, pp. 1481-1488

[Oco15-ol] O'CONNOR, F.: Microsoft Pitches HoloLens To Businesses Creating 3D Models. Unter: https://www.computerworld.com/article/2947387/microsoft-pitches-hololens-to-businesses-creating-3d-models.html, 13. Juli 2015

[OGL08] OLWAL, A.; GUSTAFSSON, J.; LINDFORS, C.: Spatial Augmented Reality On Industrial CNC-Machines. Proceedings Of SPIE – The International Society For Optical Engineering, Volume 6804, The Engineering Reality Of Virtual Reality, SPIE, Bellingham, 2008, pp. 1-9

[OK03] OLIVA, R.; KALLENBERG, R.: Managing The Transition From Products To Services. International Journal Of Service Industry Management, Volume 14, No. 2, MCP University Press, Bradford, 2003, pp. 160-172

[OKL+12] OLSSON, T.; KÄRKKÄINEN, T.; LAGERSTAM, E.; VENTÄ-OLKKONEN, L.: User Evaluation Of Mobile Augmented Reality Scenarios. Journal Of Ambient Intelligence And Smart Environments, Volume 4, No. 1, IOS Press, Amsterdam, 2012, pp. 29-47

[OKY+03] OHSHIMA, T.; TSUYOSHI, K.; YAMAMOTO, H.; TAMURA, H.: A Mixed Reality System With Visual And Tangible Interaction Capability. In: Proceedings Of The 2nd IEEE And ACM International Symposium On Mixed And Augmented Reality (ISMAR 2003). October 7 - 10, Tokio, Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Piscataway, 2003, pp. 284-285

[OP02] OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y.: An eBusiness Model Ontology For Modeling eBusiness. In: Proceedings Of The 15th Bled eConference – e-Reality – Constructing The eEconomy. June 17 - 19, Bled, Slowenien, 2002, pp. 75-91

[OP10] OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y.: Business Model Generation. John Wiley & Sons, Hoboken, 2010

[OPB+14] OSTERWALDER, A.; PIGNEUR, Y.; BERNARDA, G.; SMITH, A.: Value Proposition Design. Wiley, Hoboken, 2014

[OYN08] ONG, S. K.; YUAN, M. L.; NEE, A. Y. C.: Augmented Reality Applications In Manufacturing – A Survey. International Journal Of Production Research, Volume 46, No. 10, Taylor & Francis, Abingdon, 2008, pp. 2707-2742

[OZS+11] ONG, S. K.; ZHANG, J.; SHEN, Y.; NEE, A. Y. C.: Augmented Reality In Product Development And Manufacturing. In: Furht, B: (Ed.): Handbook Of Augmented Reality. Springer, New York, 2011, pp. 651-669

[Pad18-ol] PADZENSKY, R.: The Definitive Guide To Augmented Reality Smart Glasses. Unter: http://www.arglassesbuyersguide.com/, 17. Februar 2018

[Pal17] PALUCH, S.: Smart Services – Analyse von strategischen und operative Auswirkungen. In: Bruhn, M.; Hadwich, K. (Hrsg.): Dienstleistungen 4.0 – Konzepte, Methoden, Instrumente – Band 1. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2017, S. 161-183

[Pap17] PAPAGIANNIS, H.: Augmented Human – How Technology Is Shaping The New Reality. O'Reily Media, Sebastopol, 2017

[PAS1094] PUBLICLY AVAILABLE SPECIFICATION: PAS 1094 – Hybride Wertschöpfung – Integration von Sach- und Dienstleistung. Beuth, Berlin, 2009

[Pau15] PAUL, J.: Praxisorientierte Einführung in die Allgemeine Betriebswirtschaftslehre – Mit Beispielen und Fallstudien. 3., aktualisierte Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden, 2015

[PBM+18] PAELKE, V.; BÜTTNER, S.; MUCHA, H.; RÖCKER, C.: A Checklist Based Approach For Evaluating Augmented Reality Displays In Industrial Applications. In: Trzcielinski, S. (Ed.): Advances In Ergonomics Of Manufacturing – Managing The Enterprise Of The Future. Springer International Publishing, Cham, 2018, pp. 225-234

[Ped17] PEDDIE, J.: Augmented Reality – Where We Will All Live. Springer International Publishing, Cham, 2017

[PER17] PALMARINI, R.; ERKOYUNCU, J. A.; ROY, R.: An Innovative Process To Select Augmented Reality (AR) Technology For Maintenance. Procedia CIRP, Volume 59, Elsevier, Amsterdam, 2017, pp. 23-28

[Pie15] PIEGORSCH, W.: Statistical Data Analytics – Foundations For Data Mining, Informatics, And Knowledge Discovery. Wiley, Chichester, 2015

[PH14] PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E.: How Smart, Connected Products Are Transforming Competition. Harvard Business Review, Volume 92, No. 11, Harvard Business Publishing, Brighton, 2014, pp. 1-23

[PH16] PORTER, M. E.; HEPPELMANN, J. E.: Why Every Organization Needs an Augmented Reality Strategy. Harvard Business Review, Volume 95, No. 6, Harvard Business Publishing, Brighton, 2016, p. 1-13

[PHM+06] PLATONOV, J.; HEIBEL, H.; MEIER, P.; GROLLMANN, B.: A Mobile Markerless AR System For Maintenance And Repair. In: Proceedings Of The 5th IEEE International Symposium On Mixed And Augmented Reality (ISMAR 2006). October 22 - 25, Santa Barbara, IEEE Computer Society, Washington, D.C., 2006, pp. 105-108

[Por98] PORTER, M.: Competitive Strategy – Techniques For Analyzing Industries And Competitors. The Free Press, New York, 1998

[Por18a] PORSCHE AKTIENGESELLSCHAFT (Hrsg.): Presse-Information – Augmented Reality revolutioniert Qualitätsmanagement – Porsche setzt mit dem Inno-Space neue Qualitätsmaßstäbe. Porsche, Stuttgart, 2018

[Por18b] PORSCHE AKTIENGESELLSCHAFT (Hrsg.): Presse-Information – Virtueller Blick in die Zukunft – Porsche präsentiert "Mission E Augmented Reality App". Porsche, Stuttgart, 2018

[PRE+13] PORCELLI, I.; RAPACCINI, M.; ESPÍNDOLA, D. B.; PEREIRA, C. E.: Innovating Product-Service Systems Through Augmented Reality – A Selection Model. In: Shimomoura, Y.; Kimita, K. (Eds.): The Philisopher's Stone For Sustainability. Springer, Berlin, Heidelberg, 2013, pp. 137-142

[PSR19] PARIDA, V.; SJÖDIN, D.; REIM, W.: Reviewing Literature On Digitalization, Business Model Innovation, And Sustainable Industry – Past Achievements And Future Promises. Sustainability, Volume 11, Issue 2, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, Basel, 2019, pp. 1-18

[PTK+17] PARVIAINEN, P.; TIHINEN, M.; KÄÄRIÄINEN, J.; TEPPOLA, S.: Tackling The Digitalization Challenge – How To Benefit From Digitalization In Practice. International Journal Of Information Systems And Project Management, Volume 5, No. 1, SciKA – Association For Promotion And Dissemination Of Scientific Knowledge, Lissabon, 2017, pp. 63-77

[QKG+18] QUANDT, M.; KNOKE, B.; GORLDT, C.; FREITAG, M.; THOBEN, K.-D.: General Requirements For Industrial Augmented Reality Applications. Procedia CIRP, Volume 72, Elsevier, Amsterdam, 2018, pp. 1130-1135

[RAD16] RÖLTGEN, D.; ANACKER, H.; DUMITRESCU, R.: Einsatz- und Nutzenpotentiale von Augmented Reality im Kontext von Industrie 4.0. In: VDE e.V. (Hrsg.): VDE-Kongress 2016 – Internet der Dinge. 7.-8. November, Mannheim, VDE-Verlag, Berlin, 2016

[RAN+04] RUSITSCHKA, E.; APPEL, M.; NEUBERGER, M.; NIEDERMAYR, E.; SCHLEYER, C.: AR im Service für Kraftwerks- und Prozessanlagen. In: Friedrich, W. (Hrsg.): ARVIKA – Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service. Publicis, Erlangen, 2004, S. 195-203

[RB06] RECKENFELDERBÄUMER, M.; BUSSE, D.: Kundenmitwirkung bei der Entwicklung von industriellen Dienstleistungen – eine phasenbezogene Analyse. In: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): Service Engineering – Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006, S. 141-166

[RBN+18] RÖLTGEN, D.; BANSMANN, M.; NICKCHEN, D.; WORTMANN, F.; DUMITRESCU, R.: Datenbrillen im Kontext 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, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 385, Paderborn, 2018, S. 181-205

[RBW05] REGENBRECHT, H.; BARATOFF, WILKE, W.: Augmented Reality Projects In The Automotive And Aerospace Industries. IEEE Computer Graphics And Applications, Volume 25, Issue 6, Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Piscataway, 2005, pp. 48-56

[RCM+07] ROBERTSON, C. M.; COELHO, E. M.; MACINTYRE, B.; JULIER, S.: Developing AR Systems In The Presence Of Spatial Uncertainty. In: Haller, M.; Billinghurst, M.; Thomas, B. (Eds.): Emerging Technologies Of Augmented Reality – Interfaces And Design. Idea Group Publishing, Hershey, 2007, pp. 23-42

[RD20] RÖLTGEN, D.; DUMITRESCU, D.: Classification Of Industrial Augmented Reality Use Cases. Procedia CIRP, Volume 91, Elsevier, Amsterdam, 2020, pp. 93-100

[RED07] REITMAYR, G.; EADE, E.; DRUMMOND, T. W.: Semi-Automatic Annotations In Unknown Environments. In: Proceedings Of The 6th IEEE And ACM International Symposium On Mixed And Augmented Reality (ISMAR 2007). November 13 - 16, Nara, IEEE Computer Society, Washington, D.C., 2007, pp. 67-70

[Ref19a] RE'FLEKT: Repair Faster With AR – AR Simplifies Complex Repairs Through Visual Instructions. RE'FLEKT, München, 2019

[Ref19b] RE'FLEKT: RE'FLEKT Remote – Produktkarte. RE'FLEKT, München, 2019

[Ref19c] RE'FLEKT: Pulsio Flex AR – Look Inside Machinery With X-Ray 3D Visuals. RE'FLEKT, München, 2019

[Ref19d] RE'FLEKT: Augmented Documentation – Virtually Enhanced Handbook With AR Integrated Into Your Editing System. RE'FLEKT, München, 2019

[Ref19e] RE'FLEKT: X-Ray Dashboard – Virtuelles Training am Armaturenbrett mit Augmented Reality. RE'FLEKT, München, 2019

[Ref19f] RE'FLEKT: Flex Inspect – Augmented Reality Projects Live Sensor Diagnosis Data. RE'FLEKT, München, 2019

[Ref19g] RE'FLEKT: Virtual Reality Catalogue – The Power Of AR And VR. RE'FLEKT, München, 2019

[Ref19h] RE'FLEKT: BMW Interior – Premium-Präsentation des neuen BMW 7er-Modells mit interaktivem Produkt-Katalog. RE'FLEKT, München, 2019

[Ref19i] RE'FLEKT: Trina Solar – Energy Simulation – Augmented Reality zur Visualisierung von Solaranlagen auf der Messe. RE'FLEKT, München, 2019

[Ref19j] RE'FLEKT: Production Planning – Maschinen- und Anlagenplanung mit Augmented Reality. RE'FLEKT, München, 2019

[Ref19k] RE'FLEKT: Product Genius – Virtuelle Konfiguration direkt am Fahrzeug mit Augmented Reality. RE'FLEKT, München, 2019

[Reg07] REGENBRECHT, H.: Industrial Augmented Reality Applications. In: Haller, M.; Billinghurst, M.; Thomas, B. (Eds.): Emerging Technologies Of Augmented Reality – Interfaces And Design. Idea Group Publishing, Hershey, 2007, pp. 283-304

[Rei97] REIHLEN, M.: Entwicklungsfähige Planungssysteme – Grundlagen, Konzepte und Anwendungen zur Bewältigung von Innovationsproblemen. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 1997

[Rei03] REINHARD, M.: E-Business – Ökonomische Strategien und Wirkungen der industriellen Anwendung der Internettechnologie. Ifo Schnelldienst, Volume 56, Issue 6, ifo Institut – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung, München, 2003, S. 16-27

[Rho19] RHODES, G. A.: Waiting For The Augmented Reality 'Killer App' – Pokémon Go 2016. In: Geroimenko, V. (Ed.): Augmented Reality Games I – Understanding The Pokémon Go Phenomenon. Springer Nature Switzerland, Basel, 2019, pp. 3-14

[RI17] RADKOWSKI, R.; INGEBRAND, J.: HoloLens For Assembly Assistance – A Focus Group Report. In: Lackey, S.; Chen, J. (Eds.): Proceedings Of The 9th International Conference On Virtual, Augmented And Mixed Reality (VAMR 2017). July 9 - 14, Vancouver, Springer International Publishing, Basel, 2017, pp. 274-282

[Rie11] RIES, E.: The Lean Startup – How Today's Entrepreneurs Use Continuous Innovation To Create Radically Successful Businesses. Crown Business, New York, 2011

[Rig14] RIGBY, D. K.: Digital-Physical Mashups. Harvard Business Review, Volume 92, No. 9, Harvard Business Publishing, Brighton, 2014

[RKD+14] ROESNER, F.; KOHNO, T.; DENNING, T.; CALO, R.; NEWELL, B. C.: Augmented Reality – Hard Problems Of Law And Policy. In: Adjunct Proceedings Of The 2014 ACM International Joint Conference On Pervasive And Ubiquitous Computing (UbiComp 2014 Adjunct). September 13 - 17, Seattle, Association For Computing Machinery, New York, 2014, pp. 1283-1288

[RKM14] ROESNER, F.; KOHNO, T.; MOLNAR, D.: Security And Privacy For Augmented Reality Systems. Communications Of The ACM, Volume 57, No. 4, Association For Computing Machinery, New York, 2014, pp. 88-96

[RN95] REKIMOTO, J.; NAGAO, K.: The World Through The Computer – Computer Augmented Interaction With Real World Environments. In: Proceedings Of The 8th Annual ACM Symposium On User Interface And Software Technology (UIST 1995). November 15 - 17, Pittsburgh, ACM, New York, 1995, pp. 29-36

[RR16] RAUSCHNABEL, P. A.; RO, Y. K.: Augmented Reality Smart Glasses – An Investigation Of Technology Acceptance Drivers. International Journal Of Technology Marketing, Volume 11, No. 2, Inderscience Publishers, Genf, 2016, pp. 123-148

[RS03] RYCHEN, D. S.; SALGANIK, L. H. (Eds.): Key Competencies For A Successful Life And A Well-Functioning Society. Hogrefe & Huber, Toronto, 2003

[RS06] REICHWALD, R.; SCHALLER, C.: Innovationsmanagement von Dienstleistungen – Herausforderungen und Erfolgsfaktoren in der Praxis. In: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): Service Engineering – Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006, S. 167-194

[RS18] RÖLTGEN, D.; SCHIEFELBEIN, F.-P.: Forschungsprojekt AcRoSS – Augmented Reality für den Mittelstand. In: IT & Production – Das Industrie 4.0 Magazin für erfolgreiche Produktion, Ausgabe 03/2018, TeDo Verlag, Marburg, 2018, S. 40-41

[RSK+99] REINERS, D.; STRICKER, D.; KLINKER, G.; MÜLLER, S.: Augmented Reality For Construction Tasks – Doorlock Assembly. In: Behringer, R.; Klinker, G.; Mizell, D. W. (Eds.): Proceedings Of The International Workshop On Augmented Reality (IWAR 1998). November 1 1998, San Francisco, A. K. Peters, Natick, 1999, pp. 31-46

[RSW17] ROITMAN, L.; SHRAGER, J.; WINOGRAD, T.: A Comparative Analysis Of Augmented Reality Technologies And Their Marketability In The Consumer Electronics Segment. Journal Of Biosensors & Bioelectronics, Volume 8, Issue 1, Elsevier, Amsterdam, 2017, pp. 1-19

[RT14] RIGBY, D. K.; TAGER, S.: Leading A Digical Transformation. Bain & Company, Boston, 2014

[RWA+17] RÖLTGEN, D.; WORTMANN, F.; ANACKER, H.; DUMITRESCU, R.: Identifikation von Potentialen für Augmented-Reality-basierte Produkt-Service-Systeme. In: Gausemeier, J. (Hrsg.): 13. Symposium für Vorausschau und Technologieplanung. 23.-24. November 2017, Berlin, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 374, Paderborn, 2017, S. 129-143

[RWA+18] RÖLTGEN, D.; WORTMANN, F.; ANACKER, H.; DUMITRESCU, R.: Specification Technique For Augmented Reality Based Product Service Systems. In: Marjanović, D.; Štorga, M.; Škec, S.; Bojčetić, N.; Pavković, N. (Eds.): Proceedings Of The 15th International DESIGN Conference (DESIGN 2018). May 21 - 24, Dubrovnik, The Design Society, Glasgow, 2018, pp. 2975-2986

[RWB02] REGENBRECHT, H. T.; WAGNER, M. T.; BARATOFF, G.: MagicMeeting – A Collaborative Tangible Augmented Reality System. Virtual Reality, Volume 6, Issue 3, Springer, London, 2002, pp. 151-166

[RWG+19] RÖLTGEN, D.; WORTMANN, F.; GROTE, E.; DUMITRESCU, R.: Designing Business Models For Augmented Reality. In: Jain, K.; Sangle, S.; Gupta, R.; Persis, J.; Mukundan, R. (Eds.): Proceedings Of The 28th Annual Conference Of The International Association For Management Of Technology (IAMOT 2019). April 7 - 11, Mumbai, International Association For Management Of Technology, Coral Gables, Florida, 2019, pp. 1-20

[RWH16] ROSA, N.; WERKHOVEN, P.; HÜRST, W.: (Re-)Examiniation Of Multimodal Augmented Reality. In: Hürst, W.; Iwai, D.; Balakrishnan, P. (Eds.): Proceedings Of The 2016 Workshop On Multimodal Virtual And Augmented Reality (MVAR 2016). November 16, Tokio, Association For Computing Machinery, New York, 2016, pp. 1-5

[SAW94] SCHILIT, B.; ADAMS, N.; WANT, R.: Context-Aware Computing Applications. In: Cabrera, L.-F.; Satyanarayanan, M. (Eds.): Workshop On Mobile Computing Systems And Applications (WMCSA 1994). December 8 - 9, Santa Cruz, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, 1994, pp. 85-90

[SBB+18] STÖCKLEIN, J.; BANSMANN, M.; BERSSENBRÜGGE, J.; FOULLOIS, M.: AR-basierte Arbeitsplatzgestaltung für manuelle Montageabläufe. In: Tagungsband des GI VR/AR Workshops 2018. 10. - 11. Oktober, Düsseldorf, Gesellschaft für Informatik, Bonn, 2018

[SBE+04] SCHMIDT, L.; BEU, A.; EDELMANN, M.; EPSTEIN, A.; OEHME, O.; QUAET-FASLEM, P.; ROTTENKOLBER, B.; TRIEBFÜRST, G.; WIEDENMAIER, S.; WOHLGEMUTH, W.: Benutzerzentrierte Systemgestaltung. In: Friedrich, W. (Hrsg.): ARVIKA – Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service. Publicis, Erlangen, 2004, S. 28-51

[SBP+16] SAND, O.; BÜTTNER, S.; PAELKE, V.; RÖCKER, C.: smARt.Assembly – Projection-Based Augmented Reality For Supporting Assembly Workers. In: Lackey, S.; Shumaker, R. (Eds.): Proceedings Of The 8th International Conference On Virtual, Augmented And Mixed Reality (VAMR 2016). July 17 - 22, Toronto, Springer International Publishing, Basel, 2016, pp. 643-652

[SC03] SHERMAN, W. R.; CRAIG, A. B.: Understanding Virtual Reality – Interface, Application And Design. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 2003

[Sch96] SCHMAUDER, M.: Händigkeitsgerechte Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle. In: Warnecke, H. J.; Bullinger, H.-J. (Hrsg.): IPA/IAO – Forschung und Praxis – Band 237. Springer, Berlin, Heidelberg, 1996

[Sch97] SCHWABER, K.: SCRUM Development Process. In: Sutherland, J.; Patel, D.; Casanave, C.; Hollowell, G.; Miller, J. (Eds.): Business Object Design And Implementation. Springer, Berlin, Heidelberg, 1997, pp. 117-134

[Sch98] SCHEER, A.-W.: ARIS – Modellierungsmethoden, Metamodelle, Anwendungen. 3., völlig neubearbeitete und erweiterte Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 1998

[Sch08] SCHILLING, T.: Augmented Reality in der Produktentstehung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Technische Universität Ilmenau, ISLE Steuerungstechnik und Leistungselektronik, Ilmenau, 2008

[Sch10] SCHWEITZER, E.: Lebenszyklusmanagement investiver Produkt-Service Systeme. In: Aurich, J. C.; Clement, M. H. (Hrsg.): Produkt-Service Systeme – Gestaltung und Realisierung. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010, S. 7-13

[Sch13] SCHALLMO, D.: Geschäftsmodell-Innovation – Grundlagen, bestehende Ansätze, methodisches Vorgehen und B2B-Geschäftsmodelle. Springer Gabler, Wiesbaden, 2013

[Sch15a] SCHENKL, S. A.: Wissensorientierte Entwicklung von Produkt-Service-Systemen. Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, Technische Universität München, München, 2015

[Sch15b] SCHMIDT, A.: Überlegene Geschäftsmodelle – Wertgenese und Wertabschöpfung in turbulenten Umwelten. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2015

[Sch16] SCHALLER, R.: Assistenzsysteme für verteilte Veranstaltungen. Dissertation, Technische Fakultät, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, FAU University Press, FAU Forschungen, Reihe B, Medizin, Naturwissenschaft, Technik, Band 12, Erlangen, 2016

[Sch17] SCHOELLNER, K.: Augmented Reality And Augmented Perception. In: Ariso, J. M. (Ed.): Augmented Reality – Reflections On Its Contribution To Knowledge Formation. De Gruyter, Berlin, Boston, 2017, pp. 171-191

[SD03] SCHWALD, B.; DE LAVAL, B.: An Augmented Reality System For Training And Assistance To Maintenance In The Industrial Context. Journal Of WSCG, Volume 11, World Society For Computer Graphics, Pilsen, 2003, pp. 425-432

[SD06] SPATH, D.; DEMUß, L.: Entwicklung hybrider Produkte – Gestaltung materieller und immaterieller Leistungsbündel. In: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): Service Engineering – Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006, S. 463-502

[SDF+04] SCHULER, H.; DOIL, F.; FRICKER, I.; SCHLEIER, C.; STADTLER, A.: Augmented Reality in der Produktion. In: Friedrich, W. (Hrsg.): ARVIKA – Augmented Reality für Entwicklung, Produktion und Service. Publicis, Erlangen, 2004, S. 137-194

[SDG17] SYBERFELDT, A.; DANIELSSON, O.; GUSTAVSSON, P.: Augmented Reality Smart Glasses In The Smart Factory – Product Evaluation Guidelines And Review Of Available Products. IEEE Access, Volume 5, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, 2017, pp. 9118-9130

[Sei16] SEITER, M.: Industrielle Dienstleistungen – Wie produzierende Unternehmen ihr Dienstleistungsgeschäft aufbauen und steuern. 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden, 2016

[SHG16] SCHUH, G.; HIRSCH, T.; GUDERGAN, G.: Kultur im Management industrieller Dienstleistungen. In: Schuh, G.; Gudergan, G.; Kampker, A. (Hrsg.): Handbuch Produktion und Management 8 – Management industrieller Dienstleistungen. 2., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2016, S. 305-321

[SG16] SCHUH, G.; GUDERGAN, G.: Einführung und Grundlagen des Managements industrieller Dienstleistungen. In: Schuh, G.; Gudergan, G.; Kampker, A. (Hrsg.): Handbuch Produktion und Management 8 – Management industrieller Dienstleistungen. 2., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2016, S. 1-19

[SGG+13] SPATH, D.; GANSCHAR, O.; GERLACH, S.; HÄMMERLE, M.; KRAUSE, T.; SCHLUND, S.: Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0. Fraunhofer Verlag, Stuttgart, 2013

