

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

Lehrstuhl für Betriebswissenschaften und Montagetechnik
am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)

**Dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem
für die manuelle Serienmontage**

Severin Teubner

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Maschinenwesen der Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades eines

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp

Prüfer der Dissertation: 1. Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart

2. Prof. Dr.-Ing. Johannes Fottner

Die Dissertation wurde am 15.12.2020 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 14.04.2021 angenommen.

Geleitwort der Herausgeber

Die Produktionstechnik ist für die Weiterentwicklung unserer Industriegesellschaft von zentraler Bedeutung, denn die Leistungsfähigkeit eines Industriebetriebes hängt entscheidend von den eingesetzten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der eingeführten Produktionsorganisation ab. Erst das optimale Zusammenspiel von Mensch, Organisation und Technik erlaubt es, alle Potenziale für den Unternehmenserfolg auszuschöpfen.

Um in dem Spannungsfeld Komplexität, Kosten, Zeit und Qualität bestehen zu können, müssen Produktionsstrukturen ständig neu überdacht und weiterentwickelt werden. Dabei ist es notwendig, die Komplexität von Produkten, Produktionsabläufen und -systemen einerseits zu verringern und andererseits besser zu beherrschen.

Ziel der Forschungsarbeiten des *iwb* ist die ständige Verbesserung von Produktentwicklungs- und Planungssystemen, von Herstellverfahren sowie von Produktionsanlagen. Betriebsorganisation, Produktions- und Arbeitsstrukturen sowie Systeme zur Auftragsabwicklung werden unter besonderer Berücksichtigung mitarbeiterorientierter Anforderungen entwickelt. Die dabei notwendige Steigerung des Automatisierungsgrades darf jedoch nicht zu einer Verfestigung arbeitsteiliger Strukturen führen. Fragen der optimalen Einbindung des Menschen in den Produktentstehungsprozess spielen deshalb eine sehr wichtige Rolle.

Die im Rahmen dieser Buchreihe erscheinenden Bände stammen thematisch aus den Forschungsbereichen des *iwb*. Diese reichen von der Entwicklung von Produktionssystemen über deren Planung bis hin zu den eingesetzten Technologien in den Bereichen Fertigung und Montage. Steuerung und Betrieb von Produktionssystemen, Qualitätssicherung, Verfügbarkeit und Autonomie sind Querschnittsthemen hierfür. In den *iwb* Forschungsberichten werden neue Ergebnisse und Erkenntnisse aus der praxisnahen Forschung des *iwb* veröffentlicht. Diese Buchreihe soll dazu beitragen, den Wissenstransfer zwischen dem Hochschulbereich und dem Anwender in der Praxis zu verbessern.

Gunther Reinhart

Michael Zäh

Vorwort

Liebe Leser*innen,

mit der Veröffentlichung dieser Dissertation geht meine Episode als wissenschaftlicher Mitarbeiter am *iwb* zu Ende, die weit mehr als nur eine Promotion war. Für diese Gelegenheit und das damit verbundene Vertrauen möchte ich mich sehr herzlich bei Herrn Prof. Gunther Reinhart und Herrn Prof. Michael F. Zäh, den beiden Institutsleitern, bedanken. Insbesondere die Institutskultur und die wohlwollende Förderung durch meinen Doktorvater werden mir stets in guter Erinnerung bleiben. Darüber hinaus danke ich Herrn Prof. Johannes Fottner (Lehrstuhl für Fördertechnik Materialfluss Logistik an der TUM) für die Übernahme des Koreferats und Herrn Prof. Markus Lienkamp (Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik an der TUM) für die Übernahme des Prüfungsvorsitzes im Zuge der Finalisierung des Promotionsvorhabens.

Das zugrunde liegende Forschungsprojekt zur dynamischen und Individuellen Werkerinformation wurde durch die MAN Truck & Bus von Dezember 2015 bis November 2019 gefördert. Mein Dank gilt insbesondere Dr. Christoph Rimpau und Dr. Florian Hagemann für die intensive Begleitung und vertrauensvolle Zusammenarbeit, Dr. Matthias Meindl für die Förderung während meiner Tätigkeit als Werkleiterassistent sowie meinen ehemaligen Bürokolleg(inn)en im Werk für die gute Zeit und den täglichen Spiegel der Industriepraxis. Dadurch konnte ich Erkenntnisse gewinnen, die einen wertvollen Beitrag zur Forschung geleistet haben.

Aus dem Institut, vor allem dem Forschungsfeld „Mensch in der Fabrik“ mit Nane, Susanne und Barbara, bleiben mir zahlreiche interessante Erlebnisse wie die diversen Demos im Lernlabor und die intensiven Diskussionen immer in guter Erinnerung. Besonders haben mir auch die ausgiebige Gespräche mit Felix und Dino, unter anderem zum vorliegenden Dokument, aber vor allem darüber hinaus, Spaß bereitet. Prägend bleiben für mich die gemeinsamen Dienstreisen und Projekte. Ebenso blicke ich gerne auf die Studienzeit mit Klaus und Michael zurück, die uns gemeinsam auf die Promotionszeit und vieles mehr vorbereitet hat.

Des Weiteren haben besonders meine Eltern Annette und Thomas und meine Geschwister Lianne und Jonas sowie Verwandte und Freunde einen großen Anteil an meiner Entwicklung und der damit verbundenen Zeit, die ich nicht missen möchte. Allen Beteiligten, und zeitweise Betroffenen, gilt mein herzlichster Dank für die uneingeschränkte Unterstützung.

Zu allermeist möchte ich meiner wundervollen Frau Lisa danken für ihren grenzenlosen Rückhalt, ohne den diese anstrengende, aufregende, lehrreiche, lustige, erfüllende und schließlich unvergessliche Episode nicht möglich gewesen wäre. Unsere Familie mit Charlotte und Frederik war mir immer die stärkste Motivation und schönste Ablenkung zugleich.

München, im Juli 2021

Severin Teubner

Abstract

In this research project, we propose a worker information system that paves the way towards dynamic and individual information to support workers at mixed-model assembly stations. Associated with a dynamically changing production system, dynamic information shall specify information depending on specific products or production processes. Individual information depends on the individual worker. We build upon a classification scheme for worker information systems, and a system-theoretical design approach conceptualizing system functions and types of system elements such as data models, sets of rules, and views. The interaction of these system elements enables the system functions. Based on a thorough literature review and a requirements study, eight necessary system functions were derived:

Dynamic system functions:

1. Assembly order-specific information selection
2. Product or process changes flagging
3. Assembly mistakes notification
4. Product or process commenting

Individual system functions:

5. Role-specific information separation
6. Qualification-specific information adjustment
7. Teaching process support
8. Variant transparency provision

For the system elements, a basic system is defined, containing elements common to all eight system functions, such as the worker information itself. Next, system elements specific to each distinct function are developed. For the dynamic and individual system functions, two aspects can be emphasized: Within the dynamic system functions, the system elements are designed to enable a consistent generation and presentation of product or process changes, assembly mistakes, and comments. Regarding the individual system functions, the system elements enable switching from a full process sequence to a variant-oriented information presentation depending on the qualification.

The developed dynamic and individual worker information system is designed in a modular way to be adaptable to use case-specific needs. The adaption is supported by a configuration method, and is demonstrated with five different prototypical implementations.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	i
1 Einleitung.....	1
1.1 Ausgangssituation	1
1.2 Problemstellung.....	6
1.3 Zielsetzung	7
1.4 Arbeitsaufbau	10
1.5 Forschungskonzeption	12
2 Grundlagen	19
2.1 Montagearbeit	19
2.2 Montageassistenzsysteme	23
2.3 Werkerinformationssysteme	26
3 Stand der Forschung	35
3.1 Werkerinformationssysteme – Veröffentlichungscluster Priorität A	37
3.2 Werkerinformationssysteme – Veröffentlichungscluster Priorität B	47
3.3 Forschungsbedarf – Fazit.....	56
4 Anforderungsstudie	59
4.1 Potenzialanalyse	60
4.2 Anforderungsableitung	61
5 Dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem	65
5.1 Systementwurf.....	65
5.2 Basis-Werkerinformationssystem	70
5.2.1 Systemelement Datensätze	70
5.2.2 Systemelement Regelwerke	77
5.2.3 Systemelement Anzeigefelder	79
5.3 Dynamische Systemfunktionen	84
5.3.1 Auftragspezifische Informationsselektion	84
5.3.2 Änderungsmarkierung	87
5.3.3 Montagefehlermeldung	92
5.3.4 Produkt-/Prozesskommentierung.....	96

5.4	Individuelle Systemfunktionen	99
5.4.1	Rollenspezifische Informationsaufteilung	99
5.4.2	Qualifikationsspezifische Informationsauswahl	102
5.4.3	Anlernprozessförderung	109
5.4.4	Variantentransparenzunterstützung	113
5.5	Zusammenfassung	116
6	Konfigurationsmethode	125
6.1	Schritt 1 – Arbeitsplatz auswählen	126
6.2	Schritt 2 – Systemfunktionen festlegen	127
6.3	Schritt 3 – Systemelemente gestalten	128
7	Prototypeneinsatz	135
7.1	Tablet-App Anbauteilmontage	136
7.2	Tablet-App Prüflinien	141
7.3	Anlernmappe Bremskreisprüfung	145
7.4	Werkerinfo Luftkesselvorgruppierung	148
7.5	Werkerinfo Seitenschutz- und Kotflügelstützenmontage	150
8	Evaluation	153
8.1	Verifikation – Prüfung auf Anforderungen	153
8.2	Validierung – Beurteilung des Werkerinformationssystems	154
8.3	Aufwand-Nutzen-Analyse – Abschätzung der Wirtschaftlichkeit	159
8.4	Limitation – Einschränkung der Ergebnisse	162
9	Abschluss	165
9.1	Resümee	165
9.2	Ausblick	166
10	Anhang	169
10.1	Klassifikationsmodell Werkerinformationssysteme	169
10.2	Werkerinformationspakete	173
10.3	Anzeigekonzepte	177
10.4	Leitfaden Werkerinformation	182
10.5	Prototypen	185
10.6	Wissenschaftliche Methoden	195
10.6.1	Literaturrecherche	195
10.6.2	Expertenworkshop	208

10.6.3 Fokusgruppenbildung	215
10.6.4 Blackbox-Betrachtung und Funktionsmodellierung	216
10.6.5 Agile Entwicklungsmethoden	216
10.6.6 Probanden-/Feldstudie	216
10.7 Wissenschaftliche Techniken	218
10.7.1 Modellierung – Systemtheorie	218
10.7.2 Schlussfolgerungstypen.....	219
10.8 Glossar.....	221
Studienarbeitsverzeichnis	223
Vorveröffentlichungsverzeichnis	225
Literaturverzeichnis	227
Iconverzeichnis	267
Abbildungsverzeichnis	iii
Tabellenverzeichnis	xi

Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitsplatz
AVO	Arbeitsvorgang
AVOG	Arbeitsvorgangsgruppe
AVOV	Arbeitsvorgangsvariante
CPS	Cyber-physisches System
ERP	Enterprise Resource Planning
HMD	Head-mounted-Displays
MA	Mitarbeiter
MES	Manufacturing Execution Systems
MV	Montagevariante
Dyn.	Dynamisch
Ind.	Individuell
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologie
MTO	Mensch-Technik-Organisation
WI	Werkerinformation
WIP	Werkerinformationspaket
WIS	Werkerinformationssystem
VÖ(s)	Veröffentlichung(en)
x^H	Anzeigehäufigkeit
x^{D-min}	minimale Anzeigedauer
x^{D-max}	maximale Anzeigedauer

1 Einleitung

Die Taktzeit läuft. Der Werker¹ erblickt das nächste Produkt auf dem Fließband. Dieses Mal Variante 3 aus 42. Eilig sucht er die notwendigen Komponenten zusammen. Wie genau werden diese noch einmal montiert? Die Zeit rinnt davon. Der Anspruch lautet: jedes Produkt muss fehlerfrei montiert sein. Denn Zeit für Korrekturen hat er nicht. Und ohne ihn kann die nächste Station nicht weiterarbeiten. Die Zeit ist abgelaufen. Es folgt der nächste Auftrag.

Die beschriebene fiktive Montageszene veranschaulicht vorab die Ausgangssituation dieser Forschungsarbeit und ermöglicht dem Leser ein besseres Verständnis der Problemstellung.

Im Folgenden wird die Ausgangssituation mit Abschnitt 1.1 näher beleuchtet, indem maßgebliche Einflussfelder dieser stereotypischen Montageaufgabe betrachtet werden. Zugleich wird damit für spätere Generationen ein Gefühl für den Handlungskontext gegenwärtiger Ingenieursarbeit überliefert. Abschnitt 1.2 schildert anschließend detailliert die dieser Arbeit zugrunde liegende Problemstellung, woraus in Abschnitt 1.3 die Zielsetzung abgeleitet wird. Abschnitt 1.4 gibt einen Überblick über den Aufbau dieser Arbeit und Abschnitt 1.5 zeigt auf, wie in diesem Forschungsprojekt vorgegangen wurde.

1.1 Ausgangssituation

Für den Überblick zur Ausgangssituation werden drei Einflussfelder betrachtet, die den hier vorliegenden Betrachtungsbereich manueller Montage prägen (Abbildung 1-1). Zunächst wird auf das *Produktionsumfeld* und dessen Auswirkungen eingegangen. Darauf folgen die *Produktionsmitarbeiter* und die *Produktionstechnologie* als für diese Arbeit zentrale Dimensionen des Mensch-Technik-Organisation-Schemas (MTO-Schema)².

¹ Der Leserlichkeit halber wird in diesem Dokument verallgemeinernd das generische Maskulinum verwendet. Männer und Frauen sind dabei selbstredend gleichermaßen gemeint.

² Das MTO-Schema wird zur strukturierten Modellierung und Gestaltung von soziotechnischen Systemen verwendet (ULICH & WÜLSER 2010, S. 238-242). Die Produktionsorganisation wird nicht als separates Einflussfeld untersucht, sondern in die Betrachtung von Produktionsmitarbeiter und Produktionstechnologie integriert, da sie nicht im Fokus dieser Arbeit steht.

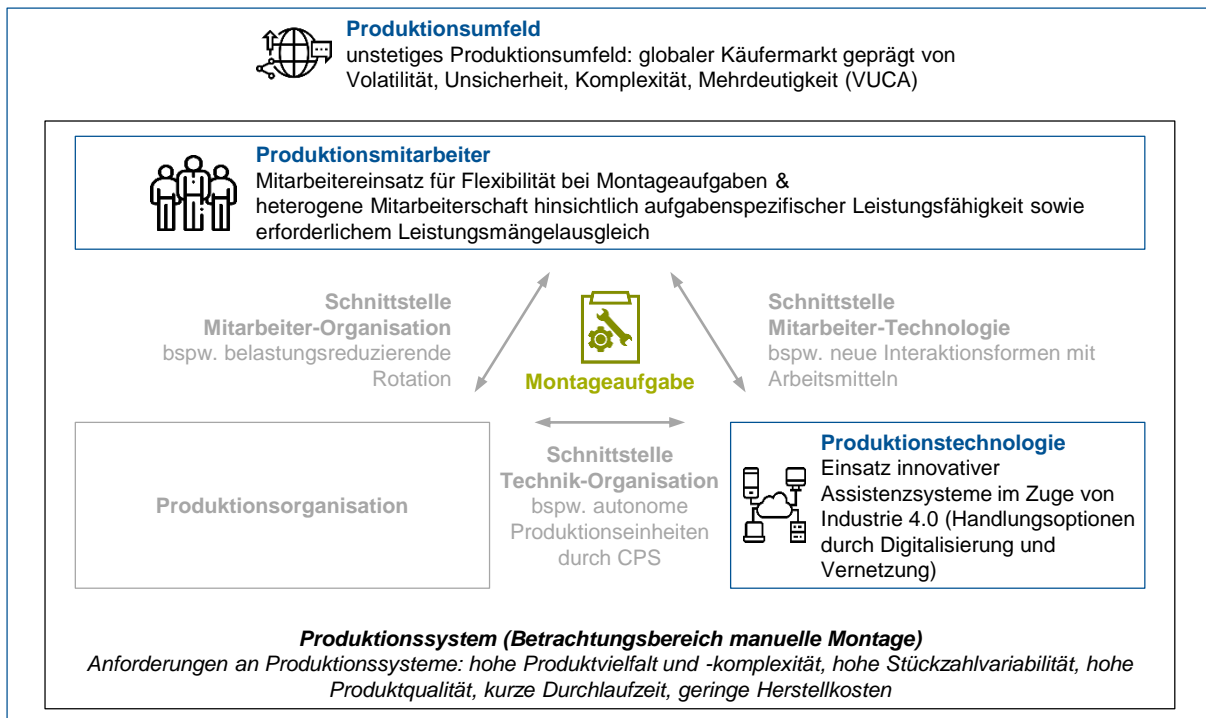


Abbildung 1-1: Übersicht der Einflussfelder und wesentlicher Einflussgrößen mit prägender Wirkung auf die manuelle Montage

Einflussfeld Produktionsumfeld

Der Wandel von lokalen Verkäufermärkten zu einem globalen Käufermarkt führt zu einem Wettbewerb produzierender Unternehmen hinsichtlich Qualität, Lieferzeiten und Kosten. Dieser Wettbewerb wird unter Randbedingungen geführt, die durch das englischsprachige Akronym VUCA³ beschrieben werden können: Volatilität, Unsicherheit, Komplexität und Mehrdeutigkeit zeichnen den weltweiten Handel aus. Flexibilität und ähnliche Formen von Veränderungsfähigkeit, wie Wandlungsfähigkeit oder Agilität, stellen eine wesentliche Voraussetzung für die erfolgreiche Erfüllung der Kundenwünsche dar. Wo Flexibilität nicht durch angepasste Geschäftsmodelle oder hardwareunabhängige Software umgesetzt werden kann, steht die Produktion vor teilweise antinomen Zielsetzungen. Produktionssysteme müssen für eine große Produktvielfalt und -komplexität sowie variable Stückzahlen bei hoher Produktqualität, kurzen Durchlaufzeiten und geringen Herstellkosten befähigt werden. (REINHART & ZÜHLKE 2017, S. xxxv-xxxviii; SPATH 2013)

³ Das Akronym VUCA steht im Englischsprachigen für die Begriffe Volatility, Uncertainty, Complexity und Ambiguity (BENNETT & LEMOINE 2014, S. 313).

Einflussfeld Produktionsmitarbeiter

Vollautomatisierte Produktionssysteme arbeiten zum Teil nicht so flexibel und wirtschaftlich wie die Koproduktion von Mensch und Maschine (SPATH 2013, S. 52-53). Als prominentes Beispiel kann Tesla genannt werden. Der Ansatz einer nahezu vollständig automatisierten Produktion des Model 3 ist vorerst gescheitert, da die installierte Anlagentechnik nicht die geforderte Qualität und Stückzahl liefern konnte (GIBBS 2018). Damit reiht sich diese Tesla-Produktion in eine Chronologie erfolgloser „Produktionsautomaten“ ein, in der sich auch Volkswagen mit der menschenlosen Golfproduktion in Halle 54 in den 80er Jahren wiederfindet, damals getrieben von dem Automatisierungsenthusiasmus des CIM⁴-Zeitalters (REINHART & ZÜHLKE 2017, S. xxxiii).

Die Vorteile der menschlichen Arbeitskraft liegen in einer großen Flexibilität bei der Ausführung von Montageaufgaben sowie in der Fähigkeit, sich schnell an neue Aufgaben und Situationen anzupassen (SCHLIEßMANN 2014, S. 454). Daher eignen sie sich besonders für einen Einsatz in Montagesystemen mit hoher Produktvariabilität. Ansätze des mitarbeiterorientierten Produktionsmanagements versuchen, die Mitarbeiterressource mit Hinblick auf die Balance zwischen Flexibilitäts- und Produktivitätszielen und unter Berücksichtigung ergonomischer Leitlinien einzusetzen (TEUBNER ET AL. 2018, S. 647). Dabei ist zu berücksichtigen, dass Entwicklungstrends⁵ wie der demographische Wandel (ABELE & REINHART 2011, S. 19-21), die Integration von leistungsgewandelten Mitarbeitern (EGBERS 2013, S. 19) sowie der Einsatz von Leiharbeitnehmern (SPATH 2013, S. 75) zu einer verstärkten Heterogenität der Gruppe hinsichtlich ihrer aufgabenspezifischen Leistungsfähigkeit führen. Zudem müssen typische menschliche Leistungsmängel im Vergleich zur Maschine, wie beispielsweise ein schlechteres Erinnerungsvermögen oder eine begrenzte Zuverlässigkeit, ausgeglichen werden (KRAISS 1998, S. 460). Dies ist mit Hinblick auf die gleichbleibend hohen Qualitäts- und Produktivitätsziele einer variantenreichen Serienmontage und insbesondere für den Produktionserfolg am Hochlohnstandort Deutschland von entscheidender Bedeutung (SPATH 2013, S. 40-55).

⁴ CIM (Computer Integrated Manufacturing) bezeichnet die Integration der Informationsverarbeitung in die Produktionsprozesse, um eine flexible Automatisierung zu ermöglichen. Dabei wirken CAD- und CAM-Technologien mit der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) zusammen. (FAVRE-BULLE 2004, S. 183-189).

⁵ Europäische Statistiken zur Bevölkerungsentwicklung und zum Arbeitsmarkt sind beispielsweise zu finden unter EUROSTAT 2019.

Einflussfeld Produktionstechnologie

Als Reaktion auf ein unstabiles Produktionsumfeld (Market Pull) und eine heterogene Mitarbeiterschaft werden in der Montage, getrieben vom technologischen Fortschritt (Technology Push) und subsumiert unter dem Schlagwort Industrie 4.0, zunehmend cyber-physische Systeme (CPS)⁶ implementiert. Kaum ein Schlagwort war in der letzten Dekade so omnipräsent, sodass es in dieser Arbeit nicht unerwähnt bleiben kann:

Industrie 4.0 ist eine industriepolitische Kampagne, welche die „intelligente Vernetzung von Maschinen und Abläufen in der Industrie mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologie“ (IKT) bezeichnet und dabei auf dem Digitalisierungsbestreben beim Einsatz computergestützter Systeme aufbaut (PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 2019). „Durch die Verbindung von Menschen, Objekten und Systemen entstehen dynamische, echtzeitoptimierte und selbstorganisierende, unternehmensübergreifende Wertschöpfungsnetzwerke, die sich [am gesamten Lebenszyklus⁷ zunehmend individueller Kundenwünsche ausrichten und] nach unterschiedlichen Kriterien wie beispielsweise Kosten, Verfügbarkeit und Ressourcenverbrauch optimieren lassen“ (PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 2015, S. 8).

Die neuen Handlungsoptionen durch die Digitalisierung und Vernetzung sind derart vielfältig und vielversprechend, dass eine vierte industrielle, technologiegetriebene Revolution vorhergesagt wird⁸. Dabei steht historisch betrachtet eine Rückgewinnung von Flexibilität im Fokus⁹. Mit der Entwicklung neuer Technologien soll der Spagat zwischen Flexibilität und Produktivität

⁶ Als cyber-physische Systeme werden Systeme mit eingebetteter Software bezeichnet. Sie können unter anderem über Sensoren physikalische Daten erfassen und verarbeiten, über digitale Kommunikationseinrichtungen untereinander verbunden sein, über multimodale Mensch-Maschine-Schnittstellen verfügen und über Aktoren auf physikalische Vorgänge einwirken. Damit verschmelzen die physikalische und die digitale Welt. (ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN 2011, S. 13).

⁷ „Dieser Zyklus orientiert sich an den zunehmend individualisierten Kundenwünschen und erstreckt sich von der Idee, dem Auftrag über die Entwicklung und Fertigung, die Auslieferung eines Produkts an den Endkunden bis hin zum Recycling, einschließlich der damit verbundenen Dienstleistungen“ (PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 2015, S. 8).

⁸ Während des CIM-Zeitalters wurden schon ähnliche Gedanken entwickelt, jedoch waren die technologischen Möglichkeiten noch nicht so weit fortgeschritten (REINHART & ZÜHLKE 2017, S. xxxiii). Zudem stellt vor allem die Vernetzung dabei die revolutionäre Weiterentwicklung des Computereinsatzes dar (PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 2019).

⁹ Mit dem Zusammenschluss von Handwerkern in Manufakturen begann im späten Mittelalter die Entwicklung der Fabrik (lateinisch: fabrica = Werkstätte) und in der Folge die Begründung der industriellen Produktionswirtschaft (KETTNER ET AL. 1984, S. 1; MOMMERTZ 1981, S. 47-50). Im Zuge der drei technologiegetriebenen Revolutionen, beginnend bei den Dampfmaschinen über die Elektrifizierung mittels Elektromotoren bis hin zu einer von Elektronik geprägten Anlagenautomatisierung, konnte beständig die Produktivität in den Fabriken gesteigert werden (BUBB ET AL. 2016, S. 837; REINHART & ZÜHLKE 2017, S. xxxi). Dies ging jedoch mit einem stetigen Flexibilitätsverlust durch den vermehrten Einsatz von starrer Technologie einher (SPUR 2009, S. 1063).

gelingen, um im beschriebenen Produktionsumfeld zu bestehen (REINHART & ZÜHLKE 2017, S. xxxiv).

Die Technikentwicklung in der Montage wirkt über das Element Technik des MTO-Schemas hinaus auch auf die drei Schnittstellen des Schemas ein: Mensch-Technik, Technik-Organisation und damit indirekt auch Mensch-Organisation (BENGLER ET AL. 2017, S. 54-55). In der Verbindung von Technik und Organisation können zum Beispiel durch den Einsatz von CPS autonome Produktionseinheiten entstehen (REINHART ET AL. 2013) und im Bereich Mensch-Organisation ergeben sich neue Möglichkeiten der Arbeitsplanung und -steuerung¹⁰, beispielsweise in Form von bedarfsabhängiger Mitarbeiterereinsatzplanung (HÄMMERLE 2015) oder belastungsreduzierender Rotation (TROPSCUH & REINHART 2020).

Im Hinblick auf die Schnittstelle Mensch-Technik betrifft der technologische Fortschritt auch die Arbeitsausführung. Mit dem Einsatz von Assistenzsystemen entstehen neue Interaktionsformen mit Arbeitsmitteln, beispielsweise bei der Mensch-Roboter-Kooperationen oder dem Einsatz von Smart Devices¹¹. Dadurch ergeben sich beträchtliche Möglichkeiten zur Mitarbeiterentlastung und zum Ausgleich von Leistungsmängeln (REINHART & ZÄH 2014, S. 516). Dabei entstehen jedoch auch neue Anforderungen an die Mitarbeiter bei der Technik-Interaktion und Herausforderungen bei der Gestaltung assistierender Arbeitsmittel, mit der sich die Produkt- und Produktionsergonomie befassen (BUBB ET AL. 2016, S. 839).

Aus der Betrachtung der drei Einflussfelder Produktionsumfeld, Produktionsmitarbeiter und Produktionstechnologie wird das Potenzial von Werkerinformationssystemen (WIS) als einem Typus von Assistenzsystemen abgeleitet, produzierende Unternehmen und insbesondere die Werker bei der Auftragsabwicklung zu unterstützen. Die darauf aufbauende Problemstellung wird im nächsten Abschnitt dargelegt.

¹⁰ Neben den vier technologischen Revolutionen wird spannend zu beobachten sein, inwiefern sich im Zuge von Industrie 4.0 nach Taylorismus (Ressourcenauslastung) und Schlanker Produktion (Durchlaufzeitverkürzung, Verschwendungsvermeidung) auch neue produktionstechnische Paradigmen und Formen einer „agilen“ Produktionsorganisation, beispielsweise mit Konzepten eines mitarbeiterorientierten Produktionsmanagements, entwickeln werden.

¹¹ Smart Devices sind kabellose, mobile, vernetzte und mit verschiedenen Sensoren ausgestattete elektronische Geräte, wie beispielsweise Smartphones, Tablet PCs oder Datenbrillen (FRAUNHOFER IML 2019). Als Multifunktionsgeräte mit Informations- und Kommunikationstechnologie fungieren sie als Zugangsportale zu zahlreichen Diensten, die lokal oder über vernetzte Server laufen (POSLAD 2009, S. 27).

1.2 Problemstellung

Die vorausgegangenen Schilderungen verdeutlichen, dass Werkerinformationssysteme für die Unterstützung der Montagemitarbeiter bei einer hohen Variantenvielfalt unabkömmlich sind und eine entsprechend flexible sowie produktive hochvariable Serienmontage ermöglichen können, wie sie in dem einleitenden, fiktiven Beispiel veranschaulicht wurde (DOMBROWSKI ET AL. 2010, S. 282; FELDMANN & LANG 2005, S. 25; FRANKE & RISCH 2009, S. 822). Dabei sollen sie für diese Arbeit wie folgt definiert sein:

Werkerinformationssysteme informieren Werker über auszuführende Tätigkeiten auf explizite und regelbasierte Weise. Die bereitgestellte Information wird als Werkerinformation bezeichnet. (TEUBNER ET AL. 2019B, S. 353; i.A.a. LANG 2007, S. 19)

Als *industrieller Leidensdruck* kristallisiert sich jedoch heraus, dass derzeitige Werkerinformationssysteme oftmals statische Standardlösungen beinhalten und sich am One-fits-all-Prinzip orientieren (FRANKE & RISCH 2009, S. 822; RADOW 1999, S. 28; ZÄH ET AL. 2007A, S. 646) und somit inhaltlich nicht ausreichend anforderungsgerecht gestaltet sind (ADAMI ET AL. 2008, S. 196; AEHNELT & BADER 2014, S. 2; HAUG 2015, S. 170). Dies hat vor allem zwei Effekte zur Folge: Zum einen ist die Werkerinformation im Sinne der *Informationsübermittlung ineffizient* (FELDMANN ET AL. 2002, S. 405; WIESBECK 2014, S. 52), sodass kostenintensive Arbeitszeit mit nicht wertschöpfenden Tätigkeiten verbracht wird. Beispielsweise liegen Produktänderungshinweise nicht direkt am Arbeitsplatz bereit oder erfahrene Werker erhalten zu viele Informationen. Zum anderen resultieren *signifikante Nacharbeitsaufwände*, wenn unzureichende Informationen Montagefehler verursachen (FELDMANN & LANG 2005, S. 28; WIESBECK 2014, S. 4). Zum Beispiel können Produktänderungen übersehen werden oder einem unerfahrenen Mitarbeiter nicht ausreichende Informationen vorliegen.

Aus den Handlungsoptionen im Kontext von Industrie 4.0 entsteht die *Lösungsidee* eines dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems. Dieses soll statische Standardlösungen ersetzen und damit dem un stetigen Produktionsumfeld begegnen. Die Individualität löst One-fits-all-Informationen ab und soll einer heterogenen Gruppe von Produktionsmitarbeitern gerecht werden. Die bis hierhin beschriebene Argumentationskette ist in Abbildung 1-2 zusammengefasst.

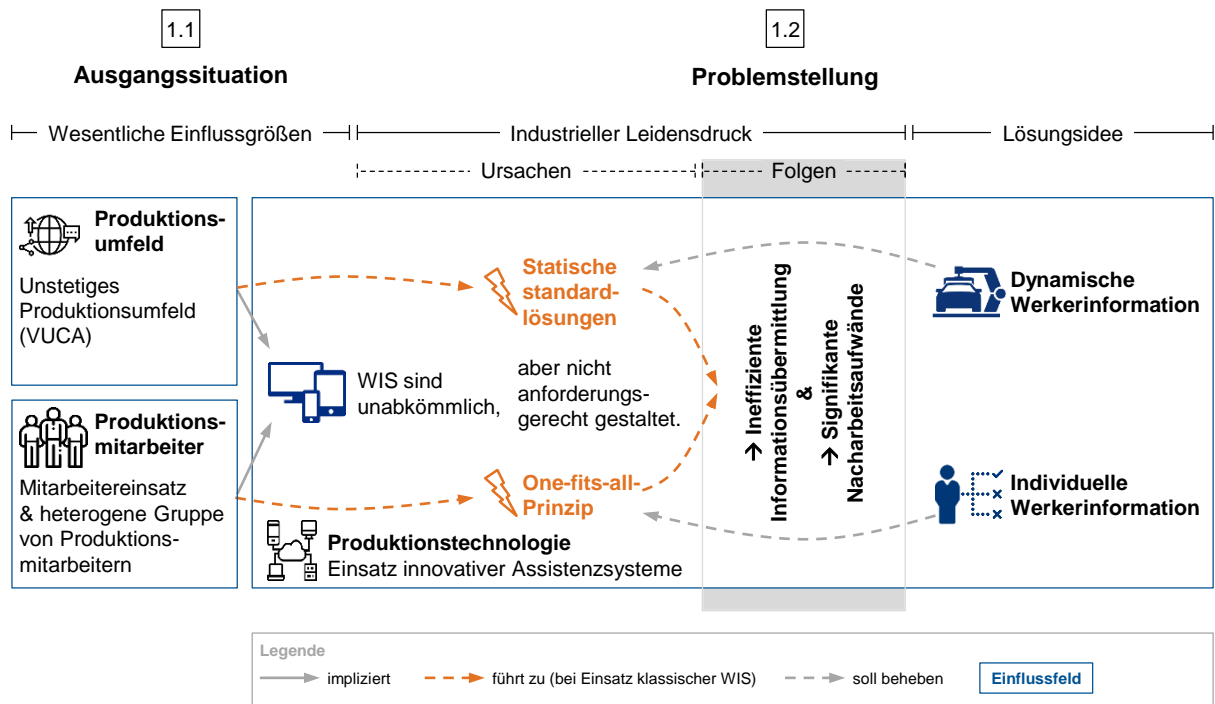


Abbildung 1-2: Argumentationskette zur Entstehung der Lösungsidee dynamischer und individueller Werkerinformation zur Adressierung der Problemstellung

Hierbei treffen die zwei grundsätzlichen Arten der ingenieurstechnischen Innovation aufeinander, bei der entweder für ein bestehendes Mittel ein neuer Zweck gefunden wird oder bei der für einen bestehenden Zweck ein neues Mittel entwickelt wird (KORNWACHS 2018, S. 39). Für das bestehende Mittel der Digitalisierung und Vernetzung wurde ein neuer Einsatzzweck gefunden. Das exakte neue und damit innovative Mittel in Form eines dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems für den Zweck „Behebung des industriellen Leidensdrucks“ gilt es jedoch noch zu entwickeln, woraus sich die Zielsetzung dieser Arbeit ableitet, die im nächsten Abschnitt detailliert wird.

1.3 Zielsetzung

Unter der *Forschungshypothese*, dass in einer manuell geprägten hochvariablen Serienmontage mit einer dynamischen und individuellen Werkerinformation dem industriellen Leidensdruck begegnet und zur Informationseffizienzsteigerung sowie Nacharbeitsreduktion beigetragen werden kann, lautet das *Ziel* dieses Dissertationsprojekts:

Anforderungsgerechte Informationsbereitstellung mittels eines dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems

Die Bedeutung von ‚anforderungsgerecht‘ wird in Kapitel 4 mit einer Studie zu inhaltlichen Anforderungen spezifiziert. An dieser Stelle sei betont, dass sich dieses Forschungsprojekt

nicht auf eine ergonomisch anforderungsgerechte Gestaltung oder eine technisch hardwareorientierte Entwicklung eines Werkerinformationssystems (Arbeitsmittels) fokussiert.

Ein dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem stellt dynamische und individuelle Werkerinformation bereit und ist damit das Mittel zum Zweck. Dabei sind dynamische oder individuelle Informationen für diese Arbeit nach TEUBNER ET AL. (2019B, S. 353) wie folgt definiert:

Eine dynamische Information ist angepasst an das Produkt oder den Prozess.

Eine individuelle Information ist angepasst an den Werker.

Für die Zielerreichung werden zwei *wissenschaftliche Arbeitsergebnisse* angestrebt. Grundsätzlich ist die Modellierung des erforderlichen dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems notwendig. Zudem soll eine Konfigurationsmethode interessierte Unternehmen bei der Implementierung des entwickelten Werkerinformationssystems unterstützen, damit Industriebetriebe von den Erkenntnissen profitieren und ihren Leidensdruck beheben können.

Die Arbeitsergebnisse können keine allgemeingültige Anwendbarkeit für jegliche Produktionssysteme beanspruchen, sondern beziehen sich zwangsläufig auf einen für die Anwendung geeigneten *Betrachtungsbereich*. Abbildung 1-3 stellt ausgehend vom Produktionssystem die Fokussierung auf bildschirmbasierte Werkerinformationssysteme anhand einer kaskadischen Subsystembetrachtung dar. Aufgrund des intensiven Mitarbeiterinsatzes, der hohen Informationsvielfalt und der zeitkritischen Aufgabendurchführung wird die Betrachtung von Montagearbeitern (auch Werkern genannt) einer manuell geprägten hochvariablen Serienmontage nach dem Fließprinzip als sinnvoll erachtet, wie in den vorherigen beiden Abschnitten hergeleitet wurde. Dabei werden, wie in der Definition eines Werkerinformationssystems verankert (siehe Abschnitt 1.2), ausführungsbegleitende prozess- und produktbezogene sowie explizite, regelbasierte Informationen fokussiert. Zudem soll in dieser Forschungsarbeit die Information und nicht die Technologie im Vordergrund stehen. Daher werden bildschirmbasierte Werkerinformationssysteme genutzt, wie sie oftmals schon in den Betrieben eingesetzt werden, denn große Monitore bieten ausreichend Platz für die Vielzahl an Informationen.

Produktions- system	Betrachtungsbereich	Abgrenzung zu anderen ...
Fokussierung	<ul style="list-style-type: none"> Manuell geprägte Montage 	<ul style="list-style-type: none"> ... Unternehmensbereichen wie Instandhaltung, Logistik oder (vollautomatisierten) Montage-/Fertigungsanlagen
	<ul style="list-style-type: none"> Hochvariable Serienmontage nach Fließprinzip 	<ul style="list-style-type: none"> ... Produktionsarten wie Einzel-, Massenproduktion und Produktionsprinzipien wie Baustellen-, Werkstatt-, Gruppenproduktion
	<ul style="list-style-type: none"> Montagemitarbeiter (Werker) auf Arbeitsstationsebene 	<ul style="list-style-type: none"> ... Mitarbeitergruppen wie Montagebereichsleiter, Gruppenleiter
	<ul style="list-style-type: none"> Unterstützung der Wahrnehmung von Montageaufgaben 	<ul style="list-style-type: none"> ... Assistenzfeldern wie Entscheidung, Ausführung (Bedienkonzepte, Mensch-Roboter-Kollaboration, Kameraüberwachung)
	<ul style="list-style-type: none"> Ausführungsbegleitende prozess- und produktbezogene Informationen 	<ul style="list-style-type: none"> ... Informationsarten wie Einsatzplanung, Produktionskennzahlen
	<ul style="list-style-type: none"> Explizite und regelbasierte Werkerinformation 	<ul style="list-style-type: none"> ... Informationsquellen wie formlose (meist mündliche) Mitarbeiterunterweisung oder vorkommissionierte Komponenten
	Werker- informations- system	<ul style="list-style-type: none"> Bildschirmbasierte Werkerinformationssysteme

Abbildung 1-3: Kaskadische Subsystembetrachtung zur Fokussierung des Betrachtungsbereiches einer bildschirmbasierten Werkerinformation für manuell geprägte, hochvariable Serienmontage

Entsprechend der Zielsetzung sind drei leitende *Forschungsfragen* zu beantworten, die als Wegweiser für die Lösungsfindung aufgefasst werden können. Sie ergeben sich entlang des Dreischritts synchron zur Funktionsweise eines potenziellen Werkerinformationssystems: 1) Kontext erfassen, 2) Informationen komponieren, 3) Informationen bereitstellen.

FF1) *Kontext erfassen*: Welche Werkerinformationspakete und welche Parameter müssen für eine dynamische und individuelle Werkerinformation erfasst werden?

FF2) *Informationen komponieren*: Wie können dynamische und individuelle Werkerinformationen komponiert werden?

FF3) *Informationen bereitstellen*: Wie können dynamische und individuelle Werkerinformationen bereitgestellt werden?

Die mit der Erforschung der entsprechenden Antworten einhergehende Vorgehensweise wird in Abschnitt 1.5 detailliert vorgestellt. Zuvor wird mit dem nächsten Abschnitt ein Überblick zur Gliederung der Inhalte gegeben.

1.4 Arbeitsaufbau

Den Aufbau dieser aus neun Kapiteln bestehenden Forschungsarbeit wird in Abbildung 1-4 illustriert. Sie strukturiert zentrale, inhaltliche Komponenten in der Gliederung und kennzeichnet die Forschungsartefakte. Unter Forschungsartefakten werden in dieser Arbeit elementare gedankliche Konstrukte verstanden, die während des Forschungsprozesses als Eckpfeiler einer wissenschaftlichen Aufgabenstellung dienen.

Nach der bereits beschriebenen Ausgangssituation, Problemstellung sowie Zielsetzung werden in diesem und nächsten Abschnitt der Aufbau der Arbeit sowie die Forschungskonzeption vorgestellt. In Kapitel 2 wird die terminologische Grundlage für das Verständnis der Arbeit gelegt. Im Stand der Forschung (Kapitel 3) werden bestehende Arbeiten in den Bereichen dynamischer und individueller Werkerinformationssysteme im gewählten Betrachtungsbereich untersucht und ein Forschungsbedarf im Sinne eines wissenschaftlichen Leidensdrucks abgeleitet.

In Kombination mit einer zusätzlichen Studie, bei der Produktionsexperten und Produktionsmitarbeiter einbezogen wurden, werden Anforderungen zu dynamischer und individueller Werkerinformation spezifiziert (Kapitel 4). Mit Hilfe der Systemtheorie wird in Kapitel 5 das Werkerinformationssystem beschrieben. Die notwendigen Systemfunktionen werden aus den Anforderungen überführt und laufen nach einem Dreischritt aus Kontext erfassen, Informationen komponieren und Informationen bereitstellen ab. Die Funktionen werden von Systemelementen und -relationen ermöglicht, die in Form von Lösungsbausteinen entlang der Forschungsfragen erarbeitet werden.

In Kapitel 6 wird die Konfigurationsmethode vorgestellt, die in Kapitel 7 beispielhaft mit entwickelten Prototypen des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems angewendet wird. Darauf folgen die Evaluation und die Abschlussbetrachtung.

Die Erarbeitung der Inhalte erfolgte nicht linear chronologisch, wie es die sequenzielle Gliederung des in Form dieser Dissertation vorliegenden Abschlussberichts des Forschungsprojekts andeutet, sondern während eines heuristischen, von Iterationen geprägten Erkenntnisprozesses (KUBICEK 1977, S. 12-15). Dass dieser sich wesentlich von einer zufälligen, subjektiven und damit unwissenschaftlichen Arbeitsweise abhebt, belegt der nächste Abschnitt, in dem die umgesetzte Forschungskonzeption dargelegt wird.

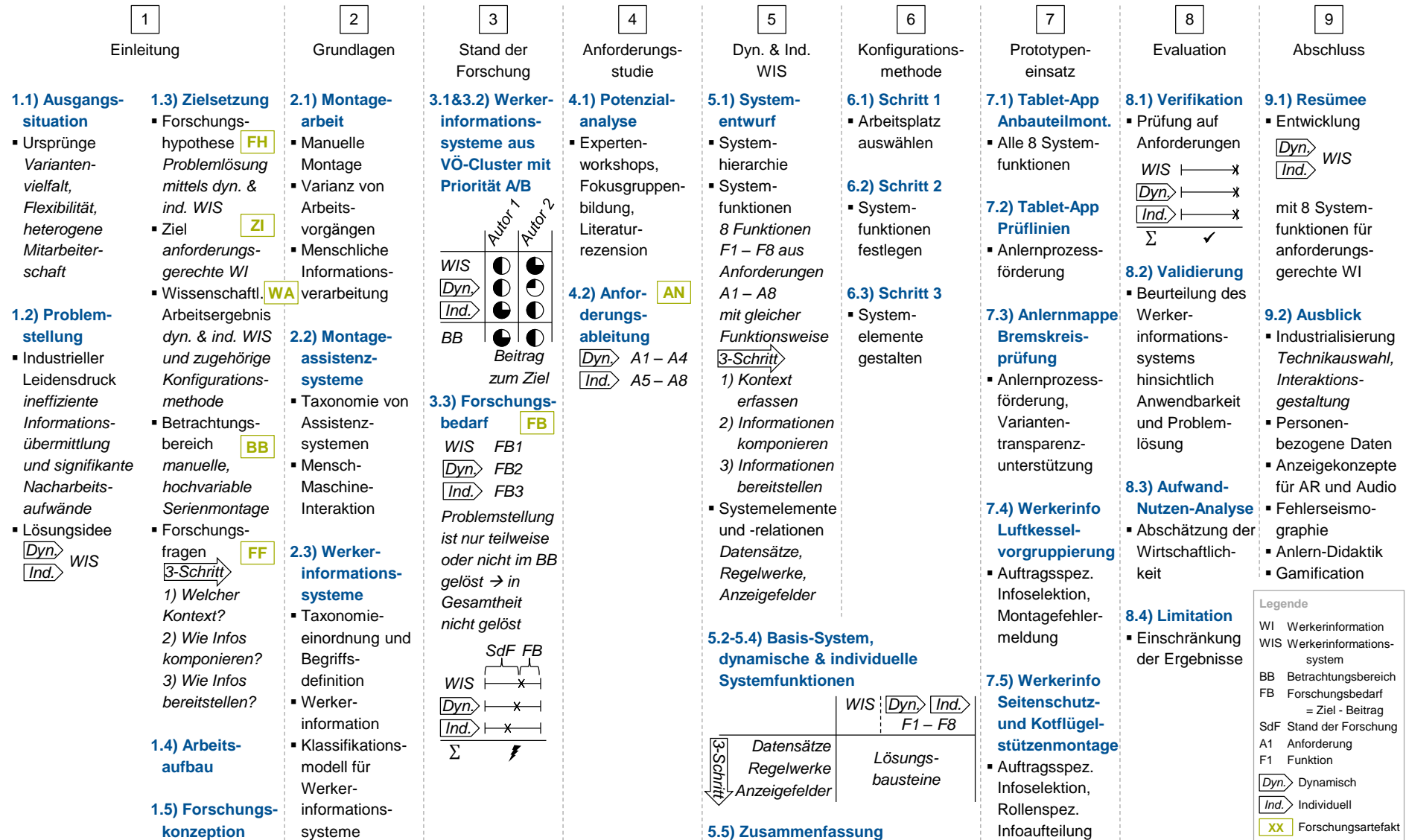


Abbildung 1-4: Aufbau der Arbeit mit Abschnitten, zentralen inhaltlichen Komponenten und gekennzeichneten Forschungsartefakten

1.5 Forschungskonzeption

Im Zuge der Forschungskonzeption erfolgt die Einordnung des Forschungsprojekts in den wissenschaftstheoretischen Kontext. Anschließend wird auf das Forschungsvorgehen sowie auf den unterstützenden Forschungsbaukasten eingegangen.

Wissenschaftstheorie

Die Wissenschaftssystematik (Abbildung 1-5) unterscheidet zwischen den Formalwissenschaften zur Konstruktion von Zeichensystemen (beispielsweise Mathematik) und den Realwissenschaften, welche wiederum in die Grundlagenwissenschaften zur Erklärung empirischer Wirklichkeitsausschnitte (beispielsweise Naturwissenschaften) sowie die Handlungswissenschaften zur Analyse menschlicher Handlungsalternativen (beispielsweise Sozialwissenschaften für den gesellschaftlichen Bereich oder Ingenieurwissenschaften für den technischen Bereich), untergliedert werden können. Die Handlungswissenschaften bauen auf den Grundlagen- und Formalwissenschaften auf und werden auch als angewandte Wissenschaften bezeichnet, was für den technischen Bereich und die hier vorliegende Arbeit treffender erscheint, da in erster Linie unter Anwendung von wissenschaftlichen Kenntnissen technische Systeme konstruiert werden. (ULRICH & HILL 1976A, S. 305)

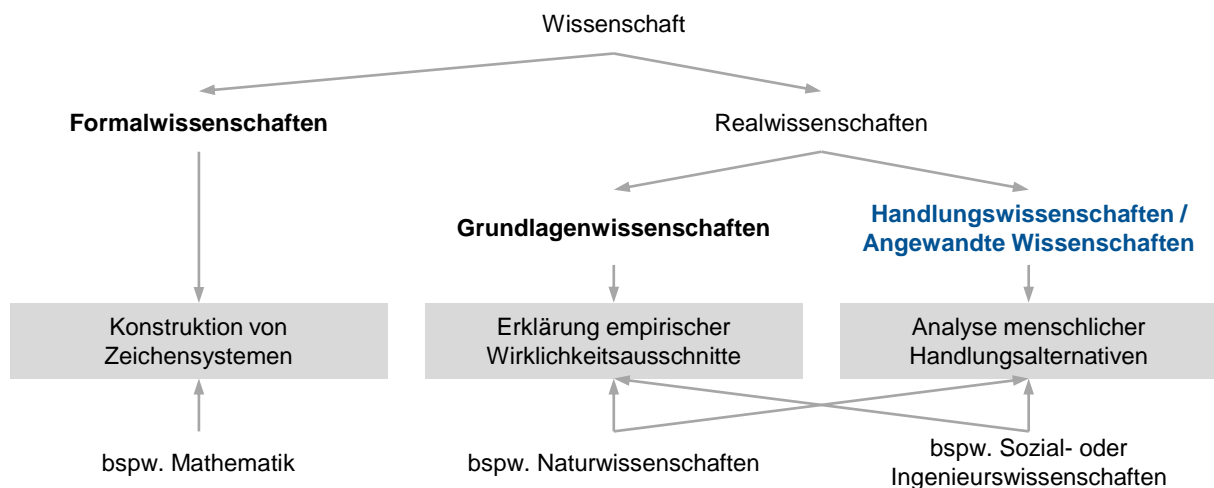


Abbildung 1-5: Systematik zur Klassifikation von Wissenschaften

(ULRICH & HILL 1976A, S. 305)

Während in den Grundlagenwissenschaften oder Formalwissenschaften wissenschaftsinhärente Probleme und Zielsetzungen im Theoriezusammenhang untersucht werden, zeichnet sich die angewandte Wissenschaft durch ein aus der Praxis gewonnenes Wissenschaftsziel aus. Das nutzenorientierte Wirken im realen soziotechnischen System steht im Vordergrund (ULRICH 1982, S. 3-4). Damit nimmt der anwendungsorientierte Forscher die Rolle eines

„Wirklings“ ein, der im Gegensatz zum „Merkling“ nicht nur ein System beobachtet, sondern dieses auch gestaltet (ULRICH 1984, S. 135-136).

Demzufolge zielen die Forschungsfragen nicht auf eine Hypothesenprüfung ab, sondern stellen theoretisch geleitete Fragen an die Realität dar, die das Vorverständnis um neue Erkenntnisse erweitern sollen (KUBICEK 1977, S. 14-16). So sind auch die Forschungsfragen aus Abschnitt 1.3 konstruktiv formuliert und betonen damit den explorativen Charakter dieser Arbeit. Die Forschungshypothese ist dabei im Sinne einer Prämisse als begründete Annahme und notwendig Voraussetzung für ein sinnvoll gesetztes Ziel anzusehen.

Die realwissenschaftliche Forschung ist jedoch dem Subjektivitätsproblem ausgesetzt, unter das unvermeidbar unterschiedliche Wahrnehmungen, Interessensbezüge und Werturteile der Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler fallen. Diesem soll vor allem mit einem strukturierten Forschungsvorgehen begegnet werden. (ULRICH & HILL 1976A, S. 306)

Forschungsvorgehen

Das Forschungsvorgehen wird anhand zweier Aspekte beleuchtet, die in Abbildung 1-6 mit der Gliederung aus vorangegangenem Abschnitt in Bezug gesetzt werden. Zum einen ist das übergeordnete *Forschungsprogramm* dargestellt, in dem die zu erarbeitenden Inhalte beziehungsweise (Er-)Kenntnisse festgeschrieben sind. Zum anderen wird der „operative“ *Forschungsprozess*, aus dem sich die Erkenntnisse ergeben haben, durch die über die Zeit aufgetragenen Pfade im Diagramm skizziert.

Bisher hat sich für die Produktionswissenschaften noch kein eigenes Forschungsprogramm etabliert, sodass sich viele Forschungsprojekte an dem Betriebswirt ULRICH (1984, S. 192-196) oder der Design Research Methodology von BLESSING & CHAKRABARTI (2009, S. 9) orientieren. Beide Ansätze werden jedoch aufgrund ihrer vorgegebenen Struktur für dieses Forschungsprojekt nur teilweise als geeignet angesehen¹². Daher wurde lediglich eine grobe Zuordnung der vorgeschlagenen Arbeitspakete zu den Kapiteln vorgenommen und von den drei Problemlösungsphasen (Zielsuche, Lösungssuche, Auswahl nach DAENZER ET AL. 1997, S. 48) ein harmonisiertes, fünfteiliges Forschungsprogramm für dieses Projekt abgeleitet und verfolgt. Zuerst werden das Praxisproblem (industrieller Leidensdruck) und im

¹² Die Erläuterungen von ULRICH (1984, S. 192-196) sind hinsichtlich der Einbeziehung von Formal- und Grundlagenwissenschaften unpräzise und lassen sich zudem nicht direkt auf diese Arbeit übertragen, da naturwissenschaftliche Erkenntnisse nicht unmittelbar einfließen. Viel mehr werden Grundlagen und Lösungen aus dem Bereich der angewandten Wissenschaften untersucht, um begleitet von einem Abstraktionsprozess den Forschungsbedarf zu identifizieren. Die Design Research Methodology legt Schwerpunkte auf ein hypothesenprüfendes Vorgehen und den Aufbau von „Reference-Models“ und „Impact Models“ (BLESSING & CHAKRABARTI 2009). Hier soll vor allem ein konstruktives Vorgehen mit explorativem Charakter im Vordergrund stehen, für das der Aufbau genannter Modelle nicht zielführend scheint.

Zuge einer Abstraktion der zugehörige Forschungsbedarf identifiziert. Darauf folgt die Entwicklung einer Lösung, die prototypisch umgesetzt und evaluiert wird. Abschließend wird die Lösung zurück in die Praxis gegeben, wobei die anwendungsfallbezogene Konkretisierung respektive die unternehmensspezifische Umsetzung nicht Teil dieser Ausarbeitung sind. Das Forschungsprogramm unterteilt sich weiter in die entsprechenden Gliederungspunkte der Arbeit. Zudem sind die Ansätze von ULRICH sowie BLESSING & CHAKRABARTI bezüglich des Erkenntnisprozesses nicht sehr spezifisch. Daher wird neben dem Forschungsprogramm, das hauptsächlich in zu erarbeitenden Inhalten (Inhaltspakete) resultiert, die heuristischen Konzeption nach KUBICEK (1977, S. 3-36) zur Erläuterung des operativen Forschungsprozesses herangezogen. Er stellt dabei den von Forschungsfragen geleiteten Erkenntnisprozess als iterativen Lernprozess in den Mittelpunkt, der wechselseitig vom theoretischem Vorverständnis und von datengestützten (Praxis-)Erfahrungen vorangetrieben wird (KUBICEK 1977, S. 12-15; ZOHM 2004, S. 9). Das initiale Vorverständnis¹³ zum Projekt wird als heuristischer Bezugsrahmen bezeichnet, der mit den Iterationen ständig detailliert wird (KUBICEK 1977, S. 16). Während die Inhaltspakete des Forschungsprogramms wiederholt durchlaufen werden, verdichtet sich der Bezugsrahmen bis hin zur Lösung des Problems in Form eines dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems. Anhand der Pfade aus Abbildung 1-6 und bei der Betrachtung der Spalte des fünften Kapitels in der Abbildung lassen sich drei grobe Iterationschleifen identifizieren, die in diesem Projekt durchlaufen wurden. Dabei wurde das Werkerinformationssystem über vier Entwicklungsstufen detailliert, die drei chronologischen Phasen eines Dissertationsprojekts zugeordnet werden können: Zielsetzung formulieren, Lösungsidee konzipieren und Lösungskonzept umsetzen.

¹³ Aus wissenschaftlicher Sicht ist dabei die Offenlegung der persönlichen Erkenntnisperspektive wichtig, um die Entscheidungsgrundlage nachvollziehen zu können (KUBICEK 1977, S. 17). Darüber hinaus führt SKINNER (2007, S. 335) den Erfolg der Harvard Business School auf das Aufnehmen praktischen Erfahrungswissens zurück, das sicherlich auch für die deutschen produktionstechnischen Institute gilt. Der Autor war in der Themengruppe Produktionsmanagement und Logistik mit dem Forschungsschwerpunkt Mensch in der Fabrik am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München beschäftigt. Dabei hat die für die Ingenieurwissenschaften typische Industrienähe durch zahlreiche Industrieprojekte, Dialoge mit Industrievertretern in den Forschungslaboren des Instituts und Firmenbesichtigungen zu einem großen Erfahrungsschatz bezüglich der Probleme und Herausforderungen in der manuellen Montage geführt. Darüber hinaus bestand ein sehr enger Kontakt zu einem Industrieunternehmen, bei dem prototypisch Umsetzungen und Evaluationen stattgefunden haben. Während des Forschungsprojekts getroffene Entscheidungen wurden durch das persönliche Erfahrungswissen implizit beeinflusst, erhalten dadurch aber gleichzeitig auch einen validen Charakter. Die persönliche Erkenntnisperspektive spiegelt sich insbesondere auch in der aus diesem Grund ausführlichen Darlegung und Interpretation der Ausgangssituation wider.

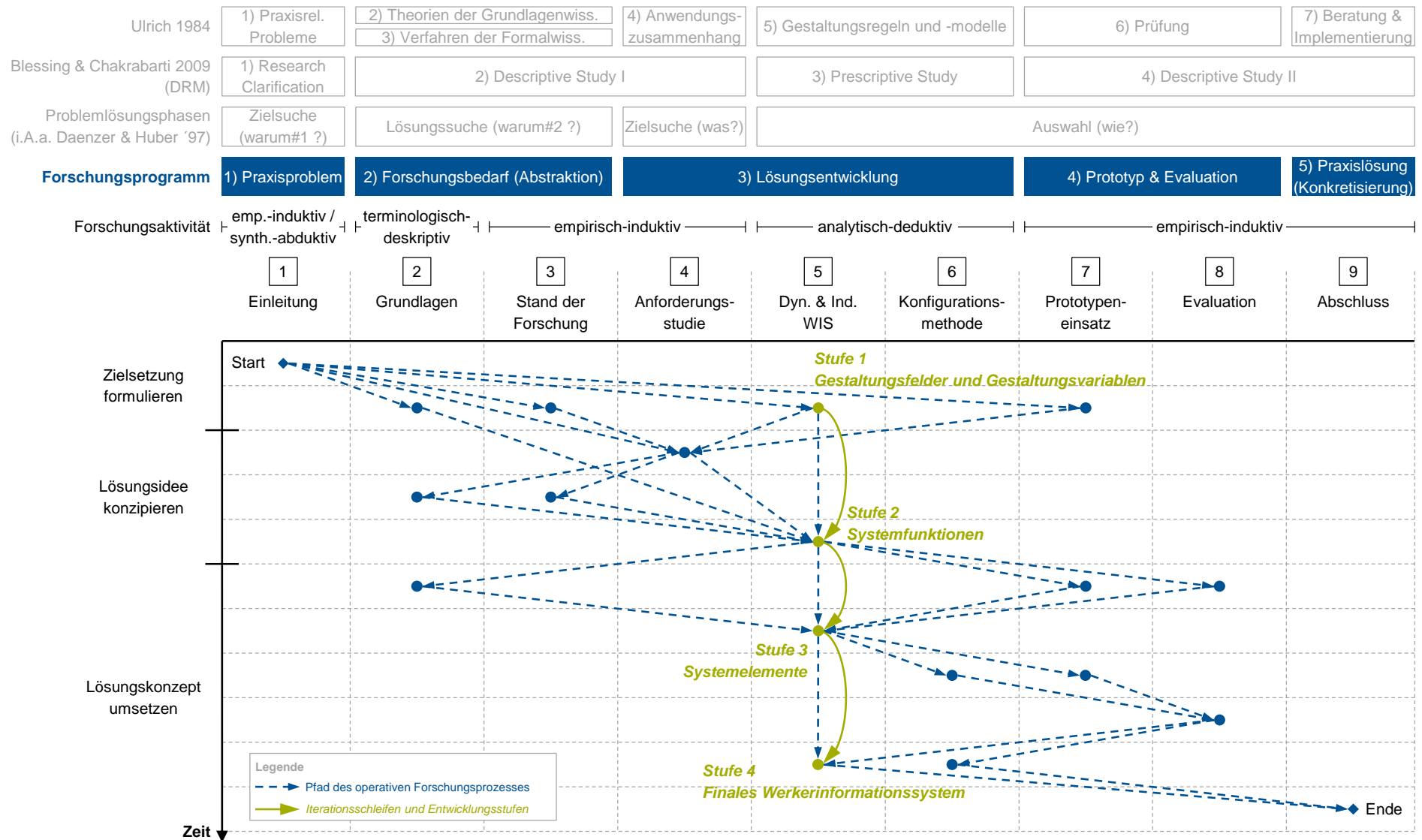


Abbildung 1-6: Forschungsvorgehen als Kombination von Forschungsprogramm und Forschungsprozess

Erst am Ende kann der „Wirkling“, der das anfangs unscharfe Forschungsobjekt gleichzeitig beobachtet und gestaltet, eine finale Systemdefinition formulieren. Das erklärt, warum sich entsprechende Forscherrollen repetitiv und intensiv mit der Modellierung des betrachteten Systems und dessen Umfeld befassen, was sich auch in dieser Arbeit in einer umfangreichen Beschreibung und Klassifikation von Werkerinformationssystemen in Kapitel 2 niederschlägt.

Forschungsbaukasten

Um bei dem Erkenntnisprozess das erfahrungsschatzgetriebene Realitätsverständnis zu objektivieren und dem schon genannten Subjektivitätsproblem weiter Herr zu werden, obliegt es dem Forscher, passende *Methoden* und *Techniken* zu wählen, die auf wissenschaftlichen *Prinzipien* und *Werten* basieren. Die genannten vier Elemente werden in einem Forschungsbaukasten zusammengestellt (Abbildung 1-7) und im Folgenden erläutert.

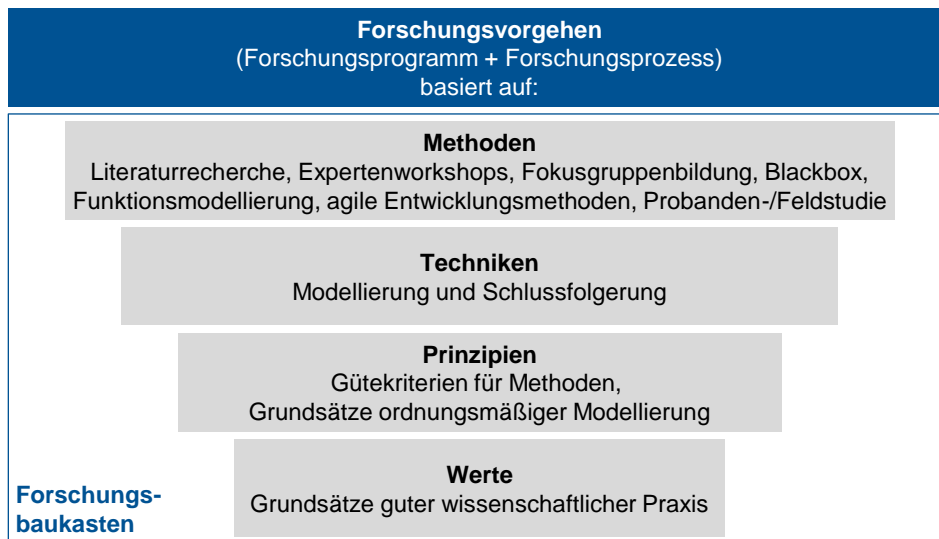


Abbildung 1-7: Forschungsbaukasten zur Unterstützung eines objektiven Forschungsvorgehens

Für die Erarbeitung der Inhalte wurden unterschiedliche wissenschaftliche *Methoden* eingesetzt, um ein strukturiertes und planmäßiges Vorgehen zu gewährleisten (LINDEMANN 2009, S. 57). Die Literaturrecherche aus Kapitel 3 wurde mit Suchbegriffen und Informationsquellen methodisch unterstützt. Für die Definition der Anforderungen (Kapitel 4) sind neben der Ableitung des Forschungsbedarfs aus dem Stand der Forschung die Methoden Expertenworkshop und Fokusgruppenbildung eingesetzt worden. Die Anforderungen werden bei der Gestaltung des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems in Kapitel 5 unter Zuhilfenahme einer Blackbox-Betrachtung und Funktionsmodellierung in notwendige Systemelemente und -relationen überführt. Die Prototypen wurden mit agilen Methoden entwickelt und deren Anwendbarkeit in Probanden- und Feldstudien validiert. Die entsprechenden Methodenbeschreibungen sind im Anhang in Abschnitt 10.5 zu finden.

Für diese Arbeit kommen vor allem zwei *Techniken* zum Einsatz: Modellierung und Schlussfolgerung. Modellierung bezeichnet den abstrahierenden Vorgang zur Erstellung von Modellen, welche einen bestimmten Ausschnitt der Realität abbilden und damit als Hilfsmittel zur Erklärung und Gestaltung realer Systeme dienen¹⁴ (ADAM 1996, S. 60). Dabei können Modellarten wie Beschreibungs-, Erklärungs- oder Entscheidungsmodelle unterschieden werden (PATZAK 1982, S. 313-315). Eine Modellierungstechnik ist die Systemtheorie (siehe Abschnitt 10.7.1) (ROPOHL 1999, S. 83), mit der das Werkerinformationssystem in Kapitel 5 beschrieben beziehungsweise sprachlich-textuell modelliert wird.

Als drei Typen der Schlussfolgerung werden Induktion, Deduktion und Abduktion bezeichnet (PEIRCE 1991, S. 395-403). Bei der Induktion wird durch Beobachtung von Fall und Ergebnis eine Regel abgeleitet, während bei der Deduktion von einer Regel bei einem Fall eine Vorhersage über das Ergebnis getroffen wird. Bei der Abduktion wird eine erklärende Hypothese gebildet und damit im Gegensatz zur Induktion und Deduktion eine neue Idee eingeführt (PEIRCE 1991, S. 400). Es findet eine Folgerung statt, die von einem Ergebnis und von einer Regel auf einen eingetretenen Fall schließen lässt. Dabei erklärt sie, wie ein Ergebnis unter einer vermuteten Regel für einen unterstellten Fall zustande kommt. Abbildung 1-8 stellt die Schlussfolgerungstypen gegenüber, ergänzende Beispiele finden sich im Anhang in Abschnitt 10.7.2. (PEIRCE 1991, S. 232)

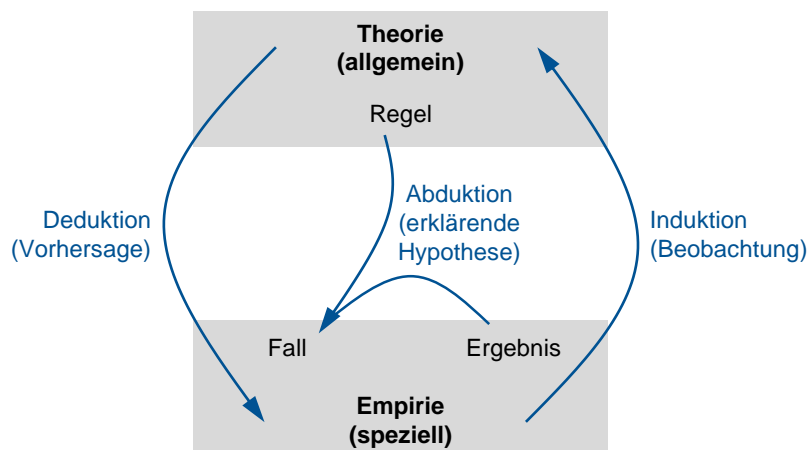


Abbildung 1-8: Drei Schlussfolgerungstypen (i.A.a. PEIRCE 1991, S. 395-403)

ULRICH & HILL benennen in dem Kontext drei charakteristische Forschungsaktivitäten: empirisch-induktive, analytisch-deduktive und terminologisch-deskriptive Aktivitäten. Empirisch-in-

¹⁴ Je nach Ziel und Perspektive wird der gleiche reale Sachverhalt unterschiedlich abgebildet. Während beispielsweise das Spektakel eines 100m-Laufs von einem Sportler mit der Geschwindigkeit der Läufer modellieren wird, betrachtet ein Modeschöpfer die Trikotfarbe der Athleten als Attribut.

duktive Aktivitäten beschreiben die Untersuchung sowie Generalisierung beobachtbarer Zusammenhänge. Der postulierte industrielle Leidensdruck, der abgeleitete Forschungsbedarf wie auch der Prototypeneinsatz und die Evaluation mit dem verallgemeinernden Abschluss folgen dieser Schlussweise. Analytisch-deduktive Aktivitäten sind logische, konstruktive Schritte, die ohne Induktion auskommen, und werden bei der Entwicklung des Werkerinformationssystems und der Konfigurationsmethode angewendet. (ULRICH & HILL 1976B, S. 347)

Ergänzend schlägt der Autor in Anlehnung an den abduktiven Schluss eine synthetisch¹⁵-abduktive Forschungsaktivität vor, bei der für diese Arbeit folgende einleitende Hypothese gebildet wird: Das erhoffte Ergebnis (Informationseffizienz und Nacharbeitsreduktion) kann unter der Anwendung einer noch nicht bekannten Regel (dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem) für den ausgewählten Fall (Einsatz in hochvariabler manueller Serienmontage) erzielt werden. Dies entspricht inhaltlich der Kombination aus Forschungshypothese und Betrachtungsbereich aus Abschnitt 1.3.

Terminologisch-deskriptive Aktivitäten sind ohne Schlussfolgerung und dienen der Schaffung eines Begriffssystems im Grundlagenteil (ULRICH & HILL 1976B, S. 347).

Die vier typischen Forschungsaktivitäten sind in Abbildung 1-6 den Kapiteln zugeordnet¹⁶.

Die Anwendung der Methoden und Modelle beruht auf den Gütekriterien für Methoden (Objektivität, Reliabilität, Validität nach HELFRICH 2016, S. 96) beziehungsweise Grundsätzen ordnungsmäßiger Modellierung (Richtigkeit, Relevanz, Wirtschaftlichkeit, Klarheit, Vergleichbarkeit, systematischer Aufbau nach SCHEER ET AL. 2002, S. 743-744), die als *Prinzipien* bezeichnet werden. Sie basieren wiederum auf *Werten*, wie sie in den Grundsätzen guter wissenschaftlicher Praxis verankert sind (Technische Universität München 2015, S. 1; i.A.a. DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT 2013, S. 15).

¹⁵ Synthetisch wird hier im Wortsinn einer künstlichen Verknüpfung verstanden (DUDEN 2019).

¹⁶ Zwar stellt POPPER (2005) die Gültigkeit induktiver Schlüsse im Rahmen seiner Arbeiten über die Logik der Forschung mit dem Konzept des Kritischen Rationalismus (Stichwort Falsifikation) grundsätzlich in Frage und auch KUBICEK (1977, S. 15) rät von einer reinen Typisierung der Forschung in induktiv oder deduktiv ab. Die teils wissenschaftsphilosophischen Fragen können jedoch an dieser Stelle nicht ausführlich diskutiert werden. Daher wird, im Hinterkopf haltend, dass der induktive Schluss keine strenge Gültigkeit besitzen kann, die gemischte Typisierung als beste Annäherung für die Schilderung des Vorgehens weiterverfolgt.

2 Grundlagen

Im Folgenden wird zunächst ein kurzer Überblick über grundlegende Begrifflichkeiten der Montagearbeit gegeben. Anschließend wird erläutert, wie Mitarbeiter durch Assistenzsysteme bei den Montageaufgaben unterstützt werden. Darauf folgt die Definition von Werkerinformationssystemen als Untergruppe von Montageassistenzsystemen. Dabei wird auch die Fokussierung des Betrachtungsbereichs aus Abbildung 1-3 (Seite 9) erläutert.

2.1 Montagearbeit

Manuelle Montage

Montage ist definiert als der „Zusammenbau von Teilen und/oder Gruppen zu Erzeugnissen oder zu Gruppen höherer Erzeugnisebene [...]“ und ist damit Bestandteil des Fertigungsprozesses in Produktionsbetrieben (VDI 2815, S. 3). Je nach Auftragsvolumen und Anordnung der Produktionsfaktoren werden unterschiedliche Fertigungsarten (Einmal-, Serien- und Massenfertigung nach AGGTELEKY 1990, S. 478-479) sowie Fertigungsprinzipien (Werkstatt-, Gruppen- und Fließfertigung nach WIENDAHL ET AL. 2009, S. 266-268) unterschieden (KETTNER ET AL. 1984, S. 198-223).

Mit Blick auf die Mitarbeiterressource kann zwischen mengen- und artbezogener Arbeitsteilung im Sinne einer Kapazitätsteilung unterschieden werden. Bei der Mengenteilung wird dem Mitarbeiter eine Teilmenge der Fertigungsaufträge zugeteilt, wofür er alle notwendigen Arbeitsvorgänge an den Arbeitsobjekten durchführt. Artteilung bedeutet, dass der Mitarbeiter den gleichen Arbeitsvorgang für alle Fertigungsaufträge erledigt. Je komplexer und umfangreicher die Gesamtheit der Arbeitsvorgänge ist, desto bedeutender wird die Arbeitsteilung, da die Kapazität der menschlichen Informationsverarbeitung begrenzt ist (SCHLICK ET AL. 2010, S. 439). (BULLINGER 1995, S. 103-112)

Damit für die einzelnen Mitarbeiter Montageaufgaben definiert werden, überführt die Arbeitsplanung die Produktionsaufträge je nach Produktionsprinzip und -art in *Sequenzen von Arbeitsvorgängen* und ordnet sie den Arbeitsplätzen zu. Die Aufgabe bestimmt die erforderliche Ausprägung der Arbeitssystemelemente Mensch, Technik und Organisation (MTO) sowie deren Schnittstellen untereinander und zum Umfeld (ULICH & WÜLSER 2010, S. 238-242). Im Arbeitsplan werden dann der Vorgangsfolge unter anderem zu verwendende Materialien, Arbeitsmittel oder Zeitvorgaben zugeordnet. (AWF & REFA 1968, Abschnitt 2, S. 4-6)

Als Arbeitsvorgang (AVO) oder Arbeitsgang wird ein einzelner Arbeitsschritt des Fertigungsablaufs bezeichnet, der vollständig an einem Arbeitsplatz durchgeführt wird (MEINBERG & TOPOLEWSKI 1995, S. 29). Mehrere Arbeitsvorgänge eines Arbeitsplatzes können zu einer Arbeitsvorgangsgruppe (AVOG) und mehrere Gruppen wiederum zur Montageaufgabe des Arbeitsplatzes (AP) zusammengefasst werden (Abbildung 2-1). Die Bezeichnung der Arbeitsvorgänge oder Arbeitsvorgangsgruppen resultiert oft aus der durchzuführenden Tätigkeit. In der Montage treten meistens die Tätigkeiten der Fertigungshauptgruppe Fügen¹⁷ sowie Handhabungs- und Kontrollvorgänge¹⁸ auf (LOTTER & WIENDAHL 2012, S. 2).

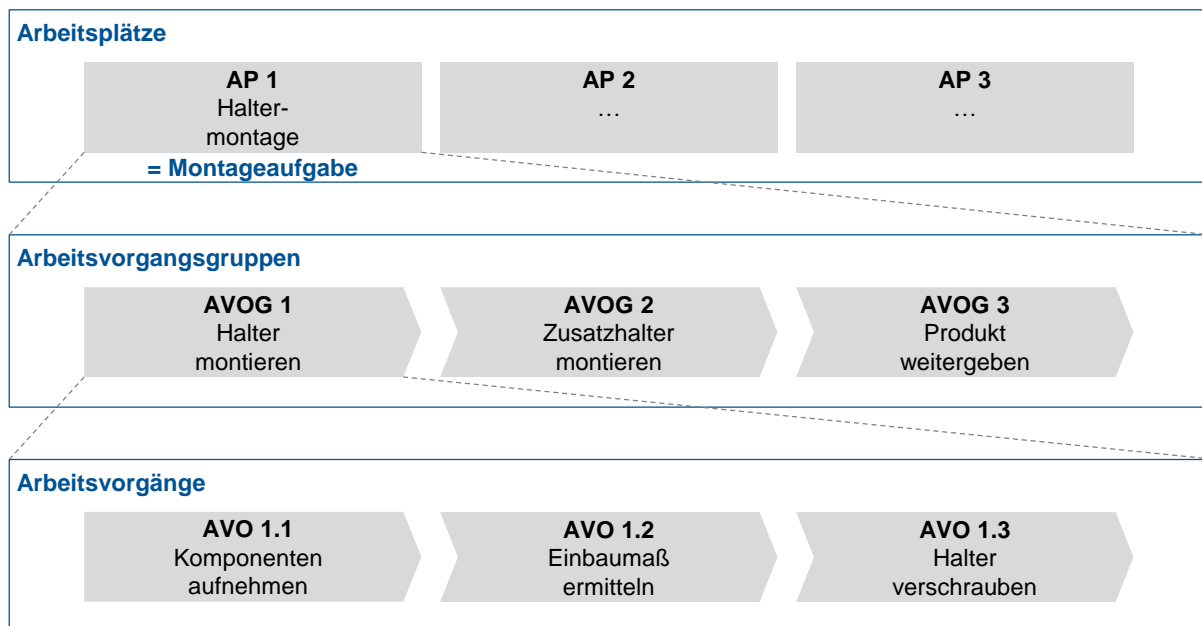


Abbildung 2-1: Hierarchie aus Arbeitsplatz, Arbeitsvorgangsgruppen und Arbeitsvorgängen

Varianz von Arbeitsvorgängen

Die Tätigkeiten können je nach Produktionsaufträgen einer großen Varianz unterliegen. Neben einer stückzahlmäßigen und einer zeitlichen Varianz in der wiederholten Fertigung von Erzeugnisvarianten ist die Artvarianz entscheidend für die Vielfalt des angebotenen Produktspektrums und der unterschiedlichen Arbeitsvorgänge. Dabei lässt sich zwischen *Produkt- und Produktionsvarianz* unterscheiden. (GROßE-HEITMEYER & WIENDAHL 2004, S. 6-8)

¹⁷ Fügertätigkeiten nach DIN 8580, S. 11: Zusammensetzen, Füllen, Anpressen und Einpressen, Fügen durch Urformen, Fügen durch Umformen, Fügen durch Schweißen, Fügen durch Löten, Kleben, textiles Fügen

¹⁸ Handhabungs- und Kontrollvorgänge nach VDI 2860, S. 4: Speichern, Mengen verändern, Bewegen, Sichern und Prüfen, Messen

Mit *Produktvarianz* werden Unterschiede der Produkt- und Baugruppenstruktur sowie der Einzelkonstruktion bezeichnet (GROßE-HEITMEYER & WIENDAHL 2004, S. 7). VDI 4500 (S. 54) spezifiziert weiterführend eine Variante als „unterschiedliche Ausführung von Produkten gleicher oder ähnlicher Leistungen und Bezeichnungen“. DIN 199 ergänzt „[...] einen in der Regel hohen Anteil identischer Gruppen oder Teile“.

Produktvarianz ist für den Kunden sichtbar und wird daher auch als *äußere Varianz* bezeichnet (FRANKE & FIRCHAU 2001, S. 11-12). Sie lässt sich weiter differenzieren in strukturelle und technische Varianz. Strukturelle Varianten entstehen durch additive Komponenten (Kann-Varianten) oder alternative Komponenten (Muss-Varianten), wobei es obligatorische und fakultative Alternativentscheidungen gibt. Bei der obligatorischen Entscheidung muss eine Variante ausgewählt werden. Im fakultativen Fall ist eine Standardvariante vorgegeben, falls keine Alternativentscheidung getroffen wird. Bei technischen Varianten unterscheiden sich Geometrie, Material oder Technologie des Produkts. (LINGNAU 1994, S. 26-28)

Die *Produktionsvarianz*, auch *innere Varianz* genannt (FRANKE & FIRCHAU 2001, S. 11-12), wird von der Produktvarianz induziert und kann darüber hinaus aus Prozessvarianten (beispielsweise unterschiedliche Montageabfolgen) oder Ressourcenvarianten (beispielsweise unterschiedliche Betriebsmittel oder Mitarbeiter) resultieren¹⁹ (ZENNER 2006, S. 50-51).

Aus der Produktionsvarianz, die auch als *Montagevarianz* bezeichnet werden kann, entstehen aus Perspektive des Mitarbeiters *Arbeitsvorgangsvarianten* (AVOV). Die Varianz von Arbeitsvorgängen ergibt sich dabei aus der Unterscheidung von vier Arten von Arbeitsvorgängen (Abbildung 2-2).

Beim *Standardarbeitsvorgang* wird vom Mitarbeiter immer die gleiche Alternative, und damit auch die technisch identische Komponente, auf die gleiche Weise verbaut. Bei der *obligatorischen Arbeitsvorgangsvariante* wird ebenfalls immer eine Komponente montiert. Sie variiert jedoch aus technischer Sicht. Hierunter sei auch eine unterschiedliche Einbauposition als technisches Merkmal gefasst, da sie zu einer geometrisch anderen Produktvariante auf höherer Erzeugnisebene führt. Die fakultative Kundenentscheidung macht sich bei den Arbeitsvorgängen für den Mitarbeiter nur als obligatorische Arbeitsvorgangsvariante bemerkbar. Beim *optionalen Arbeitsvorgang* ist die Komponente additiv, sodass der Arbeitsvorgang auch entfallen

¹⁹ Der Prozess- oder Ressourcenvarianz kann eine dynamische Arbeitsplanung zugrunde liegen, die sich in einer dynamischen Information widerspiegelt, aber nicht mit ihr gleichzusetzen ist. Beispielsweise befasst sich WIESBECK (2014) mit der Generierung alternativer Montageabläufe an einem Arbeitsplatz. Austaktungsplanung, bei der Tätigkeiten je nach Variante auf die Mitarbeiter verteilt werden, wie sie beispielsweise von PRÖPSTER (2015) beschrieben wird, kann auch ein Grund für Ressourcenvarianz sein.

kann. Mit technischer Varianz wird er zur *optionalen Arbeitsvorgangsvariante*²⁰. Zudem kann die Produktionsvarianz für einen Entfall des Arbeitsvorgangs sorgen und dadurch einen optionalen Arbeitsvorgang beziehungsweise eine optionale Arbeitsvorgangsvariante erzeugen.

Als Standardvariante (nicht zu verwechseln mit dem Standardarbeitsvorgang) wird zumeist die stückzahlstärkste Produktvariante bezeichnet, wohingegen die Exotenvariante durch eine sehr geringe Stückzahl charakterisiert ist (CAESAR 1991, S. 160-163). In dieser Arbeit wird der Begriff Referenzvariante bzw. *Referenzarbeitsvorgang* verwendet, um eine begriffliche Abgrenzung zum Standardarbeitsvorgang zu erzeugen und um bei mehreren Produktgruppen die häufigste Arbeitsvorgangsvariante innerhalb der Gruppe zu benennen.

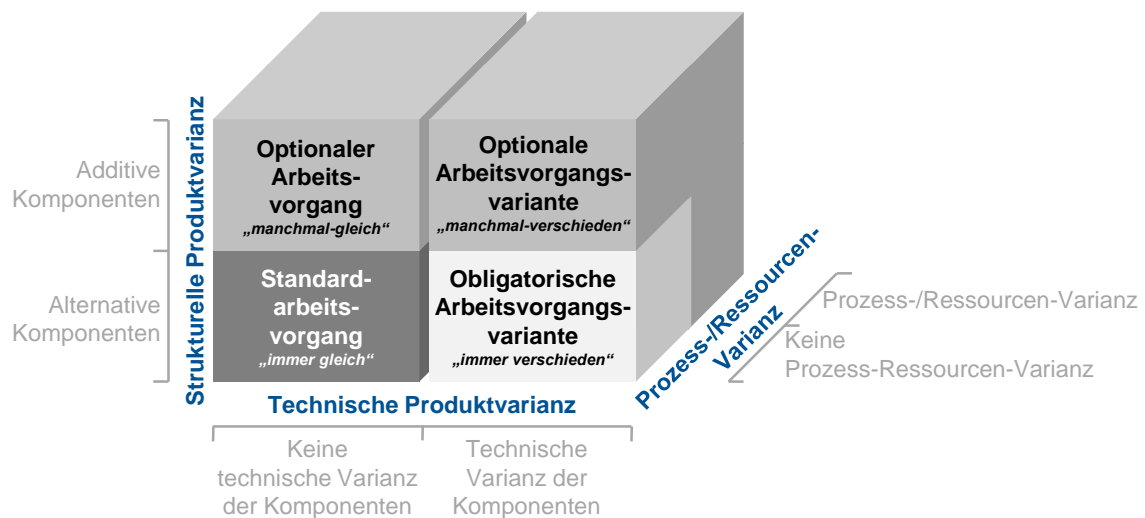


Abbildung 2-2: Vier Arten von Arbeitsvorgängen für die Unterscheidung der Varianz bei Arbeitsvorgängen

Menschliche Informationsverarbeitung

Die manuelle Montagearbeit, also die Verrichtung der Arbeitsvorgänge durch den Mitarbeiter, wird dem Stufenmodell²¹ zufolge immer nach dem gleichen, sequenziellen Ablaufmuster menschlicher Informationsverarbeitung durchgeführt (Abbildung 2-3) (LUCZAK 1993, S. 13).

²⁰ Wenn bei der additiven Komponente eine technische Varianz ohne Produktionsvarianz vorliegt, entstehen die drei Arbeitsvorgangsvarianten „Arbeitsvorgangsvariante α“, „Arbeitsvorgangsvariante β“ und „Entfall Arbeitsvorgang“. Der Begriff „Optional“ scheint dann im Zusammenhang mit Variante unnötig zu sein, jedoch soll er als Attribut zur Abgrenzung gegenüber den obligatorischen Arbeitsvorgangsvarianten bestehen bleiben.

²¹ Als nachteilig beim Stufenmodell wird die Annahme einer sequenziellen Informationsverarbeitung gesehen. Beispielsweise hat WICKENS ergänzend zu erweiterten Modellen der menschlichen Informationsverarbeitung, die Langzeit- und Arbeitsgedächtnis sowie Aufmerksamkeitsressourcen umfassen (WICKENS ET AL. 2016, S. 4), Theorien zur multiplen Ressourcennutzung entwickelt (LUCZAK 1993, S. 126-134). Spannend sind in dem Kontext auch die Untersuchungen von MILLER (1956) unter dem Titel „Magical Number Seven“, wobei die Aufnahmekapazität von Informationseinheiten (information chunks) untersucht wird. Für

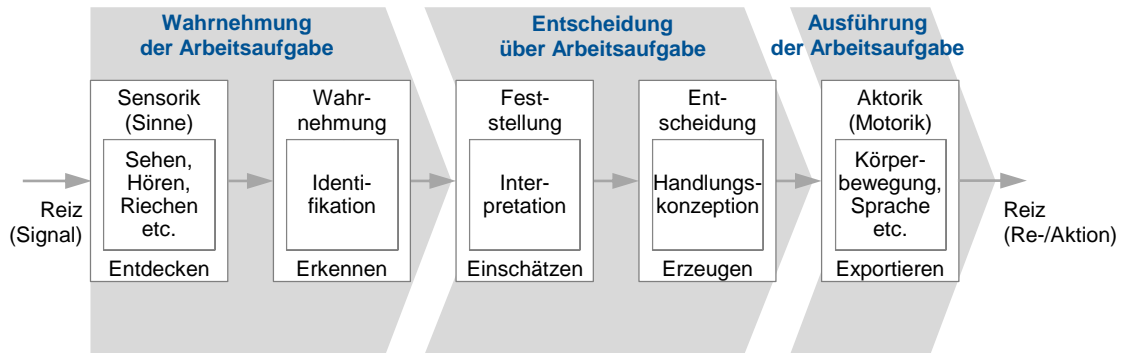


Abbildung 2-3: Sequenzielles Ablaufmuster menschlicher Informationsverarbeitung zur Verrichtung manueller Montagearbeit (i.A.a. GERKE 2015, S. 68; ZÜHLKE 2012, S. 6 basierend auf LUCZAK 1993, S. 13)

Die ersten beiden Schritte werden in der Phase *Wahrnehmung der Arbeitsaufgabe* zusammengefasst. Rund 80% der äußeren Reize werden dabei über den visuellen Sinn entdeckt (ZÜHLKE 2012, S. 7), weshalb sich diese Arbeit auch auf eine optische Informationsbereitstellung fokussiert (siehe Informationstechnologien aus Betrachtungsbereich in Abschnitt 1.3). Unter Reizen werden daher im Folgenden optische Signale in Form von Buchstaben und Ziffern verstanden (siehe Abschnitt Werkerinformation in 2.3).

Darauf folgt die zweite Phase *Entscheidung über Arbeitsaufgabe*, welche die Schritte drei und vier vereint. Dem erkannten Signal wird über kombinatorische und kreative Arbeit eine entsprechende Reaktion zugeordnet (LUCZAK 1993, S. 14), indem, basierend auf einer Einschätzung der vorliegenden Informationen, über mögliche Handlungen entschieden wird und somit neue Informationen erzeugt werden.

Es schließt die Phase *Ausführung der Arbeitsaufgabe* ab. Die geplante Handlung und die erzeugten Informationen werden über motorische Tätigkeiten (zum Beispiel durch Verschrauben zweier Komponenten) exportiert (LUCZAK 1993, S. 14).

Der nächste Abschnitt betrachtet Unterstützungsmöglichkeiten für den Montagearbeitsablauf.

2.2 Montageassistenzsysteme

Taxonomie von Assistenzsystemen

Unter *Assistenz- oder auch Unterstützungssystemen* werden jegliche Systeme verstanden, die dem Mitarbeiter bei seiner Arbeit behilflich sind (BENGLER ET AL. 2017, S. 57) (siehe auch

diese ingenieurwissenschaftliche Arbeit wird jedoch das sequenzielle Ablaufmuster als ausreichende Grundlage für die Einordnung von Assistenzsystemen erachtet (vgl. SCHLICK ET AL. 2010, S. 287).

Begriffsbedeutung „assistieren“ nach DUDEN 2019). Assistenzsysteme werden in vielen Bereichen wie beispielsweise Medizintechnik, Pflege und auch im produzierenden Gewerbe eingesetzt. Die Vielzahl an Zielsetzungen von Assistenzsystemen resultiert in verschiedenen Anwendungsfällen der Unterstützung und unterschiedlichen Taxonomien. Beispielsweise verfolgen KARAFILLIDIS & WEIDNER (2016, S. 242) mit ihrem Periodensystem einen interdisziplinären Ansatz. BINIOK (2016, S. 270) präsentiert das Konzept eines soziotechnischen Assistenzensembles, das sowohl soziale als auch technische Entwicklungen berücksichtigt.

Für die manuelle Montagearbeit scheint eine Taxonomie nach BENGLER ET AL. passend, da synchron zu den drei Phasen der Informationsverarbeitung (siehe Abschnitt 2.1) *Wahrnehmungs-, Entscheidungs- und Ausführungsassistenzsysteme* unterschieden werden. Die ersten beiden werden auch als kognitive und letztere als physische Assistenzsysteme bezeichnet (BENGLER ET AL. 2017, S. 57).

Einfache Manipulatoren bis hin zu komplexen, kollaborativen Robotersystemen werden der Ausführungsassistenz zugeordnet und zumeist als klassische Arbeitsassistenz verstanden. Ein System zur Entscheidungsunterstützung könnte beispielsweise eine intelligente Software mit präventiven Instandhaltungshinweisen sein. Einfache, papierbasierte Arbeitsanweisungen wie auch Augmented-Reality-Systeme gehören zur Wahrnehmungsassistenz, da der Mitarbeiter über sie seine Montageaufgaben erfahren kann. Selbstverständlich können alle Assistenztypen auch in einem System vereint werden. Dies könnte ein kamerabasiertes Überwachungssystem sein, das den Mitarbeiter warnt und Arbeitsanweisungen anzeigt, wenn er die Montageaufgabe nicht korrekt ausführt.

Mensch-Maschine-Interaktion

Montageassistenzsysteme schalten sich im Arbeitssystem zwischen Mitarbeiter und Arbeitsvorgang (siehe Abbildung 2-4). Damit gehören sie gemäß ISO 6385 zur Menge der Arbeitsmittel, welche wiederum als Teilmenge der Betriebsmittel angesehen werden kann.

Das Assistenzsystem nimmt Eingaben des Nutzers entgegen oder registriert über seine Sensorik Reaktionen des Mitarbeiters sowie Veränderungen des Umfelds und des Arbeitsvorgangs. Unter Zuhilfenahme von internen und externen Datenbanken oder Diensten generiert die Steuerungseinheit die an den Mitarbeiter gerichtete Ausgabe des Systems als auch die Aktionen der Aktorik, die auf den Arbeitsvorgang einwirken. (TEUBNER ET AL. 2016, S. 351)

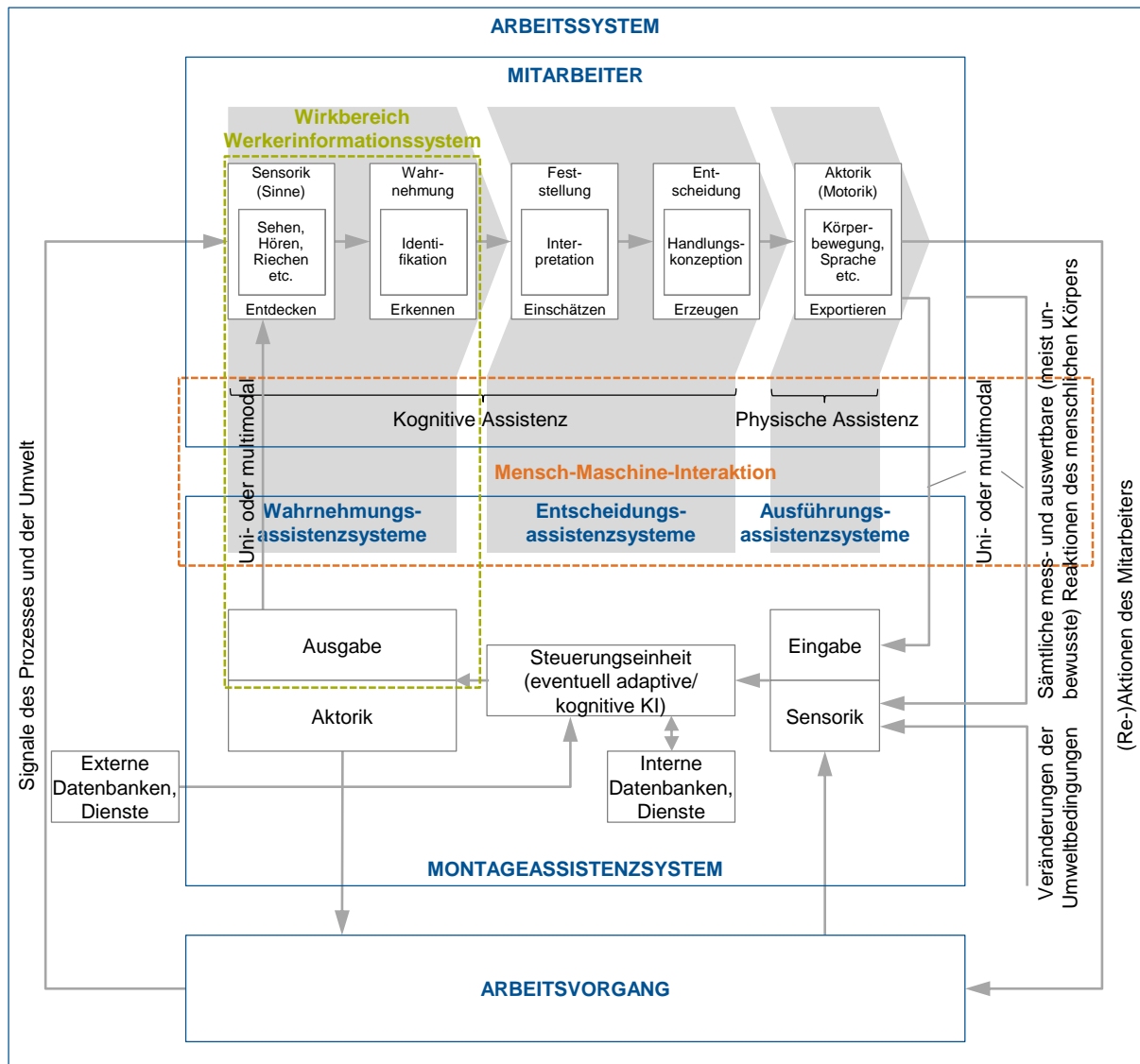


Abbildung 2-4: Interaktion zwischen Mensch und Assistenzsystem bei der Durchführung von Arbeitsvorgängen (TEUBNER ET AL. 2016, S. 352 aufbauend auf GERKE 2015, S. 64; i.A.a. AEHNELT 2016A, S. 60-63)

Der Interaktionsgrad zwischen Mensch und Maschine ist auf dem Kontinuum zwischen den Extremen der eigenständigen Ausführung und der vollständigen Automation angesiedelt (BENGLER ET AL. 2017, S. 58). SHERIDAN (1992) gibt mit den zehn Levels of Automation einen Überblick über die Abstufungsgrade der Aufgabenteilung, wobei die autonome Maschine als höchstes Level den Mitarbeiter substituiert und daher nicht mehr als Assistenzsystem eingeordnet wird (WEIDNER ET AL. 2015, S. 14). Eine Maschine auf dem niedrigsten Level Eins wird nicht als kognitives Assistenzsystem verstanden, da diese keine Unterstützung bei der Entscheidungsfindung anbietet und dem Nutzer alle Handlungen überlässt (SHERIDAN 1992).

Je nach Interaktionsgrad und Assistenztyp werden unterschiedliche Anforderungen an die Arbeitssicherheit als auch an die Gestaltung der Mensch-Maschine-Interaktion gestellt (BENGLER

ET AL. 2017, S. 58). Damit sind aus arbeitswissenschaftlicher Sicht eng verknüpft das Belastungs- und Beanspruchungskonzept und die drei Gestaltungsmaximen Funktion, Rückmeldung und Kompatibilität (siehe BUBB ET AL. 2016, S. 844) sowie die Conceptual Models (Designers Model, Users Model, System Image) von NORMAN (2013, S. 32), die es für eine nutzerfreundliche Produkt- und Produktionsergonomie bei der Assistenzsystementwicklung zu berücksichtigen gilt.

Werkerinformationssysteme sind eine *Untergruppe der Montageassistenzsysteme* und werden im folgenden Abschnitt näher betrachtet.

2.3 Werkerinformationssysteme

Taxonomieeinordnung und Begriffsdefinition

Werkerinformationssysteme²² unterstützen den Werker in der Wahrnehmung seiner Montageaufgabe. Oft wird synonym von Mitarbeiterinformationssystemen gesprochen (LANG 2007, S. 19). Der Begriff „Werker“ soll jedoch verdeutlichen, dass eine bestimmte Gruppe der Produktionsmitarbeiter adressiert wird. Unter Werkern werden Mitarbeiter verstanden, die eine *direkte Montageaufgabe* erfüllen. Die Mitarbeitergruppen wie Gruppenleiter oder Springer, die über Informationssysteme beispielsweise Produktionsprogramme oder Montagefehlermeldungen erhalten, sind nicht inkludiert (siehe Mitarbeitergruppe aus Betrachtungsbereich in Abschnitt 1.3). (TEUBNER ET AL. 2016, S. 353)

Werkerinformationssysteme interagieren zwar mit dem Werker über nutzerseitige Eingaben oder eigenständige Datenaufnahme, ihr hauptsächlichster *Wirkbereich* liegt jedoch mit Hinblick auf die Arbeitsunterstützung in der *Informationsausgabe* (siehe Abbildung 2-4). Weder kontrollieren sie den Werker noch führen sie die Tätigkeiten für ihn aus (siehe Assistenzfelder aus Betrachtungsbereich in Abschnitt 1.3). Bezogen auf die Levels of Automation von SHERIDAN lassen sie sich je nach Ausprägung als Level Zwei bis Vier eingruppiieren (Level Zwei: Es wird

²² Ein Informationssystem bezeichnet ein System zur Erfassung, Übertragung, Transformation, Speicherung und Bereitstellung von Informationen (FERSTL & SINZ 2013, S. 3). In dieser Arbeit wird der Fokus auf der inhaltlich anforderungsgerechten Informationsbereitstellung gelegt, während technische Fragestellungen zum Informationsfluss ausgeklammert werden. Ebenso wird die Informationserstellung, die für den Betrieb von Werkerinformationssystemen ebenfalls bedeutsam ist, nicht betrachtet. Damit haben sich beispielsweise die Forschungsprojekte MAMOS oder eProduction befasst. Das Themenfeld der Werkerinformationssysteme ist über die Taxonomieeinordnung hinaus eng verknüpft mit dem Informationsmanagement und dem Wissensmanagement. Die Aufgabe des Informationsmanagement ist die Bereitstellung der für den Entscheider erforderlichen Informationen zum richtigen Zeitpunkt und im richtigen Format (KRCMAR 2015, S. 90). Als Bausteine des Wissensmanagements werden Wissensziele, -bewertung, -identifikation, -bewahrung, -erwerb, -nutzung, -entwicklung und -verteilung genannt (NORTH 2011, S. 171).

ein komplettes Set an Handlungsalternativen angeboten. Level Drei: Es wird eine Auswahl an Handlungsalternativen vorgeschlagen. Level Vier: Es wird eine Handlungsalternative empfohlen (SHERIDAN 1992)). Die Kombination aus Wahrnehmungs- und Entscheidungsunterstützung, die eine Tätigkeitskontrolle beinhaltet, kann als Werkerführung aufgefasst werden und unterscheidet sich durch die Rückmeldeschleife signifikant von Werkerinformationssystemen. Die Aufgabe von Werkerinformationssystemen ist, dem Werker die richtigen Informationen zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Form, assoziiert zu seiner aktuellen Tätigkeit, bereitzustellen, damit dieser seine Tätigkeit effizient ausführen kann (TEUBNER ET AL. 2016, S. 352; i.A.a. LANG 2007, S. 18-19) (siehe Informationsarten aus Betrachtungsbereich in Abschnitt 1.3).

Aus den dargelegten Überlegungen werden die in Abschnitt 1.3 vorweggenommenen Begriffsdefinitionen abgeleitet:

Werkerinformationssysteme informieren Werker über auszuführende Tätigkeiten auf explizite und regelbasierte Weise. Die bereitgestellte Information wird als Werkerinformation bezeichnet. (TEUBNER ET AL. 2019B, S. 353; i.A.a. LANG 2007, S. 19)

Dynamische und individuelle Systeme beziehen kontextuelle Informationen über ihre Eingabemodule und Sensoren (siehe Abbildung 2-4) und passen die Information daraufhin an. Es wird nach TEUBNER ET AL. (2019B, S. 353) definiert:

Eine dynamische Information ist angepasst an das Produkt oder den Prozess.

Eine individuelle Information ist angepasst an den Werker.

Der Zusatz „auf explizite und regelbasierte Weise“ bei der Begriffsdefinition Werkerinformationssystem wird mit Hilfe von Abbildung 2-5 erläutert. Die *Informationsquellen*, aus dem der Werker die notwendigen Informationen wahrnimmt, entspringen grundsätzlich seinem gesamten Arbeitssystem und lassen sich anhand von zwei Dimensionen charakterisieren²³.