[SGG16] SCHUH, G.; GUDERGAN, G.; GREFRATH, C.: Geschäftsmodelle für industrielle Dienstleistungen. In: Schuh, G.; Gudergan, G.; Kampker, A. (Hrsg.): Handbuch Produktion und Management 8 – Management industrieller Dienstleistungen. 2., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2016, S. 65-104

[SGK06] SCHEER, A.-W.; GRIEBLE, O.; KLEIN, R.: Modellbasiertes Dienstleistungsmanagement. In: Bullinger, H.-J.; Scheer, A.-W. (Hrsg.): Service Engineering – Entwicklung und Gestaltung innovativer Dienstleistungen. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006, S. 19-51

[SGT+16] SCHUH, G.; GUDERGAN, G.; THOMASSEN, P.; BRENKEN, B.: Strategisches Management industrieller Dienstleistungen. In: Schuh, G.; Gudergan, G.; Kampker, A. (Hrsg.): Handbuch Produktion und Management 8 – Management industrieller Dienstleistungen. 2., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2016, S. 31-63

[SH16] SCHMALSTIEG, D.; HÖLLERER, T.: Augmented Reality – Principles And Practices. Addison-Wesley, Boston, 2016

[Sha20] SHALF, J.: The Future Of Computing Beyond Moore's Law. Philosophical Transactions Of The Royal Society, Volume 378, Issue 2166, Royal Society, London, 2020, pp. 1-15

[Sho84] SHOSTACK, G. L.: Designing Services That Deliver. Harvard Business Review, Volume 62, No. 1, Harvard Business Publishing, Brighton, 1984, pp. 133-139

[SK08] SCHWERDTFEGER, B.; KLINKER, G.: Supporting Order Picking With Augmented Reality. In: Livingston, M. A.; Bimber, O.; Saito, H. (Eds.): Proceedings Of The 7th IEEE International Symposium On Mixed And Augmented Reality (ISMAR 2008). September 15 - 18, Cambridge, Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Piscataway, 2008, pp. 91-94

[SK12] SADEK, T.; KÖSTER, M.: Sach- und dienstleistungsintegrierte Konzeptentwicklung. In: Meier, H.; Uhlmann, E. (Hrsg.): Integrierte Industrielle Sach- und Dienstleistungen – Vermarktung, Entwicklung und Erbringung hybrider Leistungsbündel. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2012, S. 61-88

[SKG+16] STADLER, S.; KAIN, K.; GIULIANI, M.; MIRNIG, N.; STOLLNBERGER, G.; TSCHELIGI, M.: Augmented Reality For Industrial Robot Programmers – Workload Analysis For Task-Based, Augmented Reality-Supported Robot Control. In: Proceedings Of The 25th IEEE International Symposium On Robot And Human Interactive Communication (ROMAN 2016). August 26 - 31, New York, Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Piscataway, 2016, pp. 179-184

[SKO11] SCHUH, G.; KLAPPERT, S.; ORILSKI, S.: Technologieplanung. In: Schuh, G.; Klappert, S. (Hrsg.): Technologiemanagement – Handbuch Produktion und Management 2. 2., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, S. 171-222

[SKS+11] SCHUH, G.; KLAPPERT, S.; SCHUBERT, J.; NOLLAU, S.: Grundlagen zum Technologiemanagement. In: Schuh, G.; Klappert, S. (Hrsg.): Technologiemanagement – Handbuch Produktion und Management 2. 2., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, S. 33-54

[SKW+07] SILTANEN, P.; KARHELA, T.; WOODWARD, C.; SAVIOJA, P.: Augmented Reality For Plant Lifecycle Management. In: Proceedings Of The 2007 IEEE International Technology Management Conference (ITMC 2007). June 4 - 6, Sophia-Antipolis, Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Piscataway, 2007, pp. 1-8

[SM12] STARK, R.; MÜLLER, P.: HLB-Entwicklungsmethodik – generischer Entwicklungsprozess, Generierung von Anforderungen und Absicherung hybrider Leistungsbündel. In: Meier, H.; Uhlmann, E. (Hrsg.): Integrierte Industrielle Sach- und Dienstleistungen – Vermarktung, Entwicklung und Erbringung hybrider Leistungsbündel. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2012, S. 37-60

[SMM+15] SEGOVIA, D.; MENDOZA, M.; MENDOZA, E.; GONZÁLEZ, E.: Augmented Reality As A Tool For Production And Quality Monitoring. Procedia Computer Science, Volume 75, Elsevier, Amsterdam, 2015, pp. 291-300

[SOW+02] SCHMIDT, L.; OEHME, O.; WIEDENMAIER, S.; BEU, A.; QUAET-FASLEM, P.: Usability Engineering für Benutzer-Interaktionskonzepte von Augmented-Reality-Systemen. it+ti – Informationstechnik und Technische Informatik, Volume 44, No. 1, De Gruyter, Berlin, 2002, S. 31-39

[SPH+08] SCHWERDTFEGER, B.; PUSTKA, D.; HOFHAUSER, A.; KLINKER, G.: Using Laser Projectors For Augmented Reality. In: Proceedings Of The 2008 ACM Symposium On Virtual Reality Software And Technology (VRST 2008). October 27 - 29, Bordeaux, Association For Computing Machinery, New York, 2008, pp. 134-137

[SR17] STOPPEL, E.; ROTH, S.: The Conceptualization Of Pricing Schemes – From Product To Customer-Centric Value Approaches. Journal Of Revenue And Pricing Management, Volume 16, Issue 1, Palgrave Macmillan, London, 2017, pp. 76-90

[SRK18] SCHALLMO, D.; REINHART, J.; KUNTZ, E.: Digitale Transformation von Geschäftsmodellen erfolgreich gestalten – Trends, Auswirkungen und Roadmap. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2018

[SRS06] SCHENK, M.; RYLL, F.; SCHADY, R.: Anforderungen an den Produktentwicklungsprozess für hybride Produkte im Anlagenbau. Industriemanagement – Zeitschrift für industrielle Geschäftsprozesse 22(1), GITO Verlag, Berlin, 2006, S. 55-58

[SS08] SCHOENFELDER, R.; SCHMALSTIEG, D.: Augmented Reality For Industrial Building Acceptance. In: Lin, M.; Steed, A.; Cruz-Neira, C. (Eds.): Proceedings Of The 2008 IEEE Virtual Reality Conference. March 8 - 12, Reno, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, 2008, pp. 83-90

[SSG16] SCHUH, G.; SENDEREK, R.; GUDERGAN, G.: Ressourcenmanagement für industrielle Dienstleistungen. In: Schuh, G.; Gudergan, G.; Kampker, A. (Hrsg.): Handbuch Produktion und Management 8 – Management industrieller Dienstleistungen. 2., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2016, S. 253-280

[SSL+14] SCHLICK, J.; STEPHAN, P.; LOSKYLL, M.; LAPPE, D.: Industrie 4.0 in der praktischen Anwendung. 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. 57-84

[SSM14] SCHENKL, S. A.; SAUER, R. M.; MÖRTL, M.: A Technology-Centered Framwork For Product-Service Systems. Procedia CIRP, Volume 16, Elsevier, Amsterdam, 2014, pp. 295-300

[SSW+18] STANTON, N. A.; SALMON, P. M.; WALKER, G. H.; BABER, C.; JENKINS, D. P.: Human Factors Methods – A Practical Guide For Engineering And Design. Routledge, Abingdon, 2018

[Sta19] STATISTISCHES BUNDESAMT (Hrsg.): Bruttoinlandsprodukt 2018 für Deutschland – Begleitmaterial zur Pressekonferenz am 15. Januar 2019. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2019

[Ste18] STELZLE, W.: Smart Service Assistant-App – Augmented Reality für Instandhalter. IT&Production, Sonderteil Augmented und Virtual Reality 9/2018, TeDo Verlag, Marburg, S. 8-9

[Stö14-ol] STÖCKLEIN, J.: Augmented Reality Service App für Geldautomaten. Unter: https://www.owl-viprosim.de/virtual-prototyping-simulation/anwendungsbeispiele/augmented-reality-service-app-fuer-geldautomaten/, 13. August 2017

[Sut65] SUTHERLAND, I. E.: The Ultimate Display. In: Kalenich, W. A. (Ed.): Information Processing – Proceedings Of The IFIP Congress. May 24 - 29, New York City, Spartan Books, Washington D. C., 1965, pp. 506-508

[SZP+17] SALA, R.; ZANETTI, V.; PEZZOTTA, G.; CAVALIERI, S.: The Role Of Technology In Designing And Delivering Product-Service Systems. In: Jardim-Gonçalves, R.; Zarli, A.; Mendonça, J. P.; Martins, J.; Pallot, M.; Marques, M. (Eds.): Proceedings Of The International Conference On Engineering, Technology And Innovation (ICE/ITMC 2017). June 27 - 29, Madeira Island, Institute of Electrical and Electronics Engineers, Piscataway, 2017, pp. 1255-1261

[TAG+17] THOMMEN, J.-P.; ACHLEITNER, A.-K.; GILBERT, D. U.; HACHMEISTER, D.; KAISER, G.: Allgemeine Betriebswirtschaftslehre – Umfassende Einführung aus managementorientierter Sicht. 8., vollständig überarbeitete Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden, 2017

[Tas17] TASCHNER, A.: Business Cases – Ein anwendungsorientierter Leitfaden. 3. Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden, 2017

[TBE+14] TEICHLER, T.; BERGER, F.; ENZING, C.; HEIMER, T.; TALMON-GROS, L.; WARTA, K.; RADEWALD, S.; BASTILLO, L.; FRIESEN, T.: Workshopreihe mit begleitender Studie zur Technologieaufgeschlossenheit und Innovationsfreundlichkeit der Gesellschaft in Deutschland – Begleitstudie im Auftrag des BMWi. Technopolis, Berlin, 2014

[TH04] TSCHEULIN, D. K.; HELMIG, B. (Hrsg.): Gabler Lexikon Marktforschung. Gabler, Wiesbaden, 2004

[TIF01] TAKATA, S.; ISOBE, H.; FUJII, H.: Disassemby Operation Support System With Motion Monitoring Of A Human Operator. CIRP Annals, Volume 50, Issue 1, Elsevier, Amsterdam, 2001, pp. 305-308

[TM06] TAN, A. R.; MCALOONE, T. C.: Characteristics Of Strategies In Product/Service-System Development. In: Marjanovic, D. (Ed.): Proceedings Of The 9th International DESIGN Conference, May 15 – 18, Dubrovnik, The Design Society, Glasgow, 2006, pp. 1435-1442

[TMN+18] THOMAS, O.; METZGER, D.; NIEGEMANN, H.; WELK, M.; BECKER, T.: GLASSROOM – Kompetenzaufbau und -entwicklung in virtuellen Lebenswelten. In: Thomas, O.; Metzger, D.; Niegemann, H. (Hrsg.): Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung – Virtual und Augmented Reality für Industrie 4.0. Springer Gabler, Wiesbaden, 2018, S. 2-19

[Toe11] TOEPFER, G.: Historisches Wörterbuch der Biologie – Geschichte und Theorie der biologischen Grundbegriffe – Band 2. Verlag J. B. Metzler, Stuttgart, 2011

[Tön10] TÖNNIS, M.: Augmented Reality – Einblicke in die Erweiterte Realität. In: Günther, O. P.; Karl, W.; Lienhart, R.; Zeppenfeld, K. (Hrsg.): Informatik im Fokus. Springer, Berlin, Heidelberg, 2010

[TP11] TÖNNIS, M.; PLECHER, D. A.: Presentation Principles In Augmented Reality – Classification And Categorization Guidelines. Technical Report TUM-I111, Technische Universität München, München, 2011

[TP17] TENG, C.-H.; PENG, S.-S.: Augmented-Reality-Based 3D Modeling System Using Tangible Interface. Sensors And Materials, Volume 29, No. 11, Myu Scientific Publishing, Tokio, 2017, pp. 1545-1554

[TT06] TUKKER, A.; TISCHNER, U.: Product-Services As A Research Field – Past, Present And Future – Reflections From A Decade Of Research. Journal Of Cleaner Production, Volume 14, Issue 17, Elsevier, Amsterdam, 2006, pp. 1552-1556

[Tuk04] TUKKER, A.: Eight Types Of Product-Service System – Eight Ways To Sustainability? – Experiences From Suspronet. Business Strategy And The Environment, Volume 13, Issue 4, Wiley, Hoboken, 2004, pp. 246-260

[TW16] THEIS, T. N.; WONG, H.-S. P.: The End Of Moore's Law – A New Beginning For Information Technology. Computing In Science & Engineering, Volume 19, Issue 2, Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Piscataway, 2016, pp. 41-50

[TWL08] THOMAS, O.; WALTER, P.; LOOS, P.: Product-Service-Systems – Konstruktion und Anwendung einer Entwicklungsmethodik. Wirtschaftsinformatik, Band 50, Ausgabe 3, Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2008, S. 208-219

[UB12] UHLMANN, E.; BOCHNIG, H.: Assistenzsystem zur Ausgestaltung hybrider Leistungsbündel. In: Meier, H.; Uhlmann, E. (Hrsg.): Integrierte Industrielle Sach- und Dienstleistungen – Vermarktung, Entwicklung und Erbringung hybrider Leistungsbündel. Springer Vieweg, Berlin, Heidelberg, 2012, S. 89-111

[Ulw16] ULWICK, A. W.: Jobs To Be Done – Theory To Practice. Idea Bite Press, USA, 2016

[Van18-ol] VANDRICO INC.: The Wearables Database. Unter: https://vandrico.com/wearables/, 1. Mai 2018

[VBG13] VAN PUTTEN, B.-J.; BRECHT, F.; GÜNTHER, O.: Challenges In Business Case Development And Requirements For Business Case Frameworks. In: van Putten, B.-J. (Hrsg.): Supporting Reuse In Business Case Development. Springer Gabler, Wiesbaden, 2013, pp. 8-22

[VDI2206] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI): Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. VDI-Richtlinie 2206, Beuth, Berlin, 2004

[VDI2221] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI): Entwicklung technischer Produkte und Systeme. VDI-Richtlinie 2221, Beuth, Berlin, 2019

[VDI4520] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (VDI): Produktmanagement – Einführung und Grundlagen. VDI-Richtlinie 4520, Beuth, Berlin, 2017

[VKK+16] VON GROLMANN, H.; KRCMAR, H.; KUHN, K.-J.; PICOT, A.; SCHÄTZ, B.: Digitale Transformation – Wie Informations- und Kommunikationstechnologie etablierte Branchen grundlegend verändern. fortiss, München, 2016

[VL04] VARGO, S. L.; LUSCH, R. F.: Evolving To A New Dominant Logic For Marketing. Journal Of Marketing, Volume 68, Issue 1, American Marketing Association, Chicago, 2004, pp. 1-17

[VMD+03] VENKATESH, V.; MORRIS, M. G.; DAVIS, G. B.; DAVIS, F. D.: User Acceptance Of Information Technology – Toward A Unified View. MIS Quarterly, Volume 27, No. 3, University Of Minnesota, Minneapolis, 2003, pp. 425-478

[VMS+15] VALENCIA, A.; MUGGE, R.; SCHOORMANS, J. P. L.; SCHIFFERSTEIN, H. N. J.: The Design Of Smart Product-Service Systems (PSSs) – An Exploration Of Design Characteristics. International Journal Of Design, Volume 9, No. 1, National Taiwan University Of Science And Technology, Taiwan, 2015, pp. 13-28

[VNV10] VAN KLEEF, N.; NOLTES, J.; VAN DER SPOEL, S.: Success Factors For Augmented Reality Business Models. University Of Twente, Twente, 2010

[Vog08] VOGL, W.: Eine interaktive räumliche Benutzerschnittstelle für die Programmierung von Industrierobotern. Dissertation, Fakultät für Maschinenwesen, Technische Universität München, Herbert Utz Verlag, München, 2008

[Voi92] VOIGT, K.-I.: Strategische Planung und Unsicherheit. Springer Fachmedien, Wiesbaden, 1992

[VP10] VAN KREVELEN, D. W. F.; POELMAN, R.: A Survey Of Augmented Reality – Technologies, Applications And Limitations. The International Journal Of Virtual Reality, Volume 2, No. 2, International Press Institute, Wien, 2010, pp. 1-20

[VR88] VANDERMERWE, S.; RADA, J.: Servitization of Business – Adding Value by Adding Services. European Management Journal, Volume 6, No. 4, Elsevier, Amsterdam, 1988, pp. 314-324

[Wac13] WACHSMUTH, I.: Mensch-Maschine-Interaktion. In: Stephan, A.; Walter, S. (Hrsg.): Handbuch Kognitionswissenschaft. J. B. Metzler Verlag, Stuttgart, 2013, S. 361-364

[Wal16] WALL, M.: Systematik zur technologie-induzierten Produkt- und Technologieplanung. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 352, Paderborn, 2016

[Wal18] WALKER, M.: Hype Cycle For Emerging Technologies 2018. Gartner, Stamford, 2018

[Wan05] WANDKE, H.: Assistance In Human-Machine Interaction – A Conceptual Framework And A Proposal For A Taxonomy. Theoretical Issues In Ergonomics Science, Volume 6, Issue 2, Taylor & Francis, London, 2005, pp. 129-155

[Was15] WASSOM, B. D.: Augmented Reality Law, Privacy, And Ethics – Law, Society, And Emerging AR Technologies. Elsevier, Amsterdam, 2015

[WBB+18] WEKING, J.; BROSIG, C.; BÖHM, M.; HEIN, A.: Business Model Innovation Strategies For Product Service Systems – An Explorative Study In The Manufacturing Industry. In: Proceedings Of The 26th European Conference On Information Systems (ECIS 2018). June 23 - 28, Portsmouth, Association For Information Systems, Atlanta, 2018, pp. 1-16

[WBS+07] WEBEL, S.; BECKER, M.; STRICKER, D.; WUEST, H.: Identifying Differences Between CAD and Physical Mock-Ups Using AR. In: Proceedings Of The 6th IEEE And ACM International Symposium On Mixed And Augmented Reality (ISMAR 2007). November 13 - 16, Nara, IEEE Computer Society, Washington, D.C., 2007, pp. 281-282

[WD06] WANG, X.; DUNSTON, P. S.: Groupware Concepts For Augmented Reality Mediated Human-To-Human Collaboration. In: Proceedings Of The Joint International Conference On Computing And Decision Making In Civil And Building Engineering. June 14 - 16, Montréal, 2006, pp. 1836-1842

[Wei93] WEISER, M.: Hot Topics – Ubiquitous Computing. Computer, Volume 26, Issue 10, IEEE Computer Society, Washington D.C., 1993, pp. 71-72

[Wes17] WESTERMANN, T.: Systematik zur Reifegradmodell-basierten Planung von Cyber-Physical Systems des Maschinen- und Anlagenbaus. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau, Universität Paderborn, HNI-Verlagsschriftenreihe, Band 375, Paderborn, 2017

[Wir18] WIRTZ, B. W.: Business Model Management – Design, Instrumente, Erfolgsfaktoren von Geschäftsmodellen. 4., aktualisierte und überarbeitete Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden, 2018

[Wis18] WISCHMANN, S. (Hrsg.): Smart Service Welt Innovationsbericht 2018 – Begleitforschung Smart Service Welt – Internetbasierte Dienste für die Wirtschaft. iit – Institut für Innovation und Technik in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH, Berlin, 2018

[WKS18-ol] WÄCHTER, C.; KREBS, S.; SCHWERDTFEGER, B.: Tech-Consulting – Comparison Of Glasses. Unter: https://www.ar-experts.de/tech-consulting, 13. Mai 2018

[WPS+02] WEBER, C.; POHL, M.; STEINBACH, M.; BOTTA, C.: Diskussion der Probleme bei der integrierten Betrachtung von Sach- und Dienstleistungen – „Kovalente Produkte“. In: Meerkamm, H. (Hrsg.): Proceedings Of The 13th Symposium On Design For X. 10.–11. Oktober, Neukirchen/Erlangen, Friedrich Alexander Universität, Erlangen-Nürnberg, 2002, S. 61-70

[WS18] WOLF, T.; STROHSCHEN, J.-H.: Digitalisierung – Definition und Reife. Informatik Spektrum, Volume 41, Issue 1, Springer, Berlin, Heidelberg, 2018, S. 56-64

[WW08] WÖRDENWEBER, B.; WICKORD, W.: Technologie- und Innovationsmanagement im Unternehmen – Lean Innovation. 3., neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2008

[YSI11] YOUNG, J.; SHARLIN, E.; IGARASHI, T.: What Is Mixed Reality, Anyway? – Considering The Boundaries Of Mixed Reality In The Context Of Robots. In: Wang, X. (Ed.): Mixed Reality And Human-Robot Interaction. Springer, Berlin, Heidelberg, 2011, pp. 1-11

[Zac16] ZACHARIAS, W.: Zögern bei Investitionen. Druck&Medien, Ausgabe Mai, Medienfachverlag Johann Oberauer, Eugendorf, 2016

[Zan70] ZANGEMEISTER, C.: Nutzwertanalyse in der Systemtechnik – Eine Methodik zur multidimensionalen Bewertung und Auswahl von Projektalternativen. Wittemannsche Buchhandlung, München, 1970

[Zar01] ZARING, O. (Hrsg.): Creating Eco-Efficient Producer Services. Gothenburg Research Institute, Göteborg, 2001

[ZDB08] ZHOU, F.; DUH, H. B.-L.; BILLINGHURST, M.: Trends In Augmented Reality Tracking, Interaction And Display – A Review Of Ten Years Of ISMAR. In: Livingston, M. A.; Bimber, O.; Saito, H. (Eds.): Proceedings Of The 7th IEEE International Symposium On Mixed And Augmented Reality (ISMAR 2008). September 15 - 18, Cambridge, Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Piscataway, 2008, pp. 193-202

[ZEG+03] ZOKAI, S.; ESTEVE, J.; GENC, Y.; NAVAB, N.: Multiview Paraperspective Projection Model For Diminished Reality. In: Proceedings Of The 2nd IEEE And ACM International Symposium On Mixed And Augmented Reality (ISMAR 2003). October 7 - 10, Tokio, Institute Of Electrical And Electronics Engineers, Piscataway, 2003, pp. 217-226

[ZHT19] ZABEL, C.; HEISENBERG, G.; TELKMANN, V.: XR in NRW – Potentiale und Bedarfe der nordrhein-westfälischen Virtual, Mixed und Augmented Reality-Branche. Medienetzwerk.NRW, Düsseldorf, 2019

[ZLC+18] ZHENG, P.; LIN, T.-J.; CHEN, C.-H.; XU, X.: A Systematic Design Approach For Service Innovation Of Smart Product-Service Systems. Journal Of Cleaner Production, Volume 201, Elsevier, Amsterdam, 2018, pp. 657-667

[ZON09] ZHANG, J.; ONG, S. K.; NEE, A. Y. C.: Development Of An AR System Achieving In Situ Machining Simulation On A 3-Axis CNC Machine. Computer Animation And Virtual Worlds, Volume 21, No. 2, John Wiley & Sons, Hoboken, 2009, pp. 103-115

[ZON13] ZHU, J.; ONG, S. K.; NEE, A. Y. C.: An Authorable Context-Aware Augmented Reality System To Assist The Maintenance Technicians. The International Journal Of Advanced Manufacturing Technology, Volume 66, Springer Science+Business Media, Berlin, 2013, pp. 1699-1714

[ZPB85] ZEITHAML, V. A.; PARASURAMAN, A.; BERRY, L. L.: Problems And Strategies In Services Marketing. Journal Of Marketing, Volume 49, No. 2, Sage Publications, Thousand Oaks, 1985, pp. 33-46

[ZWB+18] ZOBEL, B.; WERNING, S.; BERKEMEIER, L.; THOMAS, O.: Augmented- und Virtual-Reality-Technologien zur Digitalisierung der Aus- und Weiterbildung – Überblick, Klassifikation und Vergleich. In: Thomas, O.; Metzger, D.; Niegemann, H. (Hrsg.): Digitalisierung in der Aus- und Weiterbildung – Virtual und Augmented Reality für Industrie 4.0. Springer Gabler, Wiesbaden, 2018, S. 20-34