Werkerinformationssysteme stellen Information explizit und regelbasiert dar. Dies können neben bildschirmbasierten Systemen auch papierbasierte Arbeitsanweisungen sein. Nicht dokumentierte Hinweise oder Tipps von Kollegen oder Vorgesetzten zum Ablauf der Tätigkeiten werden als explizit, aber unsystematisch beziehungsweise nicht regelbasiert charakterisiert.

²³ Die Matrix ist auch als nicht maßstäbliches Mengendiagramm zu verstehen. Werkerinformationssysteme stellen demzufolge nur einen Teil der insgesamt notwendigen Werkerinformationen für die Montageaufgabe bereit. Einen großen Anteil der Informationen erschließt sich der Mitarbeiter aus dem übrigen Arbeitssystem.

Als implizite, aber systematische/regelbasierte Information können beispielsweise vorkommissionierte Komponenten oder Poka-Yoke-Lösungen aufgefasst werden, woraus sich der Werker Tätigkeiten ableitet. Unregelmäßige Vorarbeit von Kollegen, beispielsweise das Markieren von Einbaupositionen, fällt in den unteren rechten Quadranten. (TEUBNER ET AL. 2016, S. 353-354) (siehe Informationsquellen aus Betrachtungsbereich in Abschnitt 1.3)

	Explizit	Implizit
Regelbasiert (systematisch)	Werkerinformationssystem, bspw. bildschirmbasierte oder papierbasierte Arbeitsanweisung	bspw. Vorkommissionierung oder Poka Yoke
Nicht regelbasiert (unsystematisch)	bspw. Hinweise oder Tipps von Kollegen oder Vorgesetzten	bspw. Vorarbeit von Kollegen

Abbildung 2-5: Vier grundsätzliche Informationsquellen der Werkerinformation

Wie in der Einleitung erwähnt, betrachtet diese Arbeit bildschirmbasierte Werkerinformationssysteme. Die Entdeckungsunterstützung (Schritt Eins der menschlichen Informationsverarbeitung), bei der die Informationen beispielsweise mit Hilfe einer Datenbrille möglichst effizient aufgenommen werden, steht hier nicht im Fokus. (siehe Informationstechnologien aus Betrachtungsbereich in Abschnitt 1.3)

Werkerinformation

Da Information ein vielfältig verwendeter Begriff ist (FAVRE-BULLE 2004, S. 150), bedarf es einer Spezifikation für diese Arbeit, woraus eine Begriffsdefinition für Werkerinformation abgeleitet werden kann.

Für eine differenzierte Betrachtung von Information hat North das Konzept der *Wissenstreppe* eingeführt. Auf der untersten Stufe stehen Zeichen (beispielsweise Buchstaben wie A oder Ziffern wie 3 oder 8). Durch Ordnungsregeln (beispielsweise Zeichenfolgen wie A38) werden sie zu Daten. Erst durch einen Bezug erhalten Daten eine Bedeutung und werden zu einer Information (beispielsweise Passierschein A38). Informationen dienen zur Vorbereitung von Entscheidungen und Handlungen und durch die Vernetzung entsteht Wissen. Die Wissensanwendung führt zu einer Handlung. (NORTH 2011, S. 37)

In der Informationstechnik wird oft auch der *duale Charakter* von Information angeführt. Informationen bezeichnen dabei einerseits Abbilder physischer Realität (Inhalt) als auch die physischen Signale²⁴ zur Informationsübertragung (Behälter). (KRCMAR 2015, S. 17; FAVRE-BULLE 2004, S. 150)

Aus dem dualen Charakter ergeben sich drei *Informationsparadigma*, die auch unter dem Begriff der Semiotik gefasst sind. Das nachrichtentechnische Paradigma betrachtet die Syntax einer Nachricht. Während das semantische Paradigma die Bedeutung einer Nachricht hervorhebt, stellt das pragmatische Paradigma dessen Wirkung heraus. (FAVRE-BULLE 2004, S. 150; STICKEL ET AL. 1997, S. 644-645)

In Abbildung 2-6 werden das Konzept der Wissenstreppe und die Theorie der Semiotik vereint (LANG 2007, S. 8). Dem nachrichtentechnischen Paradigma zur Folge werden Zeichen zu Daten, wenn dem Werker die Syntax bekannt ist. Die Werkerinformationen, die in diesem Stadium nach NORTH (2011, S. 37) Werkerdaten heißen würden, werden dadurch erkennbar. Die Bedeutung der Daten, aus der die nutzbare Werkerinformation entsteht, fällt unter das semantische Paradigma. Das pragmatische Paradigma besagt, bezogen auf die Werkerinformation, dass beim Werker durch Vernetzung der Informationen das notwendige Wissen für die auszuführende Montageaufgabe und daraus implizit die Handlungsaufforderung erwirkt wird.

Zudem wird in Abbildung 2-6 die Wissenstreppe (gegenständliche Perspektive) mit den fünf Phasen der menschlichen Informationsverarbeitung (prozessuale Perspektive) synchronisiert. Daraus geht hervor, dass Werkerinformationssysteme genau genommen Zeichen als optische Signale für den Mitarbeiter bereitstellen. Da diese aber vom Empfänger unmittelbar in Informationen umgewandelt werden, wird hier der zweckbezeichnende sowie allgemein hin verständlichere Begriff des Werkerinformationssystems verwendet.

Die Identifikation der Daten wird dabei stark von Erwartungen beeinflusst (GOLDSTEIN 2011, S. 7-8). Beispielsweise glaubt der Mensch zu wissen, dass ein Baum viele Blätter hat und erkennt daher die Vielzahl grüner Elemente als Blätter, ohne sie im Einzelnen betrachtet/entdeckt zu haben.

²⁴ Die physischen Signale können mit NORTH (2011, S. 37) als Zeichen und Daten verstanden werden.

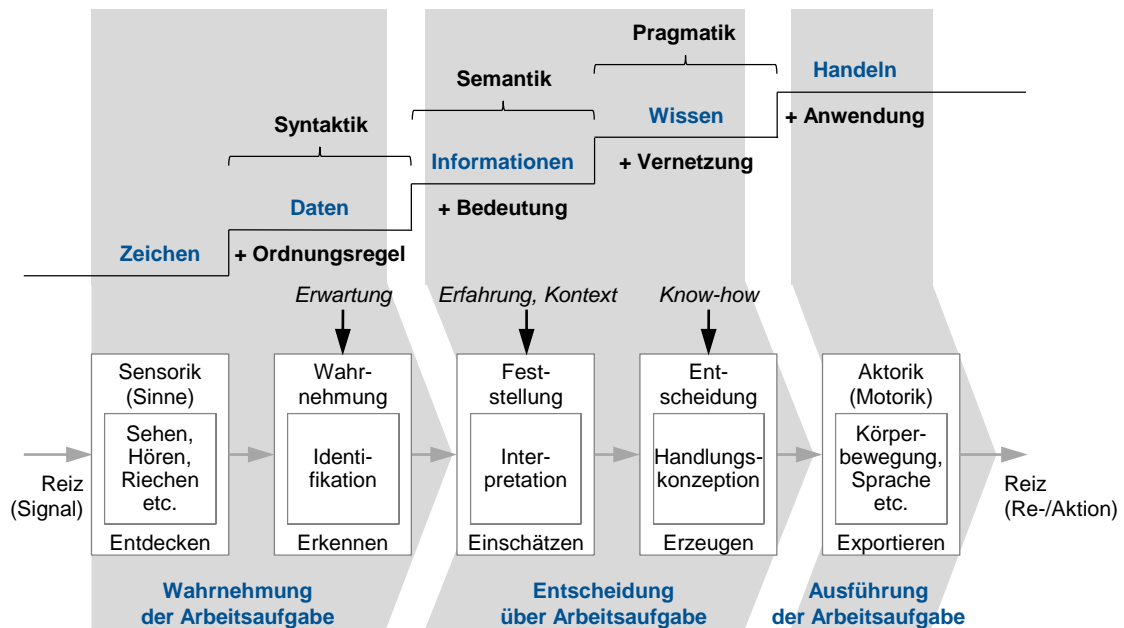


Abbildung 2-6: Wissenstreppe, Semiotik und Informationsverarbeitung
(aufbauend auf (NORTH 2011, S. 37; LANG 2007, S. 8) sowie Abbildung 2-3)

Auch die Interpretation der Informationen geschieht unter Berücksichtigung von Erfahrungen und dem Produktionskontext (NONAKA ET AL. 1997, S. 71; NORTH 2011, S. 37). Information darf nicht verstanden werden als das, was gesagt wird, sondern als das, was beim Empfänger verstanden werden könnte (SHANNON & WEAVER 1976, S. 18). Werkerinformation ist somit empfängerindividuell.

Werkerinformation kann also über die rekursive Definition anhand der Begriffsdefinition eines Werkerinformationssystems hinaus als diejenige Information spezifiziert werden, die der Werker benötigt, um das notwendige Wissen zu bilden und die notwendigen Handlungen abzuleiten, um seine Montageaufgabe zu erfüllen.

Unter Einbezug der vorangegangenen Überlegungen lassen sich auch die in der Problemstellung genannten Folgen von statischen Standardlösungen und One-fits-all-Informationen (siehe Abbildung 1-2 auf Seite 7) erläutern. Abbildung 2-7 veranschaulicht, dass bei nicht anforderungsgerechter Werkerinformation eine ineffiziente Interpretation zur Wissensbildung erfolgt. Darüber hinaus besteht die Gefahr, dass bei einer nicht anforderungsgerechten Information fehlerhaftes Wissen gebildet wird, was unter Anwendung zu Nacharbeitsaufwänden führt.

Für eine effiziente Information in der Produktion entwirft LANG (2007, S. 25) in Anlehnung an das Qualitätsmanagement das House of Information Efficiency. Demzufolge müssen Informationen richtig, vollständig, pünktlich, verständlich, ergonomisch, archivierbar sowie pflegbar und aktuell sein. Dies steht nicht in Konkurrenz zu einer anforderungsgerechten Information, sondern ist als ergänzende Attribuierung zu verstehen.

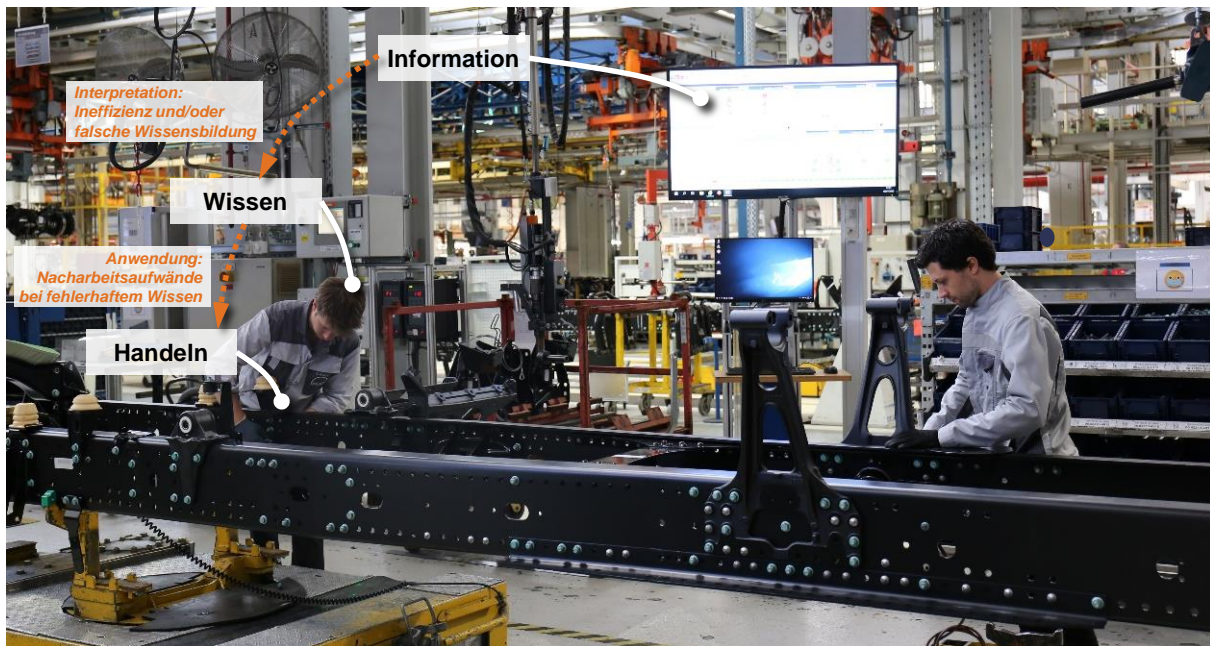


Abbildung 2-7: Erläuterung der Problemstellung: Eine nicht anforderungsgerechte Werkerinformation führt zu Informationsineffizienz und Nacharbeitsaufwänden bei falscher Wissensbildung und -anwendung

Klassifikationsmodell für Werkerinformationssysteme

Nach der Einordnung von Werkerinformationssystemen in die Assistenzsystemtaxonomie und einer Betrachtung des Begriffs Werkerinformation folgt nun eine Klassifikation von Werkerinformationssystemen, bei der die drei Informationsparadigmen aufgegriffen werden.

Werkerinformationssysteme können der Kommunikationstheorie nach als Bestandteil einer *Quelle-Ziel-Beziehung* beschrieben werden. Aus einer Nachrichtenquelle (Ersteller, beispielsweise Arbeitsplanung) werden Informationen über Sender und Empfänger an ein Nachrichtenziel (Werker) übermittelt (SHANNON & WEAVER 1976, S. 16-17). Das Werkerinformationssystem fungiert als Sender, die Sinnesorgane des Mitarbeiters werden als Empfänger aufgefasst. Die Arbeiten von SHANNON & WEAVER (1949; 1976) entstammen der Nachrichtentechnik und legen einen Schwerpunkt bei der Betrachtung des Informationsbegriffs auf den syntaktischen Aspekt. Die semantischen und pragmatischen Informationsparadigma werden von ZACHMANNs Untersuchungen abgedeckt. Er betrachtet Informationssystemarchitekturen und orientiert sich dabei an *sechs Fragestellungen* zur Analyse: What, How, Where, Who, When und Why (ZACHMANN 2011; KRCMAR 2015, S. 102-103).

Die Quelle-Ziel-Beziehung und die sechs Fragestellungen werden als Grundlage für ein *Klassifikationsmodell* von Werkerinformationssystemen verwendet (Abbildung 2-8), mit dem sich unterschiedliche Werkerinformationssysteme für den Produktionsbetrieb charakterisieren las-

sen. Dabei werden für die Ersteller-Seite²⁵ und die Werker-Seite aus den sechs Fragestellungen *Gestaltungsfelder* abgeleitet. Die Felder beinhalten jeweils *Gestaltungsvariablen*. (TEUBNER ET AL. 2016, S. 357-359; i.A.a. TEUBNER ET AL. 2017)²⁶

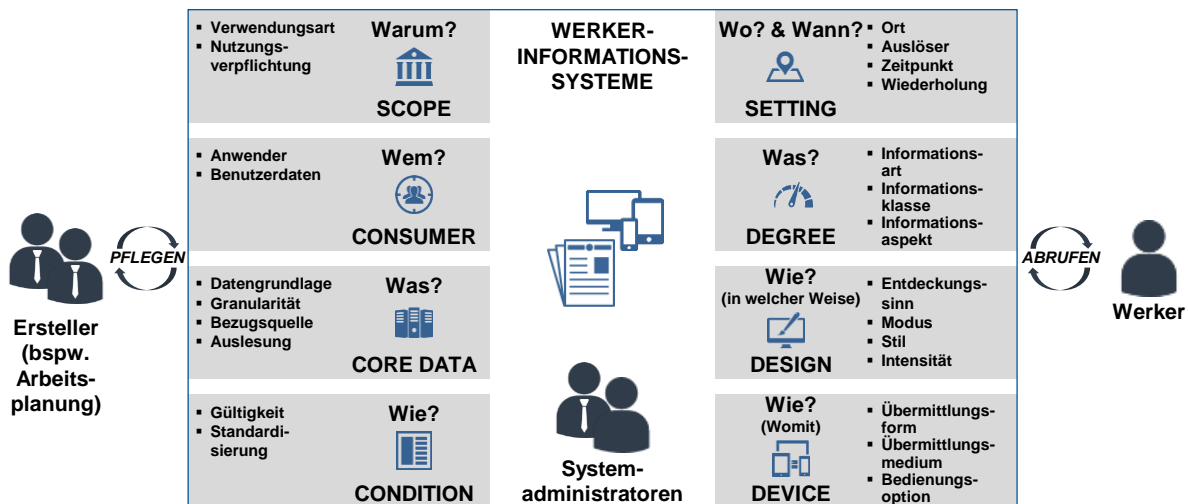


Abbildung 2-8: Klassifikationsmodell Werkerinformationssystem
(i.A.a. TEUBNER ET AL. 2016, S. 357-359)

Die Ersteller, welche die Informationen pflegen, befassen sich demnach damit, *Warum* sie *Wem* Informationen übermitteln wollen sowie *Was* und *Wie* es ihnen vorliegt, sodass sich vier Gestaltungsfelder ergeben. Das Gestaltungsfeld *Scope* beschreibt die Verwendungsart der Information und ob eine Nutzungsverpflichtung vorliegt. Unter *Consumer* werden die Anwender und vorliegende Benutzerdaten spezifiziert. Das Feld *Core Data* differenziert Datengrundlage, Granularität, Bezugsquelle und Ausleseart der Eingangsinformationen. Gültigkeit und Standardisierung werden im Feld *Condition* zusammengefasst, welches beschreibt, wie die Informationen auf Ersteller-Seite verarbeitet werden können. (TEUBNER ET AL. 2016, S. 357-359)

Der Werker ist betroffen von *Wann* und *Wo* er *Was In welche Weise (Wie)* und *Womit (Wie)* erhält (i.A.a. HOLLNAGEL 1987, S. 665). Das Gestaltungsfeld *Setting* spiegelt den Ort, den Auslöser, den Zeitpunkt und die Wiederholung der Informationsbereitstellung wider. Informationsart, -klasse und -aspekt werden im Feld (Information-) *Degree* abgebildet. (Information-) *Design*

²⁵ Die Ersteller-Seite ist vollständigheitshalber ohne weitere Betrachtung aufgenommen. Für weiterführende Informationen zum Gestaltungsfeld Core Data siehe LANG 2007; LUŠIĆ 2017.

²⁶ In TEUBNER ET AL. (2016) werden Überlegungen aus TEUBNER ET AL. (2017) weiterentwickelt, die zwar später veröffentlicht, aber bereits vorher im Frühjahr 2016 erarbeitet und zur Publikation eingereicht wurden.

determiniert Entdeckungssinn, Modus, Stil und Intensität der Information. Über das Gestaltungsfeld (Information-) *Device* werden Übermittlungsform, Übermittlungsmedium und Bedienungsoptionen festgelegt. (TEUBNER ET AL. 2016, S. 357-359)

Aus Abbildung 2-8 wird ein *morphologischer Kasten* entwickelt, der in den Gestaltungsfeldern Ausprägungen von Gestaltungsvariablen zusammenstellt (siehe im Anhang Abbildung 10-1, Seite 170, und Abbildung 10-2, Seite 171) (i.A.a. DOMBROWSKI ET AL. 2010, S. 283). Die Pfade durch den morphologischen Kasten repräsentieren unterschiedliche Werkerinformationssysteme. Geläufige Werkerinformationssysteme²⁷ sind beispielsweise Arbeitsanweisungen oder auftragsneutrale Arbeitspläne.

Die *Arbeitsanweisung* beschreibt die Montage Tätigkeiten detailliert und spielt in der variantenreichen Serienfertigung aufgrund der kurzen Taktzeiten und des Detaillierungsgrades insbesondere bei der Einarbeitung neuer Mitarbeiter eine wichtige Rolle (REFA 1985, S. 385-387). In den Anweisungen sind zu montierende Komponenten, erforderliche Werkzeuge und Hilfsmittel, Vorrichtungen, Verbindungselemente, Sicherheits- und Warnhinweise, auszuführende Tätigkeiten sowie Mengen-, Zeit- und Häufigkeitsangaben aufgeführt. (RADOW 1999, S. 21)

Der *Arbeitsplan* legt einen Schwerpunkt auf eine Auflistung der notwendigen Arbeitsvorgänge und ist weniger erklärend als eine Arbeitsanweisung (RADOW 1999, S. 21; REFA 1985, S. 65). Er ist auch unter anderen Bezeichnungen wie Standardarbeitsblatt in produzierenden Unternehmen zu finden.

Arbeitsanweisung und Arbeitsplan gehören zur internen technischen Dokumentation, die während der Fertigungsprozesse verwendet wird (VDI 4500). Aus den Entwicklungsprozessen kommen weitere technische Dokumente wie *Konstruktionszeichnungen* oder *Stücklisten*. (VDI 4500). Diese Unterlagen können ebenfalls bei einer Verwendung in der Montage als Werkerinformationssystem aufgefasst werden, da sich erfahrene Mitarbeiter Montageaufgaben daraus ableiten können. Konstruktionszeichnungen stellen den Montagegegenstand mit allen vorkommenden Einzelheiten wie Sachnummern, Positionen und Maßeintragungen dar (REFA 1985, S. 370-371). Stücklisten umfassen als formal aufgebautes Verzeichnis alle Komponenten unter Angabe von Sachnummer, Benennung, Menge und Einheit (REFA 1985, S. 400-401).

²⁷ Nicht mehr als Werkerinformationssysteme aufgefasst werden weitere Dokumentationen zum innerbetrieblichen Verhalten wie Betriebsanweisungen (beispielsweise der grundsätzliche Umgang mit Werkzeugen) oder Unfallpläne (beispielsweise Rettungswege) (RADOW 1999, S. 22; i.A.a. PÖTTER 1994, S. 69).

Die vier genannten Werkerinformationssysteme sind im Anhang im morphologischen Kasten markiert. Darüber hinaus gibt es zahlreiche unternehmensspezifische Werkerinformationssysteme, angefangen von papierbasierten Variantenhinweisen bis hin zu komplexen Softwarelösungen. Als nächstes werden Werkerinformationssysteme vorgestellt, die dem Entwicklungsziel eines dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems für diese Arbeit ähneln.

3 Stand der Forschung

Nachdem im vorangegangenen Kapitel grundlegende Begriffe für das Verständnis der Arbeit definiert worden sind, präsentiert dieses Kapitel Forschungsbeiträge, die den Ambitionen dieser Arbeit ähneln. Dafür werden Veröffentlichungen hinsichtlich der Themenfelder rezensiert. Als Rezensionsaspekte werden aus der Zielsetzung (Abschnitt 1.3) die drei Themenfelder Werkerinformationssystem, Dynamische Information und Individuelle Information sowie der Betrachtungsbereich abgeleitet. Die Themenfelder decken dabei die Forschungsfragen mit ab, die das Forschungsobjekt aus der Perspektive einer potenziellen Funktionsweise betrachten und damit diametral zur themenfeldbezogenen Betrachtung stehen (siehe Abschnitt 1.3).

Das Themenfeld der Werkerinformationssysteme umfasst dabei *Werkerinformationspakete* für Montagetätigkeiten sowie den konzeptionellen Systementwurf mit funktionsübergreifenden Elementen zur *Kontexterfassung*, *Informationskomposition* und *Informationsbereitstellung*. Im Themenfeld der dynamischen Information sind funktionsabhängig notwendige *Werkerinformationspakete*, zu erfassende *Parameter* des dynamischen Produktionsumfeldes (*Produkte und Prozesse*) sowie die funktionsabhängige *Informationskomposition* und *-bereitstellung* inkludiert. In ähnlicher Weise finden sich im Themenfeld der individuellen Information ebenfalls funktionsabhängig notwendige *Werkerinformationspakete*, zu erfassende *Parameter* der *Werker*, sowie die funktionsabhängige *Informationskomposition* und *-bereitstellung* wieder. Bei der Bewertung des Betrachtungsbereichs wird verglichen, inwiefern die gleichen Ebenen wie in dieser Arbeit (Abbildung 1-3 auf Seite 9) fokussiert werden.

Auf Basis der in Abschnitt 10.6.1 aufgeführten methodischen Literaturrecherche wurden zahlreiche Veröffentlichungen identifiziert, die sich mit dem Themenkomplex der Werkerinformationssysteme befassen. Dabei wurden zum einen eine *suchbegriffbasierte Durchsicht* (Tabelle 10-2 auf Seite 198) von Bibliotheken, Datenbanken und Zeitschriften (Tabelle 10-3 auf Seite 199) sowie zum anderen eine *vollständige Durchsicht* ausgewählter Informationsquellen aus den vier Kategorien Zeitschriften, Konferenzen, Projektförderer & Forschungsprojekte sowie Autoren durchgeführt (Tabelle 10-4, Seite 199, bis Tabelle 10-7, Seite 206). Aufgrund der Vielzahl an *Veröffentlichungen* wurden diese nach Forschungsprojekt oder Autor *geclustert*. Abbildung 3-1 führt *Forschungsprojekte* mit Laufzeit und Nennung der Hauptautoren auf. Wenn Veröffentlichungen keinem Projekt zugeordnet werden konnten, sind sie unter den *Autoren* mit deren Forschungsschwerpunkt über den Publikationszeitraum zusammengefasst. Zusätzlich sind jeweils die Anzahl der für diese Arbeit recherchierten und rezensierten Veröffentlichungen (VÖs) ergänzt. In der ersten Zeile ist das dieser Arbeit zugrunde liegende Forschungsprojekt 'Dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem' aufgelistet. Zu-

dem wurden die Veröffentlichungcluster bei der Literaturrezension hinsichtlich der Zielsetzung in *drei Prioritäten* kategorisiert. Cluster der Priorität A umfassen Forschungsprojekte und Autoren mit sehr relevanten Publikationen. Die Literatur der B-Cluster ist teilweise relevant. C-Cluster beinhalten das Forschungsprojekt tangierende Beiträge. Ob die Cluster sehr relevant, teilweise relevant oder tangierend sind, ist abhängig vom notwendigen Transferaufwand. Dieser wird hauptsächlich dadurch dimensioniert, wie detailreich die Themenfelder und wie fokussiert der Betrachtungsbereich bearbeitet wurden. Der Überblick aus Abbildung 3-1 umfasst sieben Cluster der Priorität A (fette Schriftart) und neunzehn Cluster der Priorität B, die in Abschnitt 3.1 respektive Abschnitt 3.2 diskutiert werden. Als C-Cluster kategorisierte Forschungsprojekte (42 Stück) sind in Tabelle 10-6 (Seite 201) im Anhang ergänzt.

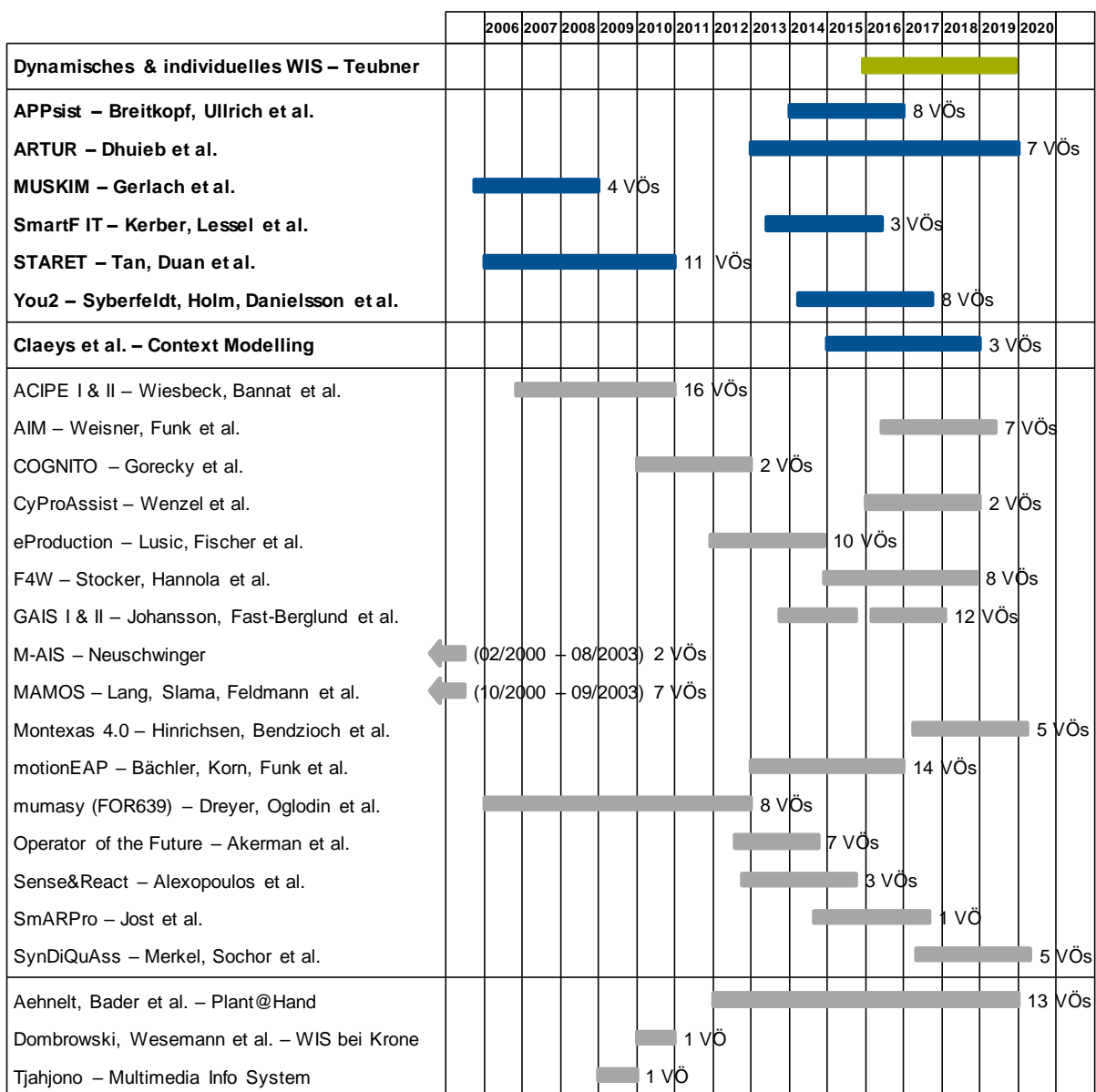


































Abbildung 3-1: Recherchierte und rezensierte forschungsprojekt- oder autorenbasierte Veröffentlichungcluster (Priorität-A-Cluster in fetter, Priorität-B-Cluster in normaler Schriftstärke)

Der Stand der Forschung wird nach der Vorstellung der literarischen Ausgangssituation mit einem Fazit in Abschnitt 3.3 abgeschlossen. Dabei wird nach der Schilderung des industriellen Leidensdrucks in Abschnitt 1.2 der *Forschungsbedarf* (wissenschaftlicher Leidensdruck) erörtert.

3.1 Werkerinformationssysteme – Veröffentlichungscluster Priorität A

Forschungsprojekt- oder autorenbasierte Veröffentlichungscluster der Priorität A werden als sehr relevant für die Zielsetzung dieser Arbeit angesehen, sodass eine differenzierte, quantitative Bewertung vorgenommen wird. Abbildung 3-2 stellt die Bewertungen der als Priorität A kategorisierten Veröffentlichungscluster zusammen, die im Weiteren begründet wird. Aufgrund der intuitiven Lesbarkeit wird eine Punktbewertung mit Kreissegmenten verwendet, die in dem Kontext nach ihrem Erfinden auch als Harvey-Balls bezeichnet werden. Die Harvey-Balls drücken jeweils die Einschätzung aus, in welchem Maße die Veröffentlichungen des Clusters einen Beitrag zum Ziel dieser Arbeit leisten.

	APPSist – Breitkopf, Ullrich et al.	ARTUR – Dhuteb et al.	MUSKIM – Gerlach et al.	SmartF IT – Kerber, Lessel et al.	STARET – Tan, Duan et al.	You2 – Syberfeld, Holm, Danielsson et al.	Claeys et al. – Context Modelling
 Werkerinformationssysteme							
 Dynamische Information							
 Individuelle Information							
 Betrachtungsbereich							

Legende		
	Hoher Zielbeitrag	
	Mittlerer Zielbeitrag	
	Geringer Zielbeitrag	

Abbildung 3-2: Bewertung des Zielbeitrags der Veröffentlichungscluster mit Priorität A

APPsist – Breitkopf, Ullrich et al.²⁸

Bei APPsist wurde eine Systemarchitektur für eine Dienste-Plattform entwickelt, die den Mitarbeiter *kontextsensitiv auf Basis von künstlicher Intelligenz bei der Anlagenbedienung oder bei Instandhaltungstätigkeiten unterstützen* (ULLRICH ET AL. 2015B, S. 48). Die Plattform umfasst 18 Dienste aus den Bereichen Weiterbildung, Assistenz, Adaption, Maschinenschnittstellen und Benutzerschnittstellen (ULLRICH ET AL. 2016, S. 176). Für die zugrunde liegenden Informationen wurde eine Ontologie entwickelt, aus der mit Hilfe eines Regelwerks die passende Unterstützung für den Mitarbeiter angeboten werden kann (ULLRICH ET AL. 2016, S. 177). ULLRICH ET AL. (2015A, S. 117) präsentieren für den Informationsabruf den Entwurf einer Benutzerschnittstelle. Ergänzend dazu stellen KREGGENFELD ET AL. (2017) eine Vorgehensweise zur Identifikation, Erfassung, Digitalisierung und somit Nutzbarmachung von Prozesswissen vor.

Assoziiert mit diesem Forschungsprojekt verfasst BREITKOPF (2018) (ehemals Kreggenfeld) seine Dissertation mit dem Titel „Adaptive Assistenz in der Produktion – Eine Methodik zur individuellen Mitarbeiterbefähigung“. Aus dem Vergleich des individuellen Kompetenzprofils und des Assistenzprozesses wird ein Befähigungsdefizit bestimmt (Abbildung 3-3), auf dessen Basis dem Mitarbeiter eine im Detailgrad zugeschnittene Schritt-für-Schritt-Unterstützung (Adaptive Assistenz) empfohlen wird (BREITKOPF 2018, S. 76). Dabei werden auch Lern- und Vergessenseffekte berücksichtigt (BREITKOPF 2018, S. 111-116).

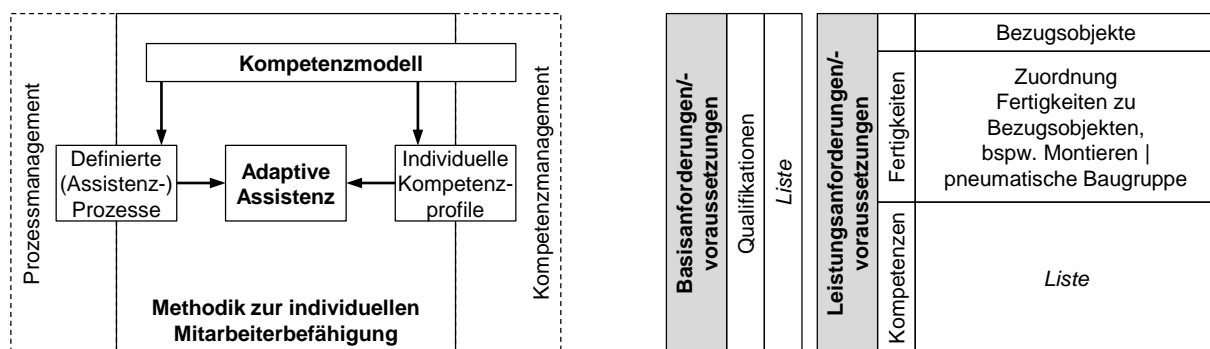


Abbildung 3-3: Gesamtmethodik (links) und Kompetenzmodell (rechts); Fertigkeiten werden komponentenhaften oder örtlichen Bezugsobjekten zugeordnet, Kompetenzen und Qualifikationen werden davon losgelöst betrachtet (i.A.a. BREITKOPF 2018, S. 76 & 83)

Der dienstebasierte Ansatz scheint für das hier angestrebte Werkerinformationssystem als zu umfangreich, regt aber zu einer nutzerorientierten und funktionsgetriebenen Entwicklung an.

²⁸ Weiterführende projektbezogene, gesichtete Veröffentlichungen: KREGGENFELD ET AL. (2016) und KREGGENFELD & KUHLENKÖTTER (2016) sind Vorveröffentlichungen der Dissertation von Breitkopf, der vor seiner Promotionsprüfung den Nachnamen geändert hat.

Die Benutzerschnittstelle ist teilweise für die vorliegende Zielsetzung geeignet, da ein Schwerpunkt auf der strukturierten Darstellung von möglichen Arbeitsaufgaben und dem Abruf von entsprechenden Anleitungen sowie Vertiefungsinhalten liegt. Die Autoren schlagen vor, das pyramidale, dreistufige Arbeitsprozessmodell für die Informationsstrukturierung und Prozessbeschreibung zu übernehmen, mit dem die Granularität der Arbeitsanweisungen variiert werden kann. Dieser Ansatz soll in der vorliegenden Arbeit weiterentwickelt werden. Dem Themenfeld der dynamischen Information wird die Informationsanpassung an die aktuelle Arbeitssituation zugerechnet. Basierend auf dem Einsatz von Augmented-Reality-Technologien kann teilweise in Echtzeit die Arbeitsausführung kontrolliert und korrigiert werden. Die Informationen werden an den Mitarbeiter angepasst, indem seine Kompetenz berücksichtigt wird, was ebenso wie die Erkenntnisse zu Lerneffekten für diese Arbeit relevant ist. Der Fokus liegt jedoch auf der Befähigung für Nicht-Routine-Prozesse mittels Wissensvermittlung im Sinne eines Expertensystems und nicht auf variantenreichen, aber im Grundmuster wiederholähnlichen Arbeitsvorgängen der Serienmontage. Daher werden Erkenntnisse, wie beispielsweise die Regel für die Informationsanpassung, für die vorliegende Zielsetzung als nur bedingt übertragbar eingeschätzt.

ARTUR – Dhuieb et al.²⁹

Mit dem entwickelten digitalen Fabrik-Assistenten sollen *Entscheidungsprozesse unterstützt und der Nutzer mit kontextabhängigen Informationen versorgt* werden, indem Wissen von existierenden Informationssystemen extrahiert wird (LAROCHE ET AL. 2012, S. 5-6; DHUIEB ET AL. 2013, S. 1,3). Für diese Zwecke stellt DHUIEB (2014, S. 2-3) eine Architektur aus den Kommunikations-, Kontext- und Wissens-Ebenen vor, welche später mit Modulen wie einer Wissens- oder Kontext-Datenbank konkretisiert werden (DHUIEB ET AL. 2015A, S. 835). Das Kontext-Modell (Abbildung 3-4) enthält die Dimensionen Nutzer, Organisation und Arbeitsvorgang (DHUIEB ET AL. 2015A, S. 837-838). Die Nutzer werden dabei in drei Kompetenzlevel eingeteilt (DHUIEB ET AL. 2015B, S. 486). DHUIEB ET AL. (2015B, S. 487) beschreiben das Adaptionskonzept, das unter Berücksichtigung des Kontexts die passenden Informationen ausgeben soll. BELKADI ET AL. (2019) präsentieren darauf aufbauend eine Benutzerschnittstelle, fokussieren aber in ihrer Veröffentlichung eine auf Echtzeit-Simulation beruhende Entscheidungsunterstützung.

²⁹ Weiterführende projektbezogene, gesichtete Veröffentlichungen: LAROCHE ET AL. (2016) beschreiben den Aufbau der Wissens-Datenbank mit Hilfe der Graphentheorie und ein Adaptionskonzept zum Auslesen der Informationen.

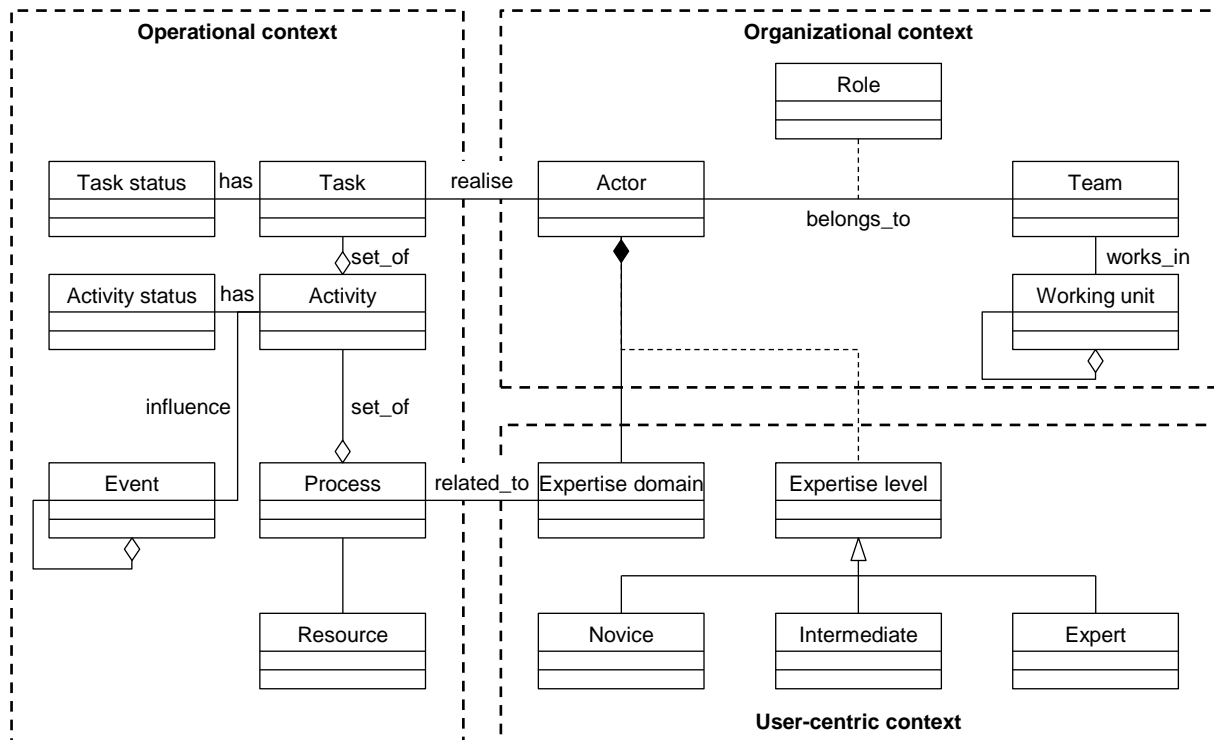


Abbildung 3-4: Kontext-Modell mit den drei Dimensionen Nutzer, Organisation und Arbeitsvorgang (DHUIEB ET AL. 2015A, S. 837-838; BELKADI ET AL. 2019, S. 5)

Die vorgestellte Architektur und Benutzerschnittstelle beziehen sich in erster Linie auf Wissensmanagement und sind daher nur teilweise übertragbar. Das Kontext-Modell legt eine Grundlage, ist jedoch für eine dynamische und individuelle Informationsanpassung zu erweitern. Da primär die Entscheidungsfindung unterstützt werden soll, ist der Betrachtungsbereich nicht identisch.

MUSKIM – Gerlach et al.

GERLACH verfasste seine Dissertation zum Aufbau von produktionsnahen Teaminformationsportalen bei kundenindividueller Produktion im Rahmen des Forschungsprojekts MUSKIM (Methoden- und Systemunterstützung für die kundenindividuelle Montage). Die drei Entwicklungsschritte Analyse von Informationsflüssen, Konzeption und Implementierung der Informationsportale, die sich je nach Ausprägung³⁰ auch als Werkerinformationssysteme bezeichnen lassen, werden durch eine entwickelte Entwurfsmustersprache unterstützt (GERLACH 2010, S. 91). Die neue Entwurfsmustersprache stellt eine Kombination von Entwurfsmustern dar

³⁰ GERLACH entwirft auch Informationsportale für eine asynchrone Kommunikation (GERLACH 2010, S. 70) und Know-how-Dokumentation (SPATH & GERLACH 2003), die im Rahmen dieser Arbeit nicht als Werkerinformationssysteme bezeichnet werden würden.

(GERLACH 2010, S. 155-172), die jeweils erprobte Konzepte für wiederkehrende Probleme beschreiben (GERLACH 2010, S. 54). Zusätzlich erfolgt eine Klassifizierung von Informationen in der Montage (siehe auch GERLACH 2009, S. 164-170), der zufolge *Kerninformationen* als diejenigen Informationen bezeichnet werden, die *variantendefinierende Arbeitsinhalte* beschreiben (GERLACH 2010, S. 32-35).

Unter Zuhilfenahme der Entwurfsmustersprache und basierend auf der Kerninformationsanalyse, die sich am 5S-Prinzip ausrichtet (GERLACH 2010, S. 32-33), wird ein *arbeitsplatzspezifisches Informationsportal* umgesetzt, das eine effiziente Informationsbereitstellung ermöglicht (Abbildung 3-5) (GERLACH 2010, S. 96-107; SPATH & GERLACH 2009, S. 229). Darüber hinaus werden Entwurfsmuster zur *mitarbeiterspezifischen Informationsbereitstellung* (Personalisierung) eingesetzt (GERLACH 2010, S. 108-121). Dazu werden ein Benutzerprofil mit den Kriterien Tätigkeitsbeherrschung, Einsatzhäufigkeit und Einsatzzeitraum (GERLACH 2010, S. 113) sowie eine tiefgehende Klassifikation der Informationen, unter anderem in Instruktion, Option oder Problem (GERLACH 2010, S. 114), vorgestellt.

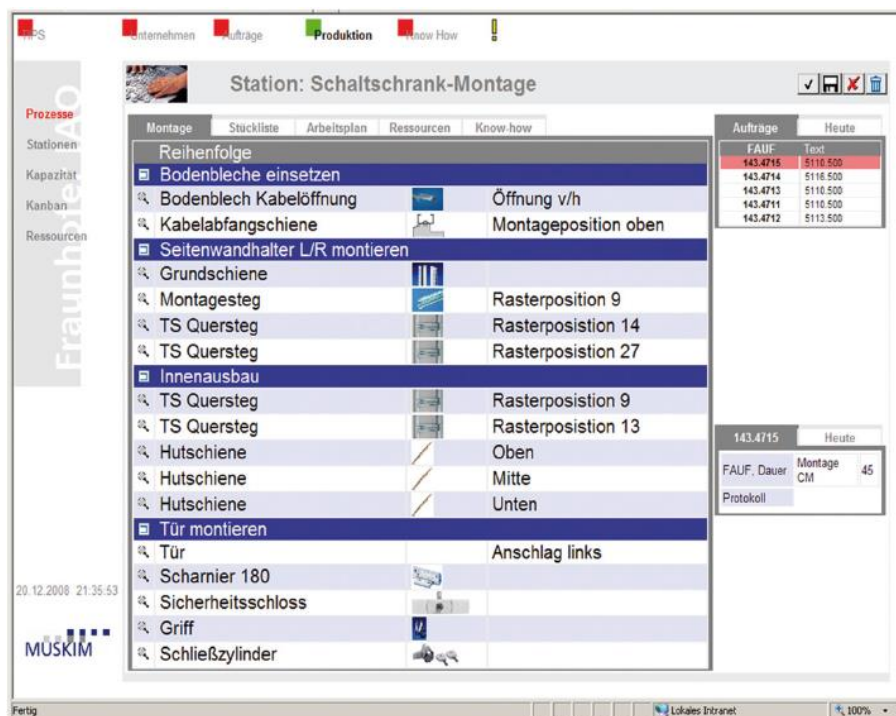


Abbildung 3-5: Arbeitsplatzspezifisches Informationsangebot in einem Montageinformationsportal für die Endmontage von Schaltschränken (SPATH & GERLACH 2009, S. 230; siehe auch GERLACH 2010, S. 126)

Im Themenfeld Werkerinformationssystem sind insbesondere die Überlegungen zu Kerninformationen und deren tiefgehende Klassifikation relevant, die der Bildung von Werkerinformationspaketen dienen. Für die Konzeption der Systemarchitektur wird das MVC-

Entwurfsmusters (Model-View-Controller) aufgegriffen (Abschnitt 5.1). Hinsichtlich einer dynamischen Informationsbereitstellung werden die Gedanken zur Anzeige von geänderten Informationen berücksichtigt. Für die individuelle Informationsbereitstellung wird ein Regelwerk vorgestellt (GERLACH 2010, S. 115), das stereotypischen Benutzerprofilen Informationsklassen zuordnet und daher für diese Arbeit einen mittleren Zielbeitrag leistet. GERLACH betrachtet jedoch die kundenindividuelle Auftragsproduktion in Kleinserien oder Einzelaufträgen (GERLACH 2010, S. 122). Die Konzepte sind für die hier betrachtete taktgebundene Serienmontage anzupassen, beispielsweise wird die listenförmige, textlastige Darstellung als ungeeignet empfunden. Zudem sind sie in einen Rahmen weiterer kontextueller Aspekte zu integrieren. Grundsätzlich steht bei GERLACH die methodische Unterstützung bei der Implementierung von generischen Informationssystemen für die Produktion im Vordergrund. In der vorliegenden Arbeit hingegen liegt der Schwerpunkt auf der anforderungsgerechten Informationsbereitstellung mit Hilfe der Modellierung eines dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems.

SmartF IT – Kerber, Lessel et al.

In diesem Forschungsprojekt wird der Einsatz cyber-physischer IT-Systeme zur Komplexitätsbeherrschung und Produktion kundenindividueller Produkte untersucht (MÜLLER ET AL. 2014, S. 126). KERBER & LESSEL (2015) präsentieren eine Webanwendung (Abbildung 3-6), welche *Arbeitsanweisungen anhand der Werkerhistorie* anpasst. Je nach Fehlerfreiheit und Häufigkeit der Montageschritte werden die Arbeitsanweisungen kleinschrittiger mit detaillierteren Informationen angezeigt. Gepaart mit einem adaptiven Pick-by-Light-System liegt der Untersuchungsfokus eher auf einer Prozessführung. Für die einzelnen Produktvarianten sind textuelle und bildhafte Anweisungen in der Datenbank gespeichert. Gamification-Elemente, wie beispielsweise die Anzahl fehlerfreier Produkte, sollen die Mitarbeiter motivieren. (KERBER & LESSEL 2015, S. 32-33)

KRÖGER & VIERFUß (2016) beschreiben für einen anderen Anwendungsfall ein ähnliches Werkerinformationssystem, bei dem die Granularität der Montageanweisungen je nach Anfänger-, Medium- oder Expertenlevel reduziert wird. Auch hier kann der Werker seine Auftragshistorie einsehen und er wird auf Montagefehler, die in der Qualitätskontrolle behoben wurden, aufmerksam gemacht. (KRÖGER & VIERFUß 2016, S. 300-301)

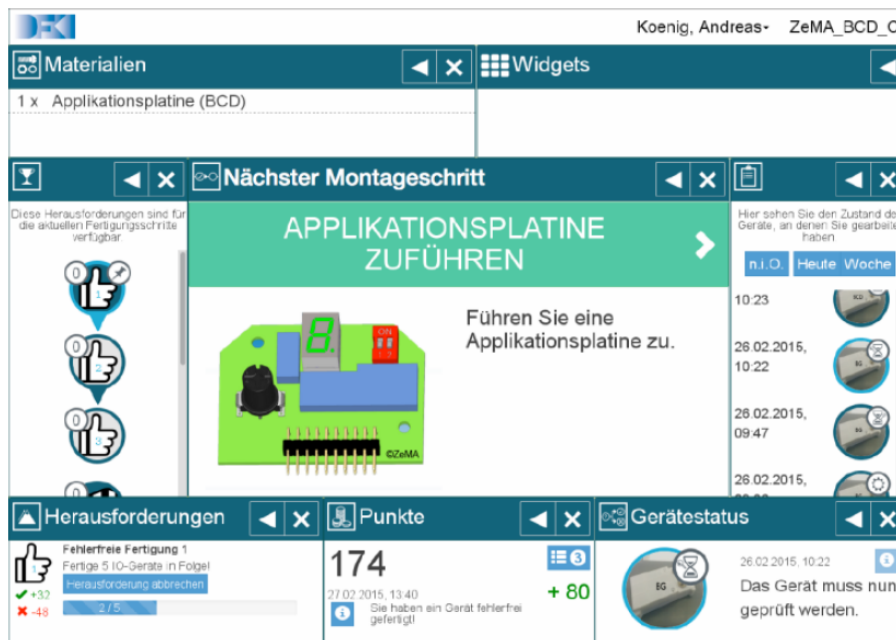


Abbildung 3-6: Adaptives und gamifiziertes Werkerassistenzsystem – Webanwendung des Forschungsprojekts (KERBER & LESSEL 2015, S. 32)

Für das Themenfeld Werkerinformationssystem wird ein Anzeigekonzept ersichtlich. Nicht ausführlich vorgestellt wird jedoch die Ablagestruktur der Werkerinformationen. Eine dynamische Informationsanpassung an Produkt oder Prozess, wie sie in dieser Arbeit verstanden wird, wird lediglich durch variantenspezifische Arbeitsanweisungen umgesetzt. Die Fehlerrückmeldung erfolgt mitarbeiterspezifisch zusammen mit einer montageschrittspezifischen Informationsgranularität und Gamification-Elementen. Da diesbezüglich noch ein Weiterentwicklungspotenzial besteht, wird im Themenfeld der individuellen Information ein mittlerer Zielbeitrag gesehen. Der Anwendungsbereich der vorgestellten Werkerassistenzsysteme wird als teilweise vergleichbar eingeschätzt.