[ZWC+19] ZHENG, P.; WANG, Z.; CHEN, C.-H.; KHOO, L. P.: A Survey Of Smart Product-Service Systems – Key Aspects, Challenges And Future Perspectives. Advanced Engineering Informatics, Volume 42, Elsevier, Amsterdam, 2019, pp. 1-19

[Zwi49] ZWICKY, F.: Morphologische Astronomie. Physikalische Blätter, Volume 5, No. 1, Physik Verlag, Mosbach, 1949

Anhang

Inhaltsverzeichnis Seite

A1 Ergänzungen zum Stand der Technik A-1

A2 Ergänzungen zur Systematik A-3

A2.1 Übersicht der untersuchten AR-Anwendungsbeispiele A-3

A2.2 Steckbriefe zu den AR-Anwendungsszenarien A-6

A2.3 Bewertungskriterien zur Abschätzung des Umsetzungsaufwands A-22

A2.4 Leitfragenkatalog zur Erhebung von Anforderungen A-23

A2.5 Bewertungsindikatoren für Datenbrillen und Handheld-Systeme A-29

A2.6 Anforderungsschablone zur Spezifikation einer Datenbrille A-30

A2.7 Datenbrillen-Steckbriefe A-31

A2.8 Geschäftsmodellkarten A-37

A1 Ergänzungen zum Stand der Technik

Tabelle A-1: Indikatoren für Datenbrillen nach GRAUEL ET AL. [BAU16, S. 12]

Indikatoren für den Einsatz von Datenbrillen	
1	Beide Hände für Tätigkeiten frei
2	Mobilität notwendig
3	„Wegklappen“ bzw. Abnehmen des Displays muss problemlos möglich sein
4	Kurze Dauer der Sekundärtätigkeit
5	Häufiger Wechsel zwischen Primär- und Sekundäraufgabe
6	Blick muss in Richtung der Primäraufgabe bleiben
7	Viele kurze Kontextinformationen
8	Geringer Informationsbedarf für einzelne Arbeitsschritte
9	Arbeitsprozess ist strukturierbar
10	Darstellung von Zielzuständen notwendig
11	Informationen lassen sich grafisch darstellen
12	Videoclips für einzelne Handgriffe
13	Darstellung von nicht einsehbaren Elementen und Baugruppen notwendig
14	Zeitkritische Anwendungen
15	Geringe Fehlertoleranz
16	Fehlerbeschränkung / Kontrollmechanismus
17	Ingesamt hoher Informationsbedarf
18	Einspielung von Umgebungsinformationen erforderlich
19	Darstellung von Navigationsinformationen
20	Auffinden eines Ortes
21	Abrufen von geographischen Plänen notwendig
22	Datenschutz erforderlich
23	Individualisierung
24	Geringe Wiederholrate von Aufgaben
25	Anlernphase von Montageaufgaben
26	Hohe Produktvarianz
27	Identifikation von Teilen erforderlich

Tabelle A-2: Indikatoren gegen Datenbrillen nach GRAUEL ET AL. [BAU16, S. 12]

Indikatoren gegen den Einsatz von Datenbrillen	
1	Volles Sichtfeld ist nötig
2	Verdeckung der Umgebung ist nicht akzeptabel
3	Akkukapazität ist für Aufgabe nicht ausreichend
4	Fokuswechsel zwischen Realität und Virtualität ist zu beanspruchend
5	Mangelnde Akzeptanz der Beschäftigten
6	Kosten-Nutzen-Relation passt nicht
7	Primäraufgabe ist zu aufmerksamkeitsintensiv
8	Ablenkung ist unerwünscht
9	Darstellung komplexer technischer Zeichnungen ist erforderlich
10	Große Textmengen sind erforderlich
11	Routinetätigkeiten
12	Einfache Produkte
13	Hoher Informationsbedarf für einzelne Arbeitsschritte

A2 Ergänzungen zur Systematik

A2.1 Übersicht der untersuchten AR-Anwendungsbeispiele

Tabelle A-3: Bewertung der AR-Anwendungsbeispiele am Klassifikationsschema (1/3)

Nr.	Literatur	Einsatz-bereich	Hand-lung	Kollabo-ration	Wirk-ebene	Ziel der Augment.	Orts-bezug	Zeit-bezug	Realitäts-nähe
1	[SPH+08]	Produktion	Kontrol-lieren	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Leistungs-steigerung	Objekt	Vergan-genheit	Unterschei. gewünscht
2	[MC11]	Aus- und Weiterbild.	Informieren	Keine Kol-laboration	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Objekt	Gegenwart	Keine Un-terscheidb.
3	[KDB+02]	Entwick-lung	Planen	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
4	[LW17]	Produktion	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Leistungs-steigerung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
5	[EFM+12]	Beschaf-fung	Planen	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
6	[FMS93]	Instand-haltung	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Befähigung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
7	[Noe02]	Entwick-lung	Kontrol-lieren	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Objekt	Vergan-genheit	Keine Un-terscheidb.
8	[SKW+07]	Produktion	Planen	Synchron, versch. Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
9	[Ref19a]	Instand-haltung	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Befähigung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
10	[TIF01]	Außerbe-triebnahme	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Leistungs-steigerung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
11	[SGK+16]	Produktion	Planen	Keine Kol-laboration	Virtuelle Welt	Befähigung	Umgebung	Zukunft	Unterschei. gewünscht
12	[RWB+02]	Entwick-lung	Planen	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
13	[SS08]	Produktion	Kontrol-lieren	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Objekt	Vergan-genheit	Keine Un-terscheidb.
14	[AAB+12, S. 271f.]	Aus- und Weiterbild.	Informieren	Keine Kol-laboration	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Objekt	Gegenwart	Keine Un-terscheidb.
15	[RI17]	Produktion	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Leistungs-steigerung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
16	[Ref19b]	Instand-haltung	Ausführen	Synchron, versch. Ort	Reale Welt	Befähigung	Umgebung	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
17	[BDD+12, S. 204ff.]	Produktion	Planen	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
18	[NON10]	Entwick-lung	Ausführen	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
19	[OKY+03]	Entwick-lung	Planen	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Befähigung	Objekt	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
20	[FMN+16]	Logistik	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Leistungs-steigerung	Umgebung	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
21	[ZON09]	Produktion	Planen	Keine Kol-laboration	Virtuelle Welt	Befähigung	Objekt	Zukunft	Unterschei. gewünscht
22	[Ref19c]	Aus- und Weiterbild.	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Befähigung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
23	[PHM+06]	Instand-haltung	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Befähigung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht

Tabelle A-4: Bewertung der AR-Anwendungsbeispiele am Klassifikationsschema (2/3)

Nr.	Literatur	Einsatz-bereich	Hand-lung	Kollabo-ration	Wirk-ebene	Ziel der Augment.	Orts-bezug	Zeit-bezug	Realitäts-nähe
24	[AHG03]	Produktion	Informieren	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Wahrneh-mungsstei.	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
25	[FR09]	Aus- und Weiterbild.	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Befähigung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
26	[Oco15-ol]	Entwick-lung	Ausführen	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
27	[GFM02]	Produktion	Planen	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
28	[AWA+17]	Instand-haltung	Ausführen	Synchron, versch. Ort	Reale Welt	Befähigung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
29	[WBS+07]	Entwick-lung	Kontrol-lieren	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Objekt	Vergan-genheit	Keine Un-terscheidb.
30	[CT11]	Produktion	Ausführen	Synchron, gleicher Ort	Reale Welt	Leistungs-steigerung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
31	[Ref19d]	Aus- und Weiterbild.	Ausführen	Keine Kol-laboration	Virtuelle Welt	Befähigung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
32	[NK06]	Entwick-lung	Kontrol-lieren	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Objekt	Vergan-genheit	Keine Un-terscheidb.
33	[RN95]	Produktion	Ausführen	Synchron, versch. Ort	Reale Welt	Befähigung	Umgebung	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
34	[HRR+18]	Produktion	Planen	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
35	[Wis18]	Instand-haltung	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Befähigung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
36	[Ref19e]	Aus- und Weiterbild.	Informieren	Keine Kol-laboration	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Objekt	Gegenwart	Keine Un-terscheidb.
37	[RBW05]	Produktion	Planen	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
38	[Ref19f]	Produktion	Informieren	Keine Kol-laboration	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
39	[Bad12]	Produktion	Kontrol-lieren	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Objekt	Vergan-genheit	Keine Un-terscheidb.
40	[BWP+18]	Produktion	Planen	Keine Kol-laboration	Virtuelle Welt	Befähigung	Objekt	Zukunft	Unterschei. gewünscht
41	[ZEG+03]	Produktion	Planen	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
42	[SBB+18]	Produktion	Planen	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
43	[BC15]	Produktion	Kontrol-lieren	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Leistungs-steigerung	Objekt	Vergan-genheit	Unterschei. gewünscht
44	[AAB+12, S. 240ff.]	Aus- und Weiterbild.	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Befähigung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
45	[TP17]	Entwick-lung	Ausführen	Keine Kol-laboration	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
46	[MZV17]	Instand-haltung	Ausführen	Asynchron, versch. Ort	Reale Welt	Befähigung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
47	[OCL+17]	Produktion	Planen	Keine Kol-laboration	Virtuelle Welt	Befähigung	Objekt	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
48	[Ref19g]	Beschaf-fung	Informieren	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Gegenwart	Keine Un-terscheidb.
49	[AAB+12, S. 230ff.]	Logistik	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Leistungs-steigerung	Umgebung	Gegenwart	Unterschei. gewünscht

Tabelle A-5: Bewertung der AR-Anwendungsbeispiele am Klassifikationsschema (3/3)

Nr.	Literatur	Einsatz-bereich	Hand-lung	Kollabo-ration	Wirk-ebene	Ziel der Augment.	Orts-bezug	Zeit-bezug	Realitäts-nähe
50	[BK05]	Produktion	Planen	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
51	[BDD+12, S. 190ff.]	Entwick-lung	Ausführen	Keine Kol-laboration	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
52	[OGL08]	Produktion	Informieren	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Wahrneh-mungsstei.	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
53	[RSK+99]	Produktion	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Leistungs-steigerung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
54	[Stö14-ol]	Instand-haltung	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Befähigung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
55	[Ref19h]	Beschaf-fung	Informieren	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Objekt	Gegenwart	Keine Un-terscheidb.
56	[RED07]	Instand-haltung	Ausführen	Synchron, versch. Ort	Reale Welt	Befähigung	Umgebung	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
57	[Ste18]	Instand-haltung	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Befähigung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
58	[GSS+04]	Produktion	Planen	Keine Kol-laboration	Virtuelle Welt	Befähigung	Umgebung	Zukunft	Unterschei. gewünscht
59	[Por18a]	Produktion	Kontrol-lieren	Synchron, versch. Ort	Reale Welt	Leistungs-steigerung	Objekt	Vergan-genheit	Unterschei. gewünscht
60	[Por18b]	Beschaf-fung	Informieren	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Gegenwart	Keine Un-terscheidb.
61	[BK04]	Aus- und Weiterbild.	Informieren	Keine Kol-laboration	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Objekt	Gegenwart	Keine Un-terscheidb.
62	[ISN+08]	Außerbe-triebnahme	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Leistungs-steigerung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
63	[Ref19i]	Beschaf-fung	Informieren	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Gegenwart	Keine Un-terscheidb.
64	[CM92]	Produktion	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Leistungs-steigerung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
65	[SK08]	Logistik	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Leistungs-steigerung	Umgebung	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
66	[ESK+04]	Produktion	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Leistungs-steigerung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
67	[Eck18-ol]	Beschaf-fung	Informieren	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Objekt	Gegenwart	Keine Un-terscheidb.
68	[SD03]	Aus- und Weiterbild.	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Befähigung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
69	[Ref19i]	Beschaf-fung	Planen	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Umgebung	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
70	[AAB+12, S. 265ff.]	Produktion	Planen	Keine Kol-laboration	Virtuelle Welt	Befähigung	Umgebung	Zukunft	Unterschei. gewünscht
71	[Bou04]	Aus- und Weiterbild.	Ausführen	Synchron, versch. Ort	Reale Welt	Befähigung	Umgebung	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
72	[CON17]	Außerbe-triebnahme	Ausführen	Keine Kol-laboration	Reale Welt	Leistungs-steigerung	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
73	[SMM+15]	Produktion	Informieren	Keine Kol-laboration	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Objekt	Gegenwart	Unterschei. gewünscht
74	[Ref19k]	Beschaf-fung	Planen	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Objekt	Zukunft	Keine Un-terscheidb.
75	[Ber19-ol]	Beschaf-fung	Planen	Synchron, gleicher Ort	Virtuelle Welt	Wahrneh-mungsstei.	Objekt	Zukunft	Keine Un-terscheidb.

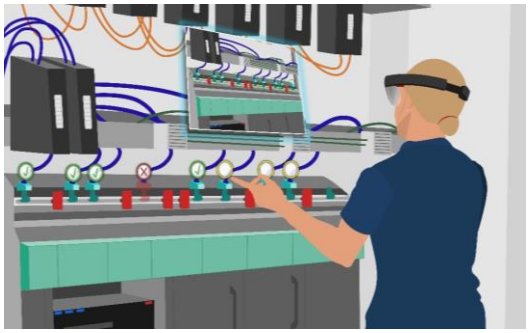
A2.2 Steckbriefe zu den AR-Anwendungsszenarien

1 AR-Anwendungsszenario: Qualitätskontrolle

Kategorie

Beschreibung

Mittels AR werden Soll-Ist-Abgleiche zum Zweck der Qualitätssicherung unterstützt. Im Vordergrund steht die Identifikation von Abweichungen zwischen Bau- und Planständen. Durch die orts- und lagekorrekte Positionierung der Informationen können prüfrelevante Merkmale und etwaige Abweichungen unmittelbar an den relevanten Bauteilen hervorgehoben werden. Zu den Vorteilen zählen eine verkürzte Informationssuche sowie eine verlässlichere Fehlererkennung.



Nutzenpotentiale

		0	1	2	3
Kunde	Kürzere Wartezeiten	●			
	Schnellere Tätigkeitsdurchführung				●
	Verbesserte Fehlervermeidung			●	
	Verbesserte Fehlererkennung				●
	Erhöhte Sicherheit	●			
	Kognitive Entlastung			●	
	Verbesserte Fertigkeiten		●		
	Verbessertes Verständnis	●			

		0	1	2	3
Anbieter	Eingesparte Reisekosten	●			
	Erhöhte Wissensverfügbarkeit	●			
	Entfallene Tätigkeiten	●			
	Verb. Verständnis über Kunden		●		
	Vereinf. Kommunikation m. Kunde	●			
	Synergien für die interne AR-Nutz.		●		

Legende: 0 = keine Ausprägung, 1 = geringe Ausprägung, 2 = mittlere Ausprägung, 3 = hohe Ausprägung

Chancen

- **Verringerung von Such- und Prüfzeiten:** Durch die kontextsensitive Bereitstellung der prüfrelevanten Informationen verringern sich die Zeiten für die Informationssuche und den Prüfvorgang selbst
- **Verbesserte Fehlererkennung:** Die visuelle Überlagerung des Bauteils und seines Sollzustands erhöht die Wahrscheinlichkeit, Abweichungen zum Ist-Zustand korrekt als solche zu erkennen

Risiken

- **Verdeckung der Sicht:** Die Überlagerung des physischen Bauteils mit einer virtuellen Kontur kann die Sicht auf dieses und damit den Prüfvorgang selbst beeinträchtigen
- **Aufwände durch Individualisierung:** Prüfmerkmale sind vielfach abhängig von unternehmens-individuellen Vorgaben, dadurch können hohe Aufwände für die Individualisierung entstehen

Klassifikation

Legende: in ≥ 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt; in < 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt

Kontext	Einsatzbereich	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungsvorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron am gleichen Ort	Synchron an versch. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	Ziel der Augmentierung	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungssteigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Konkretisierende Beispiele

- **(1) Technische Universität München:** AR-gestützte Kontrolle von Schweißpunkten [SPH+08]
- **(43) Airbus:** AR-gestützte Qualitätskontrolle in der Fertigung (MiRA/SART) [BC15]
- **(59) Porsche:** AR-gestützte Anmutungsprüfung von Bauteilen [Por18a]

Bild A-1: Steckbrief für das AR-Anwendungsszenario „Qualitätskontrolle“

2 AR-Anwendungsszenario: Montageunterstützung

Kategorie

Beschreibung

Der Einsatz von AR unterstützt Montagetätigkeiten, indem auftragsspezifische Arbeitsanweisungen sowie Dokumentationsprotokolle digital verfügbar gemacht werden. Gegenüber statischen papierbasierten Anweisungen ermöglicht AR es, die Montageinformationen kontextsensitiv und intuitiv verständlich bereitzustellen, wodurch die Informationsaufnahmezeit verringert sowie die Montagequalität durch die Vermeidung von Fehlern gesteigert werden.

Nutzenpotentiale

		0	1	2	3
Kunde	Kürzere Wartezeiten	●			
	Schnellere Tätigkeitsdurchführung				●
	Verbesserte Fehlervermeidung			●	
	Verbesserte Fehlererkennung		●		
	Erhöhte Sicherheit		●		
	Kognitive Entlastung			●	
	Verbesserte Fertigkeiten		●		
	Verbessertes Verständnis		●		

		0	1	2	3
Anbieter	Eingesparte Reisekosten	●			
	Erhöhte Wissensverfügbarkeit	●			
	Entfallene Tätigkeiten	●			
	Verb. Verständnis über Kunden		●		
	Vereinf. Kommunikation m. Kunde	●			
	Synergien für die interne AR-Nutz.		●		

Legende: 0 = keine Ausprägung, 1 = geringe Ausprägung, 2 = mittlere Ausprägung, 3 = hohe Ausprägung

Chancen

- **Beschleunigung der Montagetätigkeit:** Die kontextsensitive Visualisierung der Montageinstruktionen verkürzt die Zeit zur Informationsaufnahme und damit die Montagetätigkeit als solche
- **Steigerung der Montagequalität:** Die präzise Informationsdarstellung vermeidet Montagefehler
- **Aufbau von Feedbackregelkreisen:** Informationsrückführung zur Prozess- und Produktoptimierung

Risiken

- **Unzureichende Montagekomplexität:** AR stiftet erst dann Nutzen, wenn die Montagetätigkeiten hinreichend komplex sind (z.B. Variantenmontage mit wechselnden Montageumfängen)
- **Beeinträchtigungen durch das AR-System:** In Abhängigkeit von seiner Beschaffenheit kann das AR-System die Durchführung der Montagetätigkeiten erschweren (z.B. Sichtfeld, Verkabelung)

Klassifikation

Legende: in ≥ 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt; in < 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt

Kontext	Einsatzbereich	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungsvorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron am gleichen Ort	Synchron an versch. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	Ziel der Augmentierung	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungssteigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Konkretisierende Beispiele

- **(4) KTH Stockholm:** Werkerassistenzsystem für die Mensch-Roboter-Kollaboration [LW17]
- **(15) Iowa State University:** Montageunterstützung mit Hilfe der Datenbrille Microsoft Hololens [RI17]
- **(64) Boeing:** Unterstützung für die Montage von Kabeln im Flugzeugbau [CM92]
- **(66) Technische Universität München | BMW:** Intelligent Welding Gun [ESK+04]

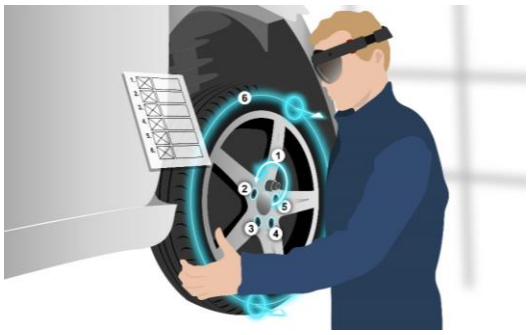
Bild A-2: Steckbrief für das AR-Anwendungsszenario „Montageunterstützung“

3 AR-Anwendungsszenario: Demontageunterstützung

Kategorie

Beschreibung

Invers zur Montage zielt der Einsatz von AR bei der Demontageunterstützung darauf ab, den Anwender bei der Zerlegung und dem Rückbau technischer Systeme zu unterstützen. Bei sicherheitskritischen Anlagen kann mit Hilfe von Visualisierungen gezielt auf Gefahrenpotentiale hingewiesen werden. Darüber hinaus lassen sich wiederverwertbare Materialien identifizieren und für das Re- und Upcycling gewinnen.



Nutzenpotentiale

		0	1	2	3
Kunde	Kürzere Wartezeiten	●			
	Schnellere Tätigkeitsdurchführung		●		
	Verbesserte Fehlervermeidung			●	
	Verbesserte Fehlererkennung	●			
	Erhöhte Sicherheit				●
	Kognitive Entlastung		●		
	Verbesserte Fertigkeiten		●		
	Verbessertes Verständnis		●		

		0	1	2	3
Anbieter	Eingesparte Reisekosten	●			
	Erhöhte Wissensverfügbarkeit	●			
	Entfallene Tätigkeiten		●		
	Verb. Verständnis über Kunden		●		
	Vereinf. Kommunikation m. Kunde	●			
	Synergien für die interne AR-Nutz.			●	

Legende: 0 = keine Ausprägung, 1 = geringe Ausprägung, 2 = mittlere Ausprägung, 3 = hohe Ausprägung

Chancen

- **Verringerung von Gefahrenpotentialen:** Beim Rückbau können potentielle Gefahrenherde intuitiv verständlich gemacht und damit die personenbezogene Sicherheit erhöht werden
- **Wiedergewinnung von Materialien:** Wiederverwertbare Materialien lassen sich gezielt gewinnen
- **Systematischer Rückbau:** Beschädigungen lassen sich beim Rückbau vermeiden (Weiterverkauf)

Risiken

- **Begrenzter Anwendungsbereich:** Eine Demontageunterstützung ist nur unter bestimmten Voraussetzungen (z.B. sicherheitskritische Anlagen, hohe Produktkomplexität) nutzenstiftend
- **Unzureichende Kosten-Nutzen-Relation:** Dem begrenzten Anwendungsbereich steht ein hoher Aufwand entgegen (Einsatz von AR muss ggü. papierbasierten Anleitungen gerechtfertigt sein)

Klassifikation

Legende: in ≥ 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt; in < 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt

Kontext	Einsatzbereich	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungsvorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron am gleichen Ort	Synchron an versch. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	Ziel der Augmentierung	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungssteigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Konkretisierende Beispiele

- **(10) Waseda University:** AR-basierte Demontageanleitung mit Bewegungsüberwachung [TFI01]
- **(62) Kyoto University:** Demontageunterstützung für Kernkraftwerke [ISN+08]
- **(72) University of Singapore:** AR-gestützte Demontageanleitung (ARDIS) [CON17]

Bild A-3: Steckbrief für das AR-Anwendungsszenario „Demontageunterstützung“

4 AR-Anwendungsszenario: Schulung zur Tätigkeitsdurchführung

Kategorie

Beschreibung

AR dient als Lernmedium, um den Anwender bei der Erlernung von Tätigkeiten zu unterstützen. Mittels Schritt-für-Schritt-Anleitungen werden Tätigkeitssequenzen unmittelbar an physischen Lernobjekten visualisiert. Die multisensual erfassbaren Lerninhalte ermöglichen eine höhere Immersion in die Lernszenerie, wodurch sich Potentiale im Hinblick auf einen schnelleren Wissenserwerb und einen nachhaltigeren Wissenserhalt ergeben.