STARET – Tan, Duan et al.

In Japan wurde 2006 ein fünfjähriges Projekt unter dem Titel Strategic Development of Advanced Robotics Elemental Technologies (STARET) angestoßen (HIRAI ET AL. 2011, S. 906), das unter anderem die mitarbeiterzentrierte Mensch-Roboter-Kollaboration in Produktionszellen erforscht hat (DUAN ET AL. 2008, S. 213; DUAN ET AL. 2012, S. 1). Das entwickelte Assistenzsystem, Multi-modal Assembly Support System (MASS), unterstützt Mitarbeiter sowohl in physischen als auch in informationsbezogenen Aspekten (DUAN ET AL. 2011, S. 5468). Dabei wird Erfahrungswissen von geübten Mitarbeitern zum Anlernen neuer Mitarbeiter über das Teilmodul MASTER (Multi-modal Assembly Skill Transfer) übertragen (DUAN ET AL. 2010, S. 257).

Für die effektive Kollaboration wurde das Teilmodul *Multi-modal Assembly Information Supporter (MAISER)* entwickelt (DUAN ET AL. 2011, S. 5470), das den Mitarbeiter nicht nur mit Informationen zur Zusammenarbeit mit dem Roboter sondern auch mit Arbeitsanweisungen (TAN ET AL. 2009A, S. 334) versorgt. Am Beispiel einer Kabelstrangmontage wurden Arbeitsvorgänge datenbanktauglich modelliert (TAN ET AL. 2009B, S. 154; TAN ET AL. 2010, S. 131), sowie multimodal- und -medial (Text, Bild, Video, Audio) für eine arbeitsprozessuale Darstellung aufbereitet (Abbildung 3-7) (TAN ET AL. 2008, S. 212; ZHANG ET AL. 2008, S. 320). TAN & ARAI (2010, S. 771) leiten in dem Zuge für die Informationsbereitstellung zahlreiche Gestaltungsregeln ab. Darüber hinaus sind Studien zur Bereitstellung der Informationen auf Papier, mit Bildschirm oder mittels Projektion durchgeführt worden, wobei sich für Montageteische eine Projektion als besonders geeignet herausstellt (TAN ET AL. 2009A, S. 339).

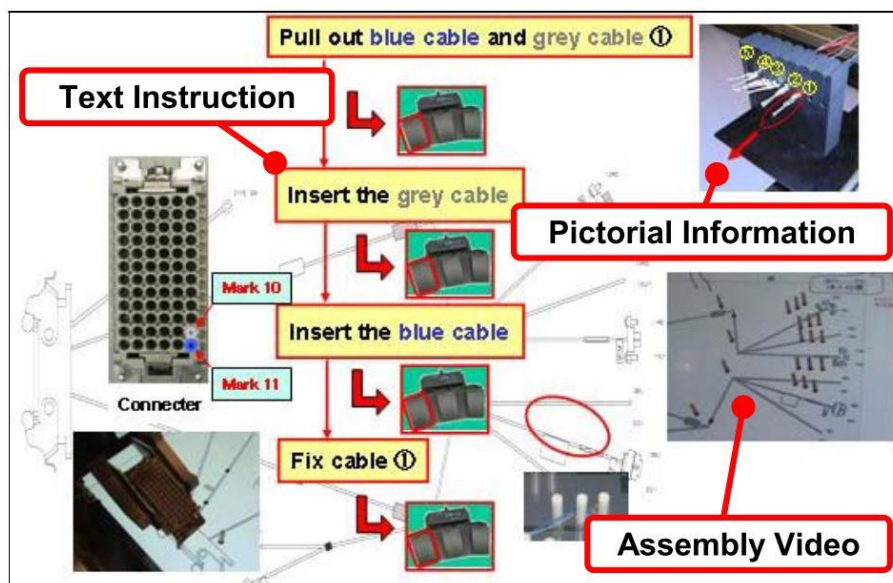


Abbildung 3-7: Beispielhafte Informationsunterstützung durch MAISER
(TAN ET AL. 2009A, S. 338)

Das Forschungsprojekt legt für das Themenfeld Werkerinformationssystem eine fundierte Basis zur multimedialen, bildschirmbasierten Informationsbereitstellung, da der Betrachtungsbereich als ähnlich und die Erkenntnisse als übertragbar eingeschätzt werden. Weiterentwicklungspotenzial wird hinsichtlich einer umfangreicheren Dynamisierung und Individualisierung der Informationen gesehen, bei der der Produktionskontext oder Mitarbeiterfähigkeiten stärker berücksichtigt werden.

You2 – Syberfeldt, Holm, Danielsson et al.³¹

An der Universität Skövde in Schweden wurde das Projekt Young Operator 2020 (You2) durchgeführt, bei dem neben der Sammlung und Verarbeitung von Produktionsdaten die Gestaltung von Benutzerschnittstellen mit Augmented Reality im Fokus stand (UNIVERSITY OF SKÖVDE 2019).

SYBERFELDT ET AL. (2015B, S. 348) stellen ein Assistenzsystem vor, bei dem ein *Expertensystem mit einer Augmented-Reality-Anzeige* kombiniert wird (Abbildung 3-8). Dem Mitarbeiter werden in Abhängigkeit seiner Erfahrung und des Montagefortschritts weiterführende Informationen mittels einer Datenbrille bereitgestellt (SYBERFELDT ET AL. 2015B, S. 349). HOLM ET AL. (2017, S. 5) übertragen das Konzept für ein tabletbasiertes Assistenzsystem in der Motorenmontage. Ebenfalls für die Motorenmontage entwickeln DANIELSSON ET AL. (2018, S. 48) auf Basis von Arbeitsbeobachtungen und Mitarbeiterinterviews ein Konzept für die Informationsanzeige mit einer Datenbrille. Weiterführend haben SYBERFELDT ET AL. (2016, S. 108) dazu die Vor- und Nachteile von am Kopf oder in der Hand getragenen und stationären Augmented-Reality-Systemen evaluiert (siehe auch SYBERFELDT ET AL. 2015A).

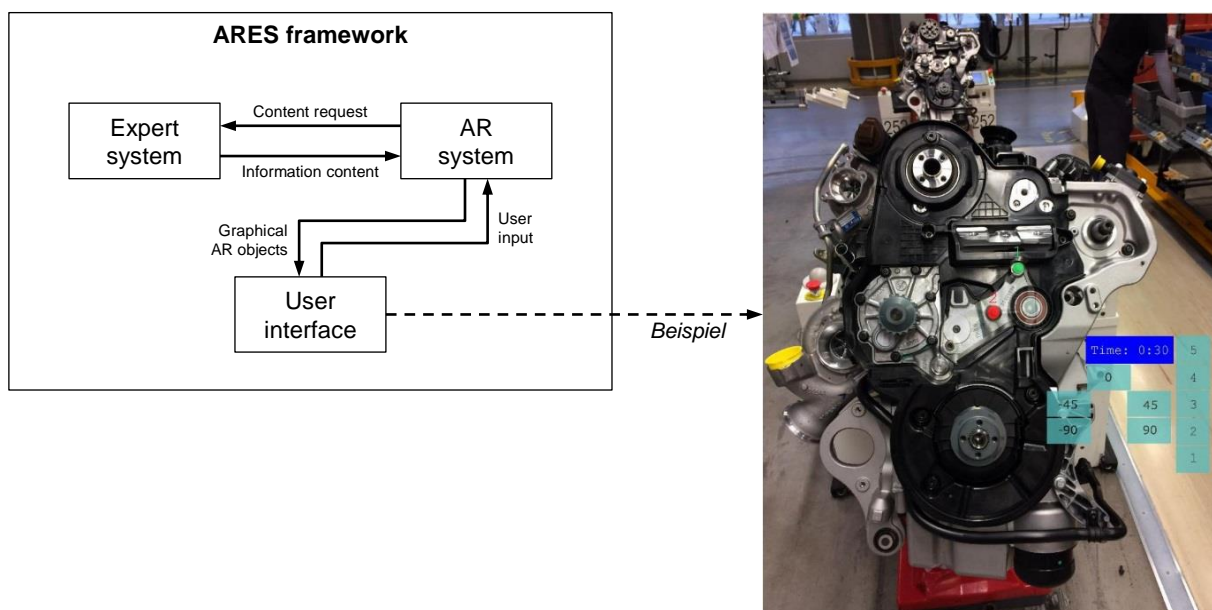


Abbildung 3-8: Konzept des Assistenzsystems (links – SYBERFELDT ET AL. 2015B, S. 348) und beispielhafte Augmented-Reality-Anzeige (rechts – DANIELSSON ET AL. 2018, S. 49)

³¹ Weiterführende projektbezogene, gesichtete Veröffentlichungen: HOLM ET AL. (2015) und HOLM (2018) publizieren hauptsächliche Umfrageergebnisse zur Entwicklung zukünftiger Mitarbeiterrollen in der Produktion.

Im Themenfeld Werkerinformation werden Systemarchitekturen für Augmented-Reality-Systeme und Beispiele zur Darstellung der Informationen präsentiert, die für dieses Forschungsprojekt aufgrund der Verwendung bildschirmbasierter Informationsbereitstellung nur begrenzt berücksichtigt werden können. Details zur strukturierten Speicherung von Werkerinformationen werden nicht veröffentlicht. Produktabhängige Informationen werden über die im Expertensystem hinterlegten Soll-Zustände und die kamerabasierte Fortschrittskontrolle erzeugt. Produktions- oder prozessabhängige Informationen, wie beispielsweise häufige Montagefehler, werden aber nicht tiefer untersucht. Im Themenfeld der individuellen Information werden Aspekte zur erfahrungsspezifischen Anpassung und zum Anlernen neuer Mitarbeiter genannt, die für dieses Projekt teilweise berücksichtigt werden können. Für die Informationsanpassung werden Kompositionsregeln vorgestellt, die den Erfahrungsstufen unterschiedliche Informationsmengen (Informationdegree) und -arten (Informationdesign) zuordnen. Das Projekt wurde in enger Zusammenarbeit mit Volvo im Bereich der hochvariablen Serienmontage durchgeführt. Da nicht ausschließlich Bandmitarbeiter fokussiert werden, wird der Betrachtungsbereich als teilweise vergleichbar angesehen.

Claeys et al. – Context Modelling³²

Claeys befasst sich in drei Publikationen intensiv mit *Kontextmodellen für variantenreiche Montagesysteme*, um Montageanweisungen kontextabhängig anzeigen zu können. CLAEYS ET AL. (2015, S. 926-928) veröffentlichen ein Beschreibungsmodell für kognitive Assistenzsysteme sowie ein Evaluationskonzept, um die Wirkung solcher Systeme hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit zu untersuchen. In Anlehnung an ISA-95³³ wird ein generisches Schema für die Speicherung von kontextrelevanten Daten vorgeschlagen (CLAEYS ET AL. 2016, S. 1183), welches anhand der Kompetenzmodellierung erläutert wird (CLAEYS ET AL. 2016, S. 1184). CLAEYS ET AL. (2018) entwickeln aufbauend auf CLAEYS ET AL. (2016, S. 1182) ein Kontextmodell mit vier primären Domänen (Aufgaben, Mitarbeiter, Orte, Material) und vier zusätzlichen Domänen (Erfahrungen, Bedingungen, Nutzung, Anforderungen), die die Relationen zwischen den primären Domänen beschreiben (Abbildung 3-9). Den Domänen sind jeweils Parameter untergeordnet, beispielsweise der Lerntyp des Mitarbeiters oder die einer Aufgabe zugehörige Arbeitsanweisung (CLAEYS ET AL. 2018, S. 178-180). Ergänzend wird ein Rahmenwerk zu Erstellung von Arbeitsanweisungen entwickelt (CLAEYS ET AL. 2019, S. 1927).

³² Weiterführende projektbezogene, gesichtete Veröffentlichungen: HOEDT ET AL. (2018, S. 857) stellen vertiefende Untersuchungen zu Lern- und Vergessenseffekten vor.

³³ Norm für die Integration von Unternehmens- und Betriebsleitebene der International Society of Automation (ISA).

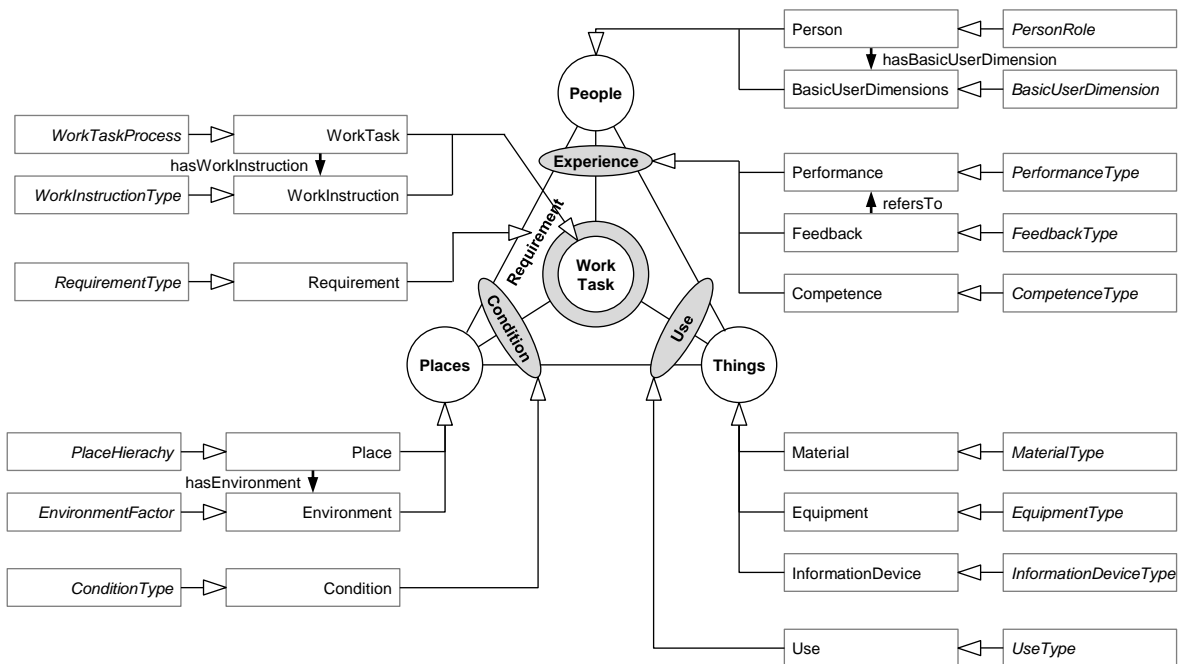


Abbildung 3-9: Kontext-Ontologie für die Montage mit acht in Relation gesetzten Domänen
(CLAEYS ET AL. 2018, S. 178-179)

Die Publikationen bieten eine umfangreiche Ontologie zur Modellierung des Kontextes von Arbeitsaufgaben und legen damit eine Grundlage für kontextabhängige Montageanweisungen. Für die untersuchten Themenfelder werden daher wertvolle Beiträge hinsichtlich notwendiger Parameter geleistet, auf deren Basis eine Informationsanpassung erfolgen kann. Wie Werkerinformationen gespeichert und angezeigt werden, wird jedoch nicht sehr detailliert beschrieben. Zudem wird auf die Verknüpfungsregeln, nach denen die Werkerinformationen komponiert werden, nicht ausführlich eingegangen. Der Betrachtungsbereich ist nicht genau spezifiziert, wird jedoch als vergleichbar für diese Arbeit angenommen, da die Ontologie als sehr generisch einzustufen ist.

3.2 Werkerinformationssysteme – Veröffentlichungscluster Priorität B

Die Veröffentlichungscluster der Priorität B werden als teilweise relevant eingestuft, sodass eine inhaltsabhängige, qualitative *Beurteilung* anstelle einer Harvey-Ball-basierten, quantitativen Bewertung, angemessen erscheint.

ACIPE I & II – Wiesbeck, Bannat et al.³⁴

Die Autoren WIESBECK und BANNAT befassen sich in den Forschungsprojekten ACIPE I & II (Adaptive Cognitive Interaction in Production Environments (ZÄH ET AL. 2007A, S. 644)) mit *adaptiver Montageführung mittels einer montagezustandsbasierten Anweisungsgenerierung* (WIESBECK 2014) und der Erfassung von Mitarbeiterhandlungen (BANNAT 2014). Dazu wurden in ihren Dissertationen eine Graphenstruktur zur Repräsentation von Montagesequenzen und ein Online-Algorithmus zur Ermittlung von situativ optimalen Montagesequenzen (WIESBECK 2014, S. 77) sowie ein Assistenzsystem zur Werkerfassung entwickelt (BANNAT 2014, S. 49). Die Umfeld- und Prozessmodelle sowie die Konzepte zur Informationsanzeige sind für diese Arbeit interessant, Entwicklungspotenzial besteht, über die individuelle und situative Werkerführung hinaus, in der Bereitstellung weiterführender montagerelevanter Informationen.

AIM – Weisner, Funk et al.³⁵

Im Forschungsvorhaben AIM wird ein Assistenzsystem für die *Individualisierung von Arbeitsgestaltung und Methodentraining* entwickelt (WEISNER ET AL. 2016, S. 599). Neben der Analyse von Bewegungsdaten für ergonomisch günstigere Arbeitsabläufe wird ein Trainingskonzept entworfen, zu dem WEISNER ET AL. (2018, S. 220) einen kompetenzsteigernden Ansatz vorstellt. Als besonders wichtig wird auch die personenindividuelle Informationsbereitstellung erachtet (BACKHAUS ET AL. 2018, S. 2; WEISNER ET AL. 2016, S. 600). Ausgehend von Untersuchungen zur Benutzerschnittstelle stehen bisher jedoch technische Fragestellungen (beispielsweise Monitor versus Smart Watch) im Vordergrund (FUNK ET AL. 2018, S. 213; FUNK ET AL. 2019, S. 795). Tiefere Beiträge zum individuellen Informationsbedarf, wie sie für diese Zielsetzung benötigt werden, stehen noch aus.

COGNITO – Gorecky et al.

Das Assistenzsystem von COGNITO (Cognitive Workflow Capturing and Rendering with On-Body Sensor Networks (GORECKY ET AL. 2011, S. 54)) erfasst mit einem *am Körper getragenen Sensornetzwerk* die Arbeitshandlungen von erfahrenen Mitarbeitern und entwirft daraus eine *Prozessführung* (STRICKER ET AL. 2013, S. 21), die unerfahrenen Mitarbeitern mittels eines

³⁴ Weiterführende projektbezogene, gesichtete Veröffentlichungen: BANNAT ET AL. (2008), BUBB ET AL. (2007), BUBB ET AL. (2008), REINHART ET AL. (2009), STORK & SCHUBÖ (2010), STORK ET AL. (2007), STÖSEL ET AL. (2008), WALLHOFF ET AL. (2007), ZÄH ET AL. (2007B), ZÄH ET AL. (2009B), ZÄH ET AL. (2009A), ZÄH ET AL. (2010), ZÄH & WIESBECK (2008). Die Veröffentlichungen liefern aufgrund ihrer zum Teil inhaltlichen Überdeckung mit den Dissertationen oder untereinander bezüglich dieser Arbeit keine weiteren Erkenntnisse.

³⁵ Weiterführende projektbezogene, gesichtete Veröffentlichungen: In BACKHAUS (2018) und BACKHAUS (2019) wird der Einfluss von Beobachtungssystemen auf den Mitarbeiter behandelt.

Head-mounted-Displays (HMD) angezeigt wird (GORECKY ET AL. 2011, S. 53). Das Forschungsprojekt fokussiert die Prozessaufnahme und -führung, sodass Grundlagen zum Themenfeld Werkerinformation zwar angesprochen werden, eine umfangreiche dynamische und individuelle Informationsbereitstellung jedoch nicht konzipiert wird.

CyProAssist – Wenzel et al.

In diesem Forschungsprojekt werden unter anderem *Interaktionskonzepte für Assistenzlösungen* entwickelt (WENZEL ET AL. 2017, S. 177). Hinsichtlich Werkerinformationssystemen werden einige Systemfunktionalitäten wie eine kundenauftragsspezifische Informationsausgabe und eine individuelle Berücksichtigung von Erfahrungen sowie Sehbehinderungen des Werkers benannt, aber nicht detailliert erläutert (WENZEL ET AL. 2017, S. 179; WENZEL & PFAB 2018).

eProduction – Lušić, Fischer et al.³⁶

Das Projekt befasst sich mit der Produktionsforschung zu Hochvoltspeichersystemen für die Elektromobilität und betrachtet in diesem Zusammenhang auch Werkerinformationssysteme. LUŠIĆ (2017) präsentiert in seiner Dissertation ein Vorgehensmodell zur *Erstellung montageführender Werkerinformationssysteme* simultan zum Produktentstehungsprozess (siehe auch LUŠIĆ ET AL. 2013, S. 546). In Vorveröffentlichungen liefert er dafür Beiträge zur Klassifikation von Werkerinformationssystemen (LUŠIĆ ET AL. 2015, S. 1116) und untersucht die Wirksamkeit IT-basierter Werkerinformation (LUŠIĆ ET AL. 2016, S. 507-508; siehe auch LUŠIĆ ET AL. 2014, S. 27-28). FISCHER ET AL. setzen einen Schwerpunkt auf die Datenaufbereitung für webbasierte Werkerinformationssysteme (FISCHER ET AL. 2014, S. 584), unter anderem auf die Integration von Simulationsdaten aus der Produktentwicklung (FISCHER ET AL. 2015A, S. 4) und von Positionsdaten der Werkzeuge³⁷ (FISCHER ET AL. 2016B, S. 244), um Werker in der Montage neuer Komponenten zu schulen (FISCHER ET AL. 2015B, S. 70). Resultierend stehen die Erstellung von Werkerinformationen und die technische Umsetzung im Vordergrund, Konzepte zur dynamischen oder individuellen Informationsbereitstellung werden nicht ausführlich behandelt.

³⁶ Weiterführende projektbezogene, gesichtete Veröffentlichungen: FISCHER ET AL. (2016A) stellen ein Feedbacksystem für Werkerinformationssysteme vor.

³⁷ Das Thema wurde im Forschungsprojekt Nahfeldlokalisierung von Fügeprozessen mit integrierter Werkerführung auf Basis von Web-Technologien (NaLoSysPro) bearbeitet.

F4W – Stocker, Hannola et al.

FACTorieS4WORKERS konzentriert sich im Zuge des Einsatzes von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) in Produktionsunternehmen auf vier Handlungsfelder: *Assistierter Bediener*, *Produktions-Wissensmanagement*, *Selbstlernender Arbeitsplatz* und *Mobiles Lernen* in der Produktion (STOCKER ET AL. 2014, S. 209; UNZEITIG ET AL. 2015, S. 4). Dabei soll mit menschenzentrierter IKT die Innovationskraft und Problemlösefähigkeit sowie die Mitarbeiterzufriedenheit erhöht werden (STOCKER ET AL. 2014, S. 208). Insbesondere wird dafür untersucht, wie Wissensaustausch entsteht und gefördert werden kann (HANNOLA ET AL. 2015) und wie Zufriedenheit entsteht (LAMPELA ET AL. 2015). Auf Basis einer modularen Smart-Factory-Infrastruktur werden Pilotprojekte in den Handlungsfeldern umgesetzt (STOCKER ET AL. 2014, S. 208), wofür HANNOLA ET AL. (2017, S. 4) ein Konzept entwerfen, um die menschengerechte Gestaltung von IKT in der Produktion zu evaluieren. Die präsentierten Infrastrukturkonzepte haben einen ganzheitlichen Charakter und beziehen sich auf Fabrikssysteme. Werkerinformationssysteme sind diesbezüglich als ein Baustein einzuordnen und erscheinen mit Bezug auf die vier genannten Handlungsfelder als Querschnittsthema. Die pilothaften Lösungen (MILFELNER ET AL. 2017, S. 2; RICHTER ET AL. 2017, S. 7-11; SCHAFLER ET AL. 2018, S. 335) sind bisher nicht ausführlich genug beschrieben, um sie in dieser Arbeit zu nutzen, zumal ähnlich wie bei APPsist eher wissensintensive Arbeitsaufgaben fokussiert werden.

GAIS I & II – Johansson, Fast-Berglund et al.³⁸

Unter dem Titel Global Assembly Instruction Strategies (GAIS) wurde die *Bedeutung von Montageinformation in Produktionsnetzwerken* mit hoher Variantenvielfalt untersucht (BERGLUND ET AL. 2014, S. 4; JOHANSSON ET AL. 2016B, S. 250) und darüber hinaus eruiert, dass die angezeigten Informationen oftmals nicht den benötigten entsprechen (JOHANSSON ET AL. 2017A, S. 2105). Für die Erstellung von global einheitlichen Arbeitsanweisungen wurden Standardprozesse erarbeitet (JOHANSSON ET AL. 2016A, S. 634) und für die Einführung von Montageinformationssystemen werden Kennzahlenfelder zur Messung erfolgreicher Systemgestaltung vorgestellt (FAST-BERGLUND ET AL. 2018, S. 179). JOHANSSON ET AL. (2017B, S. 368-369) befassen sich intensiv mit aktuellen Problemfeldern von Montageinformationssystemen, bei der auch die Dynamisierung und Individualisierung von Werkerinformation als notwendig erachtet

³⁸ Weiterführende projektbezogene, gesichtete Veröffentlichungen: LI ET AL. (2016) und LI ET AL. (2018) evaluieren die Wirksamkeit von Montageinformationssystemen, GONG ET AL. (2017) spezialisieren sich dabei auf Augmented Reality. LI ET AL. (2019) betrachten aus dem Kontext begründet den aktuellen Stand und die Hürden hinsichtlich des Umsetzungsgrades von Industrie 4.0 und den damit verbunden Informationssystemen. MATTSSON ET AL. (2016) untersuchen, wie Richtlinien die Erstellung von Arbeitsanweisungen verbessern. JOHANSSON ET AL. (2019, S. 14) erarbeiten in einer Studie sechs Fokusfelder im Umgang mit allen Typen von Montageinformationen, wovon eines die Werkerinformationen sind, die oftmals von unzureichender Qualität und zu generisch sind.

wird. Darauf aufbauend wird ein Demonstrator entwickelt, dessen Funktionsweise aber zum Rezensionszeitpunkt nicht näher beschrieben ist (JOHANSSON ET AL. 2018, S. 494-495). Die genannten Systemfunktionalitäten werden jedoch in der vorliegenden Arbeit in Kapitel 4 bei der Anforderungsanalyse an ein Werkerinformationssystem berücksichtigt.

M-AIS – Neuschwinger

Das *multimedia-gestützte Arbeitsplatz-Informationssystem*, kurz M-AIS (MEIER & NEUSCHWINGER 2000, S. 13), soll den unternehmensweiten Austausch und die einhergehende Erstellung und Bereitstellung von Fertigungsinformationen, wie Zeichnungen, NC-Programmen oder Materialverfügbarkeit (NEUSCHWINGER 2003, S. 76), unterstützen (NEUSCHWINGER 2003, S. 41). Der Anwenderzielgruppe, Facharbeiter in produktionsnahen Arbeitsgruppen, wird ermöglicht, Fertigungswissen textuell, bildlich oder akustisch zu erfassen (NEUSCHWINGER 2003, S. 102-106). Zudem ist eine Individualisierung der Benutzeroberfläche vorgesehen, bei der Informationen vom Nutzer ein- und ausgeblendet werden können (NEUSCHWINGER 2003, S. 111-112). Das Konzept bezieht sich auf einen anderen Anwendungsbereich und ist daher nur bedingt übertragbar, jedoch wird das verwendete Baukastenprinzip als sinnvoll erachtet und auch in dieser Arbeit aufgegriffen.

MAMOS – Lang, Slama, Feldmann et al.³⁹

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wird die Steigerung der Mitarbeitereffizienz und der Selbstorganisation mittels *multimedialer Mitarbeiterinformationssysteme* angestrebt (FELDMANN ET AL. 2004, S. 234). Um die Informationserstellung und -distribution zu vereinfachen, werden ein Editor namens AGeniA zur automatischen Generierung industrieller Arbeitsanweisungen und zur Visualisierung am Arbeitsplatz (FRANKE & RISCH 2009, S. 824) sowie die Werkerinformationssysteme WIPUS (FELDMANN & LANG 2005, S. 26; 2007, S. 727) und IM@GE+ (FELDMANN ET AL. 2004, S. 239-244; SLAMA 2004, S. 158-165) entwickelt. In den Systemen sind Funktionen wie eine benutzergruppen- und auftragsspezifische Informationsbereitstellung, eine frei wählbare Informationstiefe durch Stücklisten oder Videosequenzen und eine Markierung von Änderungen implementiert (FELDMANN ET AL. 2004, S. 239-244). Deren Aufbau wird jedoch nicht ausführlich beschrieben. In seiner Dissertation befasst sich LANG (2007) mit dem mitarbeiterbezogenen Informationsmanagement für die Produktion und der Erstellung von Arbeitsanweisungen anhand von Gestaltungsrichtlinien, was als Grundlagen in diese Arbeit einfließt.

³⁹ Weiterführende projektbezogene, gesichtete Veröffentlichungen: In FELDMANN ET AL. (2002, S. 407) und FELDMANN & SLAMA (2001, S. 487) sind die Systemfunktionen zu Teilen auch beschrieben.

Montexas 4.0 – Hinrichsen, Bendzioch et al.⁴⁰

Im Verbundprojekt Montexas 4.0 werden *Einsatzmöglichkeiten von informatorischen Assistenzsystemen* für die manuelle Montage erforscht (BENDZIOCH ET AL. 2019, S. 4). Dafür werden eine Morphologie von Informationsassistenzsystemen entwickelt (HINRICHSEN ET AL. 2016, S. 8) und generische Gestaltungsempfehlungen für typische Probleme der Informationsbereitstellung gegeben (HINRICHSEN & BENDZIOCH 2018, S. 341). Das technische Konzept eines im Rahmen des Projekts entwickelten Werkerinformationssystems wird vorgestellt (NIKOLENKO ET AL. 2019, S. 29-31), jedoch ohne tiefere Ausführungen hinsichtlich einer dynamischen und individuellen Werkerinformation.

motionEAP⁴¹ – Bächler, Korn, Funk et al.⁴²

Im Zentrum des Forschungsprojekts steht ein Assistenzsystem, das sich durch eine *Bewegungserkennung mit Echtzeit-Feedback und die in-situ-Projektion⁴³* von Werkerinformationen auszeichnet. Das System wird insbesondere als adaptive Prozessführung für leistungsgeminderte Mitarbeiter entwickelt und an Montagetischen und Kommissionierregalen erprobt. (BÄCHLER ET AL. 2018, S. 37; FUNK ET AL. 2016A, S. 1-2)

Die Veröffentlichungen von FUNK betrachten verstärkt technische Fragestellungen wie Feedbackmodalitäten oder Kamera- und Projektionstechnik (FUNK ET AL. 2015A; FUNK ET AL. 2016B; FUNK ET AL. 2016C; KOSCH ET AL. 2016). KORN konzentriert sich auf die Effekte von Bewegungserkennung und passender Projektion sowie auf die Motivation durch Gamification (KORN 2014, S. 101; KORN ET AL. 2014, S. 5-7; KORN ET AL. 2013, S. 6). BÄCHLER ET AL. ergänzen, dass die Anleitungsstufen des entwickelten Assistenzsystems abhängig vom erfassten Bewegungsablauf, personenbezogenen Daten und der persönlichen Fehlerhistorie variieren können (BÄCHLER ET AL. 2018, S. 38; BÄCHLER ET AL. 2015, S. 59). Diesbezüglich können Ideen für die individuelle Informationsanpassung übernommen werden.

⁴⁰ Weiterführende projektbezogene, gesichtete Veröffentlichungen: BENDZIOCH ET AL. (2020) vergleichen die Nutzung von Augmented-Reality-Datenbrillen und papierbasierten Arbeitsanweisungen zur Bereitstellung der Werkerinformation.

⁴¹ Im Vorläuferprojekt ASLM (Assistenzsysteme für leistungseingeschränkte Mitarbeiter in der manuellen Montage) wurden inhaltlich verwandte Themen erarbeitet, die in motionEAP aufgegriffen werden.

⁴² Weiterführende projektbezogene, gesichtete Veröffentlichungen: FUNK ET AL. (2015C) befassen sich mit einem Studiendesgin zur Evaluation von interaktiven Anweisungen, während in FUNK ET AL. (2015B) ein adaptives Assistenzsystem präsentiert wird, das Vitalparameter des Mitarbeiters aufnimmt. KORN ET AL. (2012) zeigen in einer Studie, dass mit der Methode der kontextsensitiven, nutzerzentrierten Skalierbarkeit (CSUSCS – context-sensitive user-centered scaling) Herausforderungen bei Montageaufgaben an das Kompetenzlevel des Werkers angepasst und diese dadurch motiviert werden können.

⁴³ In-situ-Projektion bezeichnet die Projektion der Werkerinformation auf die Montagekomponenten und den Verbauort.

mumasy (FOR639) – Dreyer, Oglodin et al.⁴⁴

Als Basis für eine *situative Informationsbereitstellung an Fertigungsmaschinen* erarbeiten DREYER (2006, S. 134-135) und OGLODIN (2010, S. 155-157) feingranulare Informationseinheiten zur Strukturierung der technischen Dokumentation. Dabei wird das dem Forschungsprojekt zugrundeliegende mumasy-Informationsmodell aufgegriffen und mit dem als „stemadi“ bezeichneten Modell weiterentwickelt, welches sich durch die Integration von variablen und bedingten Handlungen auszeichnet (OGLODIN ET AL. 2008B, S. 349). Hieraus können nach dem Transfer für den hier fokussierten Betrachtungsbereich wertvolle Anregungen für die Erarbeitung von den der Werkerinformation zugrundeliegenden Werkerinformationspaketen gewonnen werden.

Operator of the future – Åkerman et al.⁴⁵

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts verfasste ÅKERMAN (2017) seine kumulative Dissertation zur Fragestellung, wie die *Zusammenarbeit von Informations- und Kommunikationssystemen* gestaltet werden muss. Mitarbeiter sollen durch den IKT-Einsatz beim Informationsaustausch mit Kollegen oder bei ihrer Arbeit durch kognitive Automation unterstützt werden (ÅKERMAN 2017, S. 51). Im Feld der kognitiven Automation werden unter anderem dynamische Checklisten und Arbeitsanweisungen aufgeführt (ÅKERMAN 2017, S. 54; ÅKERMAN & BERGLUND 2017, S. 78). Am Beispiel einer täglichen Instandhaltungsaufgabe wird ein entwickelter Prototyp präsentiert (ÅKERMAN ET AL. 2014, S. 2-3; FAST-BERGLUND ET AL. 28. – 30.2014, S. 69). Die genannten Teile der Forschungsarbeiten passen thematisch zu dieser Aufgabenstellung, die notwendige Detailtiefe in für diese Arbeit relevanten Fragestellungen liegt jedoch nicht vor.

⁴⁴ Weiterführende projektbezogene, gesichtete Veröffentlichungen: In den Veröffentlichungen STORR ET AL. (2001), KLEMM ET AL. (2003), DREYER & KLEMM (2005), OGLODIN ET AL. (2008A) und OGLODIN ET AL. (2009) werden die Details zu den Informationsmodellen mumasy und stemadi sowie deren Entwicklung dargelegt.

⁴⁵ Weiterführende projektbezogene, gesichtete Veröffentlichungen: ÅKERMAN ET AL. (2015) stellen eine Studie zum Einsatz einer Smartphone-Applikation vor, mit der Mitarbeiter erfolgreich befähigt wurden, neue Aufgaben in Montagebereichen zu übernehmen. Für die Entwicklung entsprechender IKT-Systeme zeigen FAST-BERGLUND ET AL. (28. – 30.2014) den Einsatz der Methode Technology Readiness Assessment (TRA), um passende Technologien auszuwählen. KARLSSON ET AL. (2013) untersuchen allgemeiner gefasst die Potenziale von IKT in Produktionsbetrieben und kommen zum Ergebnis, dass dies ein vielversprechender Beitrag zur Wettbewerbsfähigkeit von schwedischen Unternehmen ist.

Sense&React – Alexopoulos et al.⁴⁶

In diesem Forschungsprojekt wurde eine *generische Architektur zur kontextsensitiven Informationsverarbeitung* für Produktionsumgebungen entwickelt, auf der verschiedene Applikationen aufsetzen können (ALEXOPOULOS ET AL. 2016, S. 843). Beispielsweise werden in einem Pilotprojekt abhängig vom Erfahrungslevel des Mitarbeiters, der Produktvariante und der Fehlerwahrscheinlichkeit Arbeitsanweisungen angezeigt (ALEXOPOULOS ET AL. 2014, S. 384). Die Konzeption der kontextsensitiven Informationsbereitstellung und Auszüge der verarbeiteten Daten sind für die vorliegende Aufgabenstellung interessant, die zugehörigen Verarbeitungsregel und die Informationsanzeige der Werkerinformationsfunktion werden jedoch nicht weiter erläutert.

SmARPro – Jost et al.

Im Fokus des Forschungsprojekts steht die *kontextsensitive Informationsbereitstellung mittels Augmented-Reality-Anwendungen* auf körpernah getragenen Smart Devices (JOST ET AL. 2015, S. 153). Es werden Konzepte für die Anwendungsfälle Logistik, Werkzeugmanagement und Qualitätsprüfung vorgestellt, jedoch nicht im hier nötigen Detailgrad beschrieben (JOST ET AL. 2015, S. 165-167).

SynDiQuAss – Merkel, Sochor et al.

MERKEL konzipiert ergänzend zu einem Informationsflussdiagramm (MERKEL ET AL. 2019, S. 348) ein Fähigkeitenmodell, mit dem *anwendungsfallspezifisch passende Assistenzfunktionen ausgewählt* werden können (MERKEL ET AL. 2017A, S. 125; MERKEL ET AL. 2017B, S. 1191), um kognitive Assistenzsysteme für die manuelle Montage auszuwählen (MERKEL 2021). SOCHOR untersucht darüber hinaus die Akzeptanzsteigerung von kognitiver Unterstützung (SOCHOR ET AL. 2019A, S. 930; SOCHOR ET AL. 2019B, S. 124). Beide Ansätze befassen sich mit themenverwandten Grundlagen und sind als vorbereitend oder begleitend für den Einsatz von dynamischen und individuellen Werkerinformationssystemen einzuordnen.

Aehnelt, Bader et al. – Plant@Hand⁴⁷

Plant@Hand bezeichnet einen *mobilen Montageassistenten*, der die wahrscheinlich vorliegende Montagesituation ermitteln und passende Schritt-für-Schritt-Anweisungen anzeigen

⁴⁶ Weiterführende projektbezogene, gesichtete Veröffentlichungen: THORVALD & LINDBLOM (2016) stellen eine Methode vor, um die kognitive Belastung für Mitarbeiter zu beurteilen.

⁴⁷ Weiterführende projektbezogene, gesichtete Veröffentlichungen: AEHNELT ET AL. (2012), AEHNELT ET AL. (2014), AEHNELT & BADER (2014), AEHNELT & URBAN (2014), AEHNELT & BADER (2015A), AEHNELT & BADER (2015B), AEHNELT & URBAN (2015),

kann, um den Werker interaktiv durch die Arbeitsaufgabe zu führen (AEHNELT & BADER 2016, S. 558-559; AEHNELT 2016B, S. 274). Einen zentralen Beitrag zu dessen Entwicklung liefert die Dissertation von AEHNELT (2016A). Er präsentiert ein Informationsassistenzsystem für kognitive Arbeitsprozesse, die das Verstehen, Entscheiden und Planen einer Arbeitsaufgabe umfassen und auf den kognitiven Prozessen Denken, Lernen, Speichern und Erinnern aufbauen (AEHNELT 2016A, S. 18-20). Mittels künstlicher Intelligenz können dem Mitarbeiter kognitive Aufgaben abgenommen werden, was als kognitive Automation bezeichnet wird (AEHNELT 2016A, S. 26-29). Mittels eines digitalen Abbilds der Montagesituation (AEHNELT 2016A, S. 84), eines digitalen mentalen Modells des Mitarbeiters (AEHNELT 2016A, S. 93) und einer digitalen Handlungssteuerung (AEHNELT 2016A, S. 96) werden Informationen für Montageaufgaben automatisiert erzeugt und dem Mitarbeiter bedarfsgerecht angezeigt (AEHNELT 2016A, S. 122). Das Modell zur Montagesituation sowie die Aufbereitung von Grundlagen zur Montagearbeit und zu Montageinformationen sind für die vorliegende Arbeit im Themenfeld der Werkerinformationssysteme von besonderer Relevanz.

Dombrowski, Wesemann et al. – WIS bei Krone

DOMBROWSKI ET AL. (2010) haben zusammen mit der Firma Krone ein *Werkerinformationssystem* implementiert, dessen grobe Systembeschreibung (morphologischer Kasten) sowie deren Strukturierung von Arbeitsprozessen und zugehörigen Arbeitsinformationen richtungsweisend für diese Arbeit ist. Aufgrund der Kürze der Veröffentlichung sind jedoch insbesondere die Themenfelder der dynamischen und individuellen Werkerinformation nicht ausreichend dargelegt.

Tjahjono – Multimedia Info System

TJAHJONO (2009, S. 260) untersucht die Nutzung und die *Akzeptanz eines multimedialen Informationssystems* für Mitarbeiter der Qualitätskontrolle. Im Trainingsmodus können die Mitarbeiter mit Hilfe von How-to-do-Videos effizient angeleitet werden. Im Arbeitsmodus werden die Mitarbeiter schrittweise durch den Prozess geführt, wobei erfahrene Werker Schritte überspringen oder frei auswählen können. Weitere Details zur Funktionsweise des Informationssystems werden nicht genannt. (TJAHJONO 2009, S. 259)

BADER & AEHNELT (2014), ALM ET AL. (2015B), ALM ET AL. (2015A). Neben der Dissertation von AEHNELT sind weitere Veröffentlichungen im Rahmen von Plant@Hand entstanden, die aber aufgrund ihrer zum Teil inhaltlichen Überdeckung mit der Dissertation oder untereinander bezüglich dieser Arbeit keine weiteren Erkenntnisse liefern.

3.3 Forschungsbedarf – Fazit

Die Vielzahl an recherchierten Forschungsprojekten und Veröffentlichungen⁴⁸ unterstreicht das Potenzial, welches im Einsatz von Informationstechnologien für die Produktion und die Montagemitarbeiter gesehen wird. Dies wirkt nachvollziehbar angesichts der in der Einleitung (Kapitel 1) dargelegten Entwicklungen (unstetiges Produktionsumfeld, heterogene Produktionsmitarbeitergruppen, Industrie 4.0-Produktionstechnologie).

Grundsätzlich wird nach der Literaturrezension festgehalten, dass *kein Veröffentlichungscluster ausreichend vollständige Zielbeiträge für eine anforderungsgerechte Informationsbereitstellung mittels eines dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems liefert*.

Rückblickend lassen sich fünf *Forschungsströmungen*⁴⁹ identifizieren, die nicht als trennscharf oder als die Themenbereiche vollständig umfassend zu verstehen sind, aber dennoch einen Überblick über die wissenschaftlichen Aktivitäten geben.

Das *Informationsmanagement*, das auch die Informationserstellung umfasst, wird beispielsweise von den Veröffentlichungsclustern eProduction (LUŠIĆ, FISCHER ET AL.), F4W (STOCKER, HANNOLA ET AL.), GAIS (JOHANSSON, FAST-BERGLUND ET AL.), MAMOS (LANG, SLAMA, FELDMANN ET AL.), mumasy (DREYER, OGLODIN ET AL.) oder Operator of the Future (AKERMAN ET AL.) in den Vordergrund gestellt.

Das *Wissensmanagement* haben eher APPsist (BREITKOPF, ULLRICH ET AL.) und M-AIS (NEUSCHWINGER) im Blick.

Zum *kontextsensitiven Produktionsmanagement* können die Arbeiten von ARTUR (DHUIEB ET AL.), SmartF IT (KERBER, LESSEL ET AL.), CLAEYS ET AL. (Context Modelling), F4W (STOCKER, HANNOLA ET AL.) oder Sense&React (ALEXOPOULOS ET AL.) gezählt werden.

⁴⁸ Einschränkend muss erwähnt werden, dass die teilweise redundante Veröffentlichung von Erkenntnissen in unterschiedlichen Formaten den Publikationsumfang in eine nicht repräsentative Höhe treibt.

⁴⁹ Ergänzend können als sechste Strömung noch Aktivitäten zu Augmented-Reality-Informationssystemen (beispielsweise You2 (SYBERFELDT, HOLM, DANIELSSON ET AL.) und SmARPro (JOST ET AL.)) angeführt werden, unter der Bemühungen zum Einsatz von Augmented Reality und Datenbrillen für Werkerinformationssysteme gefasst werden. Sie spielen jedoch oftmals aufgrund ihrer technischen Fokussierung für diese Arbeit eine untergeordnete Rolle. Zudem hat die informatorische Gestaltung, beispielsweise hinsichtlich der Informationsmenge, andere Anforderungen als bei einer bildschirmbasierte Darstellung, sodass ein Transfer der Konzepte schwierig erscheint. Trotzdem können hier ohne Anspruch auf Vollständigkeit weitere Autoren genannt werden, deren Beiträge Werkerinformationssystemen betreffen: BERNDT & SAUER 2012; BRANDL ET AL. 2014; BLATTGERSTE ET AL. 2018; EURSCH 2010; GOTO ET AL. 2010; HOŘEJŠÍ 2014; KOLLATSCH ET AL. 2014; LAMPEN ET AL. 2019; MAKRIŠ ET AL. 2016; MURA ET AL. 2015; PAELKE 2014.

Kognitive Assistenz, welche zusätzlich zur Werkerinformation die Entscheidungsfindung inkludiert, steht bei ACIPE (WIESBECK, BANNAT ET AL.), COGNITO (GORECKY ET AL.) und AEHNELT & BADER (Plant@Hand) im Fokus.

Die *Prozessführung*, teilweise mittels Bewegungserkennung, wird intensiv von STARET (TAN, DUAN ET AL.), You2 (SYBERFELDT, HOLM, DANIELSSON ET AL.), ACIPE (WIESBECK, BANNAT ET AL.), AIM (WEISNER, FUNK ET AL.), COGNITO (GORECKY ET AL.), motionEAP (BÄCHLER, KORN ET AL.) oder AEHNELT & BADER (Plant@Hand) behandelt.

Unabhängig von den Forschungsströmungen werden oft Schwerpunkte auf die *technische Konzeption und Realisierung*⁵⁰ von Werkerinformationssystemen (beispielsweise You2, ACIPE, AIM, COGNITO, CyProAssist, F4W, MAMOS, motionEAP oder SmARPro) oder auf *Studien* zum Nutzungsverhalten und zur Wirksamkeit verschiedener Werkerinformationssysteme (beispielsweise F4W, GAIS, MAMOS oder Montexas) gelegt.

Auffällig ist, dass sich unter den rezensierten Veröffentlichungen viele aus Zentraleuropa befinden. Dies lässt sich auf die in der Einleitung geschilderten Rahmenbedingungen der variantenreichen Serienmontage an Hochlohnstandorten zurückführen, die in einem entsprechenden Forschungsbedarf münden.

Aus Abbildung 3-1 (Seite 36) geht auch hervor, dass Werkerinformationssysteme schon seit längerer Zeit entwickelt werden, aber angesichts der weiterhin aktiven Forschungsszene offenkundig noch nicht abschließend erforscht sind. In zahlreichen Gesprächen mit Industrievertretern seitens des Autors hat sich der Eindruck bestätigt⁵¹, dass der Bedarf an Werkerinformationssystemen weiterhin hoch ist, aber die Implementierung nicht ausreichend fortgeschritten und entsprechende Systeme nicht flächendeckend im Einsatz sind. Neben mangelhaft verfügbaren und bearbeitbaren digitalen Arbeitsinformationen zu Montageanleitungen oder variantenbehafteten Produktmodellen kann das unter anderem an Schwierigkeiten bei der Integration in einzigartige Unternehmensprozesse und bestehende IT-Systeme liegen.

⁵⁰ Dem industriellen Leidensdruck wird nicht nur aus dem wissenschaftlichen, sondern auch aus dem privatwirtschaftlichen Sektor begegnet. Zahlreiche Unternehmen entwickeln derzeit Werkerinformationssysteme für sich selbst oder bieten bereits realisierte Konzepte zum Verkauf an. Aufgrund des Geschäftsgeheimnisses werden verständlicherweise nur Ziele und Funktionen beschrieben, nicht jedoch die Details zur Umsetzung. Daher können von industriellen Anbietern lediglich Ideen und Anforderungen extrahiert werden. Industrielösungen sind ohne Anspruch auf Vollständigkeit zum Beispiel: Active Assist von Bosch Rexroth, actyx, AQLs Werkerführung von IGH Automation, Cioplenu, CUBUS von Schnaithmann, DESC Werkerführung von DE software & control GmbH, ELAM von Armbruster, IPM PG von CSP, MiniTec, Schlauer Klaus von Optimum, Utility Film von Memex.

⁵¹ Siehe auch Fußnote 13 auf Seite 14.

Daher wird in dieser Arbeit kein Schwerpunkt auf eine singuläre prototypische, technologische Realisierung gelegt, deren Transfer in die industrielle Praxis aus genannten unternehmensspezifischen Randbedingungen und aufgrund der schnellen Überalterung durch den rasanten technologischen Fortschritt scheitern kann. Vielmehr wird als *Forschungsbedarf* ein *theoretisch, modellhafter Beitrag* gesehen, der eine höhere Weiterverwendung und damit Breitenwirkung erzielen soll.

Grundlegend dafür müssen entsprechende *Modelle modifizierbar* sein und *detailliert*⁵² vorgestellt werden. Wissenschaft hat in dem Kontext nach KUBICEK die Aufgabe, das Vorverständnis explorativ zu erweitern (Abschnitt 1.5), also innovative Modelle von Werkerinformationssystemen zu konstruieren, die dem Praxistransfer einen Weg bereiten.

Inhaltlich wird ein *Forschungsbedarf* bei der *Modellierung eines dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems* identifiziert. Dafür sind Lösungsbausteine in den Themenfeldern der dynamischen und individuellen Werkerinformation für eine entsprechende Informationsanpassung zu entwickeln. Zudem sind im Themenfeld der Werkerinformationssysteme übergreifende Lösungsbausteine erforderlich, auf denen die entwickelten Systemfunktionalitäten aufbauen können, und ein konzeptioneller Systementwurf zur Beschreibung des Gesamtmodells notwendig. Wie zu Anfang des Abschnitts konstatiert, ist die Problemstellung der Literaturrezension zufolge nur teilweise oder nicht im gewählten Betrachtungsbereich und demzufolge in seiner Gesamtheit nicht gelöst. Mathematisch ausgedrückt bildet sich der Forschungsbedarf innerhalb rezensierten Themenfelder aus dem Ziel abzüglich der bisherigen Beiträge aus dem Stand der Forschung (Abbildung 1-4 auf Seite 11 stellt den Sachverhalt qualitativ dar). Dabei sind vorhandene Teillösungen in ein Gesamtmodell zu integrieren und auszubauen, sodass Werkerinformationssysteme insbesondere hinsichtlich der Dynamisierung und Individualisierung weiterentwickelt werden.