Nutzenpotentiale

		0	1	2	3
Kunde	Kürzere Wartezeiten			●	
	Schnellere Tätigkeitsdurchführung		●		
	Verbesserte Fehlervermeidung	●			
	Verbesserte Fehlererkennung	●			
	Erhöhte Sicherheit			●	
	Kognitive Entlastung			●	
	Verbesserte Fertigkeiten				●
	Verbessertes Verständnis		●		

		0	1	2	3
Anbieter	Eingesparte Reisekosten		●		
	Erhöhte Wissensverfügbarkeit		●		
	Entfallene Tätigkeiten		●		
	Verb. Verständnis über Kunden	●			
	Vereinf. Kommunikation m. Kunde		●		
	Synergien für die interne AR-Nutz.				●

Legende: 0 = keine Ausprägung, 1 = geringe Ausprägung, 2 = mittlere Ausprägung, 3 = hohe Ausprägung

Chancen

- **Verbesserte Lernkurve:** Die intuitive Ansprache mehrerer Sinnesmodalitäten führt zu schnelleren und nachhaltigeren Lerneffekten, ggf. Begeisterung
- **On-the-Job-Training:** AR begünstigt ein ortsungebundenes Training in regulären Arbeitsumgebungen abseits von zentralen Schulungswerkstätten
- **Synergieeffekte:** Schulungsanleitungen lassen sich für die interne Weiterbildung weiternutzen

Risiken

- **Unzureichende Akzeptanz:** AR muss von den Schulungsteilnehmern mit häufig heterogenen Kompetenzen und aus unterschiedlichen Altersstrukturen als Lernmedium akzeptiert werden
- **Fehlender persönlicher Kontakt:** Bei rein virtuellen Schulungen kann der fehlende persönliche Kontakt zum Trainer zu einer unzureichenden Individualisierung und zu Frustration führen

Klassifikation

Legende: in ≥ 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt; in < 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt

Kontext	Einsatzbereich	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungsvorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron am gleichen Ort	Synchron an versch. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	Ziel der Augmentierung	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungssteigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Konkretisierende Beispiele

- **(22) Gelinge | RE'FLEKT:** AR-gestütztes Training für medizintechnische Systeme [Ref19c]
- **(25) Korea University:** AR-gestütztes Training für Montage- und Demontagetätigkeiten [FR09]
- **(44) Volkswagen:** AR-gestütztes On-the-Job-Training in der Fertigung [AAB+12, S. 240ff.]
- **(68) ZGDV e.V.:** AR-basiertes Assistenzsystem für die industrielle Instandhaltung [SD03]

Bild A-4: Steckbrief für das AR-Anwendungsszenario „Schulung zur Tätigkeitsdurchführung"

5 AR-Anwendungsszenario: Kommissionierunterstützung

Kategorie

Instruktion

Veranschaulichung

Beschreibung

Mittels AR werden dem Anwender Instruktionen zur Durchführung von Kommissioniertätigkeiten bereitgestellt. Hierzu zählen auftragsspezifische Informationen zu der Art und Anzahl der zu entnehmenden Ware, deren Lagerort sowie der kürzesten Route zu diesen. Durch die unmittelbare Überlagerung der Instruktionen mit der Umgebung lassen sich Suchzeiten (z.B. zu Waren und Lagerort) verringern und Fehler im Kommissionierprozess reduzieren.

Nutzenpotentiale

		0	1	2	3
Kunde	Kürzere Wartezeiten	●			
	Schnellere Tätigkeitsdurchführung				●
	Verbesserte Fehlervermeidung				●
	Verbesserte Fehlererkennung		●		
	Erhöhte Sicherheit		●		
	Kognitive Entlastung			●	
	Verbesserte Fertigkeiten	●			
	Verbessertes Verständnis	●			

		0	1	2	3
Anbieter	Eingesparte Reisekosten	●			
	Erhöhte Wissensverfügbarkeit	●			
	Entfallene Tätigkeiten	●			
	Verb. Verständnis über Kunden		●		
	Vereinf. Kommunikation m. Kunde	●			
	Synergien für die interne AR-Nutz.			●	

Legende: 0 = keine Ausprägung, 1 = geringe Ausprägung, 2 = mittlere Ausprägung, 3 = hohe Ausprägung

Chancen

- **Verkürzung der Kommissionierzeit:** Durch AR lassen sich nicht-wertschöpfende Totzeiten (z.B. Informationssuche, Reaktionszeit) reduzieren
- **Reduzierung von Kommissionierfehlern:** Visuelle Unterstützung verringert Fehler im Kommissionierprozess (z.B. Verwechslung bei der Entnahme)
- **Flexiblerer Mitarbeitereinsatz:** Verkürzte Einarbeitungszeit für ungeübte Mitarbeiter erhöht Flexibilität

Risiken

- **Mangelnde Ergonomie:** Ergonomische Einschränkungen von AR-Systemen (z.B. Halten des Handheld-Systems, Gewicht von Datenbrillen) können sich bei der längerfristigen Nutzung im Kommissionierprozess als nachteilig erweisen
- **Hoher Initialaufwand:** Neben den für die Umsetzung von AR erforderlichen Kosten ist eine durchgängige Digitalisierung der Prozesse erforderlich

Klassifikation

Legende: in ≥ 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt; in < 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt

Kontext	Einsatzbereich	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungsvorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron am gleichen Ort	Synchron an versch. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	Ziel der Augmentierung	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungssteigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Konkretisierende Beispiele

- **(21) Universität Stuttgart:** Kommissionierunterstützung auf Basis eines Projektorhelms [FMN+16]
- **(49) Volkswagen:** Werkerassistenzsystem für die Kommissionierung [AAB+12, S. 230ff.]
- **(65) Technische Universität München:** AR-gestützte Kommissionieranleitung [SK08]

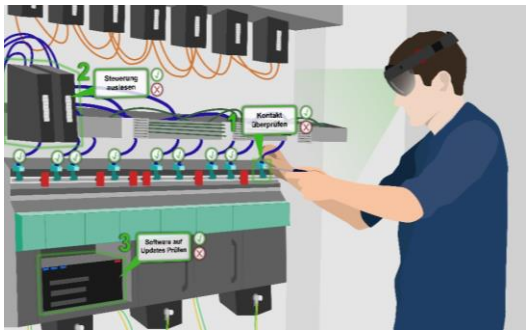
Bild A-5: Steckbrief für das AR-Anwendungsszenario „Kommissionierunterstützung“

6 AR-Anwendungsszenario: Instandhaltungsunterstützung

Kategorie

Beschreibung

Instandhaltungsvorgänge, wie z.B. die Reparatur oder Wartung einer technischen Anlage, werden durch AR-basierte Visualisierungen unterstützt. Dem Anwender werden über ein AR-System, z.B. ein Tablet oder eine Datenbrille, schrittweise Instruktionen zur Tätigkeitsdurchführung eingeblendet. Hierdurch kann auch ungeschultes Personal des Kunden zur Ausübung komplexer Tätigkeiten befähigt werden (Self-Service).



Nutzenpotentiale

		0	1	2	3
Kunde	Kürzere Wartezeiten				●
	Schnellere Tätigkeitsdurchführung		●		
	Verbesserte Fehlervermeidung	●			
	Verbesserte Fehlererkennung			●	
	Erhöhte Sicherheit		●		
	Kognitive Entlastung	●			
	Verbesserte Fertigkeiten		●		
	Verbessertes Verständnis		●		

		0	1	2	3
Anbieter	Eingesparte Reisekosten				●
	Erhöhte Wissensverfügbarkeit			●	
	Entfallene Tätigkeiten				●
	Verb. Verständnis über Kunden		●		
	Vereinf. Kommunikation m. Kunde	●			
	Synergien für die interne AR-Nutz.			●	

Legende: 0 = keine Ausprägung, 1 = geringe Ausprägung, 2 = mittlere Ausprägung, 3 = hohe Ausprägung

Chancen

- **Verringerung der Reaktionszeit:** Durch erhöhte Unabhängigkeit vom Service-Personal des Anbieters kann der Kunde beim Auftreten von Fehlern schneller und flexibler reagieren (Self-Service)
- **Einsparung von Reisekosten:** Reisen müssen nur bei hochkomplexen Problemen angetreten werden
- **Synergieeffekte:** Neben der Instandhaltung kann die AR-Applikation für Schulungen genutzt werden

Risiken

- **Nutzerakzeptanz:** Kunde ist unter Umständen nicht bereit, Tätigkeiten zu übernehmen, die klassischerweise durch den Anbieter erbracht werden
- **Fehlende Kompetenzen:** Personal des Kunden mangelt es ggf. an Kompetenz und Erfahrung im Umgang mit AR (z.B. Bedienung von Datenbrillen)
- **Zahlungsbereitschaft:** Zahlung eines Aufpreises bei Self-Service ggf. schwer zu kommunizieren

Klassifikation

Legende: in ≥ 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt; in < 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt

Kontext	Einsatzbereich	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungsvorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron am gleichen Ort	Synchron an versch. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	Ziel der Augmentierung	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungssteigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Konkretisierende Beispiele

- **(6) Columbia University:** Knowledge-based AR for Maintenance Assistance (KARMA) [FMS93]
- **(9) Range Rover | RE'FLEKT:** AR-basierte Reparaturunterstützung für Fahrzeuge [Ref19a]
- **(46) University of Patras:** Remote-Maintenance-Plattform für Robotiksysteme [MZV17]
- **(57) Leybold | RE'FLEKT:** Smart Service Assistant für die Instandhaltung von Pumpen [Ste18]

Bild A-6: Steckbrief für das AR-Anwendungsszenario „Instandhaltungsunterstützung"

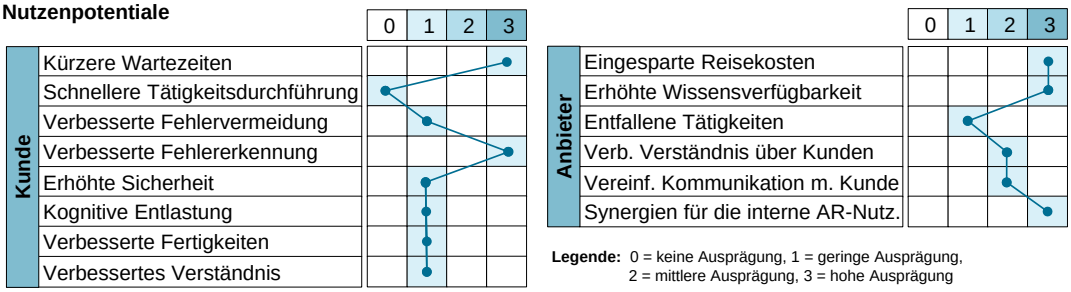
7 AR-Anwendungsszenario: Remote Assistance

Kategorie

Beschreibung

AR wird dazu eingesetzt, um Akteure in Echtzeit audio-visuell miteinander zu vernetzen und hierdurch Expertenwissen orts- und organisationsübergreifend verfügbar zu machen. Mit Hilfe mobiler Endgeräte wird das Sichtfeld des hilfesuchenden Akteurs an einen Experten gespiegelt. Dieser erhält Einblicke in die Gegebenheiten vor Ort und kann durch Sprachhinweise sowie die Einblendung visueller Instruktionen bei der Problemlösung unterstützen.

Nutzenpotentiale



Legende: 0 = keine Ausprägung, 1 = geringe Ausprägung, 2 = mittlere Ausprägung, 3 = hohe Ausprägung

Chancen

- **Ad-hoc-Zuschaltung von Expertenwissen:** Unmittelbarer Zugriff auf Problemlösekompetenz durch die Zuschaltung von Experten
- **Einsparung von Reisekosten:** Service-Einsätze sind nur bei schwerwiegenden Problemen nötig
- **Synergieeffekte:** Remote Assistance eignet sich für unterschiedliche Anwendungskontexte und lässt sich aufwandsarm auf diese übertragen

Risiken

- **Unzureichende Kompetenzen:** Der Einsatz von Remote Assistance stellt neue Anforderungen an das Kompetenzprofil des Experten (z.B. Erklärungsvermögen) und des hilfesuchenden Akteurs (z.B. Umgang mit AR-System)
- **Abhängigkeit von einer Internetverbindung:** Für die Übertragung der Audio- und Videosignale ist eine stabile Internetverbindung erforderlich

Klassifikation

Legende: in ≥ 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt; in < 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt

Kontext	Einsatzbereich	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungsvorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron am gleichen Ort	Synchron an versch. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	Ziel der Augmentierung	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungssteigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Konkretisierende Beispiele

- **(16) RE'FLEKT:** Remote-Assistance-Plattform (RE'FLEKT One) [Ref19b]
- **(31) Sony:** Remote Collaboration (NaviCam) [RN95]
- **(56) Cambridge University:** Remote Collaboration mit geometrisch registrierten Annotationen [RED07]
- **(71) University of Alberta:** Industrielles Tele-Training mit Remote Assistance [Bou04]

Bild A-7: Steckbrief für das AR-Anwendungsszenario „Remote Assistance"

8 AR-Anwendungsszenario: Datenvisualisierung

Kategorie

Beschreibung

Mit Hilfe von AR werden Daten aus unterschiedlichen Quellen kontextspezifisch visualisiert. Hierzu zählen u.a. Echtzeitdaten aus Sensoren (z.B. Diagnosedaten), Prozessparameter (z.B. eingestellte Vorschubgeschwindigkeit) oder aggregierte Leistungskennzahlen (z.B. Prozessfähigkeitsindizes). Potentiale ergeben sich durch die Flexibilisierung der Informationsbereitstellung durch die räumliche Entkopplung von festinstallierten Displays.

Nutzenpotentiale

		0	1	2	3
Kunde	Kürzere Wartezeiten	●			
	Schnellere Tätigkeitsdurchführung			●	
	Verbesserte Fehlervermeidung		●		
	Verbesserte Fehlererkennung		●		
	Erhöhte Sicherheit			●	
	Kognitive Entlastung			●	
	Verbesserte Fertigkeiten	●			
	Verbessertes Verständnis			●	

		0	1	2	3
Anbieter	Eingesparte Reisekosten	●			
	Erhöhte Wissensverfügbarkeit	●			
	Entfallene Tätigkeiten	●			
	Verb. Verständnis über Kunden		●		
	Vereinf. Kommunikation m. Kunde	●			
	Synergien für die interne AR-Nutz.			●	

Legende: 0 = keine Ausprägung, 1 = geringe Ausprägung, 2 = mittlere Ausprägung, 3 = hohe Ausprägung

Chancen

- **Räumliche Flexibilisierung:** Informationen können losgelöst von stationären Displays visualisiert werden, wodurch sich Laufwege und -zeiten einsparen lassen
- **Kontextualisierung:** Die kontextspezifische Informationsvisualisierung ermöglicht eine präzisere, intuitiv verständliche Darstellung von Zusammenhängen und damit eine kognitive Entlastung

Risiken

- **Mangelnde Praktikabilität:** Die Informationsdarstellung setzt voraus, dass der Anwender ein mobiles Endgerät bei sich führt, was sich in der Praxis als umständlich erweisen kann
- **Ergonomische Nachteile:** Die Mehrwerte aus der kontextsensitiven Informationsdarstellung müssen die ergonomischen Nachteile durch das Halten bzw. Tragen des AR-Systems übersteigen

Klassifikation

Legende: in ≥ 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt; in < 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt

Kontext	Einsatzbereich	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungsvorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron am gleichen Ort	Synchron an versch. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	Ziel der Augmentierung	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungssteigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Konkretisierende Beispiele

- **(24) Universität Bremen:** Prozessdatenvisualisierung für Schweißprozesse [AHG03]
- **(38) Bosch | RE'FLEKT:** Datenvisualisierung für die Kfz-Inspektion (Flex Inspect) [Ref19f]
- **(52) Royal Institute of Technology:** Prozessdatenvisualisierung an Drehmaschinen (ASTOR) [OGL08]
- **(73) University of Monterrey:** Visualisierung von Qualitätsdaten [SMM+15]

Bild A-8: Steckbrief für das AR-Anwendungsszenario „Datenvisualisierung"

9 AR-Anwendungsszenario: Schulung zur Verständnisverbesserung

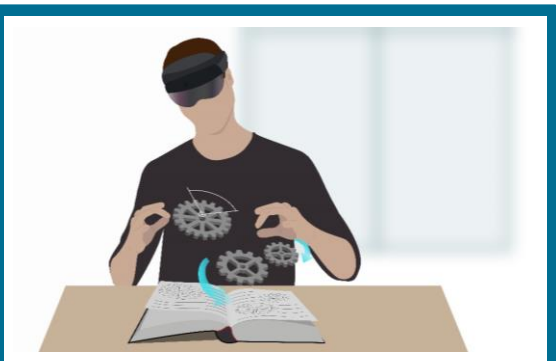
Kategorie

Instruktion

Veranschaulichung

Beschreibung

Der Einsatz von AR zielt auf die Unterstützung der Wissensvermittlung in der Aus- und Weiterbildung ab. Durch die ort- und lagekorrekte Positionierung virtueller Modelle werden komplexe Sachverhalte veranschaulicht und im relevanten Kontext verständlich gemacht. Es lassen sich sowohl konventionelle Lernmedien (z.B. Fachbücher) als auch spezifische Objekte (z.B. Baugruppen) mit interaktiven, virtuellen Informationen anreichern.



Nutzenpotentiale

		0	1	2	3
Kunde	Kürzere Wartezeiten	●			
	Schnellere Tätigkeitsdurchführung		●		
	Verbesserte Fehlervermeidung	●			
	Verbesserte Fehlererkennung	●			
	Erhöhte Sicherheit		●		
	Kognitive Entlastung				●
	Verbesserte Fertigkeiten		●		
	Verbessertes Verständnis				●

		0	1	2	3
Anbieter	Eingesparte Reisekosten		●		
	Erhöhte Wissensverfügbarkeit		●		
	Entfallene Tätigkeiten		●		
	Verb. Verständnis über Kunden	●			
	Vereinf. Kommunikation m. Kunde		●		
	Synergien für die interne AR-Nutz.				●

Legende: 0 = keine Ausprägung, 1 = geringe Ausprägung, 2 = mittlere Ausprägung, 3 = hohe Ausprägung

Chancen

- **Verbesserter Lernerfolg:** Die anschauliche und interaktive Visualisierung komplexer Zusammenhänge beschleunigt und verbessert das Verständnis
- **Ortsungebundenes Lernen:** Die hohe Flexibilität in der Darstellung virtueller Lerninhalte verringert die Abhängigkeit von definierten Lernorten
- **Synergieeffekte:** Schulungsanleitungen lassen sich für die interne Weiterbildung adaptieren

Risiken

- **Unzureichende Akzeptanz:** AR muss von den Schulungsteilnehmern mit häufig heterogenen Kompetenzen und aus unterschiedlichen Altersstrukturen als Lernmedium akzeptiert werden
- **Fehlender persönlicher Kontakt:** Bei rein virtuellen Schulungen kann der fehlende persönliche Kontakt zum Trainer zu einer unzureichenden Individualisierung und zu Frustration führen

Klassifikation

Legende: in ≥ 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt; in < 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt

Kontext	Einsatzbereich	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungsvorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron am gleichen Ort	Synchron an versch. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	Ziel der Augmentierung	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungssteigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Konkretisierende Beispiele

- **(2) Universidad de La Laguna:** AR-gestütztes Fachbuch für die Ingenieurausbildung [MC11]
- **(14) Volkswagen:** Projektionsbasiertes AR-System für das Mitarbeitertraining [AAB+12, S. 271f.]
- **(36) Jaguar Land Rover | RE'FLEKT :** X-Ray-Dashboard für das Training von Mitarbeitern [Ref19e]
- **(61) Kuka:** KUKA Augmented Reality Viewer [BK04]

Bild A-9: Steckbrief für das AR-Anwendungsszenario „Schulung zur Verständnisverbesserung“

10 AR-Anwendungsszenario: Modelldatenabgleich

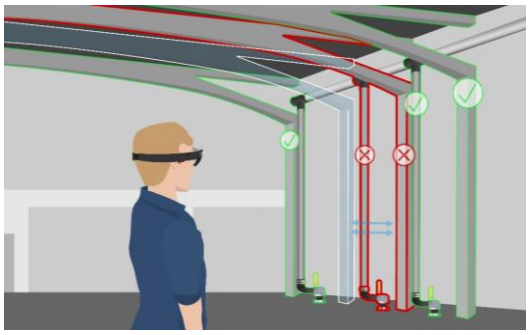
Kategorie

Instruktion

Veranschaulichung

Beschreibung

Mit Hilfe von AR werden physische Objekte mit den ihnen hinterlegten Plandaten abgeglichen. Ziel ist die Schaffung von Konsistenz, indem Abweichungen identifiziert und darauf aufbauend die Plandaten korrigiert werden. Beispiele sind die Validierung von Simulationsergebnissen durch die Überlagerung realer Versuchsreihen mit virtuellen Berechnungsdaten und die Abnahme von Bauleistungen durch den Abgleich des Bauobjekts mit seinen Bauplänen.



Nutzenpotentiale

		0	1	2	3
Kunde	Kürzere Wartezeiten	●			
	Schnellere Tätigkeitsdurchführung		●		
	Verbesserte Fehlervermeidung		●		
	Verbesserte Fehlererkennung				●
	Erhöhte Sicherheit	●			
	Kognitive Entlastung				●
	Verbesserte Fertigkeiten	●			
	Verbessertes Verständnis			●	

		0	1	2	3
Anbieter	Eingesparte Reisekosten	●			
	Erhöhte Wissensverfügbarkeit		●		
	Entfallene Tätigkeiten	●			
	Verb. Verständnis über Kunden		●		
	Vereinf. Kommunikation m. Kunde			●	
	Synergien für die interne AR-Nutz.			●	

Legende: 0 = keine Ausprägung, 1 = geringe Ausprägung, 2 = mittlere Ausprägung, 3 = hohe Ausprägung

Chancen

- **Verbesserte Erkennung von Abweichungen:** Durch die Überlagerung physischer Objekte mit ihren Plandaten können Abweichungen intuitiv und unmittelbar wahrgenommen werden
- **Vereinfachte Kommunikation:** Die Visualisierungen bilden eine gemeinsame und allgemeinverständliche Diskussionsbasis für alle am Prozess beteiligten Akteure

Risiken

- **Hohe Anforderungen an die Genauigkeit:** Um Abweichungen präzise erkennen zu können, müssen die virtuellen Darstellungen hohen Anforderungen an die Positionierungsgenauigkeit genügen
- **Hoher Aufwand:** Mit den Anforderungen an die Genauigkeit der Darstellungen sind hohe Aufwände für die technische Realisierung verbunden (abhängig von der Komplexität der Anwendung)

Klassifikation

Legende: in ≥ 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt; in < 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt

Kontext	Einsatzbereich	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungsvorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron am gleichen Ort	Synchron an versch. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	Ziel der Augmentierung	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungssteigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Konkretisierende Beispiele

- **(7) Volkswagen:** AR-gestützter Abgleich von Crashtest-Bauteilen [Noe02]
- **(13) Technische Universität Graz:** Augmented Reality Building Acceptance (ARBA) [SS08]
- **(29) Fraunhofer IGD:** AR-gestützte Synchronisierung von CAD-Daten und Bauteilen [WBS+07]
- **(32) Volkswagen | TU München:** Modelldatenabgleich in der Produktentwicklung [NK06]

Bild A-10: Steckbrief für das AR-Anwendungsszenario „Modelldatenabgleich“

11 AR-Anwendungsszenario: Produktpräsentation

Kategorie

Instruktion

Veranschaulichung

Beschreibung

Zur Unterstützung des Vertriebs werden mittels AR kaufentscheidende Informationen unmittelbar an dem Verkaufsobjekt visualisiert. Auf diese Weise lassen sich Zusammenhänge verdeutlichen, die mit dem bloßen Auge nicht sichtbar sind („Röntgenblick“). Dies trägt zu einem tieferen Verständnis bei und erlaubt es, gezielt neue Features, Wirkprinzipien und Unterschiede zu konkurrierenden Produkten in der Kommunikation mit dem Kunden darzustellen.

Nutzenpotentiale

		0	1	2	3
Kunde	Kürzere Wartezeiten	●			
	Schnellere Tätigkeitsdurchführung	●			
	Verbesserte Fehlervermeidung	●			
	Verbesserte Fehlererkennung	●			
	Erhöhte Sicherheit	●			
	Kognitive Entlastung				●
	Verbesserte Fertigkeiten	●			
	Verbesserte Fertigkeiten				●

		0	1	2	3
Anbieter	Eingesparte Reisekosten		●		
	Erhöhte Wissensverfügbarkeit		●		
	Entfallene Tätigkeiten		●		
	Verb. Verständnis über Kunden		●		
	Vereinf. Kommunikation m. Kunde				●
	Synergien für die interne AR-Nutz.				●

Legende: 0 = keine Ausprägung, 1 = geringe Ausprägung, 2 = mittlere Ausprägung, 3 = hohe Ausprägung

Chancen

- **Verbesserte Kommunikation im Vertrieb:** Durch die visuelle Unterstützung können verkaufsrelevante Aspekte im Verkaufsgespräch interaktiv veranschaulicht und verständlich gemacht werden
- **Interaktive Produktkataloge:** Klassische Printkataloge können um virtuelle Informationen angereichert werden, wodurch sich der Kunde anschaulich, orts- und personenunabhängig informieren kann

Risiken

- **Abhängigkeit von kompatiblem AR-System:** Die Visualisierung erfordert ein kompatibles AR-System, das nicht allen Kunden zwangsläufig zur Verfügung steht (z.B. für virtuelle Produktkataloge)
- **Hoher Aufwand für virtuelle Inhalte:** Auch wenn vielfach auf Modelldaten aus der Entwicklung zurückgegriffen werden kann, sind erhebliche Aufwände für die Aufbereitung und Annotation erforderlich

Klassifikation

Legende: in ≥ 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt; in < 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt

Kontext	Einsatzbereich	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungsvorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron am gleichen Ort	Synchron an versch. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	Ziel der Augmentierung	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungssteigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Konkretisierende Beispiele

- **(48) Seepex | RE‘FLEKT:** Virtueller Produktkatalog [Ref19g]
- **(55) BMW | RE‘FLEKT:** Interaktiver Produktkatalog (7er-BMW) [Ref19h]
- **(60) Porsche:** AR-gestützte Produktpräsentation (Mission E) [Por18b]
- **(62) Trina Solar | RE‘FLEKT:** AR-gestützte Präsentation von Solaranlagen [Ref19i]

Bild A-11: Steckbrief für das AR-Anwendungsszenario „Produktpräsentation“

12 AR-Anwendungsszenario: See-Before-You-Buy

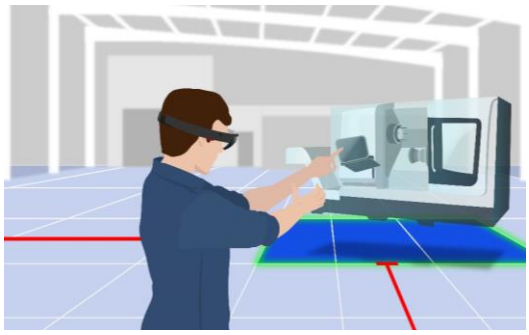
Kategorie

Instruktion

Veranschaulichung

Beschreibung

AR ermöglicht es, Produkte noch vor dem Kauf als virtuelle Modelle maßstabsgetreu in der geplanten Einsatzumgebung zu visualisieren („in situ“). Hierdurch können kaufentscheidende Aspekte frühzeitig evaluiert werden, u.a. der tatsächliche Platzbedarf, etwaige Kollisionen mit Objekten und die Zugänglichkeit zu Anschlüssen in der Umgebung. So lässt sich insbesondere bei komplexen Investitionsgütern das Risiko für Fehlentscheidungen reduzieren.



Nutzenpotentiale

		0	1	2	3
Kunde	Kürzere Wartezeiten		●		
	Schnellere Tätigkeitsdurchführung		●		
	Verbesserte Fehlervermeidung			●	
	Verbesserte Fehlererkennung	●			
	Erhöhte Sicherheit	●			
	Kognitive Entlastung				●
	Verbesserte Fertigkeiten	●			
	Verbessertes Verständnis			●	

		0	1	2	3
Anbieter	Eingesparte Reisekosten		●		
	Erhöhte Wissensverfügbarkeit	●			
	Entfallene Tätigkeiten		●		
	Verb. Verständnis über Kunden			●	
	Vereinf. Kommunikation m. Kunde				●
	Synergien für die interne AR-Nutz.		●		

Legende: 0 = keine Ausprägung, 1 = geringe Ausprägung, 2 = mittlere Ausprägung, 3 = hohe Ausprägung

Chancen

- **Verbesserte Investitionsentscheidungen:** Die Visualisierung der Verkaufsobjekts in der Einsatzumgebung ermöglicht es, Planungsfehler zu verringern und Entscheidungen zu fundieren
- **Synchronisation von Vertrieb und Entwicklung:** Informationen aus der Einsatzumgebung des Kunden können unmittelbar in der Entwicklung Berücksichtigung finden (z.B. Anpassungsbedarfe)

Risiken

- **Schwankende Einsatzumgebung:** Heterogene Einflüsse in der Einsatzumgebung des Kunden können die Visualisierung beeinträchtigen (z.B. Lichtverhältnisse, Verdeckung durch Bestandsobjekte)
- **Hoher Aufwand für virtuelle Inhalte:** Auch wenn vielfach auf Modelldaten aus der Entwicklung zurückgegriffen werden kann, sind erhebliche Aufwände für die Aufbereitung der Inhalte erforderlich

Klassifikation

Legende: in ≥ 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt; in < 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt

Kontext	Einsatzbereich	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungsvorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron am gleichen Ort	Synchron an versch. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	Ziel der Augmentierung	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungssteigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Konkretisierende Beispiele

- **(5) KUKA | Fraunhofer IFF:** AR-basiertes Vertriebswerkzeug für Robotik-Lösungen [EFM+12]
- **(69) Trumpf | RE‘FLEKT:** AR-basierte Maschinen- und Anlagenplanung [Ref19j]
- **(74) BMW | RE‘FLEKT:** AR-basierter Fahrzeugkonfigurator (2er-BMW) [Ref19k]
- **(75) POS Tuning | Fraunhofer IEM:** Lösungskonfigurator zur Angebotsqualifizierung [Ber19-ol]

Bild A-12: Steckbrief für das AR-Anwendungsszenario „See-Before-You-Buy“

13 AR-Anwendungsszenario: Produktionssystemplanung

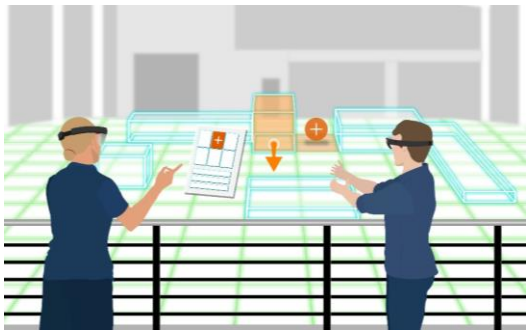
Kategorie

Instruktion

Veranschaulichung

Beschreibung

Zur Erhöhung der Planungssicherheit und Verkürzung der Planungszeit wird AR dazu verwendet, verschiedene Anordnungen von Produktionssystemen zu visualisieren und ihre Einpassung in bestehende Fertigungsumgebungen zu analysieren (z.B. Modifikationen am Fertigungslayout). Unter Einbeziehung dreidimensionaler Menschmodelle ermöglicht AR zudem die Berücksichtigung von ergonomischen Aspekten bei der Produktionssystemplanung.



Nutzenpotentiale

		0	1	2	3
Kunde	Kürzere Wartezeiten	●			
	Schnellere Tätigkeitsdurchführung		●		
	Verbesserte Fehlervermeidung			●	
	Verbesserte Fehlererkennung		●		
	Erhöhte Sicherheit		●		
	Kognitive Entlastung				●
	Verbesserte Fertigkeiten	●			
	Verbessertes Verständnis			●	

		0	1	2	3
Anbieter	Eingesparte Reisekosten	●			
	Erhöhte Wissensverfügbarkeit	●			
	Entfallene Tätigkeiten	●			
	Verb. Verständnis über Kunden			●	
	Vereinf. Kommunikation m. Kunde			●	
	Synergien für die interne AR-Nutz.		●		

Legende: 0 = keine Ausprägung, 1 = geringe Ausprägung, 2 = mittlere Ausprägung, 3 = hohe Ausprägung

Chancen

- **Veranschaulichung der Planung:** Die unmittelbare Visualisierung in der Fertigungsumgebung reduziert die kognitive Belastung für den Übertrag der abstrakten Planungsergebnisse auf die Realität
- **Reduzierung von Planungsfehlern:** Durch die Einbeziehung der bestehenden Fertigungsumgebung in den Planungsprozess wird das Risiko für Fehleinschätzungen und Planungsfehler verringert

Risiken

- **Hoher Aufwand:** Insbesondere bei der kompletten Neuplanung der Fertigung entstehen hohe Aufwände für die Erstellung der virtuellen Inhalte, speziell wenn Modelldaten nicht verfügbar sind
- **Unzureichende Mehrwerte:** Bei ausreichender Erfahrung und Expertise liefert die Veranschaulichung mittels AR ggf. zu geringe Mehrwerte, um den hohen Aufwand zu rechtfertigen

Klassifikation

Legende: in ≥ 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt; in < 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt

Kontext	Einsatzbereich	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungsvorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron am gleichen Ort	Synchron an versch. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	Ziel der Augmentierung	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungssteigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Konkretisierende Beispiele

- **(17) Airbus:** AR-gestützte Kollisionsprüfung anhand von Schleppkurven [BDD+12, S. 204ff.]
- **(27) Heinz Nixdorf Institut:** AR-gestützte Planung von Produktionssystemen [GFM02]
- **(34) Universität Stuttgart:** AR-gestützte Layoutplanung in der Fertigung (ARSAM) [HRR+18]
- **(58) Siemens:** AR-gestützte Visualisierung von Modifikationen in Fertigungsumgebungen [ZEG+03]

Bild A-13: Steckbrief für das AR-Anwendungsszenario „Produktionssystemplanung“

14 AR-Anwendungsszenario: Prozessplanung

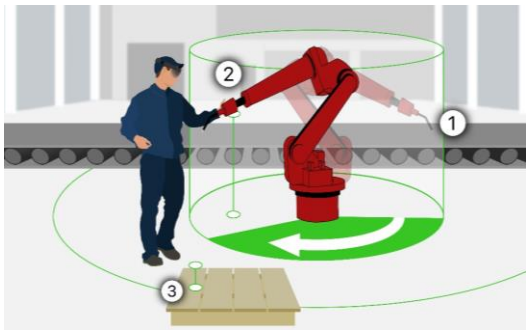
Kategorie

Instruktion

Veranschaulichung

Beschreibung

Durch AR wird die Planung von Prozessen vereinfacht, indem Arbeitsvorgänge visualisiert und virtuell erprobt werden. Hierzu zählen die Unterstützung von Programmiertätigkeiten durch die Visualisierung von Bewegungs- und Verfahrensabläufen (z.B. Kinematik von Robotersystemen) sowie die simulationsgestützte Evaluierung von Prozesssequenzen (z.B. Montageabfolgen) und Maschinenprogrammen (z.B. CNC-Fertigungsprozesse).



Nutzenpotentiale

		0	1	2	3
Kunde	Kürzere Wartezeiten	●			
	Schnellere Tätigkeitsdurchführung		●		
	Verbesserte Fehlervermeidung				●
	Verbesserte Fehlererkennung		●		
	Erhöhte Sicherheit		●		
	Kognitive Entlastung			●	
	Verbesserte Fertigkeiten	●			
	Verbessertes Verständnis			●	

		0	1	2	3
Anbieter	Eingesparte Reisekosten	●			
	Erhöhte Wissensverfügbarkeit	●			
	Entfallene Tätigkeiten	●			
	Verb. Verständnis über Kunden			●	
	Vereinf. Kommunikation m. Kunde			●	
	Synergien für die interne AR-Nutz.		●		

Legende: 0 = keine Ausprägung, 1 = geringe Ausprägung, 2 = mittlere Ausprägung, 3 = hohe Ausprägung

Chancen

- **Verringerung der kognitiven Belastung:** Die Einbeziehung der realen Arbeitsumgebung in den Planungsprozess führt zu einer kognitiven Entlastung (In-Situ-Simulation)
- **Intuitive Planung:** Die Planung erfolgt unmittelbar im realen Arbeitskontext durch die intuitive Interaktion mit den jeweiligen Systemen, wodurch Anforderungen an die Qualifikation verringert werden

Risiken

- **Einschränkung durch das AR-System:** In Abhängigkeit der Eigenschaften des AR-Systems können visuelle Einschränkungen den Planungsprozess beeinträchtigen (z.B. Verdeckung)
- **Unzureichende Mehrwerte:** Bei ausreichender Erfahrung und Expertise liefert die Veranschaulichung mittels AR ggf. zu geringe Mehrwerte, um den hohen Aufwand zu rechtfertigen

Klassifikation

Legende: in ≥ 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt; in < 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt

Kontext	Einsatzbereich	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungsvorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron am gleichen Ort	Synchron an versch. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	Ziel der Augmentierung	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungssteigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Konkretisierende Beispiele

- **(11) Universität Salzburg:** AR-gestützte Roboterprogrammierung [SKG+16]
- **(21) University of Singapore:** AR-gestützte Simulation von Programmen für CNC-Maschinen [ZON09]
- **(58) Universität Karlsruhe:** AR-gestützte Programmierung v. fahrerlosen Transportsystemen [GSS+04]
- **(70) KIT:** Interaktive Programmierung eines Produktionssystems [AAB+12, S. 265ff.]

Bild A-14: Steckbrief für das AR-Anwendungsszenario „Prozessplanung“

15 AR-Anwendungsszenario: 3D-Modellierung

Kategorie

Instruktion

Veranschaulichung

Beschreibung

AR dient als immersives Modellierungswerkzeug. Der Anwender erhält die Möglichkeit, virtuelle Geometrien zu erzeugen, in Größe, Form und Farbe zu verändern und mit Objekten und Umgebungen der realen Welt in Bezug zu setzen (Kontextualisierung der Modelle). An der Schnittstelle zwischen Entwicklung und Fertigung können z.B. Kabel- und Rohrleitungen unter Berücksichtigung der Bausituation konfiguriert und unmittelbar in Auftrag gegeben werden.

Nutzenpotentiale

		0	1	2	3
Kunde	Kürzere Wartezeiten	●			
	Schnellere Tätigkeitsdurchführung			●	
	Verbesserte Fehlervermeidung				●
	Verbesserte Fehlererkennung		●		
	Erhöhte Sicherheit	●			
	Kognitive Entlastung			●	
	Verbesserte Fertigkeiten		●		
	Verbessertes Verständnis		●		

		0	1	2	3
Anbieter	Eingesparte Reisekosten	●			
	Erhöhte Wissensverfügbarkeit	●			
	Entfallene Tätigkeiten	●			
	Verb. Verständnis über Kunden		●		
	Vereinf. Kommunikation m. Kunde	●			
	Synergien für die interne AR-Nutz.			●	

Legende: 0 = keine Ausprägung, 1 = geringe Ausprägung, 2 = mittlere Ausprägung, 3 = hohe Ausprägung

Chancen

- **Visuelle Verifizierung:** Durch die Einbeziehung der bestehenden Bausituation können Baugruppen passgenau modelliert und hinsichtlich ihrer Größe, Form und Lage unmittelbar verifiziert werden
- **Zeitersparnisse:** Durch die Vermeidung von Fehlern und dem damit verbundenen Entfall aufwändiger Nacharbeiten kann die Zeit bis zur Produktion des Bauteils verringert werden

Risiken

- **Komplexität der Modellierung:** Aufgrund der beschränkten Interaktionsmöglichkeiten in AR ergeben sich Mehrwerte primär dann, wenn vordefinierte Geometrien verwendet werden können, die sich entsprechend der Bausituation konfigurieren lassen
- **Ungeeignete Modellierungsumgebung:** Einflüsse aus der Arbeitsumgebung können die Modellierung erschweren (z.B. beengter Raum, dunkles Licht)

Klassifikation

Legende: in ≥ 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt; in < 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt

Kontext	Einsatzbereich	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungsvorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron am gleichen Ort	Synchron an versch. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	Ziel der Augmentierung	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungssteigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Konkretisierende Beispiele

- **(18) University of Singapore:** AR-gestütztes 3D-Modellierungswerkzeug (ARCADE) [NON10]
- **(26) Microsoft:** AR-gestützte Modellierung in Autodesk Maya [Oco15-ol]
- **(45) Yuan Ze University:** AR-gestützte 3D-Modellierung mittels Tangible User Interface [TP17]
- **(51) Howaldtswerke Deutsche Werft:** Virtueller Modelldraht [BDD+12, S. 190ff.]

Bild A-15: Steckbrief für das AR-Anwendungsszenario „3D-Modellierung“

16 AR-Anwendungsszenario: Design Review

Kategorie

Beschreibung

Zur Unterstützung der Produktentwicklung werden mittels AR Produkt- und Designentwürfe evaluiert. Mit dem Ziel, Änderungskosten durch frühes Ergebnisfeedback zu reduzieren, werden die Entwürfe möglichst realitätsnah dargestellt und u.a. im Hinblick auf Form, Farbe und Anmutung diskutiert. Durch die Verwendung virtueller Modelle können Änderungen schneller visualisiert, der Bau physischer Prototypen reduziert und dadurch Zeit und Kosten gespart werden.

Nutzenpotentiale

		0	1	2	3
Kunde	Kürzere Wartezeiten	●			
	Schnellere Tätigkeitsdurchführung		●		
	Verbesserte Fehlervermeidung			●	
	Verbesserte Fehlererkennung			●	
	Erhöhte Sicherheit	●			
	Kognitive Entlastung				●
	Verbesserte Fertigkeiten	●			
	Verbessertes Verständnis			●	

		0	1	2	3
Anbieter	Eingesparte Reisekosten	●			
	Erhöhte Wissensverfügbarkeit	●			
	Entfallene Tätigkeiten	●			
	Verb. Verständnis über Kunden		●		
	Vereinf. Kommunikation m. Kunde		●		
	Synergien für die interne AR-Nutz.		●		

Legende: 0 = keine Ausprägung, 1 = geringe Ausprägung, 2 = mittlere Ausprägung, 3 = hohe Ausprägung

Chancen

- **Veranschaulichung von Entwürfen:** Mit AR können noch in der Entwicklung befindliche Entwürfe realitätsgetreu visualisiert und unter Berücksichtigung der realen Bausituation beurteilt werden
- **Gemeinsame Diskussionsgrundlage:** Die dreidimensionale Visualisierung mittels AR schafft eine einheitliche, intuitiv verständliche Diskussionsbasis für die an der Entwicklung beteiligten Akteure

Risiken

- **Hoher Aufwand:** In Abhängigkeit der Zielsetzung sind mit dem Design Review hohe Aufwände für die Aufbereitung der virtuellen Modelle erforderlich (z.B. Darstellungsqualität, Positioniergenauigkeit)
- **Schwer quantifizierbare Vorteile:** Mehrwerte aus dem Einsatz von AR sind teils schwer monetär zu quantifizieren (z.B. Verbesserung der Konstruktionsqualität, vereinfachte Kommunikation)

Klassifikation

Legende: in ≥ 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt; in < 50% der AR-Anw.bsp. ausgeprägt

Kontext	Einsatzbereich	Beschaffung	Entwicklung	Produktion	Logistik
		Instandhaltung	Außerbetriebnahme	Aus- u. Weiterbildung	
	Handlungsvorgang	Informieren	Planen	Ausführen	Kontrollieren
	Kollaboration	Keine Kollaboration	Synchron am gleichen Ort	Synchron an versch. Orten	
		Asynchron am gleichen Ort	Asynchron an verschiedenen Orten		
	Wirkebene	Reale Welt	Virtuelle Welt		
Technologie	Ziel der Augmentierung	Leistungssteigerung	Befähigung	Wahrnehmungssteigerung	
	Ortsbezug	Nutzer	Objekt	Umgebung	
	Zeitbezug	Vergangenheit	Gegenwart	Zukunft	Fiktion
	Realitätsnähe	Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität wünschenswert	Möglichst keine Unterscheidbarkeit zwischen Realität und Virtualität		

Konkretisierende Beispiele

- **(3) BMW | Technische Universität München:** Visualisierung von Kraftfahrzeugdesigns [KDB+02]
- **(12) DaimlerChrysler:** Kollaborationsumgebung für Design Reviews (MagicMeeting) [RWB02]
- **(19) Canon:** AR-gestützte Beurteilung des Interieurs von Kraftfahrzeugen [OKY+03]
- **(37) University of Otago:** AR-basierte Visualisierung von Fluiddynamiksimulationen [RBW05]

Bild A-16: Steckbrief für das AR-Anwendungsszenario „Design Review“

A2.3 Bewertungskriterien zur Abschätzung des Umsetzungsaufwands

Bewertungskriterien zur Abschätzung des Umsetzungsaufwands	
Kriterien	**Ausprägungen**
IT-Integrationsaufwand bezeichnet alle Aufwendungen zur Einbindung der AR-Hard- und Software in die IT-Infrastruktur (i.d.R. die des Kunden)	**0 =** hoher Aufwand mit kundenindividueller IT-Integration **1 =** mittlerer Aufwand mit routinemäßigen Konfigurationstätigkeiten **2 =** geringer Aufwand bei homogener IT-Landschaft **3 =** kein Integrationsaufwand
Erstellung der virtuellen Inhalte umfasst Aufwände, die zur initialen Erschaffung der AR-Inhalte (z.B. 3D-Modelle) erforderlich sind	**0 =** Erstellung hochkomplexer virtueller Inhalte **1 =** Erstellung virtueller Inhalte mit moderater Komplexität **2 =** Erstellung einfacher virtueller Inhalte **3 =** kein Aufwand, Integration bestehender virtueller Inhalte
Aktualisierung der virtuellen Inhalte bezeichnet Aufwände für die Überarbeitung und Anpassung der AR-Inhalte im Zeitverlauf (z.B. durch Veralten)	**0 =** fortlaufende umfängliche Aktualisierungen erforderlich **1 =** gelegentliche Aktualisierungen mit moderatem Aufwand **2 =** seltene, geringfügige Aktualisierungen **3 =** einmalige Erstellung, keine Aktualisierung erforderlich
Entwicklung der Software umfasst Aufwendungen für die Konzipierung und Implementierung bzw. das Customizing der AR-Software	**0 =** Entwicklung umfangreicher Funktionalitäten mit hoher Komplexität **1 =** Entwicklung moderat komplexer Funktionalitäten **2 =** Entwicklung weniger, einfacher Funktionalitäten **3 =** kein Entwicklungsaufwand
Anpassung der Sachleistung bezeichnet Aufwendungen, die mit der Anpassung der Sachleistung in Verbindung stehen	**0 =** weitreichende funktionale Anpassungen (z.B. Sensorintegration) **1 =** geringfügige funktionale Anpassungen (z.B. zus. Schnittstellen) **2 =** geringfügige, nicht-funktionale Anpassungen (z.B. Marker) **3 =** keine Anpassungen erforderlich
Anpassung der Dienstleistung bezeichnet die prozessualen und organisatorischen Aufwendungen, die zur Erbringung der AR-basierten Dienstleistung erforderlich sind	**0 =** umfassende Restrukturierungen erforderlich **1 =** moderate prozessuale und organisatorische Anpassungen **2 =** geringfügige prozessuale und organisatorische Anpassungen **3 =** keine Anpassungen erforderlich

Bild A-17: Kriterien zur Bewertung des Umsetzungswands von AR-Anwendungen

A2.4 Leitfragenkatalog zur Erhebung von Anforderungen

Tabelle A-6: Leitfragen zur Unterstützung bei der Anforderungserhebung (1/6)