Resümierend ergibt sich aus dem industriellen Leidensdruck (Abschnitt 1.2) und dem wissenschaftlichen Leidensdruck (Forschungsbedarf) ein Entwicklungsauftrag. Im nächsten Kapitel werden Anforderungen für eine der Zielsetzung entsprechende anforderungsgerechte Informationsbereitstellung mittels eines dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems formuliert. *Durch die Anforderungsstudie wird implizit auch der Forschungsbedarf in den drei Themenfeldern rückwirkend spezifiziert.*

⁵² Abgesehen von Dissertationsschriften besitzen die kurzen Veröffentlichungen in Journals, in Buchkapiteln oder auf Konferenzen, wohl aus Platzmangel, nicht die notwendige Detailtiefe.

4 Anforderungsstudie

Mit Hinblick auf den bestehenden Forschungsbedarf strebt die vorliegende Arbeit einen Beitrag an, der den industriellen und wissenschaftlichen Leidensdruck mindert. Um eine anforderungsgerechte Informationsbereitstellung (Ziel der Arbeit) zu erreichen, wurde eine Anforderungsstudie durchgeführt. Zunächst werden vier Anforderungsgruppen unterschieden.

Als Voraussetzung für die Erzielung eines wissenschaftlichen Arbeitsergebnisses sind *vorgehensbezogene Anforderungen* zu beachten. Die Ausführungen zur Forschungskonzeption sind in Abschnitt 1.5 dargelegt, da sie nicht nur für die Entwicklung des Werkerinformationssystems, sondern für alle zu erarbeitenden Inhalte gelten. Hervorzuheben sind an dieser Stelle die Berücksichtigung der Gütekriterien für Methoden, die beim Entwicklungsprozess eine Rolle spielen, und die Berücksichtigung der Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung, die bei der Beschreibung des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems relevant sind.

Wirtschaftliche Anforderungen stecken implizit in der Forschungshypothese, da eine tragfähige Lösung für die Problemstellung selbstverständlich wirtschaftlich sinnvoll sein muss. Dieser Aspekt wird bei der Evaluation in Kapitel 8 im Zusammenhang mit der Forschungshypothese diskutiert und daher nicht als separate Anforderung aufgenommen.

Als *grundlegende Anforderung* wurde im vorangegangenen Abschnitt ermittelt, dass ein modifizierbares und detailliertes Modell zu erarbeiten ist, um einen Transfer der Forschungsergebnisse in die industrielle Praxis zu erleichtern.

Die Ermittlung der *inhaltlichen Anforderungen* stellt eine komplexere Aufgabe dar und erfolgt methodengestützt in zwei Schritten. Basierend auf einer Potenzialanalyse (Abschnitt 4.1) erfolgt die Ableitung von Anforderungen (Abschnitt 4.2). Die Anforderungen zielen auf eine dynamische und individuelle Werkerinformationsbereitstellung und spezifizieren den Forschungsbedarf in den Themenfeldern der dynamischen und individuellen Information. Anforderungen im Themenfeld der Werkerinformationssysteme werden mit der Studie nicht erfasst. Randbedingungen und Erfordernisse für ein entsprechendes funktionsübergreifendes Basis-Werkerinformationssystem ergeben sich aus den dynamischen und individuellen Systemfunktionalitäten. Einschränkend wird erwähnt, dass der Fokus dieser Arbeit nicht auf einer technologischen oder interaktionsbezogenen Betrachtung liegt (siehe Abschnitt 1.3). Damit einhergehende Anforderungen werden von den Disziplinen der Informatik sowie Produkt- und Produktionsergonomie erforscht. Dies verdeutlicht die Bedeutung interdisziplinärer Zusammenarbeit für die erfolgreiche Umsetzung von Industrie 4.0. Die Einschränkung steht im Einklang mit der Konzentration auf ein theoretisches Modell, hinsichtlich dessen der Autor aufgrund seines

produktionswissenschaftlichen Hintergrunds (siehe Fußnote 13 auf Seite 14) seine ergiebigen Beitragsmöglichkeiten sieht.

4.1 Potenzialanalyse

Im ersten Schritt wurden Verbesserungspotenziale in der manuellen Montagearbeit gesammelt, die mit einem Werkerinformationssystem adressiert werden können. Dies begünstigt eine lösungsneutrale Herangehensweise bei der Entwicklungsaufgabe. Zudem wurden für die Gewährleistung einer möglichst objektiven Potenzialanalyse Produktionsexperten und Produktionsmitarbeiter eingebunden. Die Identifikation von Potenzialen erfolgte in fünf *Expertenworkshops* und durch eine *Fokusgruppenbildung*. (TEUBNER ET AL. 2019B, S. 354-355)

Zwei Expertenworkshops wurden bei der MAN Truck & Bus SE durchgeführt, einmal mit vier Montagebereichsleitern und einmal mit acht Experten aus Produktionsmanagement und Produktionsplanung. Im MAN-Werk München werden Lkw für den Ferntransport, die Distribution und den Baustelleneinsatz auf einer Montagelinie produziert. Die Produktion zeichnet sich vor allem durch hohe manuelle Tätigkeiten sowie eine sehr große Montagevarianz und Variabilität in der Auftragsart aus. Ein Workshop fand statt mit zwei Produktionsleitern der Kramer Werke GmbH, welche eine ähnliche Produktionscharakteristik wie MAN bei der Montage von (Tele-) Radladern und Teleskopladern aufweisen. Der Workshop mit Vertretern des Werks in Teisnach von Rohde & Schwarz, wo unter anderem Körperscanner mit umfangreichen manuellen Montagetätigkeiten und Taktzeiten über einem Tag produziert werden, war trotz des nicht deckungsgleichen Betrachtungsbereichs aufschlussreich. Der fünfte Workshop hat bei IGH Automation stattgefunden, einem Anbieter von Werkerinformationssystemen. Darüber hinaus sind Gespräche und Beobachtungen sowie strukturierte Befragungen mit Werkern der MAN durchgeführt worden, die intensiv mit Werkerinformationssystemen arbeiten und daher als Fokusgruppe bezeichnet werden. Die einzelnen Protokolle und Potenzialsammlungen der Expertenworkshops und der Fokusgruppenbildung sind in den Abschnitten 10.6.2 und 10.6.3 angehängt.

Die Sammlung der Potenziale für verbesserte Werkerinformationssysteme (siehe auch Abbildung 10-29 auf Seite 208) wurde aus den Erkenntnissen der Literaturrezension bestätigt und vervollständigt. Durch die vielseitigen Quellen entsteht unabhängig vom Anwendungspartner der prototypischen Umsetzung eine *betrachtungsbereichsbezogene Allgemeingültigkeit*.

Nach inhaltlicher *Sortierung und Synonymisierung* wurden die *Potenziale in acht Feldern* zusammengeführt (TEUBNER ET AL. 2019B, S. 354-355). Implizit spielen bei der Zusammenfüh-

zung zahlreiche Gespräche mit Industrievertretern und Firmenbesichtigungen während der Institutszeit eine Rolle sowie die Eindrücke, die der Autor bei der eigenen Bandarbeit erfahren durfte⁵³. Der besseren Nachvollziehbarkeit halber und um Redundanzen zu vermeiden, werden die Ergebnisse im nächsten Abschnitt zusammen mit der Anforderungsableitung vorgestellt.

4.2 Anforderungsableitung

Im zweiten Schritt werden die *acht Potenzialfelder in acht Anforderungen (A1 bis A8)* an das zu entwickelnde dynamische und individuelle Werkerinformationssystem übersetzt. Als inhaltliche Anforderung wird eine Produkteigenschaft verstanden, die als funktionales Merkmal ohne quantitative Ausprägung aufgenommen wird (PONN & LINDEMANN 2011, S. 39). *Die Anforderungen stehen diametral den Forschungsfragen gegenüber.* Sie betrachten das System aus einer am Funktionsumfang orientierten Perspektive. Die Forschungsfragen hingegen orientieren sich an der Funktionsweise und gelten für jede Anforderung. Der Zusammenhang wird bei der Systemgestaltung in Abschnitt 5.1 detailliert erläutert. Die folgenden Ausführungen zur Übersetzung der Potenziale in Anforderungen referenzieren auf TEUBNER ET AL. (2019B, S. 354-355).

A1 – Selektieren der Informationen nach Montageauftrag

Wenn die präsentierten Informationen für alle Produktvarianten gültig – also variantenneutral gehalten – sind, sind sie normalerweise nicht sehr detailreich und zu ungenau für eine Montage ohne zusätzliches Vorwissen. Werden hingegen alle Produktvarianten spezifiziert, sind die Informationen sehr umfangreich. Daher ist eine Selektion der Informationen hinsichtlich des Montageauftrag erforderlich. Weil eine solche Anpassung fundamental verschieden von statischer Informationsbereitstellung ist, wird diese Anforderung aufgeführt, obwohl sie schon von einigen existierenden Werkerinformationssystemen berücksichtigt ist.

A2 – Markieren von Änderungen

Wegen eines großen Umfangs von Routinetätigkeiten für häufige Produktvarianten können Produkt- und Prozessänderungen schnell übersehen werden. Das dynamische Werkerinformationssystem soll daher dauerhafte oder einmalige Abweichungen zum bekannten Vorgehen markieren, um Aufmerksamkeit zu erregen.

⁵³ Der Autor war im Dezember 2015 und Januar 2016 im MAN-Werk München für 12 Arbeitstage in der Lkw-Endmontage an verschiedenen Arbeitsplätzen im Einsatz und hat dabei den Umgang mit Werkerinformationssystemen aus Perspektive eines Werkers kennengelernt. Vergleiche zudem auch Fußnote 13 auf Seite 14.

A3 – Melden von Montagefehlern

Verbesserungen und Fehlerprävention sind schwierig zu erzielen, wenn die Werker nicht über fehleranfällige Montage Tätigkeiten informiert werden. Entsprechend ist in die Werkerinformation eine Meldung zu Fehlergefahren einzubinden, welche auf der vergangenen Montagequalität beruht.

A4 – Kommentieren von Produkten und Prozessen

Insbesondere die Montagebereichsleiter fordern die Eingriffsmöglichkeit in den Informationskanal, um ihre Werker mit zusätzlichen Kommentaren zu versorgen, beispielsweise wenn ein Vorserienprodukt mit beachtenswerten Besonderheiten montiert wird.

Die ersten vier Anforderungen werden der dynamischen Werkerinformation zugeordnet. Die Anforderungen A2 und A3 könnten auch als individuelle Information umgesetzt werden. Aufgrund der enormen Herausforderung einer anonymen Datenaufnahme hinsichtlich welcher Werker zu welchem Zeitpunkt welchen Montageauftrag ausführt, wird der zusätzliche Nutzen geringer als der erwartet Aufwand eingeschätzt und die Anforderung der dynamischen Information zugeordnet (siehe auch einleitende Worte von Abschnitt 5.3.3). Die Informationen für die Anforderungen A2, A3 und A4 sind teilweise bereits für die Werker verfügbar. Allerdings werden sie oftmals in wöchentlichen Besprechungen und nicht direkt am Arbeitsplatz zur Verfügung gestellt, sodass sie leicht vergessen werden können.

Die folgenden Anforderungen beziehen sich auf die individuelle Werkerinformation.

A5 – Aufteilen der Informationen nach Rolle

Wenn mehrere Werker an einem Arbeitsplatz tätig werden, beispielsweise weil Springer Arbeitsvorgänge des eigentlichen Werkers übernehmen oder weil neue Mitarbeiter angeleitet werden, müssen sich die Werker die jeweils benötigten Informationen raussuchen. Daher wird als fünfte Anforderung die Aufteilung der Informationen nach den beteiligten Rollen in Fällen von Arbeitsteilung angeführt.

A6 – Auswahl der Informationen nach Qualifikation

Unabhängig von der Rolle sind die bereitgestellten Informationen zumeist nicht an die Qualifikationsstufe angepasst. Unerfahrene Werker haben einen anderen Informationsbedarf als erfahrene. Dies resultiert in einer Unter- oder Überinformation für die meisten Werker. Die Erfahrung wird oftmals von den zuständigen Montagebereichsleitern eingeschätzt und in einem unternehmensspezifischen Qualifikationsprofil hinterlegt. Diese Einschätzung wird jedoch nicht in Werkerinformationssystemen verwendet, sodass eine qualifikationsspezifische Informationsauswahl angestrebt wird.

A7 – Fördern von Anlernprozessen

Aufgrund umfangreicher Tätigkeiten und einer Vielzahl an Montagevarianten kann es mehrere Tage oder Wochen dauern, neue Mitarbeiter anzulernen. Das Werkerinformationssystem soll in der Lage sein, den Anlernprozess des Mitarbeiters zusätzlich zur qualifikationsspezifischen Informationsauswahl zu fördern.

A8 – Unterstützen von individueller Variantentransparenz

Die letzte Anforderung adressiert ein ähnliches Problem wie die Förderung des Anlernprozesses. Werker können insbesondere bei einem wechselhaften Produktionsprogramm die Übersicht verlieren, mit welchen anstehenden Montageaufträgen sie vertraut sein müssten und welche Montagetätigkeiten bei welchen Produktvarianten identisch sind. Um die Werker zu unterstützen, soll eine individuelle Transparenz über Montagevarianten verfügbar sein.

Die acht resultierenden inhaltlichen Anforderungen sind in Abbildung 4-1 zusammengestellt und dabei der dynamischen respektive der individuellen Werkerinformation zugeordnet. Durch die Zuordenbarkeit der Potenzialfelder beziehungsweise der acht Anforderungen in die Themenfelder der dynamischen und individuellen Werkerinformation wird die Forschungshypothese implizit *in erster Instanz als berechtigte Annahme bestätigt*.



Anforderungen an dynamische (d.h. an Produkt/Prozess angepasste) Werkerinformation



Selektieren der
Informationen nach
Montageauftrag



Markieren von
Änderungen



Melden von
Montagefehlern



Kommentieren von
Produkten und
Prozessen



Anforderungen an individuelle (d.h. an Werker angepasste) Werkerinformation



Aufteilen der
Informationen nach
Rolle



Auswahl der
Informationen nach
Qualifikation



Fördern von
Anlernprozessen



Unterstützen von
individueller
Variantentransparenz

Abbildung 4-1: Inhaltliche Anforderungen für dynamische und individuelle Werkerinformationssysteme (TEUBNER ET AL. 2019B, S. 354-355)

Die feingliedrige Potenzialanalyse und Anforderungsableitung dienen der besseren Beherrschung der analytisch-deduktiven Forschungsaktivität bei der Systementwicklung im nächsten Kapitel, und sind dem Wortsinne nach (analytisch = zerlegen (DUDEN 2019)) sogar als notwendig anzusehen. Basierend auf den Anforderungen werden Systemfunktionen definiert und anschließend notwendige Systemelemente und -relationen entwickelt.

5 Dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem

Mit Abschnitt 5.1 wird zunächst ein systemtheoretischer Entwurf des Werkerinformationssystems erarbeitet. Basierend auf dieser konzeptionellen Beschreibung wird anschließend in Abschnitt 5.2 das Basis-Werkerinformationssystem vorgestellt, welches Elemente beinhaltet, die für alle Systemfunktionen gleichermaßen erforderlich sind. Mit den Abschnitten 5.3 und 5.4 werden die notwendigen Lösungsbausteine des dynamischen beziehungsweise individuellen Werkerinformationssystems präsentiert. In Abschnitt 5.5 folgt eine zusammenfassende Darstellung aller acht Systemfunktionen.

5.1 Systementwurf

Um das Werkerinformationssystem konzeptionell zu entwerfen, wird das System mit Hilfe der Systemtheorie beziehungsweise textuell und bildlich modelliert. Die *Systemtheorie eignet sich als Modellierungstechnik* vor allem, weil sie das System vollständig auf einem abstrakten Level beschreibt (ROPOHL 1999, S. 77). Damit kann die Systembeschreibung über die prototypische Umsetzung und die beispielhafte Anwendung hinaus von anderen Nutzern auf eigene Anwendungsfälle transferiert werden (grundlegende Anforderung aus Kapitel 4). Zudem wird eine einfache Verknüpfung mit den inhaltlichen Anforderungen aus Abschnitt 4.2 ermöglicht, wie in diesem Abschnitt dargelegt wird.

Nach ROPOHL (1999, S. 75) wird ein System durch die Betrachtung von drei Konzepten beschrieben: dem hierarchischen, dem funktionalen und dem strukturalen Konzept.

Werkerinformationssystem – Hierarchisches Konzept

Dem *hierarchischen Konzept* zufolge ist das Werkerinformationssystem von einer Landschaft aus *Super- und Subsystemen* umgeben (Abbildung 5-1) (ROPOHL 1999, S. 77).

In der Leitebenenpyramide (VDI 5600, S. 8) werden Unternehmensleitebene, Fertigungsleitebene und Fertigungsebene unterschieden. Auf Unternehmensleitebene werden Systeme des Enterprise Resource Planning (ERP) eingesetzt, um basierend auf Auftragseingängen ein Produktionsprogramm mit Terminen und Produktionsressourcen zu planen. Die Fertigungsleitebene umfasst die Feinplanung zur Umsetzung des Produktionsprogramms, die einen ständigen Soll-Ist-Vergleich zwischen der Planung der Unternehmensleitebene und den tatsächlichen Prozessen auf Fertigungsebene durchführt. Unter Zuhilfenahme von Manufacturing Exe-

cution Systems (MES) werden unter anderem die Aufgaben der Datenerfassung, des Qualitätsmanagements und des Informationsmanagements erfüllt. Auf Fertigungsebene sind die entsprechenden Arbeitsplätze und Anlagensteuerungen angesiedelt. (KLETTI 2007, S. 6-8, 129-131)

Werkerinformationssysteme werden entsprechend auf der Ebene der MES verortet und können auch ebenen-intern in Super- und Subsystemen eingebunden sein. Ein Supersystem kann ein Mitarbeiterinformationssystem sein, das neben dem Werkerinformationssystem weitere Informationssysteme, beispielsweise zu Arbeitszeiten oder Einsatzplänen (beispielsweise TROPSCHUH & REINHART 2020), umfasst. Subsysteme eines Werkerinformationssystems sind solche, die Eingangsinformationen wie beispielsweise Qualitätsdaten zur Rückmeldung an den Werker liefern.

Dieses Konzept bietet sich vor allem für die technische Systemeinbindung an. Da dies jedoch nicht im Fokus dieses Forschungsprojekts steht, wird es nicht weiter detailliert.

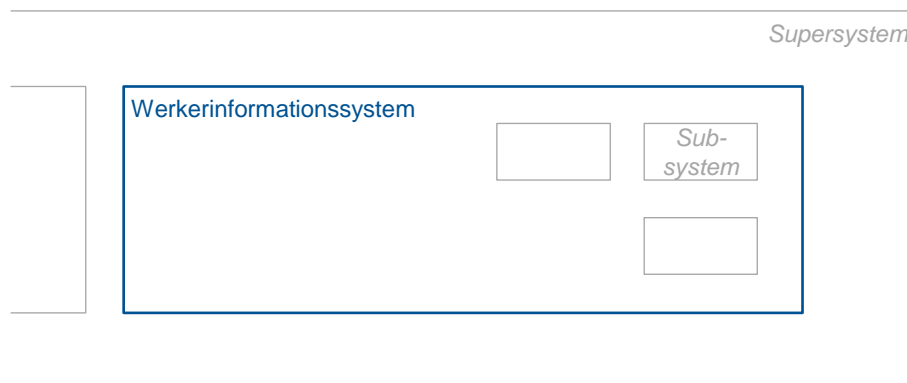


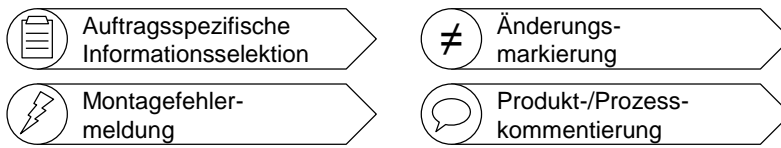
Abbildung 5-1: Hierarchisches Konzept des Werkerinformationssystems

Werkerinformationssystem – Funktionales Konzept

Beim funktionalen Konzept wird das System als Blackbox aufgefasst und der innere Systemaufbau nicht betrachtet. Das Konzept beschränkt sich auf das zu beobachtende Verhalten des Systems sowie die Zusammenhänge zwischen Ein- und Ausgangsgrößen. (ROPOHL 1999, S. 75-76)

Von außen betrachtet wird mittels der Systemfunktionen das Ziel der anforderungsgerechten Werkerinformation (Systemausgangsgröße) ermöglicht. Entsprechend werden aus den acht inhaltlichen Anforderungen an ein dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem acht notwendige Systemfunktionen abgeleitet (Abbildung 5-2).

Systemfunktionen für eine dynamische (d.h. an Produkt/Prozess angepasste) Werkerinformation



Systemfunktionen für eine individuelle (d.h. an Werker angepasste) Werkerinformation

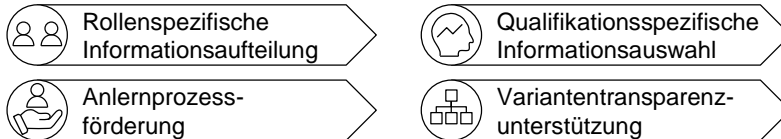


Abbildung 5-2: Systemfunktionen des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems

Alle Systemfunktionen folgen der gleichen Funktionsweise. Der Dreischritt aus Kontext erfassen, Informationen komponieren und Informationen bereitstellen bildet die Funktionsweise, mit der die entsprechenden Ein- und Ausgangsgrößen zusammenhängen (Abbildung 5-3). Angepasst an den erfassten Input in Form veränderlicher Werkerinformationspakete und Parameterwerte, werden die Informationen für den Werker komponiert und als Output des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems bereitgestellt.

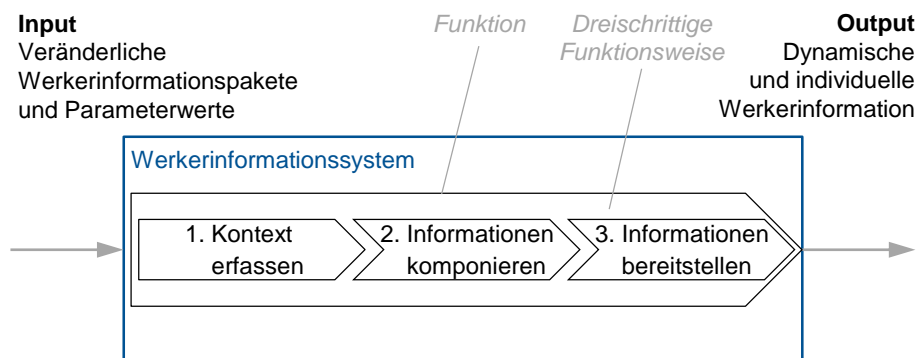


Abbildung 5-3: Funktionales Konzept des Werkerinformationssystems

Werkerinformationssystem – Strukturales Konzept

Das strukturele Konzept beschreibt das System mit den internen Systemelementen und deren Relationen, wobei das Netzwerk der Relationen als Systemstruktur bezeichnet wird. Die Verknüpfung der Elemente über die Relationen ermöglicht die Systemfunktionen⁵⁴. (ROPOHL 1999, S. 75-77)

⁵⁴ Weiterführende Anmerkung: Hier offenbart sich, dass das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile, das schon Aristoteles mit seiner Unterscheidung von Ganzheit und Vielheit zu differenzieren wusste (ROPOHL 1999, S. 71).

Synchron zum Dreischritt der Funktionsweise (Abbildung 5-3) und in Anlehnung an das MVC⁵⁵-Entwurfsmuster werden drei Elementarten definiert: *Datensätze* zur Erfassung von Werkerinformationspaketen und Parameterwerten, *Regelwerke* zur Komposition von Informationen und *Anzeigefelder* zur Bereitstellung der Informationen. Abbildung 5-4 stellt deren Relationen untereinander und mit dem Umfeld dar. Die Aktualisierung der Datensätze erfolgt durch den Kontext beziehungsweise durch Veränderungen bei den Werkerinformationspaketen, beim Produkt oder Prozess (für eine dynamische Information) und beim Werker (für eine individuelle Information). Die Regelwerke analysieren die aktualisierten Datensätze und bestimmen die notwendigen Anzeigefelder. Diese lesen die bereitzustellenden Informationen aus den Datensätzen aus und geben sie für den Werker aus.

Die drei Elementarten fügen sich auch nahtlos ein in die übergeordnete Beschreibung von Montageassistenzsystemen aus Abbildung 2-4 (Seite 25). Dabei decken die Datensätze die eingegebenen oder sensorisch anderweitig erfassten Informationen sowie die internen Datenbanken ab, die Regelwerke korrespondieren mit der Steuerungslogik und die Anzeigen spiegeln die Ausgabe wider. Die Relationen werden dort nicht ersichtlich, da Abbildung 2-4 den Informationsfluss und nicht die relationale Verknüpfung der Elemente beschreibt.

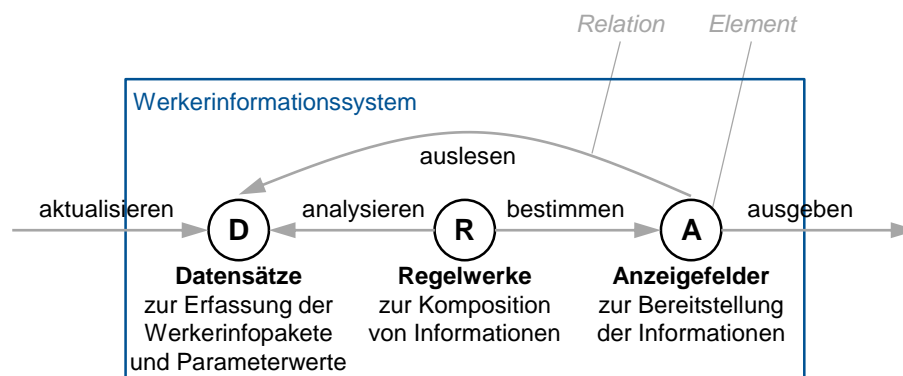


Abbildung 5-4: Struktureles Konzept des Werkerinformationssystems

Bezogen auf den beispielhaften Anwendungsfall aus Abbildung 2-7 (Seite 31) stellt sich die Funktionsweise exemplarisch wie folgt dar (Abbildung 5-5). Das Werkerinformationssystem erfasst als Input die Werkereigenschaft „Neue Zeitarbeitskraft mit geringer Qualifikation“. Es

⁵⁵ MVC steht für Model-View-Controller und bezeichnet ein Entwurfsmuster in der Softwareentwicklung (REENSKAUG 1979, S. 13). Die drei hier definierten Elementarten können als Teilmenge von MVC aufgefasst werden, bei dem Programmlogiken teilweise in den Modellen hinterlegt sind und der Controller vor allem die Nutzerinteraktion steuert. Die Interaktion besteht bei diesem Werkerinformationssystem beispielsweise in der Auswahl der anzuzeigenden Aufträge und weiteren Einstellungen wie der Qualifikation. Die Interaktionsgestaltung ist nicht im Fokus dieser Arbeit und Schwerpunkt anderer Forschungsdisziplinen, aber mit der Systemtheorie als interdisziplinärer Modellierungstechnik wird eine Schnittstelle für entsprechende Weiterentwicklungen geschaffen.

wird auf einen hohen Informationsbedarf geschlossen und eine prozessuale Arbeitsanweisung komponiert. Auf dem Monitor wird als individuelle Werkerinformation mittels einer Prozesspeilkette für jeden Arbeitsschritt ein Bild für den Werker bereitgestellt.

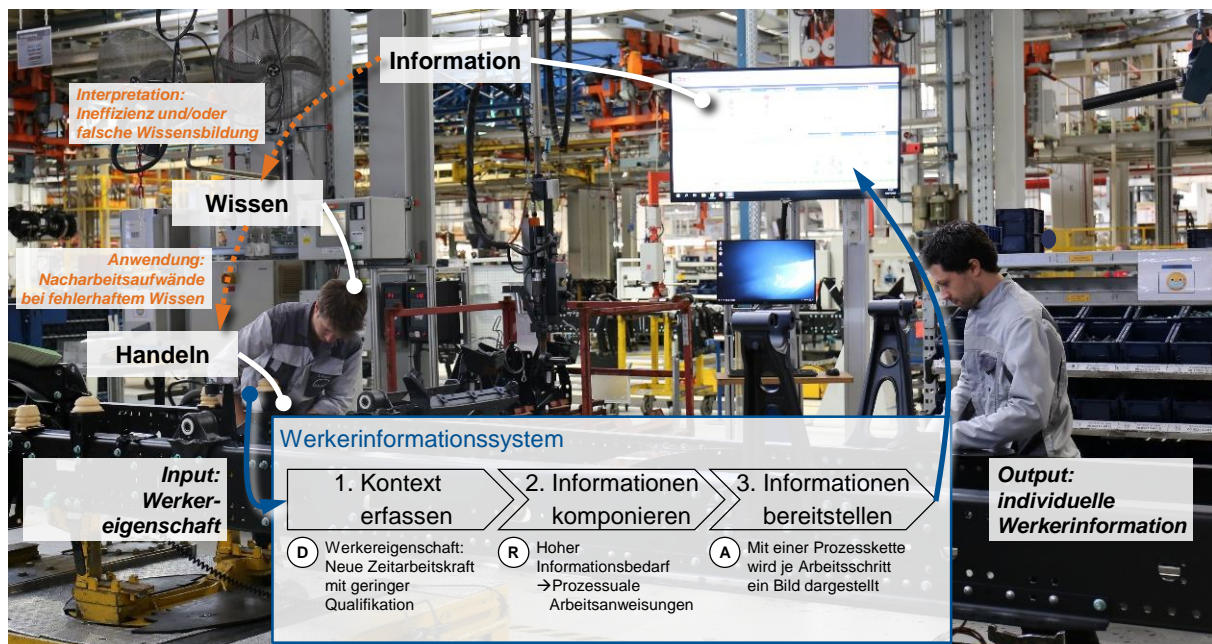


Abbildung 5-5: Beispielhafte Darstellung der Funktionsweise des Werkerinformationssystems

Die aus den Anforderungen übersetzten, erforderlichen Systemfunktionen entstammen den Themenfeldern der dynamischen und individuellen Werkerinformation (Abschnitt 4.2) und betrachten das System aus einer am Funktionsumfang orientierten Perspektive. Sie stehen den Forschungsfragen (FF1, FF2, FF3), welche sich an der Funktionsweise orientieren und für jede Systemfunktion gelten, diametral gegenüber (Abbildung 5-6). Aus der Funktionsweise werden die drei Systemelementarten Datensätze, Regelwerken und Anzeigefeldern abgeleitet, die auch als Lösungsbausteine bezeichnet werden. In Abschnitt 5.2 wird zunächst das Basis-Werkerinformationssystem entwickelt, welches Systemelemente umfasst, die für alle acht Funktionen erforderlich sind. In den beiden Abschnitten 5.3 und 5.4 werden jeweils vier dynamische beziehungsweise individuelle Systemfunktionen vorgestellt. Dabei gliedern sich die drei folgenden Abschnitte auf gleiche Weise in Datensätze, Regelwerke und Anzeigefelder.

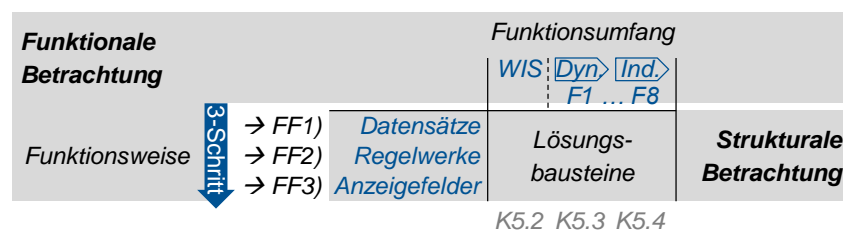


Abbildung 5-6: Drei Systemelementarten werden aus der Funktionsweise abgeleitet und ermöglichen die aus den Anforderungen übersetzten Systemfunktionen (Funktionsumfang).

5.2 Basis-Werkerinformationssystem

In diesem Abschnitt werden *funktionsübergreifende Systemelemente* der drei Elementarten Datensätze, Regelwerke und Anzeigefelder beschrieben, die allen dynamischen oder individuellen Systemfunktionen gemein sind. Sie werden als Basis-Werkerinformationssystem bezeichnet. Das Basis-Werkerinformationssystem ist als statisch und one-fits-all zu charakterisieren, weil es noch keine dynamischen und individuellen Systemfunktionen anbietet. Es kann statische One-fits-all-Werkerinformationen darstellen, auch wenn es dafür durch die funktionsübergreifenden Elemente überdimensioniert ist.

5.2.1 Systemelement Datensätze

Mit Hilfe der *Datensätze* werden die *Parameterwerte und Werkerinformationspakete* erfasst. Die Datensätze werden in Datentabellen dargestellt, wobei in der Kopfzeile die jeweiligen Parameter benannt werden und in den weiter folgenden Zeilen die Werte eines Datensatzes zugeordnet sind. Parameterwerte sind entsprechend zeitlich veränderliche Einträge oder neue Zeileneinträge in der Datentabelle, wie beispielsweise Arbeitsplanungsdaten oder Nutzungsstatistiken.

Aufgrund von Gestaltungsempfehlungen für Datenbanken und zu Gunsten der angestrebten Modularität des Werkerinformationssystems werden mehrere *Datentabellen* definiert, die untereinander über Fremdschlüssel verknüpft sind⁵⁶. Fremdschlüssel sind an einer auf „_id“ endenden Parameterbezeichnung zu erkennen. Zur einfacheren Lesbarkeit wird auf abundante Modellattribute wie „varchar(25)“ verzichtet und Fremdschlüsselwerte werden kursiv sowie in „Klartext“ geschrieben. Das bedeutet, dass anstelle der Fremdschlüssel-id, wie sie eigentlich in einer Datenbank abgebildet wird, die Fremdschlüssel-Bezeichnung aufgeführt ist⁵⁷. Zudem

⁵⁶ Als Fremdschlüssel wird die Integration eines Primärschlüssels einer anderen Datentabelle bezeichnet. Der Primärschlüssel wiederum ist ein Parameter für die eindeutige Bezeichnung eines Datensatzes in einer Datentabelle. In dieser Arbeit treten neben normalen Datentabellen, die neben Primär- und Fremdschlüsseln weitere Parameter beinhalten, zwei Sonderformen auf: 1) Reine Zuordnungstabellen, die nur aus Fremdschlüsseln bestehen und daher mit den durch Unterstriche gekoppelten Fremdschlüsseln betitelt sind. 2) Unreine Zuordnungstabellen, die neben den Fremdschlüsseln über einen Primärschlüssel verfügen und dadurch Fremdschlüsselkombinationen als Historiedaten erfassen können, wobei hier die Gefahr einer ungewollten Duplikatanlage besteht.

⁵⁷ Ausnahme beim Fremdschlüssel *werkerinformation_id*, da die Datentabelle *werkerinformation* nicht über einen Parameter Bezeichnung verfügt.

sind in den Tabellen beispielhafte Datensätze zum besseren Verständnis angelegt. Eine formal korrekte Datenbanknotation findet sich in Abschnitt 7.1 (Seite 137) bei der prototypischen Umsetzung.

Zuerst wird auf grundlegende Parameterwerte eingegangen, bevor die Werkerinformationspakete näher beleuchtet werden.

Datensätze – Parameterwerte

Grundsätzlich soll die Werkerinformation arbeitsplatzspezifisch, also *für einen Werker*, bereitgestellt werden⁵⁸. Für die systemische Modellierung der Arbeitsplatzstruktur werden die in Abbildung 5-7 aufgezeigten Datentabellen verwendet. Das Arbeitssystem wird dabei zerlegt in Montagebereiche auf oberster Ebene, Stationen auf mittlerer Ebene und Arbeitsplätze als kleinste Einheit. Da ein Arbeitsplatz auch stationsübergreifend zugeordnet sein kann, beispielsweise für einen Springer, sind zwei Zuordnungstabellen notwendig und es wird auf eine Zuordnung der Stationen zum Montagebereich verzichtet. Die Arbeitsplätze werden in den Datentabelle 'montagebereich_arbeitsplatz' und 'station_arbeitsplatz' mit einem Montagebereich respektive mit einer Station verknüpft.

⁵⁸ Dies ist nicht mit einer individuellen Werkerinformation gleichzusetzen, solange es sich um einen anonymen Werker handelt.

montagebereich

id	bezeichnung	bild	montagebereichs-leiter
1	Montagebereich 1	■	Leiter 1
2	Montagebereich 2	■	Leiter 2

montagebereich_arbeitsplatz

<i>montagebereich_id</i>	<i>arbeitsplatz_id</i>
<i>montagebereich 1</i>	<i>AP 1</i>
<i>montagebereich 1</i>	<i>Springer</i>

station

id	bezeichnung	bild	beschreibung
1	Station 1	■	Anbauteile
2	Station 2	■	Nieten

station_arbeitsplatz

<i>station_id</i>	<i>arbeitsplatz_id</i>
<i>Station 1</i>	<i>AP 1</i>
<i>Station 2</i>	<i>AP 2</i>

arbeitsplatz

id	bezeichnung	bild	beschreibung
1	AP 1	■	Haltermontage
2	AP 2	■	Flanschmontage
3	Springer	■	Montagebereichs-springer

Abbildung 5-7: Datensätze für die Modellierung der Arbeitsplatzstruktur

Darüber hinaus wird die *Abbildung der Montageaufgabe an dem Arbeitsplatz* benötigt, um die Werkerinformationspakete mit den Tätigkeiten zu verbinden. Je nach Granularität der Arbeitsplanung (siehe Abschnitt 2.1) sind dem Arbeitsplatz Arbeitsvorgangsgruppen, Arbeitsvorgänge oder Arbeitsvorgangsvarianten zugewiesen. Davon abhängig werden auf verschiedenen Ebenen die Werkerinformationspakete über entsprechende Zuordnungstabellen verknüpft (Abbildung 5-8). Dabei ist auch ein hierarchisch springendes Zuordnungsszenario denkbar, bei dem sowohl der Arbeitsvorgangsgruppe oder dem Arbeitsvorgang als auch einem untergeordneten Arbeitsvorgang beziehungsweise einer Arbeitsvorgangsvariante Werkerinformationspakete zugewiesen sind, sodass bis zu drei Zuordnungstabellen gleichzeitig vorhanden sind. Beispielhaft ist dies in Abbildung 5-10 (Seite 77) bei id_9 und id_10 zu erkennen. Aus der Werkerinformationspaketbezeichnung WIP 1.1 kann geschlossen werden, dass sie einem Arbeitsvorgang und nicht einer Arbeitsvorgangsvariante zugeordnet sind.

Zuordnungsebene: Arbeitsvorgangsgruppen**arbeitsvorgangsgruppe**

id	bezeichnung	arbeitsplatz_id
1	AVOG 1	AP 1
2	AVOG 2	AP 1

arbeitsvorgangsgruppe_werkerinformationspaket

arbeitsvorgangsgruppe_id	werkerinformationspaket_id
<i>Zuordnung prozessrelationaler WIPs</i>	
AVOG 1	WIP 1
AVOG 2	WIP 2
<i>Zuordnung produktrelationaler WIPs</i>	
AVOG 1	WIP 1a
AVOG 1	WIP 1b
AVOG 2	WIP 2a
AVOG 2	WIP 2b

Zuordnungsebene: ArbeitsvorgängeTabelle **arbeitsvorgangsgruppe**

ohne Parameter arbeitsplatz_id

und

arbeitsvorgang

id	bezeichnung	arbeitsvorgangsgruppe_id	arbeitsplatz_id
1	AVO 1.1	AVOG 1	AP 1
2	AVO 1.2	AVOG 1	AP 1

arbeitsvorgang_werkerinformationspaket

arbeitsvorgang_id	werkerinformationspaket_id
<i>Zuordnung prozessrelationaler WIPs</i>	
AVO 1.1	WIP 1.1
AVO 1.2	WIP 1.2
<i>Zuordnung produktrelationaler WIPs</i>	
AVO 1.1	WIP 1.1a
AVO 1.1	WIP 1.1b
AVO 1.2	WIP 1.2a
AVO 1.2	WIP 1.2b

Zuordnungsebene: ArbeitsvorgangsvariantenTabellen **arbeitsvorgangsgruppe**, **arbeitsvorgang**

ohne Parameter arbeitsplatz_id

und

arbeitsvorgangsvariante

id	bezeichnung	arbeitsvorgang_id	arbeitsplatz_id
1	AVOV 1.1 α	AVO 1.1	AP 1
2	AVOV 1.1 β	AVO 1.1	AP 1
3	AVOV 1.2 α	AVO 1.2	AP 1
4	AVOV 1.3 α	AVO 1.3	AP 1

arbeitsvorgangsvariante_werkerinformationspaket

arbeitsvorgangsvariante_id	werkerinformationspaket_id
AVOV 1.1 α	WIP 1.1 α
AVOV 1.1 β	WIP 1.1 β
AVOV 1.2 α	WIP 1.2&1.3 α
AVOV 1.3 α	WIP 1.2&1.3 α

Abbildung 5-8: Datensätze für die Verknüpfung von Montagetätigkeiten und Werkerinformationspaketen unterschieden nach Arbeitsplanungsebenen

Datensätze – Werkerinformationspakete

Werkerinformationspakete bündeln Datensätze zur Speicherung der Werkerinformationen. Sie sind wie die Parameterwerte ebenfalls über Datentabellen abgebildet, werden jedoch aufgrund ihrer zentralen Bedeutung für diese Arbeit gesondert behandelt.

Bevor der Aufbau eines Paketes beschrieben wird, ist die Relation *der zugeordneten Werkerinformationspakete*⁵⁹ untereinander bemerkenswert (TEUBNER ET AL. 2020, S. 3-4), die in Abbildung 5-8 in den rechten Tabellen bereits angedeutet wurde. Wichtig für das Verständnis ist, dass die Arbeitsvorgänge (und auch Arbeitsvorganggruppen/-varianten) Repräsentanten der Arbeitsplanung für Montageumfänge sind und noch keine Werkerinformation darstellen.

Den Arbeitsvorganggruppen oder Arbeitsvorgängen können Werkerinformationspakete zugeordnet sein, die *generische, variantenneutrale Prozessbeschreibungen* beinhalten. Ein Beispiel hierfür sind Arbeitspläne (auch Standardarbeitsblätter genannt), die für jeden Arbeitsvorgang ein Werkerinformationspaket mit einer variantenneutralen Beschreibung beinhalten. Die Relation der Werkerinformationspakete untereinander wird dann als *prozessrelational* bezeichnet.

Statt der generischen Beschreibung können den Arbeitsvorganggruppen oder Arbeitsvorgängen auch Werkerinformationspakete mit den jeweils *möglichen Produktvarianten* zugeordnet sein, die keine Prozessvorgabe beinhalten. Beispielsweise zeigen Konstruktionszeichnungen oder Stücklisten die Komponentenvariationen auf. Die Relation von Werkerinformationspaketen, die jeweils unterschiedliche Komponenten darstellen, soll *produktrelational* heißen.

Dabei kann es natürlich auch Mischformen bei der Zuordnung der Werkerinformationspakete zu den Arbeitsvorganggruppen oder Arbeitsvorgängen geben, indem einigen Gruppen oder Vorgängen prozessrelationale und anderen Gruppen oder Vorgängen des gleichen Arbeitsplatzes beziehungsweise der gleichen Arbeitsvorganggruppe produktrelationale Werkerinformationspakete zugewiesen sind.

Bei Arbeitsvorgangsvarianten sind die Kombinationsmöglichkeiten aus Prozessen und Produktvarianten bereits berücksichtigt (siehe Abbildung 2-2 auf Seite 22). Die entsprechenden Werkerinformationspakete sind die Vereinigung aus *prozess- & produktrelationalen* Informationspaketen und stellen Prozessvariantenbeschreibungen, also produktvariantenbehaftete Arbeitsvorgangsbeschreibungen, dar. Für eine bestimmte Produktvariante können sie auch als *arbeitsvorgangsvariantspezifische Werkerinformationspakete* bezeichnet werden.

⁵⁹ Orientiert an ADAMI ET AL. (2008, S. 197), die prozess-, produkt-, organisations- und arbeitsplatzbezogene Informationen unterscheiden, sowie RADOW (1999, S. 44), der Prozess-, Produkt, Organisations- und Betriebsmittelinformationen differenziert.

Die Relationen der Werkerinformationspakete sind in Abbildung 5-9 gegenübergestellt und korrespondierend Beispiele für Werkerinformationssysteme genannt. Bildhafte Beispiele für prozessrelationale, produktrelationale sowie prozess- & produktrelationale (=arbeitsvorgangsvariantenspezifische) Werkerinformationspakete sind zusätzlich im Anhang (Abschnitt 10.2) aufgeführt.

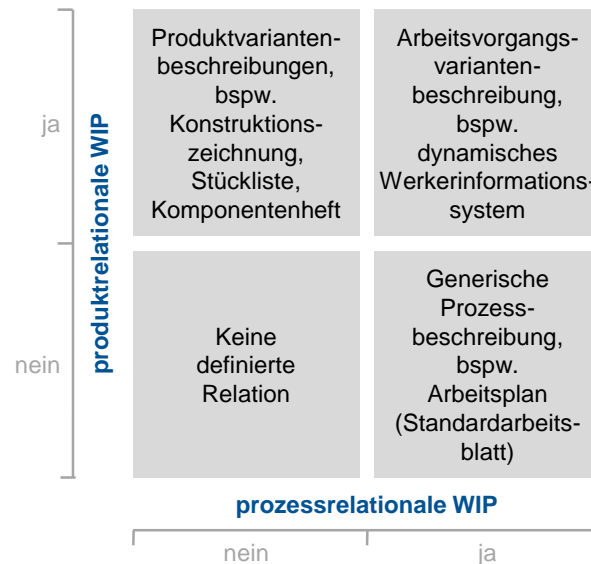


Abbildung 5-9: Gegenüberstellung möglicher Relationen aktivitätsbeschreibender Werkerinformationspakete untereinander und korrespondierende Beispiele für Werkerinformationssysteme

Zudem kann ein Werkerinformationspaket auch mehreren Arbeitsvorgängen beziehungsweise AVO(s)/-Gruppen/-Varianten zugeordnet sein, wie die letzten beiden Zeilen der Tabelle 'arbeitsvorgangsvariante_werkerinformationspaket' aus Abbildung 5-8 zeigen. Eine anschaulichere Übersicht möglicher Zuordnungskonstellationen ist im Anhang in Abbildung 10-7 (Seite 178) zu finden.

Die notwendigen *Datensätze für die Werkerinformationspakete* sind in Abbildung 5-10 dargestellt (die beispielhaft angegebenen Datensätze beziehen sich auf die Arbeitsvorgangsvarianten aus Abbildung 5-8). Die erste Tabelle oben links erfasst die Werkerinformationspakete, denen in der unteren Tabelle unterschiedliche Datensätze zugewiesen werden. Für die Modellierung der Werkerinformationen werden aus dem morphologischen Kasten (Abbildung 2-8, Seite 32, und Abbildung 10-2, Seite 171) Werkerinformationsklasse, -aspekt und -modus abgeleitet (TEUBNER ET AL. 2020, S. 3-4).

Mit der *Werkerinformationsklasse* wird differenziert, ob die Information eine Aktivität, (Sicherheits-)Warnungen oder Hinweise im Rahmen der Montagetätigkeiten beschreibt (i.A.a.

GERLACH 2010, S. 114). Damit werden die *Werkerinformationen untergliedert in Aktivitätsinformationen (im Folgenden auch als aktivitätsbeschreibende Information bezeichnet), Warnungsinformationen und Hinweisinformationen*, was für die Bereitstellung relevant ist.

Die *Werkerinformationsaspekte* sind unter Berücksichtigung von TAN & ARAI (2010, S. 771) und LUŠIĆ (2017, S. 82) sowie unter Zuhilfenahme der Fragestellungen von ZACHMANN (2011) (siehe hierzu auch Abschnitt 2.3) entworfen worden. Sie modularisieren die Tätigkeitsbeschreibung in fünf Aspekte: *‘Was_Prozess’* bezeichnet den Fügeprozess sowie Handhab- und Kontrollprozesse, *‘Was_Komponente’* umfasst ein oder mehrere Erzeugnisse und Hilfsstoffe, *‘Wodurch’* deckt die Betriebsmittel und -stoffe ab, *‘Wohin’* beschreibt Eigenschaften technischer Gebilde wie beispielsweise die Montageposition, *‘Welche_Weise’* spezifiziert weitere Füge- und Prüfdaten. Eine ausführliche Vorstellung findet sich im Anhang mit Abbildung 10-6 (Seite 176).

Der *Werkerinformationsmodus* beschreibt für eine visuelle Informationsausgabe, ob die Information in Text-, Bild, oder Videoform vorliegt. Auf eine weitere Detaillierung aus dem Gestaltungsfeld Informationsdesign mit Stil oder Intensität der Informationsbereitstellung wird zunächst verzichtet, da es für das Verständnis des Basis-Werkerinformationssystems keinen Zugewinn verspricht und dessen Beschreibung unnötig aufblähen würde.

Im nächsten Abschnitt werden die grundsätzlichen Regelwerke für das Basis-Werkerinformationssystem vorgestellt.

werkerinformationspaket		werkerinformationsklasse		werkerinformationsaspekt		werkerinformationsmodus	
id	bezeichnung	id	bezeichnung	id	bezeichnung	id	bezeichnung
1	WIP 1.1	1	Aktivität	1	ohne	1	Text
2	WIP 1.1α	2	Warnung	2	Was_Prozess	2	Bild
3	WIP 1.1β	3	Hinweis	3	Was_Komponente	3	Video
4	WIP 1.2&1.3α			4	Wodurch		
				5	Wohin		
				6	Welche_Weise		

werkerinformation					
id	werkerinformationspaket_id	werkerinformationsklasse_id	werkerinformationsaspekt_id	werkerinformationsmodus_id	information
1	WIP 1.1α	Aktivität	Was_Prozess	Text	Verschrauben
2	WIP 1.1α	Aktivität	Was_Komponente	Text	Halter A
3	WIP 1.1α	Aktivität	Wodurch	Text	Akkuschrauber
4	WIP 1.1α	Aktivität	Wohin	Text	160mm
5	WIP 1.1α	Aktivität	Welche_Weise	Text	800Nm
6	WIP 1.1α	Aktivität	Was_Komponente, Wohin	Bild	■ Halter A, 160mm
7	WIP 1.1α	Aktivität	Was_Prozess, Was_Komponente, Wohin	Video	■■■■■
8	WIP 1.1β	Aktivität	Was_Komponente, Wohin	Bild	■ Halter B, 160mm
9	WIP 1.1	Warnung	ohne	Text	Quetschgefahr
10	WIP 1.1	Hinweis	ohne	Text	Halter kratzerfrei?
11	WIP 1.2&1.3α	Aktivität	Was_Prozess	Bild	■ Prüfen&Stempeln

Abbildung 5-10: Datensätze für die Modellierung der Werkerinformationspakete

5.2.2 Systemelement Regelwerke

Mit Hilfe der Regelwerke werden die *bereitzustellenden Informationen komponiert*. Funktionsunabhängig ist zuerst immer relevant, welcher *Arbeitsplatz* ausgewählt worden ist. Allgemein sind alle dem Arbeitsplatz über die AVO(s)/-Gruppen/-Varianten zugeordneten Werkerinformationspakete aus der Datenbank bereitzustellen.