Nr.	Leitfrage	Erläuterung
1	**Umgebung**	
1.1	**Lichtverhältnisse:** Unter welchen Lichtverhältnissen muss die AR-Applikation funktionieren?	Die Lichtverhältnisse werden bestimmt durch natürliche (Tageslicht) und künstliche Lichtquellen (z.B. Leuchten). Insbesondere optische Trackingverfahren erfordern zur räumlichen Positionserfassung eine ausreichende Beleuchtung der Umgebung (vgl. Leitfrage 3.1). Hierbei sind zeitliche Schwankungen der Lichtverhältnisse (z.B. abhängig von der Tageszeit) zu berücksichtigen. Einer mangelnden Ausleuchtung kann mit einer zusätzlichen aktiven Beleuchtung entgegen gewirkt werden. Hierzu zählt Licht innerhalb des durch den Menschen wahrnehmbaren Spektrums (380 bis 780nm) sowie nicht sichtbares Licht (z.B. Infrarot), das entweder unstrukturiert oder strukturiert (d.h. durch Projektion bekannter Muster) eingebracht werden kann [SH16, S. 106ff.], [KR13, S. 36].
1.2	**Fremdkörper und Feuchtigkeit:** Welchen Einflüssen durch Fremdkörper und Feuchtigkeit ist das AR-System ausgesetzt?	Abhängig von der Einsatzumgebung kann das AR-System mit Fremdkörpern (z.B. Staub) und Feuchtigkeit (z.B. Sprühwasser) in Kontakt kommen. Um die Funktionsfähigkeit und den sicheren Einsatz zu gewährleisten, muss das AR-System daher bestimmte Eigenschaften aufweisen. Die Eignung elektrischer Betriebsmittel für verschiedene Umgebungsbedingungen wird durch unterschiedliche Schutzarten beschrieben. Die Norm DIN EN 60529 definiert hierfür sog. IP-Codes. Der Abkürzung IP (International Protection) werden zwei Ziffern angehängt, die den Schutzumfang gegenüber Fremdkörpern (erste Ziffer) und Wasser (zweite Ziffer) anzeigen. Für AR-Systeme relevante IP-Codes sind IP 5X oder höher (Schutz gegen Staub in schädigender Menge) und IP X3 oder höher (Schutz gegen fallendes Sprühwasser bis 60° gegen die Senkrechte) [DIN60529], [SDG17, S. 9123].
1.3	**Umgebungsgeräusche:** Unter welchen Umgebungsgeräuschen wird die AR-Applikation betrieben?	Für den Fall, dass die AR-Applikation die Ein- und Ausgabe von Audioinformationen vorsieht (vgl. Leitfrage 6.1), sind Geräusche aus der Einsatzumgebung zu beachten. Einerseits ist bei der Eingabe von Audioinformationen (z.B. Sprachsteuerung, Videotelefonie) sicherzustellen, dass die Signale nicht durch Fremdgeräusche überlagert werden. Andererseits ist im Hinblick auf die Ausgabe darauf zu achten, dass der Anwender in der Lage ist, die vom AR-System ausgegebenen Audioinformationen wahrzunehmen (z.B. Eingabeaufforderungen, Antworten einer per Videotelefonie zugeschalteten Person). Die Steuerung der Audioinformationen kann über einen Kopfhörer (häufig mit integriertem Mikrofon) bzw. Lautstärkeregler erfolgen. Hierbei ist zu beachten, dass der Anwender nicht von wichtigen, unter Umständen sicherheitskritischen Umgebungsgeräuschen abgeschnitten wird [Cra13, S. 216], [PBM+18, S. 229].
1.4	**Sonstige Umwelteinflüsse:** Unter welchen sonstigen Umwelteinflüssen wird die AR-Applikation betrieben?	Abhängig von der Beschaffenheit der Einsatzumgebung können weitere Anforderungen an das AR-System bzw. die AR-Applikation resultieren. Beispiele für mögliche Störeinflüsse sind elektromagnetische Interferenzen, die Raumtemperatur deutlich über- bzw. unterschreitende Umgebungstemperaturen sowie Abweichungen des Umgebungsdrucks. Darüber hinaus sind etwaige Vorgaben aus speziell präparierten Einsatzumgebungen (z.B. Reinräume) zu beachten [PBM+18, S. 229], [Cra13, S. 216.].
1.5	**Netzwerk:** Welche Anforderungen stellt die AR-Applikation an die Netzwerkverfügbarkeit?	Für AR-Applikationen, die auf einer Client-Server-Architektur basieren oder eine Netzwerk- bzw. Internetverbindung erfordern, ist sicherzustellen, dass in der Einsatzumgebung eine adäquate Netzwerkverfügbarkeit gegeben ist. Gleichzeitig muss das AR-System über die erforderlichen Kommunikationsschnittstellen verfügen bzw. die für den Austausch erforderlichen Standards unterstützen (z.B. IEEE 802.11ac). In Einsatzumgebungen, in denen kein flächendeckender Internetzugang über WLAN möglich ist, bietet sich der Rückgriff auf Mobilfunkdaten (ggf. über Tethering zu einem mit dem Internet verbundenen Endgerät) an [Cra13, S. 216], [CBH+17, S. 6935f.].
2	**Anwender**	
2.1	**Anzahl der Nutzer:** Wie viele unterschiedliche Nutzer werden die AR-Applikation bzw. das AR-System verwenden?	In Abhängigkeit der Anzahl unterschiedlicher Nutzer sind Überlegungen zum Rollen- und Rechtemanagement, zur Datensicherheit, aber auch zu hygienischen Aspekten der geteilten Nutzung eines AR-Systems anzustellen. Zur Nutzerauthentifizierung sind die beschränkten textuellen Eingabemöglichkeiten, insbesondere bei kopfgetragenen AR-Systemen, zu berücksichtigen. Einen geeigneten Ansatz stellt die Authentifizierung über QR-Codes mit Hilfe einer im AR-System integrierten Kamera dar. Hygienische Aspekte (z.B. Schweiß, Schmutz) sind insbesondere im Hinblick auf Datenbrillen relevant, die sich in der Nähe zum Gesicht des Anwenders befinden. Die Bereitstellung eines separaten AR-Systems pro Nutzer oder die Austauschbarkeit hygienerelevanter Komponenten (z.B. Stirn- und Nasenauflagen) können dabei helfen, einen höheren Hygienestandard zu ermöglichen [RKM14, S. 95] [MFT+19, S. 3].

Tabelle A-7: Leitfragen zur Unterstützung bei der Anforderungserhebung (2/6)

Nr.	Leitfrage	Erläuterung
2	**Anwender**	
2.2	**Kollaboration:** Wie viele Anwender sollen gleichzeitig mit der AR-Applikation arbeiten können?	Der Einsatz von AR ermöglicht die kollaborative Zusammenarbeit mehrerer Nutzer. Es lassen sich entlang der zeitlichen und räumlichen Verteilung vier grundsätzliche Ausprägungen unterscheiden: Synchron am gleichen Ort, synchron an verschiedenen Orten, asynchron am gleichen Ort und asynchron an verschiedenen Orten. In Abhängigkeit der gewählten Ausprägung sind die erforderlichen Funktionalitäten zu definieren. Hierzu zählen u.a. die Erstellung und das Teilen von Annotationen bei asynchroner Kollaboration sowie die Art der Kommunikation und virtuelle Repräsentation von Teilnehmern (Telepräsenz) bei synchroner Kollaboration an verschiedenen Orten [SH16, S. 362ff.], [Sch08, S. 122].
2.3	**Ergonomie:** Welchen ergonomischen Anforderungen muss das AR-System genügen?	Die Anforderungen an die Ergonomie des AR-Systems werden maßgeblich durch die Frequenz und Dauer der Nutzung bestimmt. Übergeordnetes Ziel ist eine möglichst minimale Belastung und Beanspruchung des Anwenders (z.B. hinsichtlich muskuloskelettaler und kutaner Beschwerden). Wesentlichen Einfluss nimmt dabei der Tragekomfort des AR-Systems, sowohl im Hinblick auf Handheld-Systeme (Halten auf Brusthöhe mit angewinkeltem Arm) als auch Datenbrillen (Befestigung am Kopf mit Auflagepunkten an Nase, Oberkopf, Ohren und/oder Stirn). Der Tragekomfort wird maßgeblich durch das Gewicht und die Gewichtsverteilung des AR-Systems bestimmt. Weitere für die Ergonomie relevante Faktoren sind die Komptabilität zu Sehhilfen sowie die optische Qualität der Darstellungen (vgl. Leitfrage 6.2). Bei länger währender Nutzungsfrequenz und -dauer empfiehlt sich die Konsultation von Studien zu den physiologischen Auswirkungen von AR-Systemen (z.B. der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin) bzw. die Durchführung eigener Trageversuchsreihen mit ausgewählten Probanden [SBE+04, S. 35ff.], [PBM+18, S. 228], [BAU16, S. 18ff.].
2.4	**Mobilität:** Wie mobil muss das AR-System nutzbar sein?	Abhängig von der Beweglichkeit, dem Platzbedarf und den räumlichen Freiheitsgraden, die der Anwender zur Durchführung seiner Tätigkeiten benötigt, ergeben sich Anforderungen an die Mobilität des AR-Systems. Neben dem Gewicht schränkt die zur Berechnung erforderliche Hardware und Energieversorgung des AR-Systems dessen Mobilität ein. Speziell im Hinblick auf Datenbrillen existieren neben autark funktionierenden Systemen auch solche, bei denen ein Teil der Hardware-Komponenten in einem externen, per Kabel verbundenen Mini-Computer ausgelagert ist. Darüber hinaus existieren Datenbrillen, die keine eigene Recheneinheit umfassen, sondern die Verbindung zu einem leistungsfähigen PC bzw. Laptop erfordern (z.B. META 2). Die Verlagerung der Hardware-Komponenten ermöglicht eine geringere Gewichtsbelastung am Kopf, schränkt jedoch unter Umständen die Mobilität und damit verbundene Flexibilität ein. Weitere Faktoren, welche die Mobilität beeinflussen, beziehen sich auf die technische Infrastruktur, in die das AR-System eingebunden ist (z.B. Abhängigkeit von einer Internetverbindung), sowie Umgebungseinflüssen, die ortsspezifisch variieren können (vgl. Leitfragen 1.1 bis 1.5) [Cra13, S. 84], [RAN+04, S. 226f.].
2.5	**Benutzerführung:** Wie soll der Anwender durch die AR-Applikation geführt werden?	Ausgehend von dem umzusetzenden Anwendungsfall und den darzustellenden Informationen sind grundlegende Überlegungen zur Benutzerführung zu treffen. In Anbetracht der vielfach fehlenden Erfahrungswerte der Anwender mit AR ist auf eine möglichst intuitiv verständliche und klare Benutzerführung zu achten. Zu den Aspekten, die ins Kalkül zu ziehen sind, zählen u.a. speziell bei sequentiell geführten Prozessschritten eine Fortschrittsanzeige, die Möglichkeit zu vorgelagerten Schritten zurückspringen, ggf. nachgelagerte Schritte einsehen sowie getätigte Schritte quittieren zu können. In der Literatur beschriebene Design-Richtlinien bieten Orientierung für die Gestaltung intuitiver Benutzeroberflächen für AR [Gan13. S. 165ff.], [DF14, S. 47ff.].
2.6	**Betriebssicherheit:** Welche Anforderungen sind im Hinblick auf die Betriebssicherheit zu beachten?	Der Einsatz von AR kann einerseits einen Beitrag zur Erhöhung der Betriebssicherheit leisten, andererseits selbst neue Gefahrenpotentiale induzieren. Von besonderer Bedeutung sind dabei Konsequenzen, die entstehen, wenn das AR-System ausfällt bzw. Benutzungsfehler auftreten. Darüber hinaus relevant sind Gefahrenpotentiale, die aus körperlicher und mentaler Belastung, Einschränkungen des Sichtfelds und einem geringeren Situationsbewusstsein (z.B. Ablenkung) resultieren. Ferner relevant für die Betriebssicherheit ist der Schutz vor Cyberattacken, etwa durch gezielte Manipulation der ausgegebenen Informationen, Angriffe auf die Sinnesphysiologie des Anwenders (z.B. Blendung, Abspielen lauter Geräusche) oder die Sabotage des AR-Systems (z.B. Fernsteuerung, Abschaltung). Vor dem Hintergrund des Anwendungsszenarios sind Gefahrenpotentiale zu prüfen und Anforderungen zur Vermeidung eben dieser (z.B. optimierte Informationsdarstellungen, Hervorhebung von Gefahrenquellen, IT-Sicherheitsmaßnahmen) zu definieren [KNG16, S. 253ff.], [Sch08, S. 128], [CBH+17, S. 6943].

Tabelle A-8: Leitfragen zur Unterstützung bei der Anforderungserhebung (3/6)

Nr.	Leitfrage	Erläuterung
2	**Anwender**	
2.7	**Informations-sicherheit:** Welche Anforderungen an die Informations-sicherheit sind zu beachten?	Das Funktionsprinzip von AR beruht darauf, dass mit Hilfe von Sensoren Informationen aus der Umgebung in Echtzeit erfasst, miteinander in Bezug gesetzt und um digitale Informationen erweitert ausgegeben werden. In Abhängigkeit des Anwendungskontexts, der darzustellenden Informationen sowie der Einsatzumgebung ergeben sich Risiken für die Informationssicherheit, die frühzeitig ins Kalkül zu ziehen sind. Hierzu zählen u.a. das Abgreifen von Nutzereingaben (z.B. Passwörter) sowie der unbefugte Zugriff bzw. Missbrauch von Sensordaten (z.B. Videobilder, Nutzungs- und Standortdaten). Hierbei sind sowohl die personenbezogenen Daten des Nutzers und umstehender Personen als auch sensible bzw. der Geheimhaltung bedürftige Informationen aus der Umgebung zu berücksichtigen [RKM14, S. 91ff.], [RKD+14, S. 1285ff.].
2.8	**Kompetenzen:** Welche Anforderungen ergeben sich im Hinblick auf die Kompetenzen des Anwenders?	Dem Task-Technology-Fit-Modell folgend wird der Grad der Unterstützung, den der Anwender durch AR erfährt, durch die Passung zwischen Aufgabe, Technologie und seinen individuellen Fähigkeiten bestimmt. Vor diesem Hintergrund sind Überlegungen zu den Kompetenzen der anvisierten Zielgruppe anzustellen und davon ausgehend Anforderungen abzuleiten. Von Relevanz sind dabei neben den zur Durchführung der Aufgabe erforderlichen Fähigkeiten auch die bisherigen Erfahrungen der Zielgruppe mit AR (z.B. Vertrautheit mit der Bedienung und grundlegenden Nutzerführung). So können beispielsweise für Laien detaillierte Erklärungen zur Bedienung erforderlich sein, während erfahrene Nutzer die Option erhalten könnten, bereits Bekanntes zu überspringen, um eine ihrem Kompetenzprofil adäquate Unterstützung zu erhalten. Weiterhin ist die Verständlichkeit der gewählten Sprache zu beachten, sowohl im Hinblick auf Fachausdrücke als auch etwaige Barrieren durch Fremdsprachen bzw. Analphabetismus. Im weiteren Sinne sind zudem etwaige körperliche Kompetenzdefizite bzw. Beeinträchtigungen ins Kalkül ziehen (z.B. Fehlsichtigkeit, Hörschädigungen), zu denen AR-System und AR-Applikation kompatibel sein müssen [Sch08, S. 144ff.], [PBM+18, S. 228].
3	**Sensorik**	
3.1	**Tracking:** Welchen Anforderungen muss das Tracking genügen?	Das Tracking dient der präzisen Bestimmung der zeitlich veränderlichen Position und Orientierung des AR-Systems sowie von Objekten in der Umgebung. Es bildet damit die Grundlage für die Registrierung der virtuellen Inhalte in der physischen Umgebung. Die räumliche Positionserfassung kann durch unterschiedliche physikalische Wirkprinzipien (z.B. magnetisch, optisch, laufzeitbasiert) erfolgen, die mit spezifischen Vor- und Nachteilen versehen (siehe [Cra13, S. 74ff.], [BCL15, S. 103ff.]) und in Abhängigkeit der Anforderungen auszuwählen sind. Zu spezifizieren im Zuge der Anforderungserhebung sind u.a. die geforderte Genauigkeit, Präzision und Auflösung des Tracking-Systems, die Größe des Arbeitsbereichs, die maximal zulässige zeitliche Verzögerung sowie die Aktualisierungsrate. Das Tracking-System steht in enger Wechselwirkung mit der Einsatzumgebung. Bei der Auswahl eines Tracking-Verfahrens ist daher die Kompatibilität zu den vorherrschenden Umgebungseinflüssen sicherzustellen (vgl. Leitfragen 1.1 bis 1.5). Bei den vorwiegend zum Einsatz kommenden optischen Trackingverfahren zählen hierzu speziell die Lichtverhältnisse sowie Verdeckungen. Ferner ist zu klären (z.B. unter praktischen und ästhetischen Gesichtspunkten), ob Referenzmarken genutzt werden können (markerbasiertes Tracking) oder die Positionserfassung anhand natürlicher Merkmale erfolgen soll (markerloses Tracking) [SH16, S. 94f.], [Sch08, S. 122].
3.2	**Nutzerinteraktion:** Wie soll der Nutzer mit dem AR-System interagieren?	Unter Berücksichtigung der Charakteristika der anvisierten Zielgruppe (vgl. Leitfragen 2.1 bis 2.8), der Einsatzumgebung (vgl. Leitfragen 1.1 bis 1.5) sowie des Anwendungskontexts ist zu definieren, wie der Nutzer mit dem AR-System bzw. der AR-Applikation interagieren soll. Im Hinblick auf die Sensorik ist zu klären, über welche Modalitäten der Nutzer Eingaben tätigen und wie das AR-System diese erfassen soll. Das Spektrum reicht von konventionellen haptischen Nutzerschnittstellen (z.B. Knöpfe, Touchscreen) über natürliche Formen der Interaktion mittels Sprache, Blick und Gesten (z.B. Mikrofon, Kamera) bis hin zur Interaktion über externe Peripherie (z.B. Handschuhe, Controller) bzw. physische Gegenstände in der unmittelbaren Umgebung des Anwenders (Tangible User Interface). Hierbei ist auch zu beachten, inwiefern die gewählten Interaktionsformen zu den vorherrschenden Umweltbedingungen in der Einsatzumgebung (z.B. Umgebungsgeräusche) sowie den zu verwendenden Arbeitsmitteln kompatibel sind (z.B. Handschuhe, Schutzbrillen, Schutzmasken, Gehörschutz). Über die Sensorik hinaus muss die AR-Applikation entsprechende Funktionalitäten für die Nutzerinteraktion bereitstellen [Sch08, S. 123], [Cra13, S. 50f.].

Tabelle A-9: Leitfragen zur Unterstützung bei der Anforderungserhebung (4/6)

Nr.	Leitfrage	Erläuterung
3	**Sensorik**	
3.3	**Umgebungs-informationen:** Welche weiteren Informationen sollen aus der Umgebung erfasst werden?	Abhängig vom Anwendungskontext kann es erforderlich sein, mit Hilfe von Sensoren weitere Informationen aus der Umgebung aufzunehmen, die über das Tracking und die Interaktion hinausgehen. Das Spektrum umfasst u.a. Sensoren für die Erfassung von Feuchtigkeit, Temperaturen, Umgebungslicht sowie weitere spezifische Informationen aus der Umgebung (z.B. pH-Werte, elektrische Spannungen). Mit Hilfe von AR können diese Informationen kontextspezifisch visualisiert werden, um beispielsweise auf Gefahrenpotentiale hinzuweisen [Cra13, S. 49f.], [BCL15, S. 225].
4	**Recheneinheit**	
4.1	**Leistungs-anforderungen:** Welche Leistungs-anforderungen werden an die Recheneinheit gestellt?	Die Recheneinheit dient der Verarbeitung der Sensorsignale, der Ausführung der Instruktionen der AR-Applikation auf Basis der ermittelten Sensorinformationen und Modelldaten (z.B. Tracking und Rendering des virtuellen Bilds) sowie die Bereitstellung der Ausgabesignale für das Display. Um die Berechnungen echtzeitnah durchzuführen und zeitliche Verzögerungen zu vermeiden, sind entsprechend leistungsfähige Prozessoren sowie angrenzende Hardware-Komponenten (z.B. Arbeitsspeicher) erforderlich. Ausgehend von dem Anwendungskontext sind unter Berücksichtigung der Komplexität der Modelldaten und Anforderungen an die Darstellungsqualität Leistungsanforderungen an die Recheneinheit zu definieren (z.B. Bildrate, Latenzzeit, Anzahl an Prozessoren, Größe des Arbeitsspeichers) [Cra13, S. 88ff.], [PBM+18, S. 229].
4.2	**Speicher:** Wie viel Speicherplatz ist erforderlich?	In Abhängigkeit der Größe der AR-Applikation bzw. der verwendeten Modelldaten muss das AR-System ausreichenden Speicherplatz bieten. Dieser ist insbesondere auch dann relevant, wenn durch die AR-Applikation zusätzliche Daten (z.B. Protokolle, Videodokumentationen) gespeichert werden sollen (vgl. Leitfrage 5.5). Speziell wenn das AR-System für weitere Applikationen genutzt wird, können Speicherengpässe entstehen, die es zu berücksichtigen gilt. Mobile Endgeräte, die als AR-System fungieren, bieten vielfach die Möglichkeit, den internen Speicher mit Hilfe von externen Speicherkarten bedarfsgerecht zu erweitern [Cra13, S. 89], [SDG17, S. 9123].
4.3	**Datenverarbei-tungsarchitektur:** Welche Daten-verarbeitungs-architektur soll der AR-Applikation zugrunde liegen?	Die Datenverarbeitung kann durch unterschiedliche Architekturen bzw. Konfigurationen realisiert werden: Das Spektrum reicht von der lokalen Datenverarbeitung auf der integrierten Hardware des mobilen Endgerätes (System-On-Chip) über Client-Server-Modelle, bei denen einzelne Aufgaben (z.B. Content-Management) über ein Netzwerk an verschiedene Rechner verteilt werden, bis hin zur vollständigen Auslagerung der Berechnungen in eine Cloud, wodurch sich das Endgerät auf die Ausgabe der virtuellen Inhalte beschränkt (Thin Client). Zu den Anforderungen, die bei der Auswahl der Datenverarbeitungsarchitektur zu berücksichtigen sind, gehören u.a. die Tragbarkeit bzw. Mobilität (z.B. gering bei der lokalen Anbindung des AR-Systems an externe Hardware, vgl. Leitfrage 2.4), die Netzwerkverfügbarkeit in der Einsatzumgebung (z.B. Internetzugang für web- und cloudbasierte Architekturen, vgl. Leitfrage 1.5) und die erforderliche Rechenleistung (i.d.R. am geringsten bei AR-Systemen mit integrierter Hardware, vgl. Leitfrage 4.2) [Cra13, S. 83ff.], [CBH+17, S. 6927f.]
4.4	**Energie-versorgung:** Welche Anforderungen werden an die Energie-versorgung des AR-Systems gestellt?	Entsprechend der voraussichtlichen Nutzungsdauer und -frequenz sowie der geforderten Mobilität des AR-Systems muss eine ausreichende Energieversorgung sichergestellt werden. Bei mobilen AR-Systemen wird diese üblicherweise über aufladbare Energiespeicher (z.B. Lithium-Ionen-Akkumulatoren) realisiert, die sich hinsichtlich ihrer Kapazität unterscheiden. Die Betriebslaufzeit, d.h. die Zeit, die ein AR-System genutzt werden kann, bis es erneut geladen werden muss, wird vielfach durch Herstellerangaben spezifiziert. Da jedoch eine einheitliche, herstellerübergreifende Bemessungsgrundlage fehlt, kann die tatsächliche Betriebslaufzeit von den offiziellen Angaben abweichen. Unabhängige Testberichte geben hierzu häufig verlässlicheren Aufschluss. Neben der Betriebslaufzeit sind weitere Aspekte, wie die Lebensdauer des Energiespeichers, die Selbstentladung, die Temperatursensibilität und insbesondere die Ladezeit zu berücksichtigen. Darüber hinaus ist die Austauschbarkeit des Energiespeichers ein relevanter Aspekt, um beispielsweise durch einen Akkuwechsel eine längere Nutzungsdauer des AR-Systems zu ermöglichen. Einige primär auf industrielle Anwendungen spezialisierte Datenbrillen unterstützen den Wechsel des Energiespeichers im laufenden Betrieb (Hot Swapping), um Unterbrechungen im Arbeitsablauf zu vermeiden [SDG17, S. 9124], [CDM+18, S. 128].

Tabelle A-10: Leitfragen zur Unterstützung bei der Anforderungserhebung (5/6)

Nr.	Leitfrage	Erläuterung
5	**Modelldaten**	
5.1	**Art der virtuellen Inhalte**: Welche Art von virtuellen Inhalten soll dargestellt werden?	In Abhängigkeit der mit der AR-Applikation zu adressierenden Sinnesmodalitäten (vgl. Leitfrage 6.1) ist zu spezifizieren, welche Art von virtuellen Inhalten durch das AR-System ausgegeben werden und welche Informationen diese übermitteln sollen. Visuell wahrnehmbare Inhalte umfassen zweidimensionale Bilder und Texte, dreidimensionale Objekte sowie im Zeitverlauf veränderliche Darstellungen (z.B. Animationen, Videos). Für industrielle Anwendungen sind darüber hinaus Audioinhalte relevant (z.B. Anweisungen bzw. Hinweise, Systemklänge, spezifische Geräusche in Relation zur Umgebung). Die virtuellen Inhalte dienen der Übermittlung von Informationen und sind daher vor dem Hintergrund des Anwendungskontexts bzw. der zugrunde liegenden Aufgabe zu konkretisieren (z.B. Instruktionen zu Behebung eines bestimmten Fehlers, virtuelle Repräsentation einer spezifischen Anlage) [Cra13, S. 167ff.], [Auk17, S. 142ff.].
5.2	**Realitätsnähe:** Wie realitätsgetreu müssen die virtuellen Inhalte gestaltet sein?	Eine hohe Realitätsnähe zielt darauf ab, die virtuellen Inhalte so darzustellen, dass sie möglichst nicht von real existierenden Objekten zu unterscheiden sind. Die Modelldaten müssen in diesem Fall einen hohen Detailgrad aufweisen, der die Illusion einer realen Existenz in der physischen Umgebung ermöglicht (z.B. Polygone, Texturen, Beleuchtung). Hierbei gehen in der Regel gleichermaßen hohe Anforderungen an die Darstellungsqualität des Displays einher (vgl. Leitfrage 6.3). Eine hohe Realitätsnähe ist für AR-Anwendungsszenarien relevant, die der Veranschaulichung komplexer räumlicher Konfigurationen und der Erweiterung des Vorstellungsvermögens dienen (vgl. *Abschnitt 4.2.3*). Nicht immer ist jedoch eine hohe Realitätsnähe erforderlich bzw. erwünscht. Vielmehr kann die Anforderung bestehen, dass die computergenerierten Inhalte explizit als solche erkennbar sind, um Arbeitsschritte effizient ausführen zu können. Dies trifft insbesondere auf AR-Anwendungsszenarien zu, die den Nutzer in der Ausführung von Tätigkeiten instruieren (vgl. *Abschnitt 4.2.3*) [SH16, S. 195ff.], [Cra13, S. 157f.].
5.3	**Speicherort:** Wo sollen die Modelldaten gespeichert sein?	Unter Berücksichtigung der Datenverarbeitungsarchitektur (vgl. Leitfrage 4.3) ist zu spezifizieren, wo und wie die Modelldaten für die AR-Applikation vorgehalten werden sollen. Im einfachsten Fall sind diese lokal auf dem AR-System gespeichert (vgl. Leitfrage 4.2). Alternativ können die Daten auf einem Server bzw. in der Cloud lokalisiert sein. Bei der Entscheidung über den Speicherort sind weitere Faktoren zu berücksichtigen. Hierzu zählen zum einen die Netzwerkverfügbarkeit (vgl. Leitfrage 1.5), zum anderen auch weitergehende Auswirkungen, z.B. im Hinblick auf die Aktualisierung der Modelldaten sowie die Administration und Wartung [Sch08, S. 123], [Luo09, S. 30].
5.4	**Schnittstellen:** Welche Schnittstellen zu angrenzenden Systemen sind erforderlich?	Je nach Anwendungskontext können Schnittstellen zu angrenzenden Systemen erforderlich sein, um Daten von diesen zu empfangen bzw. an diese zu senden. Hierzu zählen u.a. unternehmensinterne IT-Systeme (z.B. ERP, MES), Datenbanken und Plattformen sowie weitere Systeme in der Einsatzumgebung (z.B. Maschinen und Anlagen, Wearables). Das AR-System bzw. die AR-Applikation müssen über geeignete Schnittstellen verfügen und die jeweiligen Funktionen für die Handhabung der Daten zur Verfügung stellen [Sch08, S. 124], [JKM+17, S. 164ff.].
5.5	**Ergebnis-dokumentation:** Wie soll das Ergebnis aus dem Einsatz von AR dokumentiert werden?	Es ist zu definieren, wie und in welcher Form Ergebnisse aus dem Einsatz von AR dokumentiert werden sollen. Hierunter fallen u.a. Protokolle, Foto-/Videoaufnahmen, Metadaten und Geometriemodelle. Die AR-Applikation muss entsprechende Funktionalitäten zur Verfügung stellen, wobei die eingeschränkten Eingabemöglichkeiten mobiler Endgeräte zu berücksichtigen sind. Die Eingabe größerer Textmengen kann durch externe Peripherie (z.B. Tastaturen) unterstützt werden. Neben der Art der Dokumentation ist zu klären, wo die Daten gespeichert werden sollen bzw. welche Schnittstellen hierfür erforderlich sind (vgl. Leitfragen 4.2, 5.3 und 5.4) [Sch08, S. 125], [Ped17, S. 10].
6	**Display**	
6.1	**Informations-ausgabe:** Welche Informationen müssen über das Display ausgegeben werden?	Das Display dient dazu, dem Anwender die virtuellen Inhalte kongruent zur physischen Umgebung zugänglich zu machen. In Abhängigkeit von den Modelldaten (vgl. Leitfrage 5.1) und den zu adressierenden Sinnesmodalitäten (insbesondere Seh-, Hör- und Tastsinn) sind entsprechende Komponenten für die Informationsausgabe zu definieren. Hierzu zählen Bildschirme für die visuelle Wahrnehmung und Lautsprecher bzw. Kopfhörer für die Ausgabe von Audioinformationen. Haptische Ausgabegeräte (z.B. Handschuhe) ermöglichen das Nachempfinden von Eigenschaften, die virtuelle Objekte in der Realität aufweisen würden. Dies umfasst das Erfühlen von Größe, Kontur, Oberflächentextur und Gewicht durch Stimulation (z.B. Vibration) der in der Haut, den Muskeln, Gelenken und Sehnen befindlichen Rezeptoren [DS13, S. 44]

Tabelle A-11: Leitfragen zur Unterstützung bei der Anforderungserhebung (6/6)

Nr.	Leitfrage	Erläuterung
6	**Display**	
6.2	**Sichtfeld:** Wie groß muss das Sichtfeld sein, in dem virtuellen Informationen dargestellt werden?	Das Sichtfeld, in dem durch ein AR-System virtuelle Informationen dargestellt werden können, ist deutlich geringer als das Blickfeld des Menschen, das horizontal ca. 180° und vertikal ca. 120° beträgt. Bei Handheld-Systemen beruht dieser Umstand auf den auf der Geräterückseite angebrachte Kameras, die vom tatsächlichen Blickpunkt des Anwenders abweichen. Bei Datenbrillen, die virtuelle Informationen über ein semi-transparentes optisches Bauelement ins Blickfeld des Betrachters einspiegeln, beschränkt sich das Sichtfeld aufgrund aktuell noch vorherrschender Limitationen ebenfalls auf einen Teilausschnitt des menschlichen Blickfelds. Bei handelsüblichen Datenbrillen variiert das Sichtfeld in der Diagonalen zwischen 20° und 90°. Ein größeres Sichtfeld geht häufig, jedoch nicht immer mit Kompromissen im Hinblick auf die Ergonomie einher. Ein großes Sichtfeld ist erforderlich, wenn virtuelle Informationen möglichst realistisch und in ihrer Gänze dargestellt werden sollen. Bei einem kleinen Sichtfeld wirken Darstellungen abgeschnitten; der Effekt wird stärker, je größer die Maße der virtuellen Objekte sind und je näher sich der Betrachter an diesen befindet [Bro13, S. 271ff.], [SDG17, S. 9124].
6.3	**Ausgabequalität:** Welchen Qualitätsansprüchen muss die Informationsausgabe genügen?	Die Qualitätsanforderungen an die Informationsausgabe richten sich nach dem Anwendungskontext sowie der geforderten Realitätsnähe der virtuellen Inhalte (vgl. Leitfrage 5.2). Im Hinblick auf die visuelle Ausgabe wird die Darstellungsqualität neben dem Sichtfeld (vgl. Leitfrage 6.2) durch die Auflösung des Displays bzw. bei Video-See-Through-Systemen der Kamera, der Bildwiederholrate, der Helligkeit und den Kontrast sowie durch optische Fehler wie Verzerrungen und Aberrationen beeinflusst. Die realitätsnahe Darstellung virtueller Objekte kann durch Tiefenkriterien unterstützt werden (z.B. Schattenwürfe, Verdeckung virtueller Inhalte durch physische Objekte). Insbesondere bei Datenbrillen, die nach dem Prinzip von Optical-See-Through-Systemen funktionieren (vgl. *Abschnitt 2.3.3*), ist die Darstellung dunkler virtueller Inhalte (z.B. virtuelle Schatten) nicht möglich. Auf hellen Hintergründen weisen helle Darstellungen zudem eine hohe Transparenz auf. Analog zur visuellen Darstellung können auch für die auditive Informationsausgabe Qualitätsanforderungen definiert werden, u.a. die räumliche Tiefe (z.B. Spatial Sound), der Frequenzbereich sowie aktive Lärmkompensation (Active Noise Control) [SH16, S. 47ff. und 196ff.], [Bro13, S. 250ff.].

A2.5 Bewertungsindikatoren für Datenbrillen und Handheld-Systeme

Bewertung der Eignung von Datenbrillen und Handheld-Systemen

	Indikatoren zur Eignungsbewertung	trifft nicht zu	trifft eher nicht zu	trifft eher zu	trifft voll zu
1	Beide Hände müssen zur Tätigkeitsausführung frei sein.	☐ 0	☐ 1	☐ 2	☐ 3
2	Zwischen Primär- und Sekundäraufgabe wird häufig gewechselt.	☐ 0	☐ 1	☐ 2	☐ 3
3	Die Dauer der Sekundäraufgabe ist kurz.	☐ 0	☐ 1	☐ 2	☐ 3
4	Der Informationsbedarf für einzelne Arbeitsschritte ist gering.	☐ 0	☐ 1	☐ 2	☐ 3
5	Navigations- und Umgebungsinformationen werden eingeblendet.	☐ 0	☐ 1	☐ 2	☐ 3
6	Eine Verdeckung des Sichtfelds ist nicht sicherheitskritisch.	☐ 0	☐ 1	☐ 2	☐ 3
7	Die Nutzung des AR-Systems erfolgt über einen kurzen Zeitraum.	☐ 0	☐ 1	☐ 2	☐ 3
8	Die Zielgruppe hat bereits Erfahrung im Umgang mit Datenbrillen.	☐ 0	☐ 1	☐ 2	☐ 3
9	Handheld-Systeme liegen als Arbeitsmittel bislang nicht vor.	☐ 0	☐ 1	☐ 2	☐ 3
10	Es ist keine Darstellung großer Textmengen erforderlich.	☐ 0	☐ 1	☐ 2	☐ 3
11	Anforderungen an die graphische Darstellungsqualität sind gering.	☐ 0	☐ 1	☐ 2	☐ 3
12	Die abgeschnittene Darstellung auf kurzer Distanz ist akzeptabel.	☐ 0	☐ 1	☐ 2	☐ 3
13	Die Stückkosten pro AR-System dürfen mehr als 1.500 € betragen.	☐ 0	☐ 1	☐ 2	☐ 3
14	Die Darstellung virtueller Inhalte darf (Teil-)Transparenz aufweisen.	☐ 0	☐ 1	☐ 2	☐ 3
15	Schwarze Darstellungen (z.B. Schatten) sind nicht erforderlich.	☐ 0	☐ 1	☐ 2	☐ 3

Handlungsempfehlung (Durchschnittswert)

Handheld-System empfehlenswert — 0 — 1 — 2 — 3 — Datenbrille empfehlenswert

Bild A-18: Indikatoren zur Bewertung der Eignung von Datenbrillen und Handheld-Systemen

A2.6 Anforderungsschablone zur Spezifikation einer Datenbrille

	Anforderung	Ausprägungen		
Leistung	**Display-Auflösung**	<720p	720p-1080p	>1080p
	Sichtfeld	<30°	30-60°	>60°
	Farbdarstellung	Monochrom	Bichrom	Polychrom
	Sprachsteuerung	Keine Sprachsteuerung	Vordefinierte Kommandos	Semantische Spracherkennung
	Gestensteuerung	Keine Gestensteuerung	Vordefinierte Gesten	Hand-/Fingertracking
	Bluetooth	Kein Bluetooth	Bluetooth 4.2 oder älter	Bluetooth 5 oder neuer
	WiFi	Kein WiFi	IEEE 802.11n oder älter	IEEE 802.11ac oder neuer
	Kamera-Auflösung	Keine Kamera	<720p	720p oder höher
	Lautsprecher	Keine Lautsprecher	Mono/Stereo	Spatial Sound
	Festspeicher	<16 GB	16-64 GB	>64 GB
	Arbeitsspeicher	<2 GB	2-4 GB	>4 GB
	Akkulaufzeit	<1 h	1-3 h	>3 h
	Mobilfunk	Kein Mobilfunk	3G oder älter	LTE oder neuer
	Schutz gegen Staub und Wasser	Kein Schutz	Rudimentärer Staub- und Wasserschutz (≤ IP54)	Umfassender Staub- und Wasserschutz (> IP54)
Ergonomie	**Displaytransparenz**	Non See-Through	Video See-Through	Optical See-Through
	Gewicht	>400 g	100-400 g	<100 g
	Akkuwechsel	Keine wechselbaren Batterien	Wechselbare Batterien	Hot Swap
	Sehhilfen-kompatibilität	Keine Kompatibilität	Brillengläser integrierbar	Brillen übereinander tragbar
	Verkabelung	Stationäre Verkabelung	Mobile Verkabelung	Keine Verkabelung
	Hygiene	Kein Wechsel möglich	Austausch möglich	Keine hygienerelevanten Komponenten verbaut

Bild A-19: Anforderungsschablone zur Spezifikation von Datenbrillen

A2.7 Datenbrillen-Steckbriefe

Microsoft Hololens I 3.000 US-$

Datenbrillenspezifikation	
Ausgabe	Stereoskopisch, durchsichtig 1268 x 720 Pixel (pro Auge) 34° Sichtfeld (diagonal) 3D-Lautsprecher
Sensoren	Inertiale Messeinheit Vier Lichtkameras (Kopftracking) Time-of-Flight-Tiefensensor 2,4-MP-Foto-/Videokamera Umgebungslichtsensor Mikrofonarray mit vier Kanälen Knöpfe (Power, Volume, Helligkeit)
Recheneinheit	Intel 32-bit (1 GHz) mit TPM 2.0 Holographic Processing Unit (1st Gen.) 2 GB RAM 1 GB HPU RAM 64 GB Flash-Speicher

	Anforderung	Ausprägungen		
Leistung	**Display-Auflösung**	<720p	720p-1080p	>1080p
	Sichtfeld	<30°	30-60°	>60°
	Farbdarstellung	Monochrom	Bichrom	Polychrom
	Sprachsteuerung	Keine Sprachsteuerung	Vordefinierte Kommandos	Semantische Spracherkennung
	Gestensteuerung	Keine Gestensteuerung	Vordefinierte Gesten	Hand-/Fingertracking
	Bluetooth	Kein Bluetooth	Bluetooth 4.2 oder älter	Bluetooth 5 oder neuer
	WiFi	Kein WiFi	IEEE 802.11n oder älter	IEEE 802.11ac oder neuer
	Kamera-Auflösung	Keine Kamera	<720p	720p oder höher
	Lautsprecher	Keine Lautsprecher	Mono/Stereo	Spatial Sound
	Festspeicher	<16 GB	16-64 GB	>64 GB
	Arbeitsspeicher	<2 GB	2-4 GB	>4 GB
	Akkulaufzeit	<1 h	1-3 h	>3 h
	Mobilfunk	Kein Mobilfunk	3G oder älter	LTE oder neuer
	Schutz gegen Staub und Wasser	Kein Schutz	Rudimentärer Staub- und Wasserschutz (≤ IP54)	Umfassender Staub- und Wasserschutz (> IP54)
Ergonomie	**Displaytransparenz**	Non See-Through	Video See-Through	Optical See-Through
	Gewicht	>400 g	100-400 g	<100 g
	Akkuwechsel	Keine wechselbaren Batterien	Wechselbare Batterien	Hot Swap
	Sehhilfen-kompatibilität	Keine Kompatibilität	Brillengläser integrierbar	Brillen übereinander tragbar
	Verkabelung	Stationäre Verkabelung	Mobile Verkabelung	Keine Verkabelung
	Hygiene	Kein Wechsel möglich	Austausch möglich	Keine hygienerelevanten Komponenten verbaut

Bild A-20: Datenbrillen-Steckbrief „Microsoft Hololens“

Microsoft Hololens 2 I 3.500 US-$

Datenbrillenspezifikation	
Ausgabe	Stereoskopisch, durchsichtig 2048 x 1080 Pixel (pro Auge) 52° Sichtfeld (diagonal) Lautsprecher mit integriertem Raumklang
Sensoren	Inertiale Messeinheit Vier Lichtkameras (Kopftracking) Zwei Infrarotkameras (Augentracking) 1-MP-Time-of-Flight-Tiefensensor Kamera: 8-MP-Standbilder, 1080p-Video Handtracking: Zweihändig Natürliche Spracherkennung Mikrofonarray mit fünf Kanälen
Recheneinheit	Qualcomm Snapdragon 850 Holographic Processing Unit (2nd Gen.) 4 GB LPDDR4x-DRAM 64 GB UFS 2.1

	Anforderung	Ausprägungen		
Leistung	**Display-Auflösung**	<720p	720p-1080p	>1080p
	Sichtfeld	<30°	30-60°	>60°
	Farbdarstellung	Monochrom	Bichrom	Polychrom
	Sprachsteuerung	Keine Sprachsteuerung	Vordefinierte Kommandos	Semantische Spracherkennung
	Gestensteuerung	Keine Gestensteuerung	Vordefinierte Gesten	Hand-/Fingertracking
	Bluetooth	Kein Bluetooth	Bluetooth 4.2 oder älter	Bluetooth 5 oder neuer
	WiFi	Kein WiFi	IEEE 802.11n oder älter	IEEE 802.11ac oder neuer
	Kamera-Auflösung	Keine Kamera	<720p	720p oder höher
	Lautsprecher	Keine Lautsprecher	Mono/Stereo	Spatial Sound
	Festspeicher	<16 GB	16-64 GB	>64 GB
	Arbeitsspeicher	<2 GB	2-4 GB	>4 GB
	Akkulaufzeit	<1 h	1-3 h	>3 h
	Mobilfunk	Kein Mobilfunk	3G oder älter	LTE oder neuer
	Schutz gegen Staub und Wasser	Kein Schutz	Rudimentärer Staub- und Wasserschutz (≤ IP54)	Umfassender Staub- und Wasserschutz (> IP54)
Ergonomie	**Displaytransparenz**	Non See-Through	Video See-Through	Optical See-Through
	Gewicht	>400 g	100-400 g	<100 g
	Akkuwechsel	Keine wechselbaren Batterien	Wechselbare Batterien	Hot Swap
	Sehhilfen-kompatibilität	Keine Kompatibilität	Brillengläser integrierbar	Brillen übereinander tragbar
	Verkabelung	Stationäre Verkabelung	Mobile Verkabelung	Keine Verkabelung
	Hygiene	Kein Wechsel möglich	Austausch möglich	Keine hygienerelevanten Komponenten verbaut

Bild A-21: Datenbrillen-Steckbrief „Microsoft Hololens 2“

META 2 I 949 US-$ (zzgl. Kosten für PC)

Datenbrillenspezifikation	
Ausgabe	Stereoskopisch, durchsichtig 2560 x 1440 Pixel (pro Auge) 90° Sichtfeld (diagonal) Vier Surround-Lautsprecher
Sensoren	Integrierte optische und inertiale Sensoren für die Handgestensteuerung und Positionserfassung (Inside-Out-Tracking per SLAM mit 400Hz-Update-Frequenz) 720p-RGB-Frontkamera Drei integrierte Mikrofone
Recheneinheit	Anschluss an PC per HDMI-Kabel GPU: NVIDIA GeForce GTX 1050, AMD Radeon RX 480 oder besser CPU: Intel Core i7-6700(HQ), AMD FX-9590 oder besser RAM: 16 GB DDR4-RAM oder mehr

	Anforderung	Ausprägungen		
Leistung	**Display-Auflösung**	<720p	720p-1080p	>1080p
	Sichtfeld	<30°	30-60°	>60°
	Farbdarstellung	Monochrom	Bichrom	Polychrom
	Sprachsteuerung	Keine Sprachsteuerung	Vordefinierte Kommandos	Semantische Spracherkennung
	Gestensteuerung	Keine Gestensteuerung	Vordefinierte Gesten	Hand-/Fingertracking
	Bluetooth	Kein Bluetooth	Bluetooth 4.2 oder älter	Bluetooth 5 oder neuer*
	WiFi	Kein WiFi	IEEE 802.11n oder älter	IEEE 802.11ac oder neuer*
	Kamera-Auflösung	Keine Kamera	<720p	720p oder höher
	Lautsprecher	Keine Lautsprecher	Mono/Stereo	Spatial Sound
	Festspeicher	<16 GB	16-64 GB	>64 GB*
	Arbeitsspeicher	<2 GB	2-4 GB	>4 GB*
	Akkulaufzeit	<1 h	1-3 h	>3 h
	Mobilfunk	Kein Mobilfunk	3G oder älter	LTE oder neuer
	Schutz gegen Staub und Wasser	Kein Schutz	Rudimentärer Staub- und Wasserschutz (≤ IP54)	Umfassender Staub- und Wasserschutz (> IP54)
Ergonomie	**Displaytransparenz**	Non See-Through	Video See-Through	Optical See-Through
	Gewicht	>400 g	100-400 g	<100 g
	Akkuwechsel	Keine wechselbaren Batterien	Wechselbare Batterien	Hot Swap
	Sehhilfen-kompatibilität	Keine Kompatibilität	Brillengläser integrierbar	Brillen übereinander tragbar
	Verkabelung	Stationäre Verkabelung	Mobile Verkabelung	Keine Verkabelung
	Hygiene	Kein Wechsel möglich	Austausch möglich	Keine hygienerelevanten Komponenten verbaut

* Abhängig von der Spezifikation des mit der META 2 verbundenen PCs

Bild A-22: Datenbrillen-Steckbrief „META 2“

Magic Leap One I 2.295 US-$

Am Markt verfügbar

magic leap

Datenbrillenspezifikation	
Ausgabe	Stereoskopisch, durchsichtig 1280 x 960 Pixel (pro Auge) 50° Sichtfeld (diagonal) Lautsprecher mit integriertem Raumklang
Sensoren	Controller mit haptischem Feedback Positionserfassung: Verschiedene Bewegungssensoren und Kameras Infrarotkamera (Augentracking) Time-of-Flight-Tiefensensor Vier integrierte Mikrofone
Recheneinheit	Kabelgebundene externe Hardware mit eingebauter Lithium-Ionen-Batterie und Befestigungsmöglichkeit am Gürtel NVIDIA Parker SOC 8 GB RAM Arbeitsspeicher 128 GB Festspeicher

	Anforderung	Ausprägungen		
Leistung	**Display-Auflösung**	<720p	720p-1080p	>1080p
	Sichtfeld	<30°	30-60°	>60°
	Farbdarstellung	Monochrom	Bichrom	Polychrom
	Sprachsteuerung	Keine Sprachsteuerung	Vordefinierte Kommandos	Semantische Spracherkennung
	Gestensteuerung	Keine Gestensteuerung	Vordefinierte Gesten	Hand-/Fingertracking
	Bluetooth	Kein Bluetooth	Bluetooth 4.2 oder älter	Bluetooth 5 oder neuer
	WiFi	Kein WiFi	IEEE 802.11n oder älter	IEEE 802.11ac oder neuer
	Kamera-Auflösung	Keine Kamera	<720p	720p oder höher
	Lautsprecher	Keine Lautsprecher	Mono/Stereo	Spatial Sound
	Festspeicher	<16 GB	16-64 GB	>64 GB
	Arbeitsspeicher	<2 GB	2-4 GB	>4 GB
	Akkulaufzeit	<1 h	1-3 h	>3 h
	Mobilfunk	Kein Mobilfunk	3G oder älter	LTE oder neuer
	Schutz gegen Staub und Wasser	Kein Schutz	Rudimentärer Staub- und Wasserschutz (≤ IP54)	Umfassender Staub- und Wasserschutz (> IP54)
Ergonomie	**Displaytransparenz**	Non See-Through	Video See-Through	Optical See-Through
	Gewicht	>400 g	100-400 g	<100 g
	Akkuwechsel	Keine wechselbaren Batterien	Wechselbare Batterien	Hot Swap
	Sehhilfen-kompatibilität	Keine Kompatibilität	Brillengläser integrierbar	Brillen übereinander tragbar
	Verkabelung	Stationäre Verkabelung	Mobile Verkabelung	Keine Verkabelung
	Hygiene	Kein Wechsel möglich	Austausch möglich	Keine hygienerelevanten Komponenten verbaut