Da die Ausgabe aller verfügbaren Werkerinformationspakete zu unübersichtlich wäre, werden die entsprechenden *Arbeitsvorganggruppen* des Arbeitsplatzes in einer Übersicht aufgelistet

welche als *AVOG-Kette* bezeichnet wird (siehe Abbildung 5-12 im nächsten Abschnitt). Der Nutzer muss eine Arbeitsvorgangsgruppe auswählen, woraufhin die zugehörigen Werkerinformationspakete ausgelesen und dargestellt werden. Unter der Voraussetzung, dass die Arbeitsplanung die Montageaufgabe in handhabbare Arbeitsvorgangsgruppen und dann wiederum Arbeitsvorgänge und Arbeitsvorgangsvarianten von jeweils etwa fünf bis sieben Einheiten zerlegt hat, wie es aufgrund der Untersuchungen von MILLER (1956) empfehlenswert ist, verspricht die Strukturierung anhand der Arbeitsvorgangsgruppen zwei Vorteile. Zum einen werden die Werker bei der Informationswahrnehmung nicht zu sehr überlastet und können sich die Informationspakete besser merken (MILLER 1956, S. 91). Zum anderen lässt sich eine entsprechende Anzahl noch übersichtlich auf einem Bildschirm darstellen. SPATH & GERLACH (2009, S. 230) verwenden ebenfalls eine vergleichbare Gruppierung der Tätigkeitsbeschreibungen.

Der grundlegende Ablauf ist in Abbildung 5-11 dargestellt. Dabei werden zur besseren Verständlichkeit die *Regelwerke* nicht alleinstehend aufgeführt, sondern *in Relation zu den Datensätzen (D) und Anzeigefeldern (A)* in ein *Ablaufdiagramm* eingebettet. Die Regelwerke sind unter dem Systemelement (R) farblich markiert.

Die Informationsbereitstellung wird durch die Abfrage des Werkers ausgelöst⁶⁰, indem er einen *Arbeitsplatz auswählt*, dessen Informationen er sehen möchte. Bei der Interaktion wird vom System veranlasst, dass basierend auf dem aktuellen Kontext die Datensätze aktualisiert und durch die Regelwerke analysiert werden. Nachdem die *AVOG-Kette* für den Arbeitsplatz angezeigt ist, kann der Mitarbeiter eine *Arbeitsvorgangsgruppe auswählen*, deren Informationen ihm nach gleicher Funktionsweise ausgegeben werden. Je nach Anzeigeprinzip (siehe Abschnitt 5.2.3) muss eine *Seite beziehungsweise Zwischenseite ausgewählt* werden. Daraufhin werden die Werkerinformationen der zugehörigen Werkerinformationspakete angezeigt. Solange keine Auswahl erfolgt werden die Werkerinformationspakete der ersten Arbeitsvorgangsgruppe oder Seite ausgegeben. Der Einfachheit halber wird bei den funktionspezifischen Regelwerken auf die Differenzierung des Anzeigepinzips und die Darstellung der Seitenauswahl verzichtet.

⁶⁰ Alternativ sind auch systemische Auslöser, wie beispielsweise Taktzeitpunkte oder die Einfahrt eines fahrerlosen Transportsystems an den Arbeitsplatz, denkbar.

Die auslösenden *Nutzereingaben* sind in der Abbildung mit einem Symbol gekennzeichnet, aber deren Verarbeitung *wird nicht vollständig durch die Datensätze und Regelwerke abgebildet*, da dies nicht im Fokus dieser Arbeit steht⁶¹.

Im einfachsten Fall ist das Regelwerk eine von den Parameterwerten abhängige Datenbankabfrage, welche die bereitzustellenden Informationen aus den Datensätzen filtert. Es kann aber auch zusätzliche Regeln beinhalten, die mit Entscheidungsbäumen oder -tabellen erläutert werden. Dabei kann eine Regel zugleich für den AVOG- als auch den WIP-Filterprozess gelten, sodass sie im Ablaufdiagramm in einem beide Regelwerke umfassenden Kasten angelegt ist (siehe beispielsweise Abbildung 5-18 auf Seite 91).

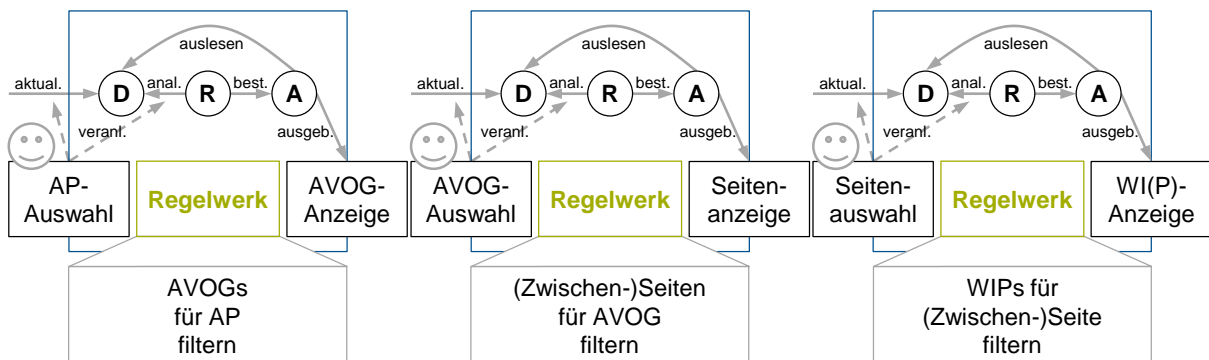


Abbildung 5-11: Regelwerke im Ablaufdiagramm des Basis-Werkerinformationssystems

5.2.3 Systemelement Anzeigefelder

Neben den Anzeigefeldern im nächsten Abschnitt, werden auch drei *Anzeigeprinzipien* sowie zwei *Anzeigeformate* betrachtet. Die Felder, Prinzipien und Formate werden in dieser Arbeit unter dem Begriff *Anzeigekonzept* zusammengefasst.

Anzeigefelder

Für die Navigation im System sowie die Bereitstellung der Werkerinformationspakete sind grundlegend drei Anzeigefelder erforderlich, die in Abbildung 5-12 auf einer Bildschirmfläche angeordnet sind.

Das *Menüfeld* bietet in der Kopfzeile die Möglichkeit, Schalteinheiten zur Arbeitsplatzauswahl sowie für funktionspezifische Einstellungen anzuordnen. Um den Blick des Werkers nicht abzulenken, sollte es ein- und ausklappbar sein.

⁶¹ Siehe auch Fußnote 55 (Seite 66) zum strukturalen Konzept des Werkerinformationssystems. Der interaktive Teil des MVC-Entwurfsmusters, also die Controller, werden hier nicht modelliert.

Unterhalb wird mit dem *AVOG-Feld*, dessen *AVOG-Kette* sich aus *AVOG-Pfeilen* zusammensetzt, dem Mitarbeiter die Auswahl einer Arbeitsvorgangsgruppe ermöglicht, deren zugehörige Werkerinformationspakete ausgegeben werden sollen. Je nach Anzahl der Werkerinformationspakete ist ein *Seitenindex* notwendig, wobei durchaus auch mehrere Werkerinformationspakete auf einer Seite dargestellt werden können. In Anlehnung an die heutzutage typischen „Pagination Dots“, werden kleine Vierecke verwendet. Ausgewählte *AVOG-Pfeile* und *Seiten* werden grafisch hervorgehoben.

Das *WIP-Feld* gibt mit Werkerinformationsfeldern die Werkerinformationen der Werkerinformationspakete aus und nimmt einen möglichst großen Teil der Bildschirmfläche ein. Es kann für die Präsentation mehrerer Werkerinformationspakete auch mehrere Anzeigefelder beinhalten. Gegebenenfalls müssen separate Anzeigefelder für Informationen vorgehalten werden, die neben anderen Werkerinformationspaketen, beispielsweise für ganze Arbeitsvorgangsgruppen, gelten. Dies könnten Warnungen oder Hinweise sein. Je nach Priorität⁶² kann das separate Anzeigefeld unterschiedlich (auch überblendend) platziert werden und entweder nach Kenntnisnahme ausgeblendet werden, automatisch verschwinden oder bis zur Auswahl einer neuen Arbeitsvorgangsgruppe im Bild verbleiben.

Wenn einer Arbeitsvorgangsgruppe kein Werkerinformationspaket untergeordnet ist, muss der *AVOG-Pfeil* entsprechend gekennzeichnet werden. Falls es nur ein Werkerinformationspaket für alle Arbeitsvorgangsgruppen zusammen gibt, beispielsweise eine Konstruktionszeichnung, müssen alle *AVOG-Pfeile* als ausgewählt markiert werden.

⁶² Die Nielsen-Norman Group hat unter dem Titel „How People Read Online: The Eyetracking Evidence“ umfangreiche Studien zu Aufmerksamkeitsbereichen auf Bildschirmen veröffentlicht (PERNICE ET AL. 2014), deren Erkenntnisse bei der Platzierung von Anzeigefeldern berücksichtigt werden können.

Werkerinformationssystem-Bildschirm

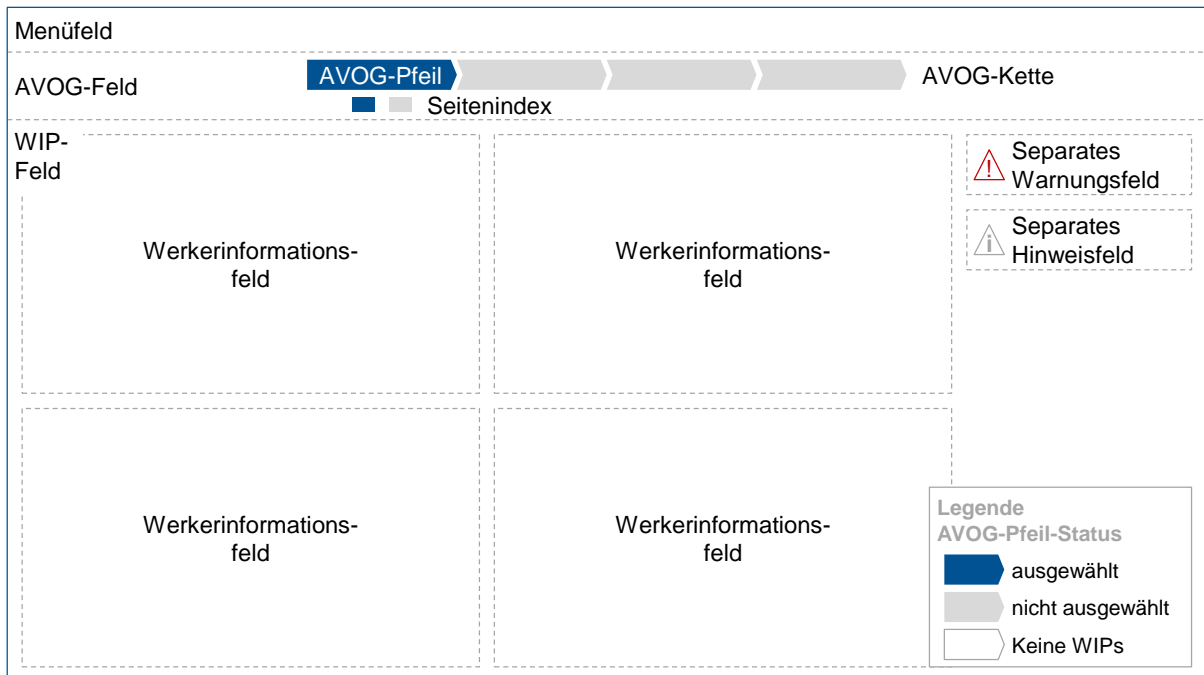


Abbildung 5-12: Anzeigefelder des Basis-Werkerinformationssystems

Anzeigeprinzipien

Das Anzeigeprinzip beschreibt, wie die zugehörigen Werkerinformationspakete einer ausgewählten Arbeitsvorgangsgruppe aus der AVOG-Kette dargestellt werden. Für das Szenario, dass es bei der Zuordnung der Werkerinformationspakete zu den AVO(s)/-Gruppen/-Varianten innerhalb einer Arbeitsvorgangsgruppe keine Hierarchiesprünge gibt (siehe Abschnitt Datensätze – Parameterwerte in 5.2.1), können *drei Anzeigeprinzipien* abgeleitet werden (Abbildung 5-13):

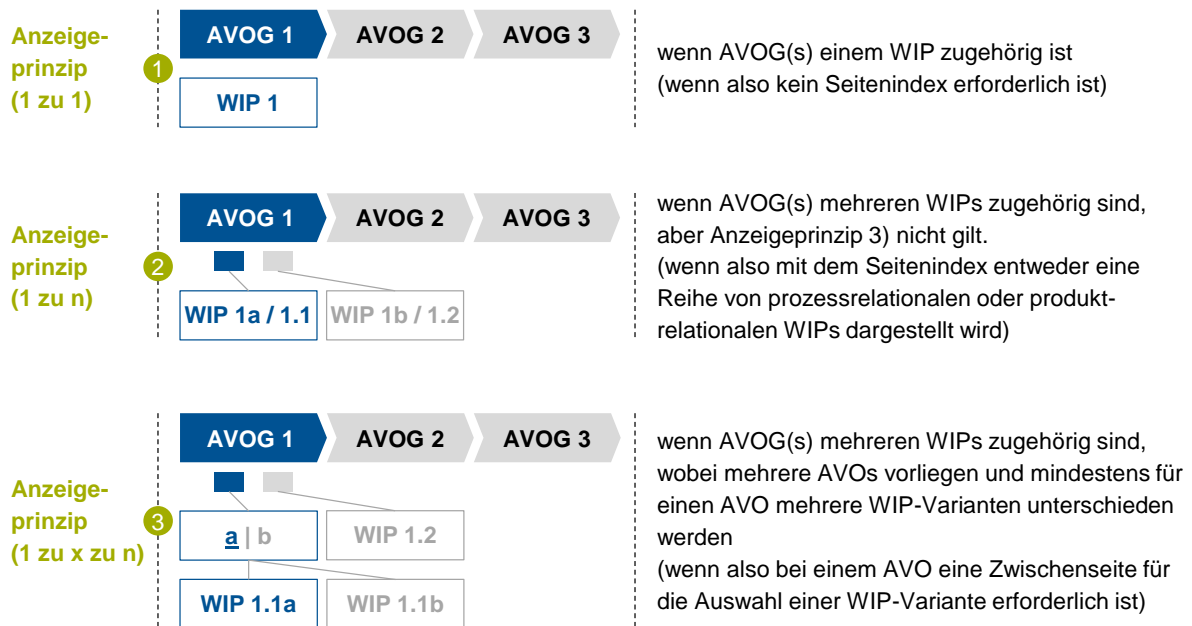


Abbildung 5-13: Anzeigeprinzipien für die Unterordnung von Werkerinformationspaketen zu Arbeitsvorgangsgruppen

Die Anzeigeprinzipien ergeben sich aus den Konstellationen der Zuordnungsebene (AVOG zu WIP, AVO zu WIP oder AVOV zu WIP), der Relationen der Werkerinformationspakete untereinander (prozessrelational, produktrelational, prozess- & produktrelational (= arbeitsvorgangsvariantenspezifisch)) und des Zuordnungsverhältnisses (Anzahl AVO(s)/-Gruppen/-Varianten pro WIP). Die möglichen Konstellationen sind im Anhang in Abbildung 10-7 (Seite 178) und Abbildung 10-8 (Seite 179) gegenübergestellt.

Für das Szenario, dass es bei der Zuordnung Hierarchiesprünge gibt, können für übergeordnete Werkerinformationspakete gegebenenfalls zusätzliche, separate Anzeigefelder definiert werden, die von dem geschilderten Anzeigeprinzip zwischen Arbeitsvorgangsgruppe und Werkerinformationspaket entkoppelt sind. Dies tritt beispielsweise ein, wenn jeder Arbeitsvorgangsgruppe eine generische Bezeichnung zugeordnet ist und die Arbeitsvorgänge einzeln abgebildet sind. Ein weiteres Beispiel ist die Zuordnung von Warnungen oder Hinweisen, die für die gesamte Arbeitsvorgangsgruppe respektive mehrere Arbeitsvorgänge oder Arbeitsvorgangsvarianten gelten sollen.

Anzeigeformate

Das Format unterscheidet die *Einzel-* und die *Multi-Anzeige*. Bei der Einzelanzeige wird ein Werkerinformationspaket im Vollbild im WIP-Feld dargestellt. Multi-Anzeige bedeutet, dass mehrere Werkerinformationspakete einer Arbeitsvorgangsgruppe gleichzeitig präsentiert werden. Je nach Informationsmodus, ob Text, Bild, Video oder eine Kombination, kann sich eine horizontale Liste (mehrere Spalten und eine Zeile) oder eine vertikale, klassische Liste (eine Spalte und mehrere Zeilen) eignen. Die Matrix- oder Kachel-Darstellung (mehrere Spalten und

mehrere Zeilen) sei der Multi-Anzeige vorbehalten, mit der alle Werkerinformationspakete der gesamten AVOG-Kette angezeigt werden. Das ist nur ratsam bei einer überschaubaren Anzahl und hat zur Konsequenz, dass eine Zugehörigkeit von einzelnen Werkerinformationspaketen zu den Arbeitsvorganggruppen ersichtlich sein muss. Dies ist beispielsweise mit der Nummerierung der Werkerinformationspakete analog zu den Arbeitsvorganggruppen möglich, die auch mit einem kleinen Pfeil-Symbol verstärkt werden kann. Auch eine farblich abgestimmte Rahmung von Werkerinformationspaket und AVOG-Pfeil ist denkbar, wenn die Farbgestaltung der Werkerinformationspakete nicht zu bunt ist.

Die Anzeigeprinzipien gelten grundsätzlich auch für die Multi-Anzeige. Gegebenenfalls kann der Seitenindex entfallen, wenn alle Werkerinformationspakete auf einer Seite dargestellt werden.

Das *Anzeige*konzept soll nicht als einzig richtiges verstanden werden, sondern vielmehr als ein *Vorschlag, um alle acht Systemfunktionen integrieren zu können*. Abhängig von den gewählten Systemfunktionen und dem Anwendungsfall können andere Konzepte sinnvoll sein.⁶³ Das präsentierte Anzeige konzept konnte sich jedoch in zahlreichen Praxiseinsätzen bewähren (TEUBNER ET AL. 2017, S. 76) und wurde in einem Expertenworkshop mit dem User-Experience-Forscher DR. FLORIAN LACHNER (siehe Abschnitt 10.6.2) diskutiert und finalisiert. Durch die Reihenfolge von oben nach unten wird eine Informationspyramide (vom Groben ins Detail) aufgebaut, die es dem Werker ebenfalls erleichtern soll, die Informationen wahrzunehmen und in Handlungen umzusetzen. Grundsätzlich müssen für die Mensch-Maschine-Interaktion (siehe auch Abschnitt 2.2) die Gestaltungsmaximen Funktion, Rückmeldung und Kompatibilität berücksichtigt werden (BUBB ET AL. 2016, S. 844), wofür auch die Bedienung des Systems eine wesentliche Rolle spielt. Darüber hinaus gilt es, Gestaltungsrichtlinien der Software-Ergonomie zu beachten, die in Abschnitt 6.3 aufgeführt werden. Bei der prototypischen Umsetzung wurde versucht, den Empfehlungen gerecht zu werden, jedoch stehen sie nicht im Fokus der Arbeit.

⁶³ Vergleiche beispielsweise TEUBNER ET AL. (2019A) für ein Anzeige konzept an einem intelligenten Montagearbeitsplatz mit integrierter Sprachsteuerung für hierarchiefreie Navigationsmöglichkeiten.

5.3 Dynamische Systemfunktionen

Dynamische Systemfunktionen *passen die Informationen an das Produkt oder den (Arbeits-)Prozess beziehungsweise den Arbeitsvorgang an*⁶⁴. Aufbauend auf den Anforderungen aus Abschnitt 4.2 werden in diesem Abschnitt die vier dynamischen Systemfunktionen aus Abschnitt 5.1 vorgestellt. Je Funktion werden die erforderlichen Systemelemente dargestellt.

5.3.1 Auftragspezifische Informationsselektion

Mit der (montage-) auftragspezifischen Informationsselektion sollen nur diejenigen Werkerinformationen bereitgestellt werden, die den Auftrag betreffen. Dies bedeutet die Ausgabe der für das zu montierende Produkt relevanten Werkerinformationspakete. Die Funktion wird jedoch nicht als produktspezifische Informationsselektion bezeichnet, da über den Montageauftrag die als nächstes zu montierende Produktvariante determiniert wird.

Datensätze

Die notwendigen Datentabellen sind in Abbildung 5-14 aufgeführt. Grundsätzlich ist eine Tabelle für die Montageaufträge erforderlich. Neben der Auftragsbezeichnung wird mit dem Montagezeitpunkt die Reihenfolge der zu montierenden Produkte (`produkt_id`) bestimmt, wobei die Produktvarianten in einer eigenen Tabelle aufgelistet sind.

Um für die Produktvariante des Auftrags die zugehörigen Werkerinformationspakete auszugeben, ist eine Selektion erforderlich. Dies wird über die *Erweiterung* der Zuordnungstabellen von AVO/-Gruppe/-Variante und Werkerinformationspaketen (rechte Hälfte von Abbildung 5-8, Seite 73) um die Spalte `montagevariante_id` realisiert⁶⁵. Die Montagevariante (MV) *repräsentiert Produkte* (über die Tabellen `montagevariante` und `montagevariante_produk` abgebildet), die an diesem *Arbeitsplatz auf gleiche Weise montiert* werden und steht damit vereinfachend für Produktgruppen oder Kombinationen von Produktmerkmalen, die mehrere Produktvarianten gruppieren.

⁶⁴ Die produkt- oder prozessabhängige Anpassung ist nicht zu verwechseln mit den prozess- oder produktrelationalen Werkerinformationspaketen und geht nicht mit der Relation einher.

⁶⁵ Eine Erweiterung mit `montageauftrag_id` ist unvorteilhaft, da hierbei für jeden Auftrag, auch bei wiederholter Fertigung von Produktvarianten, neue Zuordnungen und Tabellenzeilen angelegt werden müssten. Es könnte auch eine Zuordnungstabelle zwischen AVO(s)/-Gruppen/-Varianten und Produktvarianten geben. Aber die Bündelung über Montagevarianten sorgt für eine klare Kapselung und ist für alle Zuordnungsebenen gültig, während bei der direkten Verknüpfung von Produktvarianten zu AVO(s)/-Gruppen/-Varianten je Ebene unterschiedliche Zuordnungstabellen erforderlich wären. Zudem eignet sich die Montagevariantentabelle besser für die Systemfunktion zur Variantentransparenzunterstützung.

Voraussetzung für die auftragsspezifische Informationsselektion sind produktrelationale oder die Vereinigung von prozess- & produktrelationalen Werkerinformationspaketen, da sonst nur produkt- beziehungsweise auftragsunabhängige, generische Informationen bereitgestellt werden können.

produkt		montageauftrag			
id	bezeichnung	id	bezeichnung	montagezeitpunkt	produkt_id
1	P 1	1	0001	24.12.2019 – 06:15:00	P 1
2	P 2	2	0002	24.12.2019 – 06:20:00	P 2
3	P 3	3	0003	24.12.2019 – 06:25:00	P 1
4	P 4	4	0004	24.12.2019 – 06:30:00	P 3

montagevariante		montagevariante_produk	
id	bezeichnung	montagevariante_id	produkt_id
1	MV 1	MV 1	P 1
2	MV 2	MV 1	P 2
		MV 2	P 3
		MV 3	P 4

Ergänzungsspalte für Zuordnungstabelle	
montagevariante_id	
MV 1	
MV 2	
MV 1	
MV 1	

Abbildung 5-14: Datensätze für die auftragsspezifische Informationsselektion

Regelwerke

Ergänzend zum Regelwerk des Basis-Werkerinformationssystems ist nach der Auswahl des Arbeitsplatzes und vor der Auswahl der Arbeitsvorgangsguppe die *Auswahl des Auftrags* erforderlich. Dadurch wird die AVOG-Kette entsprechend auftragsspezifisch angepasst (Abbildung 5-15).

Die auftragsspezifischen Arbeitsvorgangsguppen und Werkerinformationspakete werden über die Filterung der erweiterten Zuordnungstabellen (‘avo/-gruppe/-variante_werkerinformationspaket’ aus Abbildung 5-8 auf Seite 73) nach allen Einträgen mit dem Parameterwert der durch Auftrag und Produkt determinierten Montagevariante ermittelt.

Anschließend können, wie beim Basis-System, über die AVOG-Auswahl in der AVOG-Kette die gewünschten Werkerinformationspakete angezeigt werden.

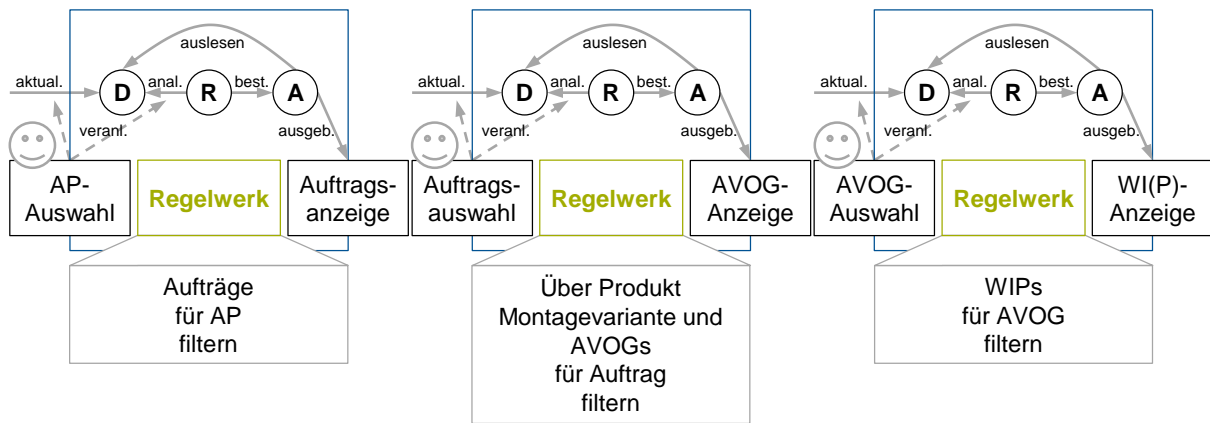


Abbildung 5-15: Regelwerke für die auftragspezifische Informationsselektion

Anzeigefelder

Für die Auswahl eines Auftrags soll, unter Berücksichtigung der hierarchischen Informationsfolge, zwischen Menü-Feld und AVOG-Feld ein Aufträgefeld eingefügt werden (Abbildung 5-16). Es enthält eine Kette einzelner Aufträgefelder, die entweder mit der Auftragsbezeichnung oder einer anderen variantenanzeigenden Bezeichnung, beispielsweise einem Produktvariantennamen, beschriftet sein können.

Zur besseren Orientierung des Werkers in der Auftragskette wird ein *Auftragsfeldstatus* eingeführt (siehe Legende in Abbildung 5-16). Erläuterungswürdig ist der Status „markiert“. Er ermöglicht dem Werker bei der Vorabdurchschau der anstehenden Aufträge beispielsweise besonders schwierige Varianten, bei denen er zu gegebener Zeit rechtzeitig Hilfe hinzurufen möchte, in Erinnerung zu behalten. Auftragsfelder mit dem Status „keine Tätigkeit“ können den Status „ungelesen“ oder „gelesen“ nicht annehmen, da der Status einen Platzhalter in der Auftragskette ohne Werkerinformationen symbolisiert und daher kein Lesen erfordert. Die *Reihung aus der Legende* zum Auftragsfeldstatus ist *hierarchisch*, sodass immer der höchste Status ausschlaggebend für die farbliche Kennzeichnung ist. Ungelesene Aufträge werden nach Auswahl auf „gelesen“ umgestellt. Je nach Status ist eine unterschiedliche Kennzeichnung des Auftragsfeldes erforderlich. Ein Vorschlag für eine farbliche Unterscheidung ist in der Legende ergänzt.

Die interaktiven Befehle zur Einstellung eines Auftragsstatus sind abhängig von den Eingabemöglichkeiten der Hardware, beispielsweise Tastenfunktionen (Enter, Pfeiltasten), Mausfunktionen (Rechtsklick, Linksklick) oder Gesten auf berührungsempfindlichen Bildschirmen (lange Berührung, doppelte Berührung, Wischen). Denkbar für die Kennzeichnung eines Auftrags als „erledigt“ wäre alternativ auch ein Button nach der letzten Arbeitsvorgangsguppe der AVOG-Kette. Entsprechende Interaktionsregeln stehen in dieser Arbeit nicht im Fokus und werden daher nicht weiter aufgeführt.

Werkerinformationssystem-Bildschirm

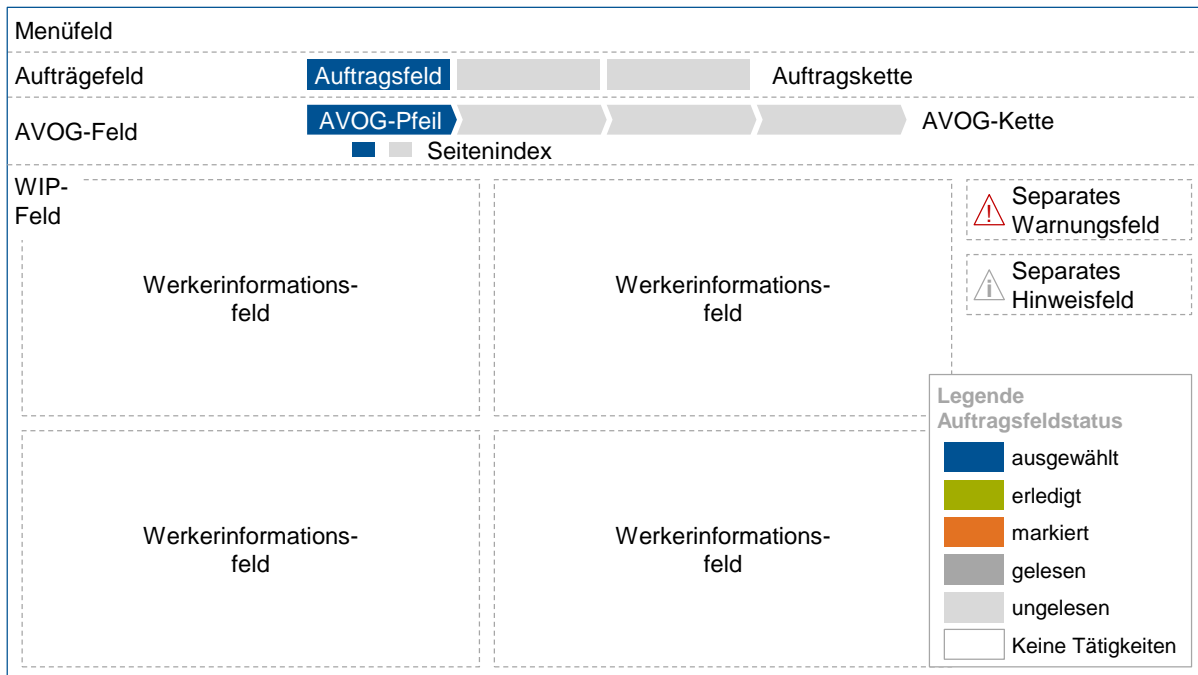


Abbildung 5-16: Anzeigefelder für die auftragspezifische Informationsselektion

5.3.2 Änderungsmarkierung

Mit der Änderungsmarkierung wird einen begrenzten Zeitraum lang Aufmerksamkeit für Abweichungen zum bekannten Vorgehen erregt, damit Produkt- und Prozessänderungen nicht übersehen werden. Dies wird als dynamische und nicht als individuelle Systemfunktion einsortiert, da nicht mitarbeiterindividuell berechnet werden soll, welche Mitarbeiter wie oft über die Änderungen informiert worden sind. Wenn jemand derart lange nicht an dem entsprechenden Arbeitsplatz gearbeitet hat, sodass er die zeitlich begrenzten Änderungsinformationen verpasst, liegt hypothetisch eine verminderte Routine vor, demzufolge eine gründliche Betrachtung der Werkerinformationen empfehlenswert ist.

Datensätze

Auch für die Änderungsmarkierung sind zusätzliche Datentabellen erforderlich (Abbildung 5-17). Bei den Änderungen kann grundsätzlich unterschieden werden, ob sie *einmalig*, *temporär* oder *dauerhaft* sind (siehe Tabelle 'änderungstyp'). Eine einmalige Änderung könnte ein Kundensonderwunsch sein, eine temporäre beispielsweise eine übergangsweise lieferantenbedingte Sachnummernänderung. Dauerhafte Änderungen gehen zum Beispiel mit einem veränderten Serienprozess einer neuen Produktgeneration einher. Die Änderungen müssen entsprechend in einer Datentabelle mit den Zeitpunkten, ab und bis wann sie gültig sind, erfasst

werden⁶⁶. Um den Zeitraum der Änderungsmarkierung zu begrenzen, ist zusätzlich eine Tabelle für die Anzeigezeitpunkte der Änderung notwendig (auf den Zusammenhang mit dem Änderungstyp wird im Abschnitt Regelwerke eingegangen).

Die Änderungsinformation kann durch die Ergänzung der *Werkerinformationsklasse Änderung* als Werkerinformation nach bekanntem Muster angelegt werden. Über das Werkerinformationspaket werden die Änderungsinformationen mit den entsprechenden AVO(s)/-Gruppen/-Varianten verknüpft. Einhergehend muss auch die aktivitätsbeschreibende Information aktualisiert werden⁶⁷. Eine Produkt- oder Prozessänderung resultiert prinzipiell in einer neuen Tätigkeitsvariante. Sie unterscheidet sich aber maßgeblich von einer ergänzten Tätigkeitsvariante durch das Ablösen einer vorherigen Tätigkeitsvariante, sodass bei Änderungen keine neuen Werkerinformationspakete angelegt werden.

Voraussetzungen für die Änderungsmarkierung an die Relationsart der Werkerinformationspakete untereinander gibt es nicht. Änderungsinformationen können sowohl für generische Arbeitsvorgangsbeschreibungen (prozessrelational), für Produktvariantenbeschreibungen (produktrelational) als auch für arbeitsvorgangsvariantspezifische Beschreibungen (prozess- & produktrelational) gegeben werden.

⁶⁶ Alternativ sind auch ausgewählte Montageaufträge als Kriterium möglich, wenn deren Produktionsreihenfolge erfasst ist (wie beispielsweise bei der auftragsspezifischen Informationsselektion).

⁶⁷ Auf die Anlage notwendiger Gültigkeitszeiträume für Werkerinformationspakete bei einmaligen oder temporären Änderungen wird an dieser Stelle verzichtet, um die Datentabellen nachvollziehbarer zu halten.

änderungstyp		änderungsanzeigezeitpunkt			
id	bezeichnung	id	änderung_id	anzeigezeitpunkt	
1	einmalig	1	Halter- änderung	01.01.2018 – 06:15:00	
2	temporär	2	Schrauben- änderung	01.02.2018 – 06:15:00	
3	dauerhaft	3	Betriebsmittel- änderung	31.12.2017 – 15:15:00	

änderung					
id	bezeichnung	änderungstyp_id	werkerinformation_id	gültig_von	gültig_bis
1	Halter- änderung	einmalig	id 12	01.01.2018 – 06:15:00	01.01.2018 – 06:20:00
2	Schrauben- änderung	temporär	id 13	01.01.2018 – 06:15:00	01.04.2018 – 23:30:00
3	Betriebsmittel- änderung	dauerhaft	id 14	25.12.2017 – 15:15:00	ohne Zeitpunkt

werkerinformation					
id	werkerinformations- paket_id	werkerinformations- klasse_id	werkerinformations- aspekt_id	werkerinformations- modus_id	information
6	WIP 1.1α	Aktivität	Was_Komponente, Wohin	Bild	■ Halter Ä, 160mm
12	WIP 1.1α	Änderung	ohne	Text	Kundensonder- wunsch-Halter
8	WIP 1.1β	Aktivität	Was_Komponente, Wohin	Bild	■ Halter B, 160mm
13	WIP 1.1β	Änderung	ohne	Bild	■ Neue Schraube
3	WIP 1.1α	Aktivität	Wodurch	Text	Drehmoment- schrauber
14	WIP 1.1α	Änderung	ohne	Text	Neuer Schrauber

Abbildung 5-17: Datensätze für die Änderungsmarkierung

Regelwerke

Beim Abruf der AVOG-Kette muss durch das System kontrolliert werden, ob Änderungsinformationen vorliegen (Abbildung 5-18). Falls ja, ist zu prüfen, ob diese in dem Moment auszugeben sind. Dafür muss der aktuelle Zeitpunkt zwischen dem Zeitpunkt, ab dem die Änderung gültig ist, und dem, bis wann sie gilt, liegen. *Je nach Änderungstyp* folgen weitere *Fallunterscheidungen*.

Bei *einmaligen Änderungen* wird in der Datentabelle *änderungsanzeigezeitpunkt* nach einem Eintrag gesucht und nur bei ergebnisloser Abfrage die Änderungsinformation einmalig bereitgestellt. Für *temporäre und dauerhafte Änderungen* können über die gleiche Tabelle die *Häufigkeit* und die bisherige *Zeitdauer* der *Änderungsanzeige* ermittelt werden. Die Betrachtung beider Größen ist deshalb für eine variantenreiche Fließmontage besonders interessant, da die Wiederholfrequenzen von Produkten stark schwanken und daraus eine Ungleichheit in der

Anzeige von Änderungsinformation resultieren kann. Die Berücksichtigung von nur einer Größe könnte zu zu kurzen oder zu langen Änderungsmarkierungen führen.

Um den durch Häufigkeit und Dauer begrenzten Zeitraum der Anzeige zu definieren, wird der Frage nachgegangen, wie lange ein Mensch benötigt, um eine neue Gewohnheit zu verinnerlichen. LALLY ET AL. (2010, S. 1007) ermitteln eine Spanne von 18 bis 254 Tagen mit einem Mittelwert von 66 Tagen, um tägliche Automatismen zu entwickeln. MALTZ (1977, 1960, S. xiii-xiv) gibt eine Dauer von mindestens 21 Tagen an, um sich gedanklich an veränderte Gegebenheiten zu gewöhnen. Für Montagetätigkeiten, die nicht als vollständiger Automatismus und möglicherweise nicht täglich ablaufen, wird daher als *Richtwert* eine *Mindestdauer* von 21 Tagen vorgeschlagen. Zugleich dürfen auch sehr seltene Varianten nicht außer Acht gelassen werden. Laut RONIS ET AL. (2014, S. 213) sind *mindestens zehn Wiederholungen* für die Bildung eines wiederkehrenden Verhaltensmusters erforderlich. Um auf der anderen Seite nicht Monate oder Jahre alte Änderung mitzuschleppen, wird auch eine *maximale Zeitdauer* festgelegt. Hierfür werden 210 Tage vorgeschlagen. Wenn innerhalb von 10 Wochen die Änderung nicht 10 mal angezeigt wurde, also seltener als einmal pro Woche, wird die Produktvariante als so selten aufgefasst, dass ohnehin eine verminderte Routinebildung vorliegt und die Werkerinformation aufmerksam studiert werden muss. Grundsätzlich hängt die Umgewöhnungsdauer unter anderem auch von der Tätigkeitslänge, dem Änderungsumfang, den Tätigkeitsvarianten und der Übung vor der Änderung ab. Entsprechend wird eine *anwendungsfall-spezifische Festlegung der Richtwerte* ausdrücklich empfohlen.

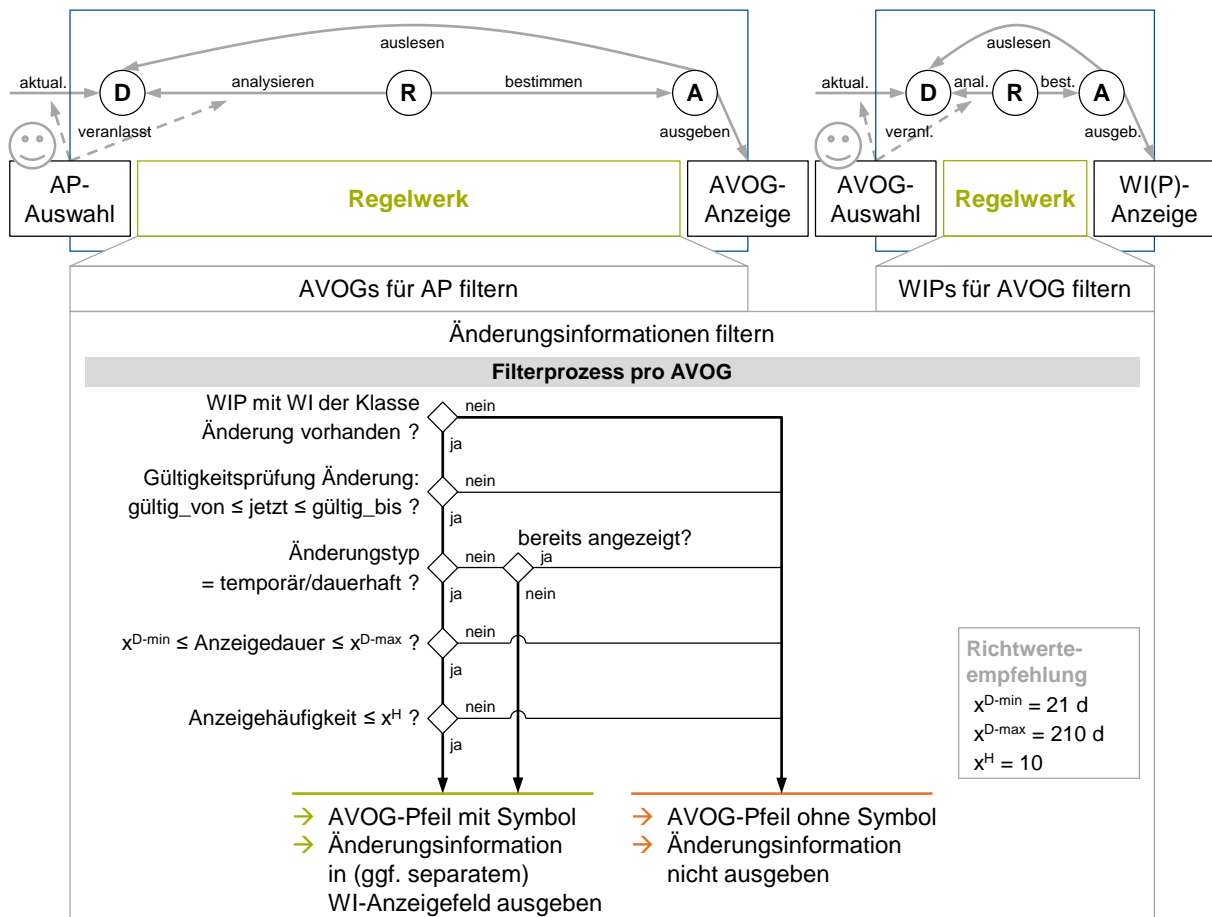


Abbildung 5-18: Regelwerke für die Änderungsmarkierung

Anzeigefelder

Wie auch bei Warnungen oder Hinweisen wird die Änderungsinformation grundsätzlich über ein *separates Anzeigefeld* dargestellt (Abbildung 5-19)⁶⁸. Je nach Änderung kann die veränderte aktivitätsbeschreibende Werkerinformation auch ausreichend sein, sodass auf einen zusätzlichen Werkerinformationseintrag mit der Klasse Änderung verzichtet werden kann (beispielsweise wenn eine veränderte Sachnummer rot eingefärbt wird).

Um die gewünschte Aufmerksamkeit zu erzeugen, werden die veränderten aktivitätsbeschreibenden Informationen und gegebenenfalls die Änderungsinformation *visuell hervorgehoben*. Prädestiniert dafür sind die Ergänzungen⁶⁹ von (blinkenden) Symbolen oder Rahmen sowie

⁶⁸ Wie auch bei Warnungs- und Hinweisinformationen muss das separate Anzeigefeld nicht dem Anzeigeprinzip der weiteren Werkerinformationspakete unterliegen und kann mit verschiedenen Bestätigungsoptionen platziert werden.

⁶⁹ Für die zeitlich begrenzte Hervorhebung durch Ergänzungen bei Bildern oder Videos eignet sich besonders das Überblenden der aktivitätsbeschreibenden Information mit transparenten Bildern, auf denen die (blinkenden) Symbole oder Rahmen und Änderungsinformationen platziert sind. Die Änderungsinformation ist mit einer Gültigkeit versehen und läuft automatisch aus, während die Hervorhebungsart der aktivitätsbeschreibenden Information separat umgestellt werden muss.

die Veränderung von Stil und Intensität der bereitgestellten Information (siehe auch Abbildung 10-2 auf Seite 171). Bei Texten können Schriftfarbe/-hintergrund, Schriftgröße oder Schriftformat variiert werden, um die Aufmerksamkeit zu lenken.

Um dem Übersehen der Änderung vorzubeugen, falls die Arbeitsvorgangsgruppe durch den Werker nicht aufgerufen wird, wird das AVOG-Feld mit einem *Änderungssymbol* versehen (siehe auch GERLACH 2010, S. 117)⁷⁰. Dies könnte insbesondere vorkommen, wenn keine qualifikationsspezifische Informationsauswahl erfolgt und der Werker die veränderten Informationen der Arbeitsvorgangsgruppe als bekannt einschätzt und nicht aufruft.

Werkerinformationssystem-Bildschirm

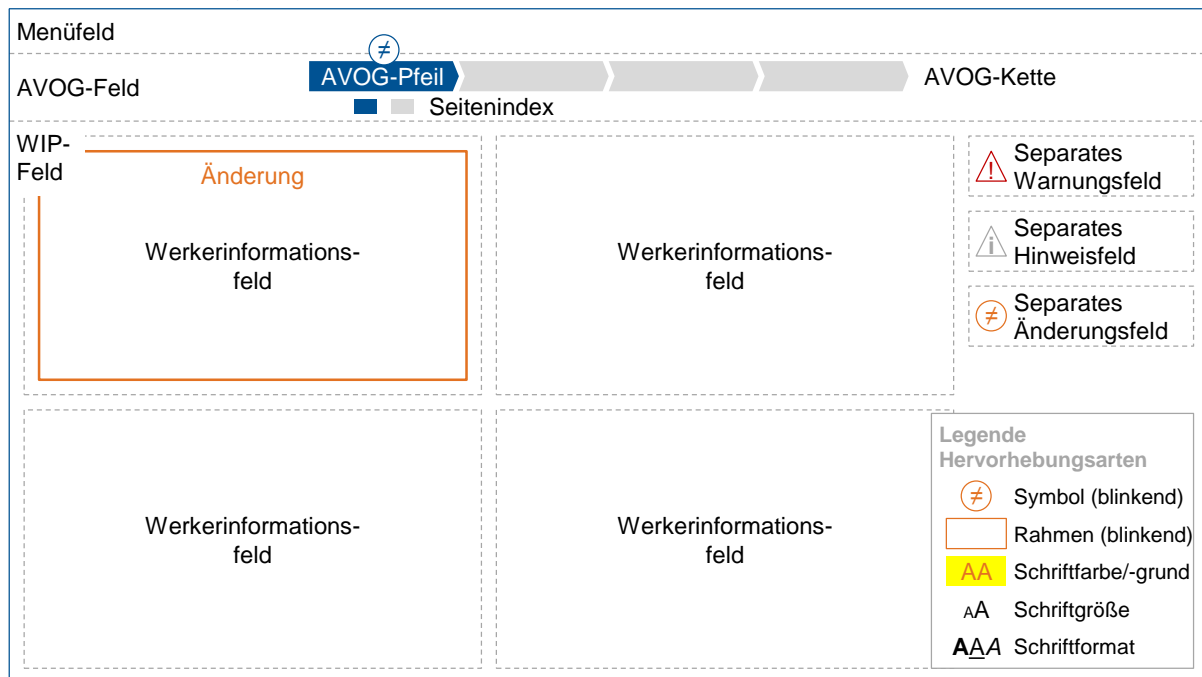


Abbildung 5-19: Anzeigefelder für die Änderungsmarkierung

5.3.3 Montagefehlermeldung

Mit der Systemfunktion Montagefehlermeldung soll die Montagequalität durch vorbeugende Information zu fehleranfälligen Montagetätigkeiten gesteigert werden. Im Gegensatz zur Änderungsmarkierung, die ebenfalls Fehler verhindern soll, ist bei der Montagefehlermeldung keine unmittelbare Änderung der Werkerinformation vorhergegangen.

⁷⁰ Für das Vorliegen von Warnungen oder Hinweisen ist kein vergleichbares Symbol zu Kennzeichnung des AVOG-Pfeils vorgesehen. Wenn der Werker die Arbeitsvorgangsgruppe überspringt, weil er die Aktivitäten kennt, wird davon ausgegangen, dass er auch die Warnungen und Hinweise verinnerlicht hat.

Montagefehler sind zwar grundsätzlich individuelle Fehler, aus folgenden Überlegungen heraus wird die Montagefehlermeldung in dieser Arbeit jedoch als dynamische Systemfunktion, und damit nicht als an den Mitarbeiter angepasste Information, umgesetzt. Zum einen stellt die Montagefehlerinformation eine vorbeugende Maßnahme dar, sodass hier alle Werker aus den Fehlern der Kollegen lernen können. Bei einer individuellen Information würden möglicherweise zahlreiche Montagefehler mehrfach auftreten. Darüber hinaus kann in manchen Betrieben die personalisierte Erfassung von Montagefehlern ein Hindernis darstellen. Eine anonymisierte Datenaufnahme hinsichtlich welcher Werker zu welchem Zeitpunkt welche Montageaufgaben ausgeführt hat und insbesondere eine arbeitsplatzbezogene Fehlerkontierung zur Berechnung einer individuellen Fehlerquote können mit enormen Zusatzaufwand verbunden sein. In Summe wird daher das Aufwand-Nutzen-Verhältnis einer nicht individualisierten Fehlermeldung bei der Einführung eines Werkerinformationssystems als besser eingeschätzt. Eine individualisierte Fehlermeldung, beispielsweise in Form einer persönlichen Fehlerliste bei der Systemfunktion Anlernprozessförderung, kann trotzdem ergänzt werden, ohne mit der hier präsentierte Systemfunktion im Widerspruch zu stehen.

Datensätze

In Abbildung 5-20 sind die notwendigen Datensätze aufgeführt. Mit dem Montagefehlertyp wird unterschieden, ob die Montagefehlerinformation *reaktiv* in Folge *wiederholt auftretender Fehler* oder präventiv erstellt wird. Beim Typ *präventiv* sind zwar keine gehäuften Fehler aufgetreten, aber aus Erfahrungswerten mit vergleichbaren Montagesituationen wird eine *erhöhte Fehlergefahr vermutet*. An dieser Stelle lassen sich, sofern ausreichend Fehleraufnahmen vorliegen, Methoden der künstlichen Intelligenz zur Mustererkennung in großen Datenmengen gewinnbringend einsetzen (siehe beispielsweise BECKSCHULTE ET AL. 2020). Die Einstellung von Fehlern in der Tabelle ´montagefehler´ sollte eher restriktiv erfolgen (beispielsweise die Top 10 Fehler der Woche), damit erfahrene Mitarbeiter nicht mit vielen Informationen zu „Anfänger-Fehlern“ belästigt werden. Die fehlerfreie Arbeit von Unerfahrenen wird mit einer qualifikationsspezifischen Informationsauswahl angestrebt (siehe Abschnitt 5.4.2). Zusätzlich zu den Spalten gültig_von und gültig_bis werden die Anzeigzeitpunkte mit einer Tabelle aufgezeichnet, um den Zeitraum der Informationsbereitstellung kontrollieren zu können.

Die Montagefehlerinformation wird durch die Ergänzung der *Werkerinformationsklasse Montagefehler* ebenfalls als Werkerinformation angelegt. Über das Werkerinformationspaket erfolgt die Verknüpfung mit den AVO(s)/-Gruppen/-Varianten.