Bild A-23: Datenbrillen-Steckbrief „Magic Leap One“

Daqri Smart Glasses I 4.995 US-$

Eingeschränkt verfügbar (seit Insolvenz von Daqri im September 2019)

DAQRI

Datenbrillenspezifikation	
Ausgabe	Stereoskopisch, durchsichtig 1360 x 768 Pixel (pro Auge) 44° Sichtfeld (diagonal) Kopfhöreranschluss für Audioausgabe
Sensoren	Inertiale Messeinheit Kamera mit 166°-Fischaugen-Linse und einer Auflösung von 640 x 480 Pixel 1080p-RGB-Frontkamera Tiefensensor (0,4m bis 4m) Zwei Mikrofone mit aktiver Geräusch-unterdrückung
Recheneinheit	Kabelgebundene externe Hardware zur Befestigung am Körper Intel Core m7 (6th Generation) mit einer Taktfrequenz bis zu 3,1 GHz 64 GB Solid State Drive

	Anforderung	Ausprägungen		
Leistung	**Display-Auflösung**	<720p	720p-1080p	>1080p
	Sichtfeld	<30°	30-60°	>60°
	Farbdarstellung	Monochrom	Bichrom	Polychrom
	Sprachsteuerung	Keine Sprachsteuerung	Vordefinierte Kommandos ?	Semantische Spracherkennung
	Gestensteuerung	Keine Gestensteuerung	Vordefinierte Gesten ?	Hand-/Fingertracking
	Bluetooth	Kein Bluetooth	Bluetooth 4.2 oder älter ?	Bluetooth 5 oder neuer
	WiFi	Kein WiFi	IEEE 802.11n oder älter	IEEE 802.11ac oder neuer
	Kamera-Auflösung	Keine Kamera	<720p	720p oder höher
	Lautsprecher	Keine Lautsprecher	Mono/Stereo	Spatial Sound
	Festspeicher	<16 GB	16-64 GB	>64 GB
	Arbeitsspeicher	<2 GB	2-4 GB ?	>4 GB
	Akkulaufzeit	<1 h	1-3 h	>3 h
	Mobilfunk	Kein Mobilfunk	3G oder älter	LTE oder neuer
	Schutz gegen Staub und Wasser	Kein Schutz	Rudimentärer Staub- und Wasserschutz (≤ IP54)	Umfassender Staub- und Wasserschutz (> IP54)
Ergonomie	**Displaytransparenz**	Non See-Through	Video See-Through	Optical See-Through
	Gewicht	>400 g	100-400 g	<100 g
	Akkuwechsel	Keine wechselbaren Batterien	Wechselbare Batterien	Hot Swap
	Sehhilfen-kompatibilität	Keine Kompatibilität	Brillengläser integrierbar	Brillen übereinander tragbar
	Verkabelung	Stationäre Verkabelung	Mobile Verkabelung	Keine Verkabelung
	Hygiene	Kein Wechsel möglich	Austausch möglich	Keine hygienerelevanten Komponenten verbaut

Bild A-24: Datenbrillen-Steckbrief „Daqri Smart Glasses“

Epson Moverio Pro BT-2200 I 1.999 US-$

Am Markt verfügbar

EPSON

Datenbrillenspezifikation	
Ausgabe	Stereoskopisch, durchsichtig Kombinierbar mit Schutzhelmen 960 x 540 Pixel (pro Auge) 23° Sichtfeld (diagonal) Kopfhöreranschluss mit beiliegendem Mono-Kopfhörer
Sensoren	Inertiale Messeinheit Vorderseitige 5-MP-Stereokamera mit einstellbarem Schwenkwinkel (35°) Tiefensensor (0,3m bis 1m) Mikrofon in beilieg. Kopfhörer integriert Kabelgebundener Controller
Recheneinheit	TI OMAP 4460 mit 1,2 GHz Taktfrequenz 1 GB RAM 8 GB interner Speicher (erweiterbar um bis zu 32 GB mit externer SD-Karte)

	Anforderung	Ausprägungen		
Leistung	**Display-Auflösung**	<720p	720p-1080p	>1080p
	Sichtfeld	<30°	30-60°	>60°
	Farbdarstellung	Monochrom	Bichrom	Polychrom
	Sprachsteuerung	Keine Sprachsteuerung	Vordefinierte Kommandos	Semantische Spracherkennung
	Gestensteuerung	Keine Gestensteuerung	Vordefinierte Gesten	Hand-/Fingertracking
	Bluetooth	Kein Bluetooth	Bluetooth 4.2 oder älter	Bluetooth 5 oder neuer
	WiFi	Kein WiFi	IEEE 802.11n oder älter	IEEE 802.11ac oder neuer
	Kamera-Auflösung	Keine Kamera	<720p	720p oder höher
	Lautsprecher	Keine Lautsprecher	Mono/Stereo	Spatial Sound
	Festspeicher	<16 GB	16-64 GB	>64 GB
	Arbeitsspeicher	<2 GB	2-4 GB	>4 GB
	Akkulaufzeit	<1 h	1-3 h	>3 h
	Mobilfunk	Kein Mobilfunk	3G oder älter	LTE oder neuer
	Schutz gegen Staub und Wasser	Kein Schutz	Rudimentärer Staub- und Wasserschutz (≤ IP54)	Umfassender Staub- und Wasserschutz (> IP54)
Ergonomie	**Displaytransparenz**	Non See-Through	Video See-Through	Optical See-Through
	Gewicht	>400 g	100-400 g	<100 g
	Akkuwechsel	Keine wechselbaren Batterien	Wechselbare Batterien	Hot Swap
	Sehhilfen-kompatibilität	Keine Kompatibilität	Brillengläser integrierbar	Brillen übereinander tragbar
	Verkabelung	Stationäre Verkabelung	Mobile Verkabelung	Keine Verkabelung
	Hygiene	Kein Wechsel möglich	Austausch möglich	Keine hygienerelevanten Komponenten verbaut

Bild A-25: Datenbrillen-Steckbrief „Epson Moverio Pro BT-2200“

A2.8 Geschäftsmodellkarten

1 Ungewissheit der Nutzerakzeptanz

Frage: Wie kann eine möglichst hohe Nutzerakzeptanz sichergestellt werden?

Erläuterung

Aufgrund ihrer bislang vergleichsweise geringen Verbreitung ist der Umgang mit AR-Anwendungen für viele Anwender eine ungewohnte Erfahrung. Neue Anforderungen ergeben sich insbesondere im Hinblick auf die Nutzung von Datenbrillen, deren Ergonomie und Bedienkonzepte sich teils erheblich von etablierten Mobilgeräten unterscheiden (z.B. Kombination aus Kopfbewegung und Handgesten). Für ein möglichst hohes Maß an Akzeptanz muss der Einsatz von AR als nützlich und benutzungsfreundlich wahrgenommen werden. Hierzu zählt eine einfache Erlernbarkeit, Zugänglichkeit und Einprägsamkeit.

Beispielhafte Lösungskonzepte

- **Usability Engineering:** Für eine benutzergerechte Gestaltung werden Ansätze des Usability Engineering in der Entwicklung der AR-Applikation eingesetzt.
- **Frühe Validierung:** Unter Einbindung der anvisierten Zielgruppe werden Annahmen über den Anwender (z.B. wahrgenommener Nutzen) mit Hilfe von Ansätzen wie Lean Startup und Design Thinking experimentell validiert.
- **Schulungsangebot:** Über Schulungen und Promotorenkonzepte werden Mitarbeiter im Umgang mit dem AR-System und der AR-Applikation unterstützt.

Quellen

[RR16, S. 139ff.]
[ISO18039, S. 45]
[GS08, S. 513ff.]
[SOW+02, S. 31ff.]
[OKL+12, S. 29ff.]
[DF14, S. 45ff.]

Bild A-26: Geschäftsmodellkarte „Ungewissheit der Nutzerakzeptanz“

2 Abhängigkeit zur Einsatzumgebung des Kunden

Frage: Wie kann die Funktionalität der AR-Applikation in unterschiedlich ausgeprägten Einsatzumgebungen des Kunden gewährleistet werden?

Erläuterung

Wird AR als Bestandteil eines Produkt-Service-Systems angeboten, befindet sich die Einsatzumgebung der AR-Applikation in der Regel beim Kunden und damit außerhalb des Unternehmens des Anbieters. Häufig unterscheidet sich die Einsatzumgebung zudem von Kunde zu Kunde und kann nur begrenzt beeinflusst werden (z.B. vorherrschende Lichtverhältnisse, IT-Infrastruktur). Angesichts der hohen Bedeutung der Umgebungseinflüsse auf die Funktionstauglichkeit der AR-Applikation sind Lösungen zur Sicherstellung der Funktionalität in unterschiedlich ausgeprägten Einsatzumgebungen zu finden.

Beispielhafte Lösungskonzepte

- **Checklisten:** Kunden bzw. Vertriebsmitarbeitern werden Checklisten zur Verfügung gestellt, um die Konformität der Arbeitsumgebung vorab zu bewerten.
- **Beratung:** Kunden werden bei der Gestaltung einer zu den Anforderungen von AR gerechten Arbeitsumgebung beraten und bei der Umsetzung unterstützt.
- **Individuelle Lösungen:** Unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte werden Kunden individuelle AR-Lösungen angeboten, die einen Betrieb in der bestehenden Einsatzumgebung ermöglichen.

Quellen

[Cra13, S. 215ff.]
[RCM+07, S. 24ff.]
[PBM+18, S. 225ff.]
[QKG+18, S. 1134]

Bild A-27: Geschäftsmodellkarte „Abhängigkeit zur Einsatzumgebung des Kunden“

3 Konformität zu rechtlichen Fragestellungen

Frage: Wie kann die AR-Applikation möglichst rechtskonform ausgestaltet werden?

Erläuterung

Die Funktionsweise von AR bedingt, dass Informationen aus der Umgebung in Echtzeit erfasst und – um kontextspezifische Informationen erweitert – ausgegeben werden. Vor diesem Hintergrund sind rechtliche Fragestellungen ins Kalkül zu ziehen, u.a. in Bezug auf die Informationssicherheit (Security, Privacy), Betriebssicherheit (Safety) und Haftung, die teils von der Art und Weise der technischen Umsetzung abhängig sind (z.B. Ort der Datenspeicherung). Gleichzeitig sind noch nicht alle Fragen von der derzeitigen, zum Teil zwischen einzelnen Ländern variierenden Rechtsprechung zweifelsfrei geklärt.

Beispielhafte Lösungskonzepte

- **Einbeziehung rechtlicher Vorgaben in die Entwicklung:** Zur Minimierung von Risiken und Vermeidung komplexer rechtlicher Fragestellungen werden Anforderungen aus der bestehenden Rechtsprechung bereits frühzeitig im Entwicklungsprozess berücksichtigt (z.B. Prinzip der Datenminimierung aus der Datenschutz-Grundverordnung).
- **Einbindung von Rechtsexperten:** Im Zuge der Ausgestaltung der AR-Applikation werden gezielt Rechtsexperten mit entsprechender Expertise (z.B. IT-Recht) in die Vertragsgestaltung eingebunden.

Quellen

[RKD+14, S. 1283ff.]
[KFJ+19, S. 90ff.]
[Was15, S. 43ff.]
[ZHT19, S. 55ff.]
[NZB+17, S. 421f.]
[ISO18039, S. 44f.]

Bild A-28: Geschäftsmodellkarte „Konformität zu rechtlichen Fragestellungen“

4 Unsicherheit bei der Auswahl von AR-Technologien

Frage: Wie kann der hohen Technologiedynamik im Markt für AR begegnet werden?

Erläuterung

Der Markt für AR-Technologien ist durch eine hohe Dynamik geprägt. Aufgrund des technischen Fortschritts besteht die Gefahr, dass Technologien schnell veralten oder nicht mehr unterstützt werden (z.B. Einstellung der Technologie-Plattform Tango von Google in 2017). Gleichzeitig ist es für Anbieter von AR-Lösungen entscheidend, mit der technologischen Entwicklung Schritt zu halten, um im Wettbewerb bestehen zu können. Den daraus resultierenden Unsicherheiten bei der Auswahl von AR-Technologien und der Festlegung des Investitionszeitpunkts sind im Geschäftsmodell geeignet zu entgegnen.

Beispielhafte Lösungskonzepte

- **Leasing:** Zur Verringerung der Kapitalbindung werden AR-Systeme über einen flexiblen Leasing-Vertrag bezogen und dem Kunden zur Verfügung gestellt, so dass bei Bedarf auf ein alternatives AR-System gewechselt werden kann.
- **Upgrade:** Es werden AR-Systeme bezogen, für die herstellseitig Upgrade-Möglichkeiten angeboten werden (z.B. Rabatt bei Wechsel zu neuem Modell).
- **Markbeobachtung:** Technologien am Markt werden konstant beobachtet und unter Einbeziehung von Experten hinsichtlich ihrer Risiken bewertet.

Quellen

[Cra13, S. 134f. und S. 257ff.]
[KFJ+19, S. 77ff. und S. 88f.]
[Ped17, S. 291f.]

Bild A-29: Geschäftsmodellkarte „Unsicherheit bei der Auswahl von AR-Technologien“

5 Fehlende Kompetenzen im Unternehmen

Frage: Wie werden die erforderlichen Kompetenzen für das Angebot von AR-basierten Produkt-Service-Systemen sichergestellt?

Erläuterung

Durch das Angebot AR-basierter Produkt-Service-Systeme werden in vielen Fällen neue Kompetenzen im Unternehmen benötigt. Dazu gehören unter anderem die Entwicklung, das Testen und die Wartung der AR-Applikation, die Konzipierung, der Aufbau und die Administration der erforderlichen IT-Infrastruktur, die Kommerzialisierung durch Marketing und Vertrieb sowie die Unterstützung des Kunden im After-Sales. Im Rahmen der Geschäftsmodellentwicklung ist daher zu entscheiden, wie diese Kompetenzen sichergestellt werden können (z.B. Aufbau, Outsourcing, Outtasking).

Beispielhafte Lösungskonzepte

- **Aufbau von Kompetenzen:** Fehlende Kompetenzen werden durch die Schulung bestehender bzw. das Einstellen neuer Mitarbeiter aufgebaut.
- **Outsourcing:** Bestimmte Aufgaben werden vollständig an externe, spezialisierte Dienstleister ausgelagert (z.B. Betrieb der AR-Applikation).
- **Outtasking:** Ausgewählte Teilaufgaben werden durch externe Dienstleister realisiert, wobei das auftraggebende Unternehmen die Prozesskontrolle beibehält (z.B. Realisierung von Software-Komponenten).

Quellen

[PH16, S. 10f.]
[NST18, S. 177f.]
[VNV10, S. 10]
[HD20, S. 82]
[Sch08, S. 127]

Bild A-30: Geschäftsmodellkarte „Fehlende Kompetenzen im Unternehmen“

6 Eingeschränkte Verfügbarkeit von Modelldaten

Frage: Wie können die für eine AR-Applikation benötigten Modelldaten bereitgestellt werden?

Erläuterung

Für die Visualisierung mittels AR sind speziell aufbereitete Modelldaten erforderlich (z.B. in Dateiformaten wie .obj, .max). Im Kontext von Produkt-Service-Systemen stellen die Modelldaten häufig Repräsentationen von Komponenten der Sachleistung (z.B. Bauteile einer Maschine) dar, die mit Hilfe von AR veranschaulicht werden. Bei einer geringen Fertigungstiefe der Sachleistung werden die Dateien, aus denen die 3D-Modelle gewonnen werden können (z.B. CAD-Modelle), jedoch häufig vom Lieferanten gehalten und sind unter Umständen nicht oder nicht in der aktuellsten Version zugänglich.

Beispielhafte Lösungskonzepte

- **Kooperation mit Zulieferer:** Nach individueller Absprache stellt Zulieferer die benötigten Daten (z.B. CAD-Modelle einzelner Komponenten) zur Verfügung.
- **Rekonstruktion der Modelldaten:** Die Modelldaten werden manuell, z.B. mit Hilfe von 3D-Modellierungswerkzeugen und 3D-Scannern, nachgebaut.
- **Fokussierung auf verfügbare Modelldaten:** Die AR-Applikation beschränkt sich weitestgehend auf diejenigen Modelldaten, die vorliegend sind.

Quellen

[ZON13, S. 1713]
[PH16, S. 12]
[Cra13, S. 167ff.]
[AMB+17, S. 64f.]

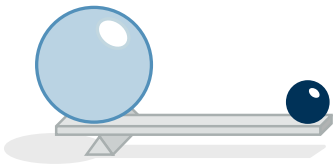
Bild A-31: Geschäftsmodellkarte „Eingeschränkte Verfügbarkeit von Modelldaten“

7 Aufwand für die Bereitstellung der Inhalte für die AR-Applikation

Frage: Wie kann sichergestellt werden, dass die erforderlichen Inhalte mit vertretbarem Aufwand für die AR-Applikation zur Verfügung stehen?

Erläuterung

Zentraler Bestandteil einer AR-Applikation sind die Modelldaten, die aktuell und konsistent zu der spezifischen Konfiguration des Produkts beim Kunden gehalten werden müssen. Der Aufwand für die Erstellung der Inhalte und die Häufigkeit notwendiger Aktualisierungen kann in Abhängigkeit des AR-Anwendungsszenarios und unternehmens-spezifischer Faktoren (z.B. Anzahl der Produktvarianten) sehr hoch sein. Im Zuge der Geschäftsmodellentwicklung sind daher Überlegungen zu treffen, wie die erforderlichen Inhalte für die AR-Applikation mit vertretbarem Aufwand bereitgestellt werden können.



Beispielhafte Lösungskonzepte

- **Fokussierung auf wichtigste Produktvarianten:** Die AR-Applikation beschränkt sich auf die aus geschäftsstrategischer Sicht wichtigsten Produktvarianten (z.B. höchstes Umsatzpotential, größter Kundenstamm).
- **Fokussierung auf wichtigste Tätigkeiten:** Die AR-Applikation beschränkt sich auf die aus Kundensicht wichtigsten Tätigkeiten, die einer Unterstützung bedürfen (z.B. fehleranfälligste bzw. zeitkritischste Prozessschritte).
- **Kommerzielle Entwicklungsplattformen:** Es wird auf kommerzielle Plattformen zur vereinfachten Entwicklung von AR-Applikationen zurückgegriffen.

Quellen

[MS16, S. 26]
[JER18, S. 18ff]
[PH16, S. 13]
[MSH+14, S. 37]
[QKG+18, S. 1134]
[ME19, S. 182f.]

Bild A-32: Geschäftsmodellkarte „Aufwand für die Bereitstellung der Inhalte für die AR-Applikation“

8 Unsicherheit bei der Auswahl von Partnern

Frage: Wie können geeignete Schlüsselpartner für die Realisierung der AR-Anwendung gefunden werden?

Erläuterung

Der Markt für AR ist hochgradig dynamisch und fragmentiert. Bislang konnten sich kaum Standards etablieren, das Marktgeschehen ist gekennzeichnet durch das Nebeneinander zahlreicher, auf den ersten Blick nahezu gleichwertiger Angebote. Darüber hinaus treten viele Start-ups in den Markt ein, deren Fortbestand ungewiss ist, woraus sich Risiken ergeben (z.B. mangelnder Support durch Insolvenz, Erwerb durch Dritte). Darüber hinaus versuchen Anbieter vielfach, Unternehmen an ihre Produkte zu binden (Vendor Lock-In). Die Auswahl von Schlüsselpartnern ist daher mit hohen Unsicherheiten verbunden.

Beispielhafte Lösungskonzepte

- **Risikobewertung von potentiellen Partnern:** Im Rahmen einer vorangestellten Risikobewertung werden potentielle Schlüsselpartner anhand definierter Kriterien evaluiert (z.B. wirtschaftliche Lage, Kundenreferenzen, relevante Erfahrung im Markt, Beteiligungsstrukturen).
- **Erfahrungsaustausch:** Über Technologie- und Branchennetzwerke werden Erfahrungswerte und Empfehlungen bereits bestehender Kunden zu potentiellen Lieferanten eingeholt und im Auswahlprozess berücksichtigt.

Quellen

[Ped17, S. 291f.]
[KFJ+19, S. 33 und 98]
[PH16, S. 11]

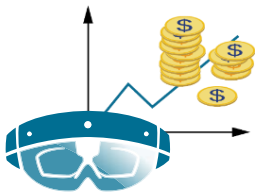
Bild A-33: Geschäftsmodellkarte „Unsicherheit bei der Auswahl von Partnern“

9 Wirtschaftliche Bereitstellung der AR-Systeme

Frage: Wie können die hohen Startinvestitionen für benötigte AR-Systeme im Geschäftsmodell kompensiert werden?

Erläuterung

Die Verwendung einer AR-Applikation setzt ein ausreichend leistungsfähiges AR-System voraus. Im industriellen Umfeld sind diese bislang jedoch wenig verbreitet (speziell Datenbrillen), was die Skalierbarkeit des Geschäftsmodells erschwert. Angesichts der derzeit noch signifikanten marktüblichen Preise für AR-Systeme (Handheld-Systeme: 500-1.000 €; Datenbrillen: 1.500-3.000 €) ist der Einsatz von AR daher vielfach mit erheblichen initialen Investitionen verbunden. Im Geschäftsmodell sind daher geeignete Mechanismen zur Kompensation der hohen Startinvestitionen vorzusehen.



Beispielhafte Lösungskonzepte

- **„Bring Your Own Device“:** Dem Kunde wird die Möglichkeit geboten, bereits im Unternehmen vorhandene AR-Systeme zu nutzen (z.B. Tablets).
- **Gemeinsame Nutzung von AR-Systemen:** Es wird eine Kooperation mit Unternehmen eingegangen, über die der Kunde bereits AR-basierte Leistungen bezieht, um deren AR-Systeme mitnutzen zu können.
- **Leasing und Vermietung:** Über Leasing- oder Mietverträge werden die erforderlichen AR-Systeme dem Kunden zeitweilig zur Nutzung überlassen.

Quellen

[PH16, S. 13]
[QKG+18, S. 1134]
[SDG17, S. 9123]
[Sch08, S. 128]

Bild A-34: Geschäftsmodellkarte „Wirtschaftliche Bereitstellung der AR-Systeme“

10 Zahlungsbereitschaft des Kunden

Frage: Wie kann die Zahlungsbereitschaft des Kunden für das AR-basierte Produkt-Service-System sichergestellt werden?

Erläuterung

Häufig stellen AR-Anwendungsszenarien die Weiterentwicklung einer bestehenden Dienstleistung dar, für die der Kunde bereits einen Preis entrichtet (z.B. Reparatur als Bestandteil eines Service-Vertrags). Damit das Angebot AR-basierter Produkt-Service-Systeme profitabel ist, müssen höhere Kosten, die durch den Einsatz von AR entstehen, durch höhere Einnahmen oder Kosteneinsparungen gedeckt werden. Aufgrund der Neuartigkeit und mangelnder Erfahrung mit AR bestehen seitens des Kunden jedoch unter Umständen Vorbehalte, einen höheren Preis gegenüber der bestehenden Dienstleistung zu zahlen.

Beispielhafte Lösungskonzepte

- **Kostenlose Probezeit:** Dem Kunden wird die Möglichkeit geboten, die AR-Applikation für eine begrenzte Zeit kostenlos in Anspruch zu nehmen.
- **Nutzungsbasierte Erlösmodelle:** Der Kunde zahlt nur für die tatsächliche Inanspruchnahme der AR-Applikation (z.B. minutenweise Abrechnung).
- **Beteiligungsbasierte Erlösmodelle:** Der Kunde wird prozentual an den Kosteneinsparungen beteiligt, die der Anbieter durch die Nutzung der AR-Applikation realisiert (z.B. eingesparte Reisekosten).

Quellen

[NST18, S. 178]
[MS14, S. 134f.]
[KFJ+19, S. 80ff.]
[GFC13, S. 209ff.]

Bild A-35: Geschäftsmodellkarte „Zahlungsbereitschaft des Kunden“