Bei dieser Systemfunktion bestehen wie bei der Änderungsmarkierung keine Voraussetzungen an die Relationsart der Werkerinformationspakete untereinander.

montagefehlertyp		montagefehleranzeigezeitpunkt			
id	bezeichnung	id	montagefehler_id	anzeigezeitpunkt	
1	reaktiv	1	Falsche Schraube	24.12.2017 – 06:15:00	
2	präventiv	2	Verwechslung Schrauber	25.12.2017 – 15:15:00	

montagefehler					
id	bezeichnung	montagefehlertyp_id	werkerinformation_id	gültig_von	gültig_bis
1	Falsche Schraube	reaktiv	id 15	01.05.2018 – 06:15:00	01.07.2018 – 06:15:00
2	Verwechslung Schrauber	präventiv	id 16	01.04.2018 – 06:15:00	01.05.2018 – 06:15:00

werkerinformation					
id	werkerinformationspaket_id	werkerinformationsklasse_id	werkerinformationsaspekt_id	werkerinformationsmodus_id	information
15	WIP 1.1β	Montagefehler	ohne	Text	Schraube beachten
16	WIP 1.1α	Montagefehler	ohne	Text	Schrauber beachten

Abbildung 5-20: Datensätze für die Montagefehlermeldung

Regelwerke

Die Regelwerke für die Montagefehlermeldung ähneln denen der Änderungsmarkierung. Bei Abruf der AVOG-Kette wird kontrolliert, ob Werkerinformationen der Klasse Montagefehler vorliegen (Abbildung 5-21). Nach dem Abgleich des Zeitpunktes mit dem *Gültigkeitszeitraum* wird je nach Typ eine Unterscheidung bei der Dauer und Häufigkeit der Anzeige getroffen. *Reaktive Montagefehlerinformationen* sollen zu einer Verhaltensänderung anregen und erhalten daher die *gleiche Tages- und Häufigkeitsbegrenzung* wie die Anzeige von *Änderungsinformationen*. Da es sich bei *präventiven Montagefehlerinformationen* um eine Vorsichtsmaßnahme handelt und keine Verhaltensänderung erforderlich ist, wird die *Hälfte der Tages- und Häufigkeitsbegrenzung* als ausreichend vorgeschlagen. Auch hier gilt jedoch wieder die anwendungsfallbezogene Prüfung der Richtwerte.

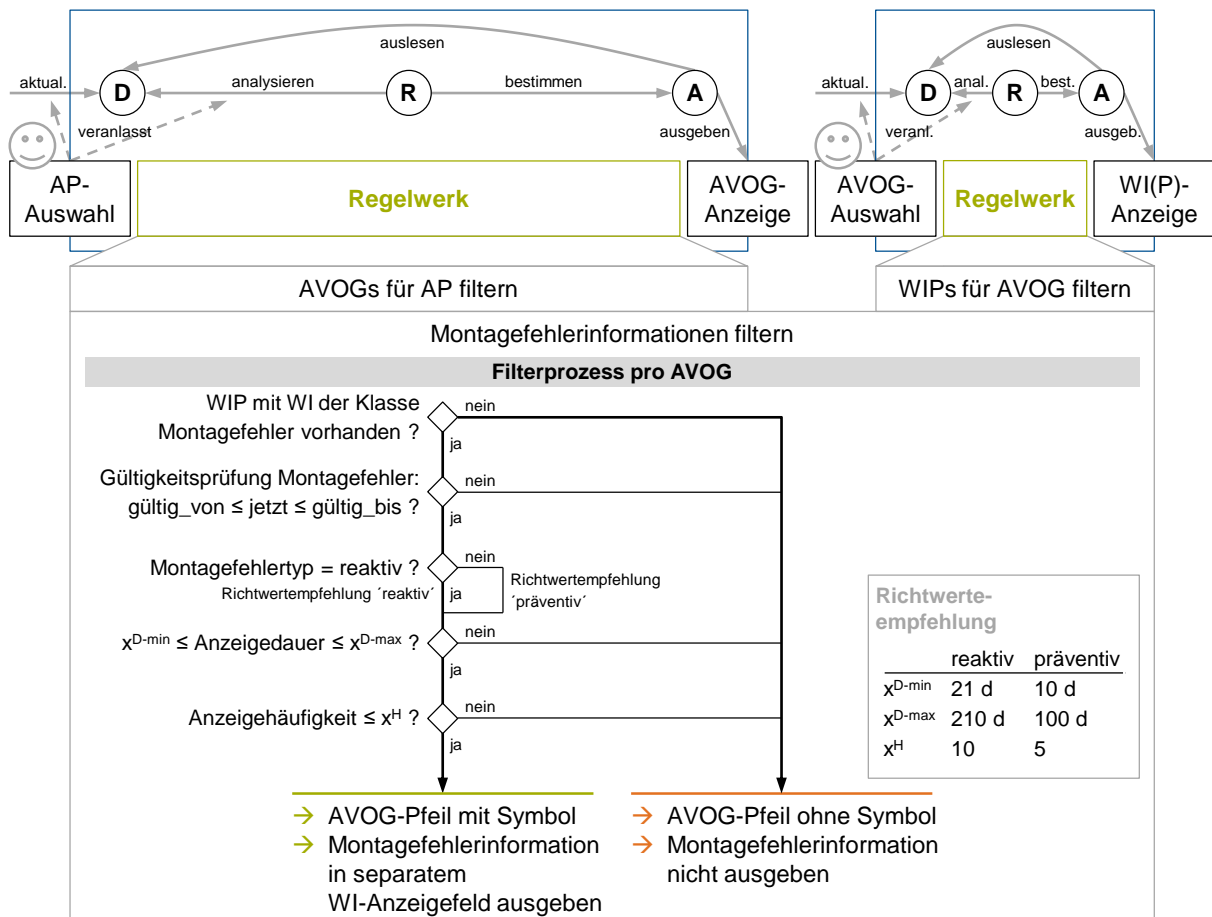


Abbildung 5-21: Regelwerke für die Montagefehlermeldung

Anzeigefelder

Wie bei Änderungsinformationen wird, falls die Hervorhebung der aktivitätsbeschreibenden Werkerinformation nicht ausreichend ist, ein *separates Anzeigefeld* für die Montagefehlerinformation vorgehalten (Abbildung 5-22).

Für die *Hervorhebung* der *Montagefehlerinformation* und der zugehörigen aktivitätsbeschreibenden Information stehen die zuvor vorgestellten Arten zur Verfügung. Um die Werker nicht zu verwirren, wird empfohlen, für Änderungen und Montagefehler unterschiedliche Hervorhebungsarten zu verwenden.

Das AVOG-Feld erhält ebenfalls ein *Montagefehlersymbol*, damit die untergeordneten Informationen wahrgenommen und nicht übersprungen werden.

Werkerinformationssystem-Bildschirm

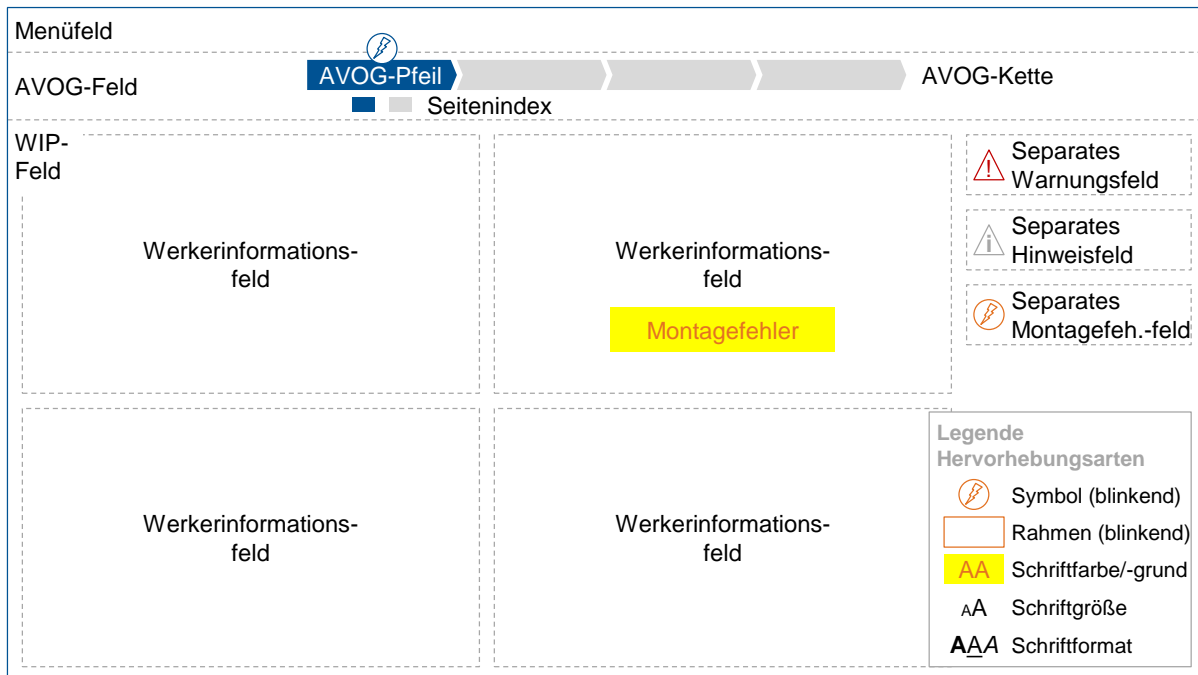


Abbildung 5-22: Anzeigefelder für die Montagefehlermeldung

5.3.4 Produkt-/Prozesskommentierung

Die Funktion zur Kommentierung von Produkten und Prozessen befähigt die Montagebereichsleiter, in den Informationskanal einzugreifen und ihre Werker mit zusätzlichen Kommentaren zu versorgen.

Datensätze

Entsprechend der Anforderung wird mit den zwei Kommentartypen die Möglichkeit geschaffen, entweder ein bestimmtes *Produkt* oder einen bestimmten *Prozess* zu kommentieren (Abbildung 5-23). Mit den Parametern *gültig_von* und *gültig_bis* kann der Bereitstellungszeitraum je nach Erfordernis flexibel bestimmt werden⁷¹.

Die Information wird durch die Ergänzung der *Werkerinformationsklasse Kommentar* wie bekannt angelegt. Zu einem Vorserienprodukt könnte ein produktbezogener Kommentar gegeben werden, beispielsweise dass Anlaufexperten das Produkt begleiten oder wer bei unerwarteten Schwierigkeiten kontaktiert werden sollte. Die Information, dass aufgrund von Lieferproblemen ein Halter nicht bereitsteht, kann ein prozessbezogener Kommentar sein.

⁷¹ Wie auch bei der Änderungsmarkierung sind alternativ auch ausgewählte Montageaufträge als Kriterium denkbar.

Für die Produktkommentierung wird eine produktrelationale oder prozess- & produktrelationale WIP-Relation vorausgesetzt, damit spezifische Produkte kommentiert werden können. Für die Prozesskommentierung sind vice versa prozessrelationale oder prozess- & produktrelationale Werkerinformationspakete von Nöten.

kommentartyp

id	bezeichnung
1	produkt-bezogen
2	prozess-bezogen

kommentar

id	bezeichnung	kommentar-typ_id	werkerinformation_id	gültig_von	gültig_bis
1	Vorserienprodukt	produktbezogen	id 17	24.12.2017 – 06:15:00	24.12.2017 – 06:20:00
2	Komponenten-anlieferung	prozessbezogen	id 18	23.12.2017 – 23:25:00	23.12.2017 – 23:30:00

werkerinformation

id	werkerinformations-paket_id	werkerinformations-klasse_id	werkerinformations-aspekt_id	werkerinformations-modus_id	information
17	WIP 1.1 α	Kommentar	ohne	Text	Achtung Vorserienprodukt
18	WIP 1.1	Kommentar	ohne	Text	Halter nicht angeliefert

Abbildung 5-23: Datensätze für die Produkt-/Prozesskommentierung

Regelwerke

Die systemische Abfrage, ob Kommentarinformationen bereitgestellt werden, ist vergleichbar mit den vorherigen Systemfunktionen (Abbildung 5-24). Allerdings ist sie kürzer, da der Typ für die Anzeige uninteressant ist und die Prüfung auf Dauer und Häufigkeit entfällt.

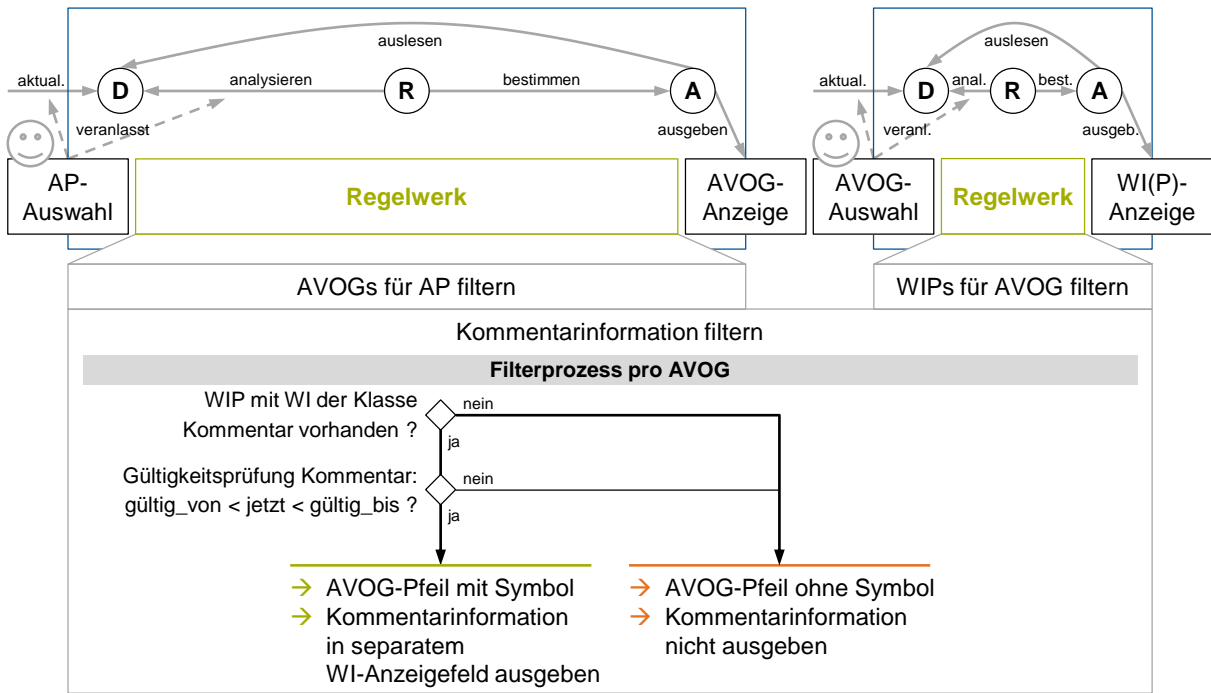


Abbildung 5-24: Regelwerke für die Produkt-/Prozesskommentierung

Anzeigefelder

Für die Zusatzinformation in Form des Kommentars ist ein *separates Anzeigefeld* notwendig (Abbildung 5-25). Das AVOG-Feld erhält ebenfalls ein *Kommentarsymbol*, damit die untergeordneten Informationen wahrgenommen und nicht übersprungen werden.

Werkerinformationssystem-Bildschirm

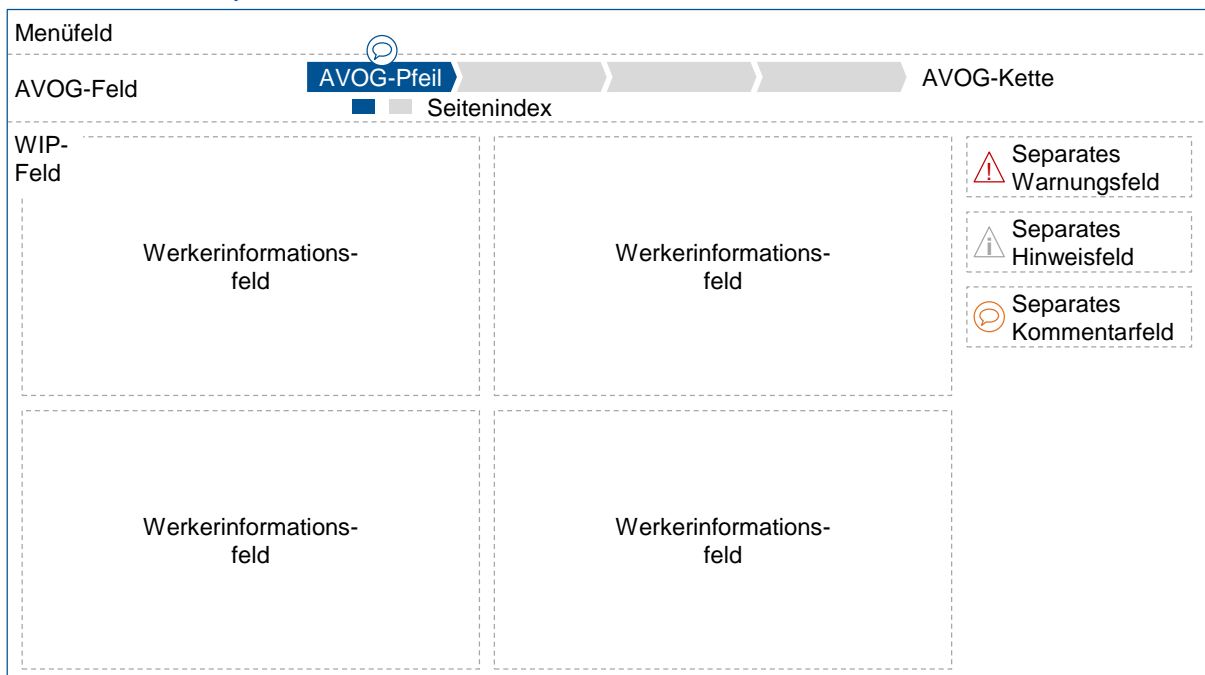


Abbildung 5-25: Anzeigefelder für die Produkt-/Prozesskommentierung

5.4 Individuelle Systemfunktionen

Individuelle Systemfunktionen *passen die Informationen an den Werker an*. Aufbauend auf den Anforderungen aus Abschnitt 4.2 werden in diesem Abschnitt die vier individuellen Systemfunktionen aus Abschnitt 5.1 vorgestellt. Je Funktion werden die erforderlichen Systemelemente dargestellt.

Für die individuelle Informationsanpassung kann je nach Umsetzung ein Identifikationsverfahren erforderlich oder gewünscht sein. Gängige Formen sind in Tabelle 10-1 (Seite 172) aufgelistet.

5.4.1 Rollenspezifische Informationsaufteilung

Mit der rollenspezifischen Informationsaufteilung werden arbeitsteilige Montagesituationen unterstützt, indem jedem Werker angepasst an seine Rolle nur diejenigen Informationen bereitgestellt werden, die er für die Durchführung der Montagetätigkeiten benötigt.

Datensätze

Standardmäßig führt ein Werker die Tätigkeiten, die seinem Arbeitsplatz zugewiesen sind, selber durch. In der manuellen Montage treten jedoch auch Situationen auf, bei denen die Montageaufgabe aufgeteilt wird. Für diese Arbeit werden *drei arbeitsteilige Montagesituationen* berücksichtigt, die sich in der Literaturrecherche und den Expertenworkshops herauskristallisiert haben. Zum einen können *Tätigkeiten an Kollegen abgegeben* beziehungsweise von ihnen übernommen werden, weil beispielsweise Verteilzeit in Anspruch genommen werden möchte oder taktzeitüberschreitende Varianten anstehen. Zweitens steht einem *lernenden Werker* anfangs oftmals ein erfahrener Kollege als Lehrer zur Seite, der die Ausführung kontrolliert und weitere Tätigkeiten übernimmt, die der neue Mitarbeiter noch nicht in der erforderlichen Qualität und Zeit erledigen kann. Dabei arbeitet der Lerner grundsätzlich selbstständig, wird aber vorher instruiert. Auch beim *Einsatz von leistungsgeminderten oder leistungsgewandelten Mitarbeitern* können Unterstützer bei Tätigkeiten helfen, die einschränkungsbedingt nicht (alleine) durchgeführt werden können. Das Helfen unterscheidet sich damit vom Übernehmen als das es mit gemeinsamer Tätigkeitsdurchführung oder Erklärungen verbunden ist. Bei den arbeitsteiligen Montagesituationen sind *verschiedene Rollen* involviert, für die sich eine Arbeitsvorgangsguppe unterschiedlich darstellt, was sich im *AVOG-Status* widerspiegelt (Abbildung 5-26). (TEUBNER ET AL. 2020, S. 5)

Die Informationsselektion erfolgt mittels einer Zuordnungstabelle, in der jeder Arbeitsvorgangsguppe des Arbeitsplatzes rollenspezifisch ein Status zugewiesen ist. Dafür sind die *Kombinationen aus Rolle und AVOG-Status* für den ersten Mitarbeiter ausreichend, da sich

die komplementären Rolle-Status-Kombinationen des zweiten Mitarbeiters mit Hilfe des Regelwerks (nächster Abschnitt) ermitteln lassen. Für die Rollen Werker, Lerner und Leistungsgeminderter sind nur die AVOG-Status 'Durchführen' oder 'Abgeben' zulässig. Die Aufteilung der Arbeit erfolgt unter der Prämisse, dass Arbeitsvorganggruppen nur vollständig verschoben werden dürfen, da sie abgeschlossene Tätigkeitseinheiten sind und eine kleinteiligere Verteilung schwieriger nachzuvollziehen wäre.

Da sich die rollenspezifische Informationsaufteilung auf die Arbeitsvorganggruppen bezieht, bestehen keine Voraussetzungen an die Relationen der Werkerinformationspakete untereinander.

rolle		avog-status		arbeitsvorganggruppe_rolle_avog-status		
id	bezeichnung	id	bezeichnung	arbeitsvorganggruppe_id	rolle_id	avog-status_id
1	Werker	1	Durchführen	AVOG 1	Werker	Durchführen
2	Springer	2	Auslassen	AVOG 2	Werker	Abgeben
3	Lerner	3	Abgeben	AVOG 1	Lerner	Durchführen
4	Lehrer	4	Übernehmen	AVOG 2	Lerner	Abgeben
5	Leistungsgeminderter	5	Kontrollieren	AVOG 1	Leistungsgeminderter	Durchführen
6	Unterstützer	6	Helfen	AVOG 2	Leistungsgeminderter	Abgeben

Abbildung 5-26: Datensätze für die rollenspezifische Informationsaufteilung

Regelwerke

Vor Anzeige der AVOG-Kette müssen die AVOG-Pfeile des Arbeitsplatzes an die gewählte Rolle und den Status angepasst werden (Abbildung 5-27). Die dafür *notwendigen Datensätze können aus der Zuordnungstabelle* über die Rolle gefiltert werden.

Bei den Rollen Springer, Lehrer und Unterstützer muss zunächst nach der *komplementären Rolle* gefiltert werden, um den AVOG-Status anhand der Entscheidungstabelle des Regelwerks ableiten zu können. Beispielsweise wird für einen Springer aus dem Status „Durchführen“ des Werkers gefolgert, dass der Springer diese Arbeitsvorganggruppe auslassen kann. Aus dem Status „Abgeben“ wird geschlossen, dass der Springer die Tätigkeiten der Arbeitsvorganggruppe übernimmt, worüber auch der abgebende Werker mit dem Status unterrichtet wird.

Bei der Auswahl einer Arbeitsvorganggruppe werden dann diejenigen Werkerinformationspakete bereitgestellt, die nicht den Status „Auslassen“ oder „Abgeben“ haben. Die Statusangabe in der AVOG-Kette ist jedoch immer erforderlich, damit der Werker Bescheid weiß, dass er die Tätigkeiten in dieser Situation nicht ausführen muss. Beim Status „Kontrollieren“ und

„Helfen“ erhalten grundsätzlich beide Mitarbeiter die zugehörigen Werkerinformationspakete, wobei sie je nach Qualifikation des Lehrers oder Unterstützers entfallen können. Auch hierbei ist die Statusanzeige unerlässlich, damit entsprechende Mitarbeiter zu den Tätigkeiten aufgefördert werden, auch wenn sie dazu keine Werkerinformationen benötigen.

Die Aktualisierung der Datensätze und die Ableitung der auszugebenden Informationen anhand des Regelwerks kommen dann zum Einsatz, wenn einer der beiden Mitarbeiter den Status einer Arbeitsvorgangsguppe verändert.

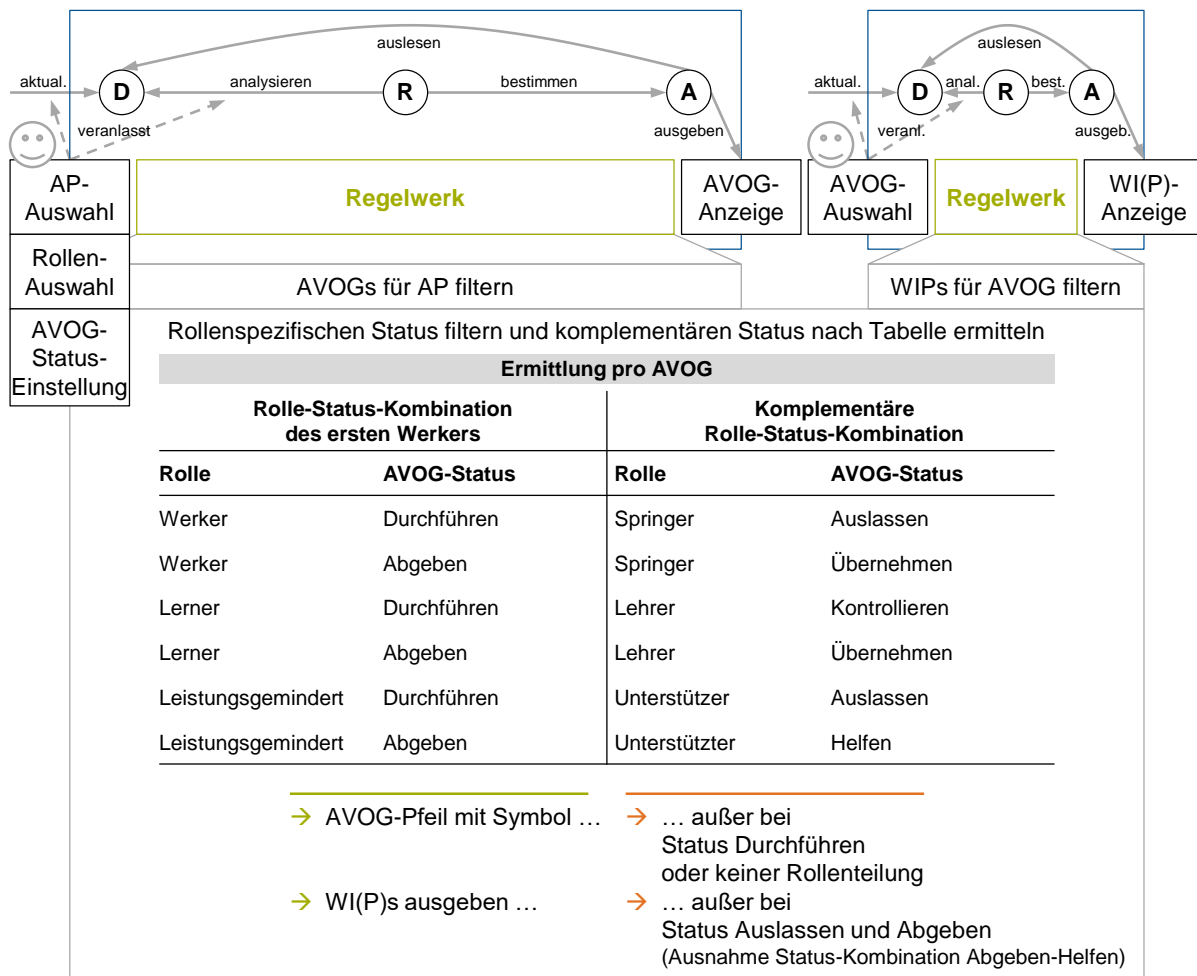


Abbildung 5-27: Regelwerke für die rollenspezifische Informationsaufteilung

Anzeigefelder⁷²

Je nach *Status* erhalten die *AVOG-Pfeile* ein unterschiedliches *Symbol*. Für den Status „Durchführen“ ist kein Symbol vorgesehen, da es der Normalfall ist und keine Anpassung indiziert werden muss (Abbildung 5-28). Beispiele für die Darstellung unterschiedlicher Montagesituationen sind in Abbildung 10-10 (Seite 181) zu finden.

⁷² Falls nur ein Bildschirm zur Verfügung steht, müssen systemisch zwei Monitore simuliert werden (Split-Screen).

Für die Rollen besteht auch die Möglichkeit, die Arbeitsvorgangsguppen aufzuteilen, indem der Status verändert wird. Dafür ist ein *weiteres Anzeigefeld* (Einstellungsfeld) nötig, das aufgrund seiner vorübergehenden Nutzung über einen entsprechenden Button im Menüfeld aufgerufen wird und die Werkerinformation überblendet.

Werkerinformationssystem-Bildschirm

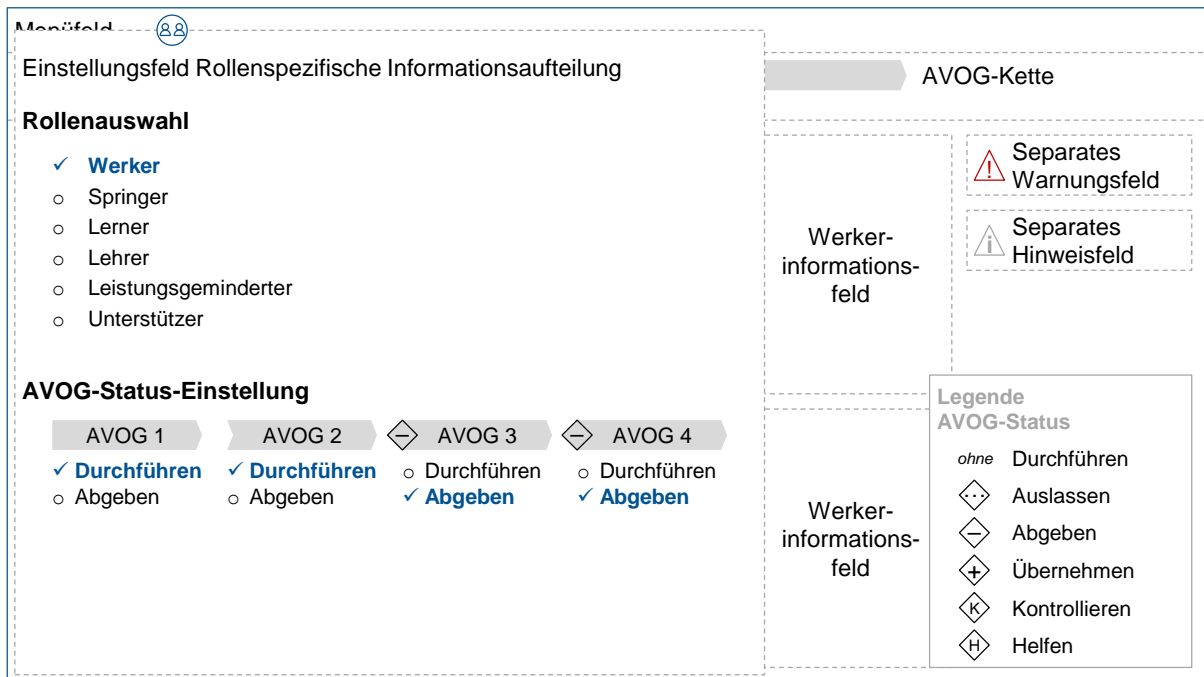


Abbildung 5-28: Anzeigefelder für die rollenspezifische Informationsaufteilung

5.4.2 Qualifikationsspezifische Informationsauswahl

Da unerfahrene Mitarbeiter einen anderen Informationsbedarf haben als erfahrene, wird unabhängig von der Rolle mit der qualifikationsspezifischen Informationsauswahl die Werkerinformation an die Qualifikationsstufe angepasst.

Qualifikation bezeichnet die durch eine Überprüfung *messbare Sammlung an Fertigkeiten, Fähigkeiten und Kenntnissen* des Werkers und damit das Vermögen zur Ausführung einer Montageaufgabe (SCHLICK ET AL. 2010, S. 170). Unter der Prämisse, dass der Werker in den grundlegenden Montagefertigkeiten und -fähigkeiten ausgebildet ist, sind für die Werkerinformation primär die Kenntnisse der arbeitsplatzspezifischen Arbeitsvorgänge relevant. Daher wird die Qualifikation, die sich im Laufe des Lernprozesses verändert, in einer arbeitsplatzspezifischen *Qualifikationsmatrix* erfasst.

In der Industrie weit verbreitet ist das *ILUO-Modell*, das vier Stufen differenziert⁷³: ein Werker auf der ersten Stufe I kennt und versteht alle Tätigkeiten. Sobald er diese in der geforderten Qualität ausführen kann, wird er in L hochgestuft. Wenn er zudem die erforderliche Quantität erfüllen kann, erhält er ein U. Mitarbeiter der Stufe O sind in der Lage, ihre Kenntnisse im Rahmen des Anlernens von neuen Werkern weiterzugeben. (BUCK & WITZGALL 2012, S. 404)

Datensätze

Entsprechend der einleitenden Argumentation sind für die Erfassung der werkerindividuellen *Qualifikation pro Arbeitsplatz* drei Datentabellen notwendig (Abbildung 5-29)⁷⁴. Die Beurteilung der Qualifikation beziehungsweise die Überprüfung des Vermögens des Werkers, die Montageaufgabe hinsichtlich der qualitativen und quantitativen Zielgrößen zu erfüllen, erfolgt durch den Montagebereichsleiter oder eine bevollmächtigte Person⁷⁵.

Für die *Bewertung der Tätigkeiten* durch die Regelwerke (siehe nächster Abschnitt) müssen zudem, wie bei der auftragsspezifischen Informationsselektion, die Datensätze für die Montagevarianten erfasst sein.

Die qualifikationsspezifische Informationsauswahl lässt sich theoretisch mit allen drei Relationsarten der Werkerinformationspakete realisieren. Generische Beschreibungen bei prozessrelationalen Werkerinformationspaketen weisen jedoch wenig Spielraum zur Anpassung auf, sodass dies nicht vorgesehen wird.

⁷³ Dies steht im Einklang mit zumeist drei- oder vierstufigen Klassifizierungen von Nutzern im Kontext von Werkerinformationssystemen, die bei der Literaturrecherche rezensiert wurden. BREITKOPF (2018, S. 77) unterscheidet zwischen Anfänger, Basis, Fortgeschritten und Experte, RADOW (1999, S. 51) und BELKADI ET AL. (2019, S. 7) klassifizieren Anfänger, Könnler beziehungsweise Zwischenstufe und Experte.

⁷⁴ Es ist auch eine vollständig adaptierbare Lösung denkbar, bei der der Mitarbeiter seine Qualifikationsstufe am Arbeitsplatz auswählt. Dafür wären keine Datensätze notwendig.

⁷⁵ Teilweise werden in der Literatur Ansätze zur Berechnung der Qualifikation basierend auf Einflussfaktoren wie Fehlerrate, Montagehäufigkeit oder Reaktionszeit vorgestellt (KERBER & LESSEL 2015, S. 32-33; SYBERFELDT ET AL. 2015B, S. 348). Angesichts der komplexen Montagesituation mit weiteren Variablen wie wechselhaftem Produktionsprogramm, zahlreichen Produkt- oder Prozessänderungen oder individuellen Kompetenzen, wird von einem Berechnungsansatz Abstand genommen und auf die durchaus subjektive Beurteilung des Vorgesetzten als treffendere Qualifikationszuweisung vertraut. Dadurch können auch einfacher Vergessenseffekte berücksichtigt werden. Ein Mitarbeiter der länger nicht mehr am Arbeitsplatz tätig war, kann zur Eingewöhnung eine Stufe niedriger einsteigen und schnell hochgestuft werden.

qualifikation

id	bezeichnung
1	Stufe I (AP bekannt)
2	Stufe L (Qualität ok)
3	Stufe U (Qualität + Quantität ok)
4	Stufe O (kann Anlernen)

werker

id	bezeichnung
1	Max Mustermann
2	John Doe

werker_arbeitsplatz_qualifikation

id	werker_id	arbeitsplatz_id	qualifikation_id
1	Max Mustermann	AP 1	Stufe L
2	John Doe	AP 1	Stufe U

Ergänzungsspalte für Zuordnungstabelle

montagevariante_id
MV 1
MV 2
MV 1
MV 1

montagevariante

id	bezeichnung
1	MV 1
2	MV 2

produkt

id	bezeichnung
1	P 1
2	P 2
3	P 3
4	P 4

montagevariante_ produkt

montagevariante_id	produkt_id
MV 1	P 1
MV 1	P 2
MV 2	P 3
MV 3	P 4

Abbildung 5-29: Datensätze für die qualifikationsspezifische Informationsauswahl

Regelwerke

Mit den Regelwerken werden die *bereitzustellenden aktivitätsbeschreibenden Werkerinformationen je Qualifikationsstufe* ausgewählt. Warnungen und Hinweise werden für die Stufen I und L immer bereitgestellt, da sich entsprechende Mitarbeiter in einem Lernprozess befinden und die Informationen möglicherweise noch nicht verinnerlicht haben. In den Stufen U und O liegt eine höhere Routine vor, sodass Warnungen oder Hinweise nur ausgegeben werden, wenn sie einer Arbeitsvorgangsvariante zugeordnet sind und das zugehörige aktivitätsbeschreibende Werkerinformationspaket ausgegeben wird⁷⁶. *Änderungs-, Montagefehler- und Kommentarinformationen* werden *unabhängig von der Qualifikation* entsprechend der funktions-spezifischen Regelwerke bereitgestellt.

⁷⁶ Für die Qualifikationsstufen U und O können Warnungen und Hinweise, die Arbeitsvorgängen oder Arbeitsvorgangsgruppen zugeordnet sind, auch einmal im Monat oder nach längeren Abwesenheiten wie Urlaub ausgegeben werden, um sie nicht in Vergessenheit geraten zu lassen.

Bei der Literaturrecherche wurden *zwei vorherrschende Ansätze* identifiziert, die beide eine *strikte Prozessvorgabe* unabhängig von der Qualifikationsstufe aufrechterhalten, welche ein erfahrener Werker nicht benötigt. Beim ersten Ansatz wird je nach Qualifikationsstufe der *Modus* zwischen Text, Bild und Video *verändert* (siehe beispielsweise BÄCHLER ET AL. 2018, S. 38-39; FELDMANN ET AL. 2004, S. 242). Dies ist sehr aufwändig bei der Informationserstellung und -pflege, da Tätigkeiten mehrfach in unterschiedlichen Formaten beschrieben werden müssen. Beim zweiten Ansatz, wie beispielsweise bei den Forschungsprojekten APPSist oder SmartF-IT (siehe auch Abschnitt 3.1), reduziert sich mit steigender Qualifikation die *hierarchische Ebene der Information*. Einem unerfahrenen Mitarbeiter werden detaillierte Informationen auf Ebene der Arbeitsvorgänge bereitgestellt und einem erfahrenen Mitarbeiter nur solche zur Arbeitsvorganggruppen. Für die variantenreiche Montage ist dies jedoch von Nachteil, da die variantenbehafteten Informationen auf unterster Ebene verankert sind. Die Grundschriffe auf oberer Ebene bieten den erfahrenen Werkern keinen Mehrwert, da sie ihnen hinlänglich bekannt sind.

In dieser Arbeit wird die *durchzuführende Tätigkeit in den Mittelpunkt* gerückt. Der qualifikationsspezifische *Informationsbedarf* hängt maßgeblich von den Arbeitsinhalten und damit verbunden insbesondere von *Umfang und Varianz der notwendigen Informationen* ab⁷⁷.

Über die im Folgenden präsentierte *Bewertung* wird *für jede Qualifikationsstufe ein passendes Informationsangebot* erstellt⁷⁸.

Da der *Umfang der Informationen* indirekt von der Arbeitsplanung durch die Zerlegung einer Montageaufgabe in Arbeitsvorganggruppen, Arbeitsvorgängen oder Arbeitsvorgangvarianten in gedanklich handhabbare Einheiten aufgeteilt wird, wird keine zusätzliche differenzierende Bewertung des Informationsumfangs vorgenommen.

⁷⁷ Weitere Bewertungsfaktoren neben der Varianz wären Häufigkeit/Frequenz, Folgenanzahl oder Ähnlichkeit der Werkerinformation. Die Bewertung der Häufigkeit lohnt sich erst bei hoher Variantenanzahl, denn bei geringer oder keiner Varianz kommen zumeist alle Varianten in geringen zeitlichen Abständen vor. Bei vielen Varianten können beispielsweise abhängig von der Variantenverteilung die 50% oder 80% häufigsten Varianten für erfahrene Mitarbeiter ausgeblendet werden. Um es für diese Funktion nicht zu kompliziert zu gestalten, wird die Häufigkeit ausgegliedert in der Systemfunktion Variantentransparenzunterstützung berücksichtigt. Die Folgeanzahl von Werkerinformationen, die die Anzahl der Montageschritte repräsentiert, ist über die Zerlegung der Montageaufgabe in Tätigkeiten limitiert, sodass diesbezüglich keine Bewertung erfolgt. Denkbar wäre auch die Bewertung der Ähnlichkeit von Werkerinformationen. Die notwendigen Modelle und Methoden stehen jedoch nicht im Fokus dieser Arbeit und können daher nicht weiterverfolgt werden. Unabhängig von der Bewertung der Werkerinformation kann es auch erforderlich sein, dass der Mitarbeiter bei einem Arbeitsvorgang zu einer Dateneingabe oder Lesebestätigung aufgefordert wird. Für diese beiden Fälle müssen die Zuordnungstabellen um einen entsprechenden Parameter erweitert werden.

⁷⁸ Dies setzt voraus, dass den Arbeitsvorganggruppen, Arbeitsvorgängen oder Arbeitsvorgangvarianten angemessene Werkerinformationspakete zugeordnet sind. Beispielweise sollte ein variantenreicher Arbeitsvorgang durch produktrelationale Werkerinformationspakete und nicht durch eine generische Prozessbezeichnung beschrieben sein.

Die *Varianz der Informationen* spiegelt sich in den zugeordneten Werkerinformationspaketen wider. Für alle drei Zuordnungsebenen von Werkerinformationspaketen zu Arbeitsvorgangsgruppen, Arbeitsvorgängen oder Arbeitsvorgangsvarianten wird jeweils unter Berücksichtigung von Abbildung 2-2 (Seite 22) bewertet, ob es sich um ein *Standard-WIP*, eine *obligatorische WIP-Variante*, ein *optionales WIP* oder eine *optionale WIP-Variante* handelt⁷⁹. Die verschiedenen Fälle sind in Teil A von Abbildung 5-30 aufgelistet. Für die Bewertung der optionalen WIPs ist wie bei der auftragsspezifischen Informationsauswahl eine Erweiterung der Zuordnungstabelle um Montagevarianten notwendig. Damit kann bemessen werden, ob die Werkerinformationspakete alle Produkte abdecken oder ob es sich um eine optionale Tätigkeit und Information handelt.

Wie in Abbildung 5-30 Teil B aufgeführt, werden für die Qualifikationsstufen I und L grundsätzlich alle Werkerinformationspakete ausgegeben, da sich der Werker in der Lernphase befindet⁸⁰. Ein Werker der Stufe U kann Qualität und Quantität der Montageaufgabe einhalten. Er kennt den grundlegenden Prozessablauf, sodass Standard-WIPs, optionale WIPs und einfache Varianten nicht mehr für ihn angezeigt werden. Allerdings ist er noch nicht so lange am Arbeitsplatz, dass er viele Varianten auswendig beherrscht. Wenn es mehr als drei bis fünf obligatorische oder optionale WIP-Varianten gibt, sollen diese angezeigt werden. In der Stufe O hat der Werker bereits mehr Routine entwickelt⁸¹. Ihm werden Werkerinformationspakete erst ab fünf bis sieben Varianten bereitgestellt. Die vorgeschlagene Anzahl an Varianten orientiert sich an den Untersuchungen zur Gedächtnisleistung von MILLER (1956) unter dem Titel *Magical Number Seven*.

Die Bewertung und der Qualifikationsabgleich sind sowohl für die Anzeige der AVOG-Kette als auch nach Auswahl einer Arbeitsvorgangsgruppe relevant (Abbildung 5-30). Wenn keine Informationen zu einer Arbeitsvorgangsgruppe ausgegeben werden, ist diese in der AVOG-Kette entsprechend zu kennzeichnen (Abbildung 5-31, Seite 109).

⁷⁹ Bei der Zuordnung auf Ebene der Arbeitsvorgangsvarianten ist eine direkte Rückführung auf die vier Arten von Arbeitsvorgängen möglich.

⁸⁰ Insbesondere Werker der Stufen I und L können noch nicht mit dem Montagetakt mithalten und übernehmen anfangs nicht alle Tätigkeiten des Arbeitsplatzes. Mit der rollenspezifischen Informationsaufteilung werden nur Informationen zu denjenigen Arbeitsvorgangsgruppen ausgegeben, die sie bearbeiten.

⁸¹ GERLACH (2010, S. 113) unterscheidet Routinetypern anhand der Ausführungshäufigkeit und definiert variantenbehaftete Kerninformationen, berücksichtigt aber nicht die als ausschlaggebend erachtete Vielfalt der Varianz (Vergleich von beispielsweise zwei oder zwanzig Varianten) sowie die Bekanntheit einfacher Varianten.

Durch das Auslassen einiger Werkerinformationspakete nach der Stufe L entsteht der Wechsel von einer Prozessvorgabe hin zu einer teilprozessualen, variantenfokussierten Informationsbereitstellung, der elementar wichtig für die qualifikationsspezifische Informationsauswahl ist.

Zusätzlich zur Bewertung der Varianz bei den Werkerinformationspaketen erfolgt eine *Reduzierung des Informationsumfangs* über die den Paketen zugehörigen Werkerinformationen anhand des *Aspekts* und des *Modus* – ohne eine zusätzliche Bewertung des Informationsumfangs vornehmen zu müssen (Abbildung 5-30 Teil C).

Die Aspekte „Was_Prozess“ und „Wodurch“, die den Montageprozess und das Betriebsmittel abdecken, werden für eingelernte Mitarbeiter ab der Stufen L nicht mehr angezeigt. Dies geschieht unter der Annahme, dass in der hochvarianten Serienmontage die Komponenten sowie, wohin und auf welche Weise sie montiert werden, die Variantentreiber sind.

Sofern die Werkerinformationen in mehr als einem Informationsmodus gespeichert sind, wird für unerfahrene Werker mit Stufe I der umfangreichste Modus (Video oder Bild) präsentiert, für Werker der Stufe O der minimale Modus (Bilder oder Text). Wenn es drei Moduslevel gibt, erfolgt für Werker der Stufen L und U der mittlere Modus (Bild), bei zweien der umfangreichere (Video oder Bild).

Mit Hinblick auf den Aufwand der Informationserstellung ist die Modusanpassung nicht zwingend erforderlich für die qualifikationsspezifische Informationsanpassung. Synergien können jedoch mit der Arbeitsplanung erzielt werden, wenn die Tätigkeiten in den Arbeitsplänen nach dem Muster der Informationsaspekte aufgebaut werden und neben Bildern als Werkerinformationen zur Verfügung stehen.

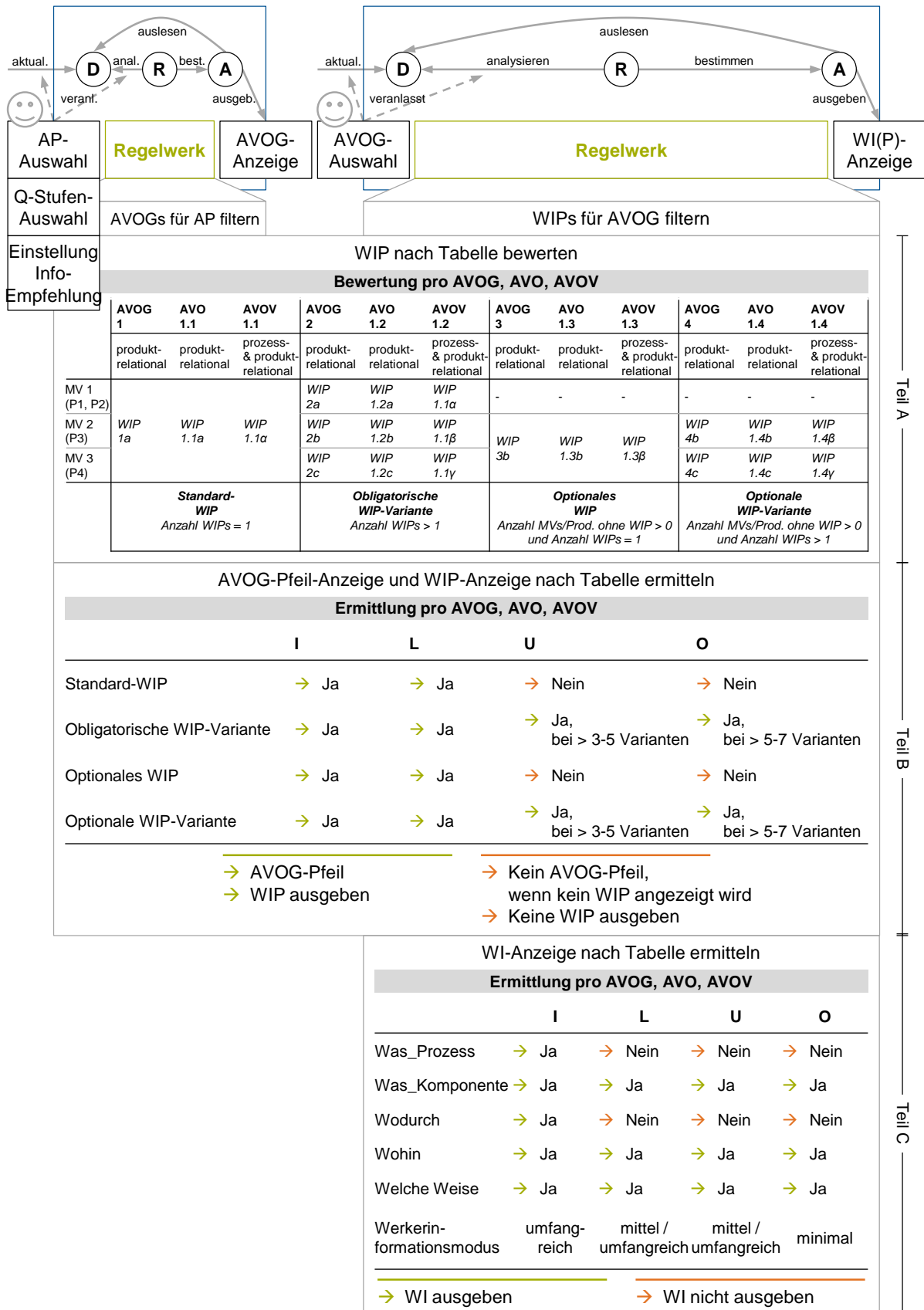


Abbildung 5-30: Regelwerke für die qualifikationsspezifische Informationsauswahl

Anzeigefelder

Damit der Werker seine in der Datenbank hinterlegte Qualifikation einsehen und, falls erlaubt, selbstständig ändern kann, kann über das Menü ein *Einstellungsfeld* (temporär überlagernd) aufgerufen werden (Abbildung 5-31). Um die von den Regelwerken empfohlene Auswahl der Werkerinformationspakete überstimmen zu können, werden die je nach Granularität der Arbeitsplanung zugeordneten Pakete symbolisch in einem Diagramm zur Aus- und Abwahl aufgeführt. Dies ist in der Abbildung beispielhaft dargestellt.

Werkerinformationssystem-Bildschirm

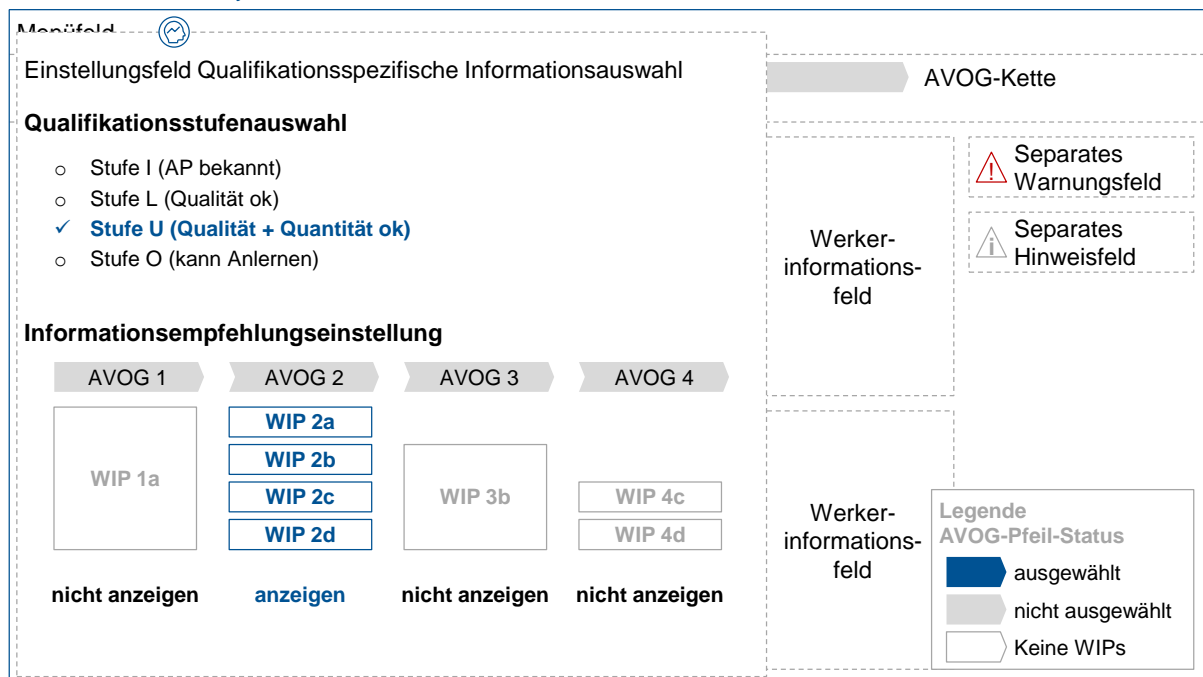


Abbildung 5-31: Anzeigefelder für die qualifikationsspezifische Informationsauswahl

5.4.3 Anlernprozessförderung

Bei Arbeitsplätzen mit umfangreichen Tätigkeiten und einer Vielzahl an Produktvarianten benötigen neue Mitarbeiter mehrere Tage oder Wochen, bis sie die Montageaufgabe erfüllen können. Vor den Schwierigkeiten beim Anlernen schrecken Mitarbeiter teilweise zurück und sind gegenüber neuen Arbeitsplätzen zögerlich, welche eine belastungsreduzierende Arbeitsplatzrotation vereinfachen würden.

Das *Anlernen* ist Teil des Qualifizierungsprozesses und umfasst die Zeitspanne, *bis der Mitarbeiter die Tätigkeiten selbstständig in der geforderten Qualität und Quantität ausführen kann*. Entsprechend bezeichnet das Anlernen das systematische Erlernen von Fertigkeiten und Kenntnissen zur Bewältigung einer zuvor nicht beherrschten Montageaufgabe. (MAIER ET AL. 2020)

Dem Anlernen und der Stufe I geht immer eine Einweisung zum Arbeitsplatz, insbesondere die Sicherheitsunterweisung, vorweg, die es dem Mitarbeiter erlaubt, die Tätigkeiten am Arbeitsplatz aufzunehmen und den Anlernprozess zu beginnen. Nach REFA hat sich ein vierstufiges Vorgehen beim Anlernen bewährt (BUCK & WITZGALL 2012, S. 399; WEISNER ET AL. 2018, S. 217). Zunächst erfolgen die Vorbereitung (wozu soll was wie gelernt werden), die Vorführung durch den Lehrer sowie die vom Lehrer beobachtete Ausführung durch den Lernenden. Dies wird in dieser Arbeit als Verstehensphase bis zum Erwerb der Stufe L bezeichnet. Der vierte Schritt stellt die Überleitung zum selbstständigen Üben dar. Die Übungsphase bis zum Erreichen der Stufe U ist charakterisiert durch eine Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit, bis die quantitativen Arbeitsziele erreicht werden⁸². Hierbei unterstützt die rollenspezifische Informationsselektion, die dem unerfahrenen Werker nur Informationen zu Arbeitsvorgängen bereitstellt, die er bisher in der zur Verfügung stehenden Arbeitszeit aufgrund seiner mangelnden Übung ausführen kann.

Im Kontext von Werkerinformationssystemen, die zu einem medial geführten, isolierten Anlernen verführen können, wird an dieser Stelle ausdrücklich für eine *persönliche Begleitung in der Verstehensphase* plädiert. Die soziale Interaktion bietet die Grundlage für ein emotionales Lernen, das den menschlichen Lernprozess begünstigt, vor allem bei praxisorientierten Workern, die das akademische, theoretische Lernen nicht trainiert haben (DWORSCHAK & WITZGALL 2008, S. 140-142). Zudem sind beispielsweise Videos für die variantenreiche Produktion aufwändig zu erstellen.

Nichtsdestotrotz soll der Anlernprozess durch die Möglichkeit gefördert werden, zusätzliche *erläuternde Werkerinformationen* bereitzustellen, die das Aufgabenverständnis unterstützen und auch als Nachschlagewerk dienen können. Darüber hinaus findet eine Förderung hinsichtlich der *Messung des Lernfortschritts* statt, um den eingangs geschilderten Schwierigkeiten von Mitarbeitern mit umfangreichen und unübersichtlichen neuen Arbeitsinhalten zu begegnen.

Datensätze

Für die Berechnung des Lernfortschritts müssen die beiden *Anlernlevel lernend und gelernt* den Tätigkeiten werkerindividuell zugeordnet werden (Abbildung 5-32). Für einen aussagekräftigen Lernfortschritt empfiehlt sich eine Granularität der Arbeitsschritte auf Ebene von Arbeitsvorgängen oder Arbeitsvorgangsvarianten, da bei Angabe von beispielsweise lediglich

⁸² Bei umfangreichen Montageaufgaben ist auch ein gestaffeltes Anlernen möglich, sodass das vierstufige Vorgehen sowie die Verstehens- und Übungsphase sequenziell für Teilaufgaben Anwendung finden.

sechs Arbeitsvorgangsgruppen keine systemische Unterstützung notwendig ist, um den Überblick zu wahren.

Für die Anlage von *erläuternden Werkerinformationen* ist eine entsprechende *Werkerinformationsklasse* zu ergänzen, mit der die Erläuterungen gespeichert werden können. Bei der Montage eines keilförmigen Halters könnte die Information, dass eine parallele Fläche zu einer Bezugsfläche erzeugt werden soll, einprägsam die Ausrichtung des Halters erläutern. Die Erläuterungen müssen dabei nicht zwangsweise von der Arbeitsplanung kommen, sondern können auch durch den Werker selbst, beispielsweise in Form einer digitalen handschriftlichen Notiz, auf dem Werkerinformationsbild zu seinem Anlernprozess erstellt werden. Die ergänzenden Erläuterungsinformationen erfordern keine bestimmte Relation der vorliegenden Werkerinformationspakete.

werker_arbeitsvorgang_anlernlevel			werker		anlernlevel	
werker_id	arbeitsvorgang_id	anlernlevel_id	id	bezeichnung	id	bezeichnung
Max Mustermann	AVO 1.1	gelernt	1	Max Mustermann	1	lernend
Max Mustermann	AVO 1.2	lernend	2	John Doe	2	gelernt

werkerinformation					
id	werkerinformationspaket_id	werkerinformationsklasse_id	werkerinformationsaspekt_id	werkerinformationsmodus_id	information
19	WIP 1.1	Erläuterung	Was_Komponente, Wohin	Text	Parallele Fläche erzeugen
20	WIP 1.1	Erläuterung	ohne	Bild	■ Handschriftliche Notiz

Abbildung 5-32: Datensätze für die Anlernprozessförderung

Regelwerke

Da die Erläuterungsinformationen für anzulernende Mitarbeiter bestimmt sind, muss nicht vorgebeugt werden, dass ein erfahrener Mitarbeiter die Informationen übersieht. Daher ist *keine Kennzeichnung in der AVOG-Kette* erforderlich. Für den Fall, dass es jedoch keine qualifikationsspezifische Informationsauswahl gibt, müssen die Werker die Möglichkeit haben, die erläuternden Informationen auszublenden. Gleiches gilt für den Lernfortschritt. Das Regelwerk prüft dementsprechend auf die vorgenommene Einstellung (Abbildung 5-33). Wenn Qualifikationsstufen des Nutzers auswertbar sind, werden die Erläuterungen und der Lernfortschritt nur während des Anlernprozesses, also für die Stufen I und L ausgegeben.

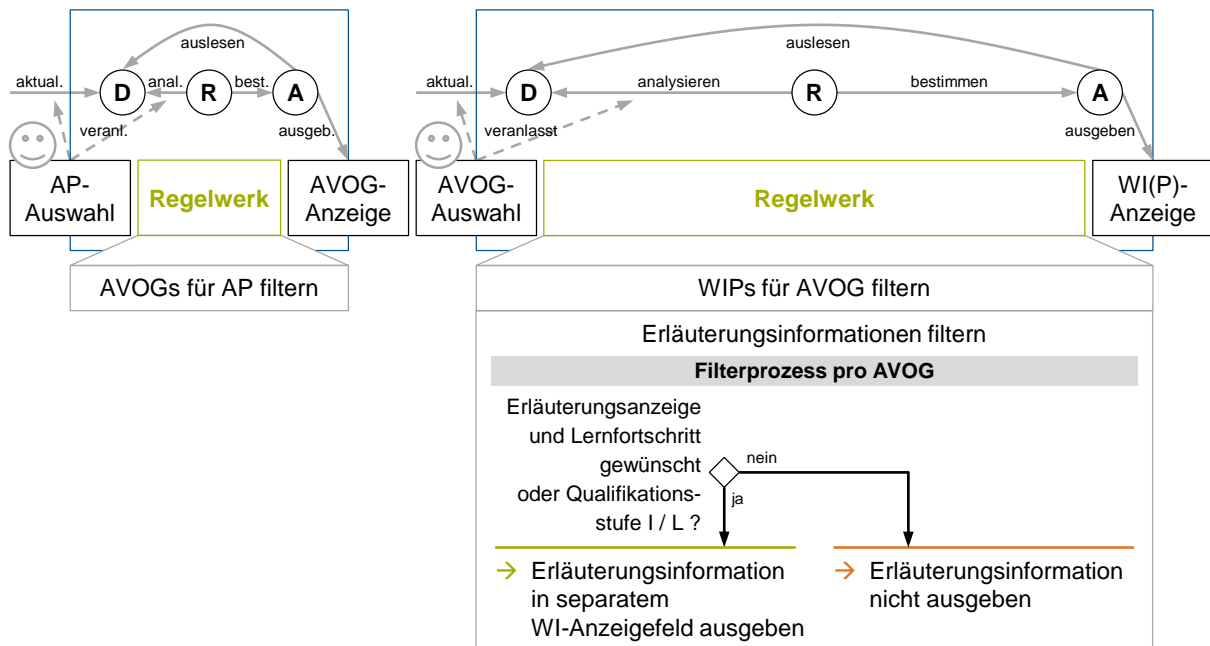


Abbildung 5-33: Regelwerke für die Anlernprozessförderung

Anzeigefelder

Die Erläuterungen werden in einem *separaten Anzeigefeld* im WIP-Feld ausgegeben. Im *Einstellungsfeld* der Systemfunktion (temporär überlagernd) kann die Anzeige der Erläuterungen ein- oder ausgeschaltet werden (Abbildung 5-34). Dort ist ebenfalls die Möglichkeit zur persönlichen Erstellung von Erläuterungsinformationen durch den Werker verortet. Zudem wird dort der Lernfortschritt angezeigt, der sich aus dem prozentualen Anteil der als gelernt markierten Arbeitsvorgänge oder Arbeitsvorgangsvarianten berechnet und sich demzufolge zwischen 0% und 100% befindet. Für die Markierung durch den Werker oder seinen Lehrer wird ein weiteres Anzeigefeld mit Haken nötig, das je nach Anzeigeprinzip assoziiert zu den Werkerinformationen eines Arbeitsvorgangs oder einer Arbeitsvorgangsvariante platziert wird und den Lernfortschritt indiziert.

Werkerinformationssystem-Bildschirm

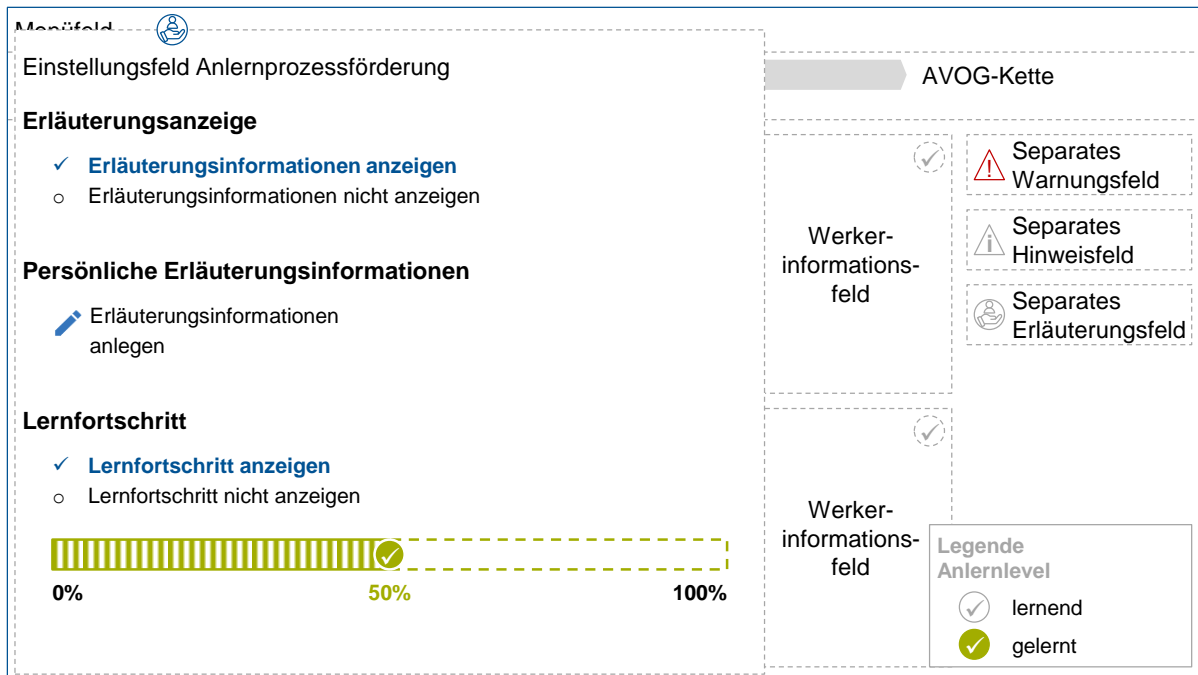


Abbildung 5-34: Anzeigefelder für die Anlernprozessförderung

5.4.4 Variantentransparenzunterstützung

Die achte Systemfunktion trägt, ähnlich wie die Anlernprozessförderung, zu einer Unterstützung des Werkers bei einer Vielzahl an Produktvarianten bei. Mit der Variantentransparenzunterstützung wird ein *Überblick über die produktinduzierten Montagevarianten* am Arbeitsplatz geschaffen, sodass die Mitarbeiter einschätzen können, mit welchen anstehenden Montageaufträgen sie vertraut sein müssten und welche Montagetätigkeiten bei welchen Produktvarianten identisch sind. Die Information, dass Produkt 1 und Produkt 2 an seinem Arbeitsplatz die gleichen Montagetätigkeiten erfordern, hilft dem Werker bei der Montage von Produkt 2, auch wenn er bisher nur Produkt 1 montiert hat. Auf diese Weise kann sich der Mitarbeiter ein mentales Modell seiner Arbeitsinhalte aufbauen, Arbeitsroutinen einfacher abrufen und die Kontrollierbarkeit über seine Montageaufgabe erhöhen.

Datensätze

Wie bei der auftragsspezifischen Informationsselektion sind die drei Tabellen ´montagevariante´, ´produkt´ und ´montagevariante_produk´ für die Abbildung der Montagevarianten erforderlich (Abbildung 5-35). Die *Montagevariante* repräsentiert Produkte, die an dem Arbeitsplatz auf gleiche Weise montiert werden und steht damit vereinfachend für Produktgruppen oder Kombinationen von Produktmerkmalen, die mehrere Produktvarianten gruppieren.

Damit der Mitarbeiter einschätzen kann, ob er mit der anstehenden Montagevariante vertraut sein müsste, muss ausgewertet werden, *welche Produkte er bereits wie oft montiert hat*. Dazu werden in der Tabelle 'werker_arbeitsplatz' seine Einsatzzeiten an dem Arbeitsplatz erfasst.

Bei dieser Systemfunktion bestehen keine Voraussetzungen an die Relationsart der Werkerinformationspakete untereinander, da die Variantenübersicht unabhängig von der aktivitätsbeschreibenden Werkerinformation ist.

montagevariante		produkt		montagevariante_ produkt		werker	
id	bezeichnung	id	bezeichnung	montage- variante_id	produkt_id	id	bezeichnung
1	MV 1	1	P 1	MV 1	P 1	1	Max Mustermann
2	MV 2	2	P 2	MV 1	P 2	2	John Doe
3	MV 3	3	P 3	MV 2	P 3	3	Maria Tade
		4	P 4	MV 3	P 4	4	Mario Rossi

werker_arbeitsplatz

id	werker_id	arbeitsplatz_id	zeitpunkt_von	zeitpunkt_bis
1	Max Mustermann	AP 1	24.12.2017 – 06:15:00	24.12.2017 – 15:00:00
2	John Doe	AP 1	24.12.2017 – 15:00:00	24.12.2017 – 23:30:00
3	Maria Tade	AP 1	24.12.2017 – 16:00:00	24.12.2017 – 16:05:00
4	Mario Rossi	AP 2	24.12.2017 – 06:15:00	24.12.2017 – 15:00:00

Abbildung 5-35: Datensätze für die Variantentransparenzunterstützung

Regelwerke

Damit der Werker Transparenz über seine Variantenhäufigkeiten erhält, muss er sich bei der Arbeitsplatzauswahl mit seinem *Profil* anmelden (Abbildung 5-36). Anhand seiner bisherigen Arbeitszeit am Arbeitsplatz lässt sich mit Hilfe des Produktionsprogramms die Häufigkeit berechnen, wie oft er die Montagevarianten ausgeführt hat. Die allgemeine absolute Häufigkeit der Montagevarianten wird ebenfalls über das vergangene Produktionsprogramm errechnet, um für den Werker eine Indikation aufzuzeigen, welche Varianten er besonders oft oder selten zu montieren hat.

Sofern die auftragsspezifische Informationsselektion implementiert ist, wird über den Auftrag die dem Produkt zugehörige *Montagevarianzbezeichnung* für die Anzeige gefiltert. Um die Einprägsamkeit und Wiedererkennung der Montagevarianten zu erhöhen, bieten sich Bezeichnungen wie beispielsweise als Länder oder Fußballspieler an. Alternativ ist auch eine numerische Einordnung wie „Variante 1 von 11“ möglich.

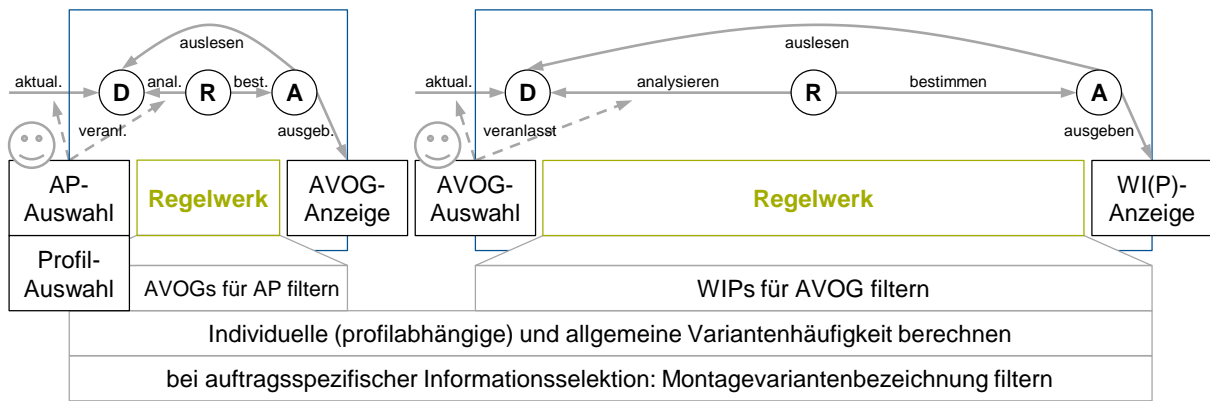


Abbildung 5-36: Regelwerke für die Variantentransparenzunterstützung

Anzeigefelder

Die Anzeige der Variantentransparenz im *Einstellungsfeld* (temporär überlagernd) kann über eine Schaltfläche im Menüfeld aufgerufen werden (Abbildung 5-37). Im Montagevariante-Häufigkeits-Diagramm werden auf der Abszisse die Montagevarianten in absteigender allgemeiner Häufigkeit und auf der Ordinate die individuelle und allgemeine Häufigkeit unter Angabe der zugehörigen Produkte aufgetragen. Die häufigste Montagevariante ist die Referenzvariante. Bei mehreren Produktgruppen können auch gruppenspezifische Referenzvarianten definiert werden.

Für die *Montagevariantenbezeichnung* wird ein *Variantenfeld* oben rechts in der Nähe der Auftragskette vorgesehen.

Werkerinformationssystem-Bildschirm

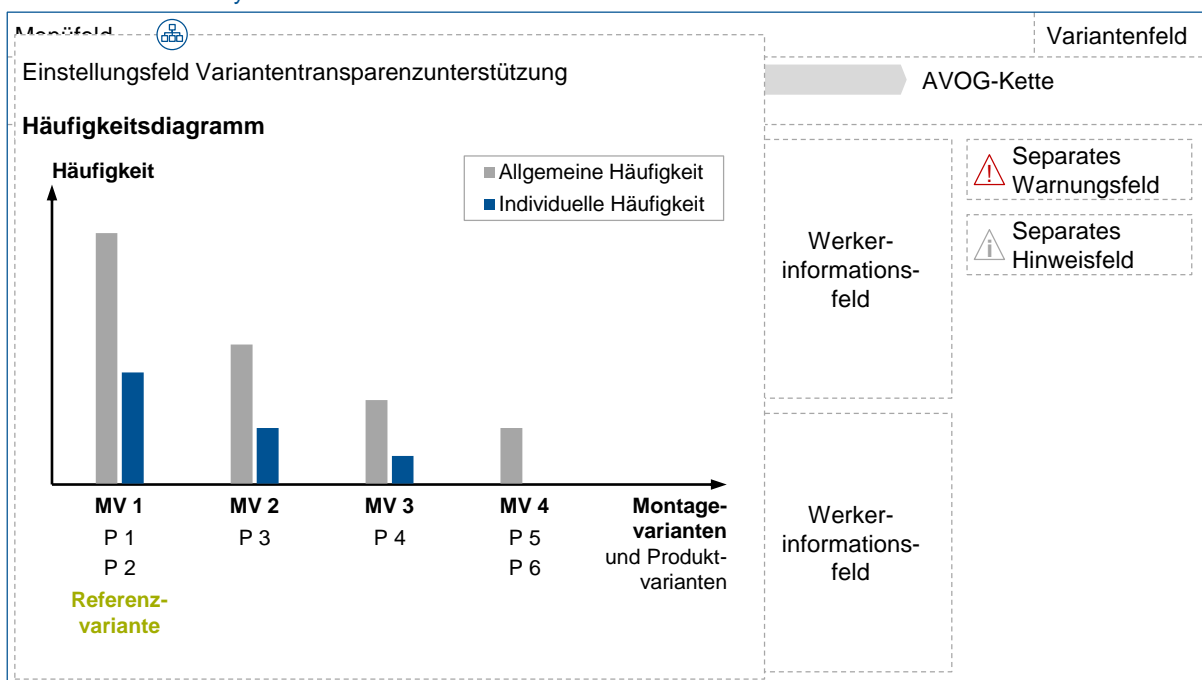


Abbildung 5-37: Anzeigefelder für die Variantentransparenzunterstützung

5.5 Zusammenfassung

Für die Entwicklung des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems wurde zunächst mit Hilfe der *Systemtheorie* ein *konzeptioneller Systementwurf* vorgenommen. Dabei wird das Werkerinformationssystem mit dem hierarchischen, dem funktionalen und dem strukturalen Konzept modelliert.

Das *hierarchische Konzept* beschreibt umgebende Sub- und Supersysteme wie Qualitätsdatenbanken beziehungsweise allgemeine Mitarbeiterinformationssysteme.

Mit dem *funktionalen Konzept*, welches das System als Blackbox auffasst, werden die acht inhaltlichen Anforderungen an das Werkerinformationssystem in acht Systemfunktionen überführt. Alle Systemfunktionen folgen der gleichen Funktionsweise aus den drei Schritten Kontext erfassen, Informationen komponieren und Informationen bereitstellen. Durch die Form der Funktionsbezeichnungen (Auftragsspezifische Informationsselektion, Rollenspezifische Informationsaufteilung und Qualifikationsspezifische Informationsauswahl gegenüber Änderungsmarkierung, Montagefehlermeldung, Produkt-/Prozesskommentierung, Anlernprozessförderung und Variantentransparenzunterstützung) wird ein unterschiedlicher Charakter der Systemfunktionen angedeutet. Während die ersten drei Funktionen bestehende Werkerinformationen verarbeiten, werden bei den fünf letztgenannten weitere Informationen ergänzt.

Über das *strukturele Konzept*, das die Systemelemente und deren Relationen umfasst, werden synchron zur Funktionsweise drei Arten von Systemelementen abgeleitet, die zuvor in der Arbeit lösungsneutral als Lösungsbausteine bezeichnet wurden: Datensätze, Regelwerke und Anzeigefelder.

Basierend auf dem Systementwurf wurde das *Basis-Werkerinformationssystem* entwickelt, das *funktionsübergreifende Systemelemente* beinhaltet, die für alle dynamischen oder individuellen Systemfunktionen erforderlich sind. Anschließend sind die jeweils *funktionsspezifisch notwendigen Systemelemente* vorgestellt worden.

Im Folgenden werden alle Systemelemente für das vollständige dynamische und individuelle Werkerinformationssystem zusammengefasst dargestellt, um einen abschließenden Überblick zum System zu geben.

Datensätze

Mit den Datensätzen werden die notwendigen Input-Daten des Systems als Parameterwerte erfasst. Parameterwerte sind zeitlich veränderliche Einträge oder neue Zeileneinträge in der Datenbank, beispielsweise zur Abbildung der *Montageaufgabe*. *Werkerinformationspakete* werden als spezielle Form von Parameterwerten abgegrenzt. Sie bündeln Datensätze zur Speicherung der *Werkerinformationen*, die unter anderem über die Klassen Aktivität, Warnung, Hinweis, Änderung, Montagefehler, Kommentar und Erläuterung differenziert werden. Je nach Relation der Pakete untereinander wird zwischen prozessrelationalen (Generische Prozessbeschreibung), produktrelationalen (Produktvariantenbeschreibung) und deren Vereinigung in Form von prozess- & produktrelationalen (Arbeitsvorgangsvariantenbeschreibung) Werkerinformationspaketen unterschieden.

Die Datentabellen sind auf drei Abbildungen aufgeteilt. Die funktionspezifischen Tabellen sind jeweils durch ein entsprechendes Icon markiert. Abbildung 5-38 beinhaltet alle Tabellen, die in Abschnitt 5.2 zum Basis-Werkerinformationssystem vorgestellt worden sind. Dabei wird eine Planung bis auf Ebene der Arbeitsvorgangsvarianten dargestellt, wobei jedem Arbeitsvorgang und jeder Arbeitsvorgangsgruppe prozessrelationale und produktrelationale Werkerinformationspakete zugeordnet sind, um die maximal mögliche Ausprägung zu zeigen. Die Werkerinformationen sind nur beispielhaft und nicht für jedes Werkerinformationspaket angelegt.

In Abbildung 5-39 sind die Tabellen für die *dynamischen Systemfunktionen* aufgeführt. Für die auftragsspezifische Informationsselektion wird in Abbildung 5-38 die Erweiterung der Zuordnungstabelle 'arbeitsvorgangsvarianten_werkerinformationspaket' um die Spalte 'montagevariante_id' benötigt. Für die Funktion Änderungsmarkierung sind zugehörige geänderte Informationen in der Tabelle 'werkerinformation' in Abbildung 5-38 durchgestrichen und aktualisiert.

Abbildung 5-40 zeigt die Tabellen der *individuellen Systemfunktionen*. Die Tabelle 'werker' wird dabei von drei Systemfunktionen verwendet. Für die qualifikationsspezifische Informationsauswahl wird zur Berechnung der optionalen Werkerinformationspakete eine Erweiterung der Zuordnungstabelle 'arbeitsvorgangsvarianten_werkerinformationspaket' aus Abbildung 5-38 um die Spalte 'montagevariante_id' benötigt. Zudem sind für die qualifikationsspezifischen Informationsauswahl und die Variantentransparenzunterstützung die Tabellen zu den Montagevarianten aus Abbildung 5-39 erforderlich.

5 Dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem

montagebereich			
id	bezeichnung	bild	montagebereichs-leiter
1	Montagebereich 1	■	Leiter 1
2	Montagebereich 2	■	Leiter 2

station			
id	bezeichnung	bild	beschreibung
1	Station 1	■	Anbauteile
2	Station 2	■	Nieten

arbeitsplatz			
id	bezeichnung	bild	beschreibung
1	AP 1	■	Haltermontage
2	AP 2	■	Flanschmontage
3	Springer	■	Montagebereichs-springer

montagebereich_ arbeitsplatz	
montagebereich_id	arbeitsplatz_id
montagebereich 1	AP 1
montagebereich 1	Springer

station_arbeitsplatz	
station_id	arbeitsplatz_id
Station 1	AP 1
Station 2	AP 2

arbeitsvorgangsgruppe			
id	bezeichnung		
1	AVOG 1		
2	AVOG 2		





arbeitsvorgangsgruppe_ werkerinformationspaket			
arbeitsvorgangsgruppe_id	werkerinformationspaket_id		
<u>Zuordnung prozessrelationaler WIPs</u>			
AVOG 1	WIP 1		
AVOG 2	WIP 2		
<u>Zuordnung produktrelationaler WIPs</u>			
AVOG 1	WIP 1a		
AVOG 1	WIP 1b		
AVOG 2	WIP 2a		
AVOG 2	WIP 2b		

arbeitsvorgang			
id	bezeichnung	arbeitsvorgangsgruppe_id	
1	AVO 1.1	AVOG 1	
2	AVO 1.2	AVOG 1	

arbeitsvorgang_ werkerinformationspaket			
arbeitsvorgang_id	werkerinformationspaket_id		
<u>Zuordnung prozessrelationaler WIPs</u>			
AVO 1.1	WIP 1.1		
AVO 1.2	WIP 1.2		
<u>Zuordnung produktrelationaler WIPs</u>			
AVO 1.1	WIP 1.1a		
AVO 1.1	WIP 1.1b		
AVO 1.2	WIP 1.2a		
AVO 1.2	WIP 1.2b		

arbeitsvorgangsvariante_ werkerinformationspaket			
arbeitsvorgangsvariante_id	werkerinformationspaket_id	montagevariante_id	
AVOV 1.1α	WIP 1.1α	MV 1	
AVOV 1.1β	WIP 1.1β	MV 2	
AVOV 1.2α	WIP 1.2&1.3α	MV 1	
AVOV 1.3α	WIP 1.2&1.3α	MV 1	

werkerinformationspaket	
id	bezeichnung
1	WIP 1.1
2	WIP 1.1α
3	WIP 1.1β
4	WIP 1.2&1.3α

werkerinformationsklasse	
id	bezeichnung
1	Aktivität
2	Warnung
3	Hinweis
4	Änderung 
5	Montagefehler 
6	Kommentar 
7	Erläuterung 

werkerinformationsaspekt	
id	bezeichnung
1	ohne
2	Was_Prozess
3	Was_Komponente
4	Wodurch
5	Wohin
6	Welche_Weise

werkerinformationsmodus	
id	bezeichnung
1	Text
2	Bild
3	Video

werkerinformation					
id	werkerinformationspaket_id	werkerinformationsklasse_id	werkerinformationsaspekt_id	werkerinformationsmodus_id	information
1	WIP 1.1α	Aktivität	Was_Prozess	Text	Verschrauben
2	WIP 1.1α	Aktivität	Was_Komponente	Text	Halter A
3	WIP 1.1α	Aktivität	Wodurch	Text	Akkuschrauber
3	WIP 1.1α	Aktivität	Wodurch	Text	Drehmoment-schrauber
4	WIP 1.1α	Aktivität	Wohin	Text	160mm
5	WIP 1.1α	Aktivität	Welche_Weise	Text	800Nm
6	WIP 1.1α	Aktivität	Was_Komponente, Wohin	Bild	■ Halter A, 160mm
6	WIP 1.1α	Aktivität	Was_Komponente, Wohin	Bild	■ Halter Ä, 160mm
7	WIP 1.1α	Aktivität	Was_Prozess, Was_Komponente, Wohin	Video	■■■■
8	WIP 1.1β	Aktivität	Was_Komponente, Wohin	Bild	■ Halter B, 160mm
9	WIP 1.1	Warnung	ohne	Text	Quetschgefahr
10	WIP 1.1	Hinweis	ohne	Text	Halter kratzerfrei?
11	WIP 1.2&1.3α	Aktivität	Was_Prozess	Bild	■ Prüfen&Stempeln

Abbildung 5-38: Datensätze für vollständiges dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem (Teil 1/3: Basis-Werkerinformationssystem)

produkt		montageauftrag				montagevariante		montagevariante_produk	
id	bezeichnung	id	bezeichnung	montagezeitpunkt	produkt_id	id	bezeichnung	montagevariante_id	produkt_id
1	P 1	1	0001	24.12.2019 – 06:15:00	P 1	1	MV 1	MV 1	P 1
2	P 2	2	0002	24.12.2019 – 06:20:00	P 2	2	MV 2	MV 1	P 2
3	P 3	3	0003	24.12.2019 – 06:25:00	P 1			MV 2	P 3
4	P 4	4	0004	24.12.2019 – 06:30:00	P 3			MV 2	P 4

änderungstyp		änderung						werkerinformation					
id	bezeichnung	id	bezeichnung	änderungs-typ_id	werkerinfor-mation_id	gültig_von	gültig_bis	id	werkerinformations-paket_id	werkerinformations-klasse_id	werkerinformations-aspekt_id	werkerinformations-modus_id	information
1	einmalig	1	Halter-änderung	einmalig	id 12	01.01.2018 – 06:15:00	01.01.2018 – 06:20:00	12	WIP 1.1α	Änderung	ohne	Text	Kundensonder-wunsch-Halter
2	temporär	2	Schrauben-änderung	temporär	id 13	01.01.2018 – 06:15:00	01.04.2018 – 23:30:00	13	WIP 1.1β	Änderung	ohne	Bild	■ Neue Schraube
3	dauerhaft	3	Betriebsmittel-änderung	dauerhaft	id 14	25.12.2017 – 15:15:00	ohne Zeitpunkt	14	WIP 1.1α	Änderung	ohne	Text	Neuer Schrauber

montagefehlertyp		montagefehler						werkerinformation					
id	bezeichnung	id	bezeichnung	montage-fehlertyp_id	werkerinfor-mation_id	gültig_von	gültig_bis	id	werkerinformations-paket_id	werkerinformations-klasse_id	werkerinformations-aspekt_id	werkerinformations-modus_id	information
1	reaktiv	1	Falsche Schraube	reaktiv	id 15	01.05.2018 – 06:15:00	01.07.2018 – 06:15:00	15	WIP 1.1β	Montagefehler	ohne	Text	Schraube beachten
2	präventiv	2	Verwechslung Schrauber	präventiv	id 16	01.04.2018 – 06:15:00	01.05.2018 – 06:15:00	16	WIP 1.1α	Montagefehler	ohne	Text	Schrauber beachten

kommentartyp		kommentar						änderungsanzeigezeitpunkt		montagefehleranzeigezeitpunkt		werkerinformation							
id	bezeichnung	id	bezeichnung	kommentar-typ_id	werkerinfor-mation_id	gültig_von	gültig_bis	id	änderung_id	anzeigezeitpunkt	id	montagefehler_id	anzeigezeitpunkt	id	werkerinformations-paket_id	werkerinformations-klasse_id	werkerinformations-aspekt_id	werkerinformations-modus_id	information
1	produktbezogen	1	Vorserienprodukt	produkt-bezogen	id 17	24.12.2017 – 06:15:00	24.12.2017 – 06:20:00	1	Halter-änderung	01.01.2018 – 06:15:00	1	Falsche Schraube	24.12.2017 – 06:15:00	17	WIP 1.1α	Kommentar	ohne	Text	Achtung Vorserienprodukt
2	prozessbezogen	2	Komponenten-anlieferung	prozess-bezogen	id 18	23.12.2017 – 23:25:00	23.12.2017 – 23:30:00	2	Schrauben-änderung	01.02.2018 – 06:15:00	2	Verwechslung Schrauber	25.12.2017 – 15:15:00	18	WIP 1.1	Kommentar	ohne	Text	Halter nicht angeliefert
								3	Betriebsmittel-änderung	31.12.2017 – 15:15:00									

Abbildung 5-39: Datensätze für vollständiges dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem (Teil 2/3: Dynamische Systemfunktionen)

5 Dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem

rolle		avog-status		arbeitsvorgangsgruppe_rolle_avog-status		
id	bezeichnung	id	bezeichnung	arbeitsvorgangsgruppe_id	rolle_id	avog-status_id
1	Werker	1	Durchführen	AVOG 1	Werker	Durchführen
2	Springer	2	Auslassen	AVOG 2	Werker	Abgeben
3	Lerner	3	Abgeben	AVOG 1	Lerner	Durchführen
4	Lehrer	4	Übernehmen	AVOG 2	Lerner	Abgeben
5	Leistungs-geminderter	5	Kontrollieren	AVOG 1	Leistungs-geminderter	Durchführen
6	Unterstützer	6	Helfen	AVOG 2	Leistungs-geminderter	Abgeben

qualifikation		werker		werker_arbeitsplatz_qualifikation			
id	bezeichnung	id	bezeichnung	id	werker_id	arbeitsplatz_id	qualifikation_id
1	Stufe I (AP bekannt)	1	Max Mustermann	1	Max Mustermann	AP 1	Stufe L
2	Stufe L (Qualität ok)	2	John Doe	2	John Doe	AP 1	Stufe U
3	Stufe U (Qualität + Quantität ok)						
4	Stufe O (kann Anlernen)						

anlernlevel		werker_arbeitsvorgang_anlernlevel			werkerinformation					
id	bezeichnung	werker_id	arbeitsvorgang_id	anlernlevel_id	id	werkerinformations-paket_id	werkerinformations-klasse_id	werkerinformations-aspekt_id	werkerinformations-modus_id	information
1	lernend	Max Mustermann	AVO 1.1	gelernt	19	WIP 1.1	Erläuterung	Was_Komponente, Wohin	Text	Parallele Fläche erzeugen
2	gelernt	Max Mustermann	AVO 1.2	lernend	20	WIP 1.1	Erläuterung	ohne	Bild	■ Handschriftliche Notiz

werker_arbeitsplatz				
id	werker_id	arbeitsplatz_id	zeitpunkt_von	zeitpunkt_bis
1	Max Mustermann	AP 1	24.12.2017 – 06:15:00	24.12.2017 – 15:00:00
2	John Doe	AP 1	24.12.2017 – 15:00:00	24.12.2017 – 23:30:00
3	Maria Tade	AP 1	24.12.2017 – 16:00:00	24.12.2017 – 16:05:00
4	Mario Rossi	AP 2	24.12.2017 – 06:15:00	24.12.2017 – 15:00:00
5	Ali T	AP 2	24.12.2017 – 06:15:00	24.12.2017 – 15:00:00

Legende Systemfunktionen

- Auftragspezifische Informationsselektion
- Änderungsmarkierung
- Montagefehlermeldung
- Produkt-/Prozesskommentierung
- Rollenspezifische Informationsaufteilung
- Qualifikationsspezifische Informationsauswahl
- Anlernprozessförderung
- Variantentransparenzunterstützung

Abbildung 5-40: Datensätze für vollständiges dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem (Teil 3/3: Individuelle Systemfunktionen)

Regelwerke

Mit Hilfe der Regelwerke werden die *bereitzustellenden Informationen auf Basis der Datensätze komponiert* (Abbildung 5-41). Der Werker wählt anfangs einen Arbeitsplatz sowie Rolle, Qualifikation und Profil aus, wodurch die Aktualisierung der Datensätze und deren Analyse durch die Regelwerke veranlasst wird. Anschließend können die anstehenden Aufträge des Arbeitsplatzes gefiltert werden. Für den gewählten Auftrag werden über das zu montierende Produkt die Montagevariante und die Arbeitsvorgangsgruppen ermittelt. Die Arbeitsvorgangsgruppen werden hinsichtlich vorliegender Änderungs-, Montagefehler-, Kommentar- sowie Erläuterungsinformationen gefiltert und je nach funktionsspezifischem Regelwerk wird der AVOG-Pfeil mit einem Status versehen und die Information in einem WI-Anzeigefeld ausgegeben. Zusätzlich hat der rollenspezifische Status einen Einfluss auf den AVOG-Pfeil zur Anzeige der arbeitsteiligen Montagesituation und auf die Ausgabe von Werkerinformationspaketen. Die Qualifikationsstufe entscheidet ebenfalls über die Ausgaben von Werkerinformationspaketen, was mit den AVOG-Pfeilen angezeigt wird. Stufenabhängig werden die Werkerinformationen zusätzlich vom Informationsaspekt determiniert und der Informationsmodus gewählt. Zudem können Montagevariantenbezeichnungen für die Unterstützung der Variantentransparenz eingeblendet werden.

Anzeigefelder

Abbildung 5-42 zeigt alle *notwendigen Anzeigefelder im Bildschirm des Werkerinformationssystems* an. Im Menüfeld können für die rollenspezifische Informationsselektion, die qualifikationsspezifische Informationsauswahl, die Anlernprozessförderung und die Variantentransparenzunterstützung die Einstellungsanzeigefelder aufgerufen werden. Unter der Auftragskette, deren Auftragsfelder der Legende zufolge sechs Status annehmen können, sind die auftragspezifischen AVOG-Ketten platziert. Deren AVOG-Pfeile stellen ein zentrales Element für die Informationsbereitstellung dar. Der AVOG-Pfeil-Status gibt an, zu welcher Arbeitsvorgangsgruppe und ob abhängig von der Qualifikation Werkerinformationen im WIP-Feld bereitgestellt werden. Die Ausgabe im WIP-Feld kann nach drei verschiedenen Anzeigeprinzipien ohne oder mit (Zwischen-)Seiten und im Einzelbild- oder Multibildformat erfolgen. Darüber hinaus werden die AVOG-Pfeile mit einem Symbol markiert, wenn Änderungs-, Montagefehler- oder Kommentarinformationen vorliegen, damit höher qualifizierte Werker diese nicht übersehen. Rollenspezifisch wird zudem ein AVOG-Status angegeben, um dem Werker die arbeitsteilige Montagesituation zu vermitteln. Neben den aktivitätsbeschreibenden Werkerinformationen sind separate Anzeigefelder für Warnungen, Hinweise, Änderungs-, Montagefehler-, Kommentar- und Erläuterungsinformationen vorgesehen. Für geänderte oder fehlerbezogene Werkerinformationen sind fünf Hervorhebungsarten angegeben. Die Anzeige wird komplettiert von Anzeigefeldern für das Anlernlevel und für die Montagevariantenbezeichnung.

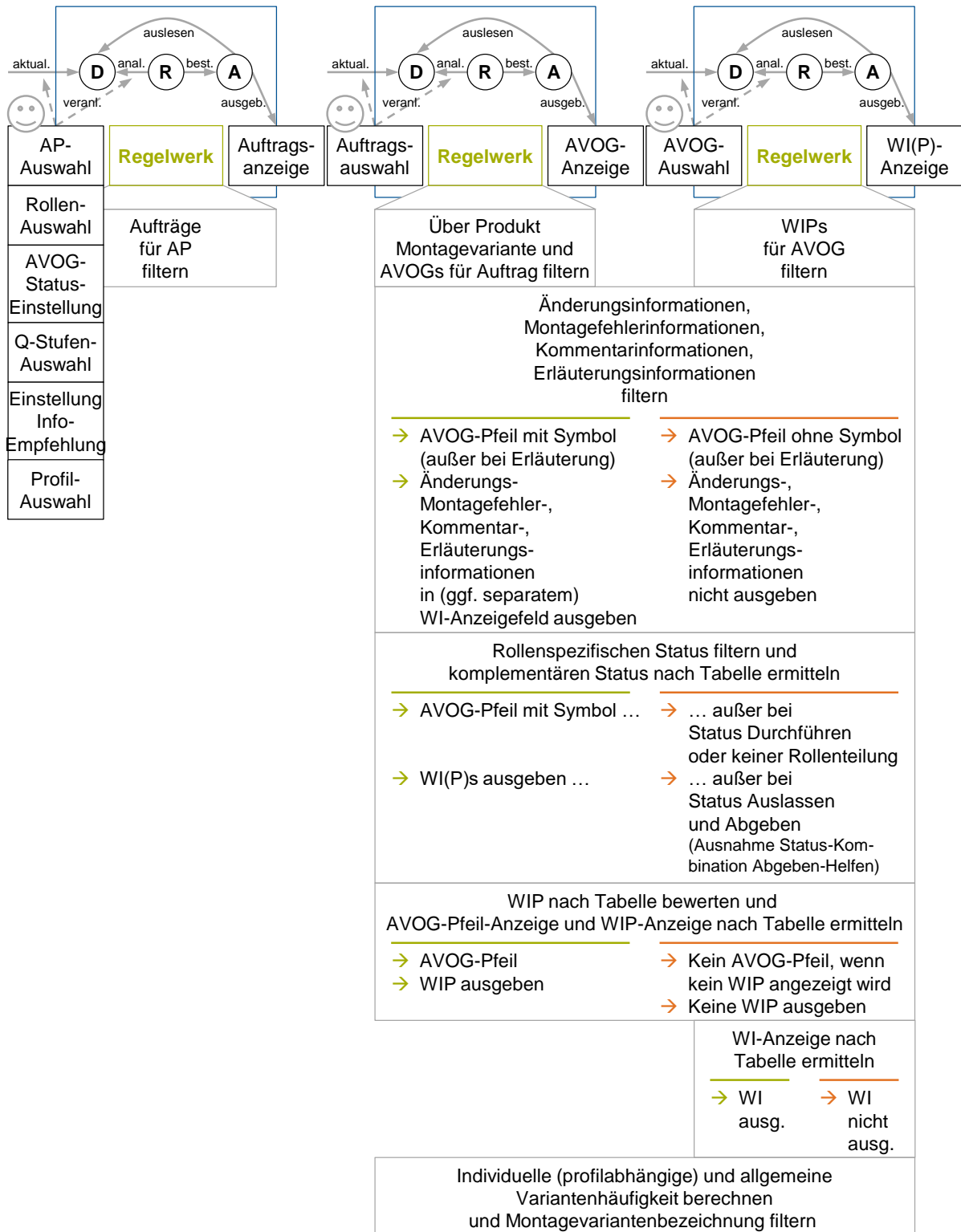
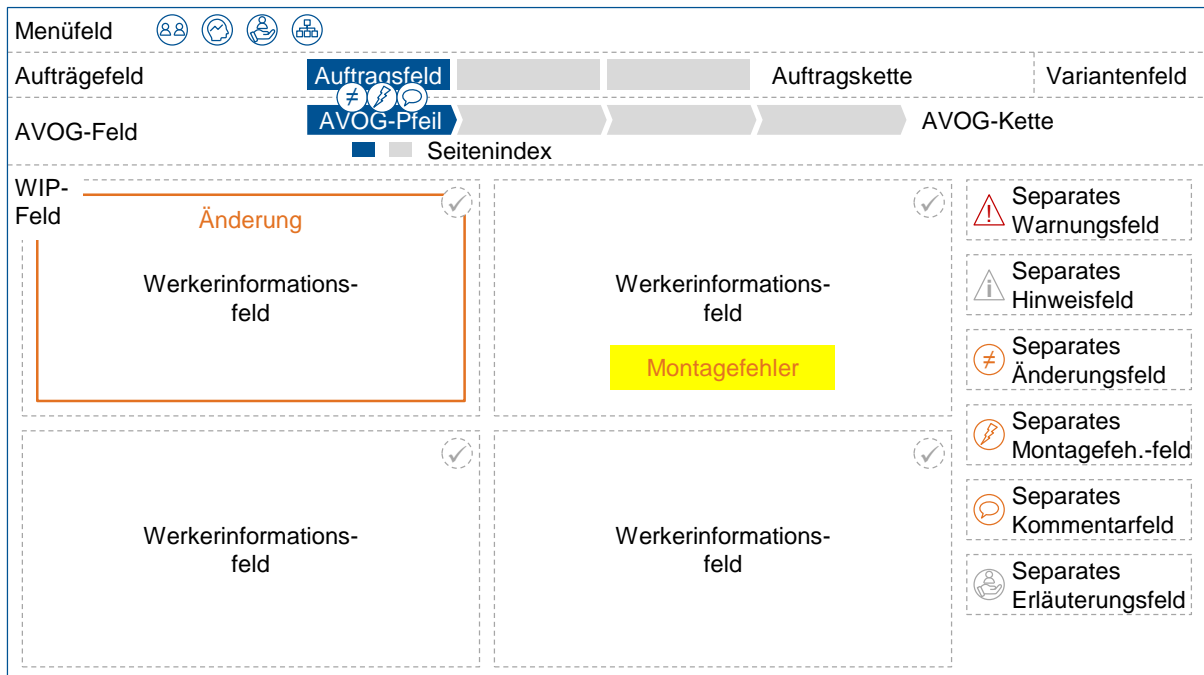


Abbildung 5-41: Regelwerke für vollständiges dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem

Werkerinformationssystem-Bildschirm



Legende
Auftragsfeldstatus

	ausgewählt
	erledigt
	markiert
	gelesen
	ungelesen
	Keine Tätigkeiten

Legende
Hervorhebungsarten

	Symbol (blinkend)
	Rahmen (blinkend)
	Schriftfarbe/-grund
	Schriftgröße
	Schriftformat

Legende
AVOG-Pfeil-Status

	ausgewählt
	nicht ausgewählt
	Keine WIPs

AVOG-Status

ohne Durchführen

	Auslassen
	Abgeben
	Übernehmen
	Kontrollieren
	Helfen

Legende
Anlernlevel

	lernend
	gelernt

Legende
Systemfunktionen

	Auftragspezifische Informationsselektion
	Änderungsmarkierung
	Montagefehlermeldung
	Produkt-/Prozesskommentierung
	Rollenspezifische Informationsaufteilung
	Qualifikationsspezifische Informationsauswahl
	Anlernprozessförderung
	Variantentransparenzunterstützung

Abbildung 5-42: Anzeigefelder für vollständiges dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem

6 Konfigurationsmethode

Die Konfigurationsmethode beschreibt den *Rahmen zur Nutzbarmachung* des entwickelten Werkerinformationssystems und stellt damit das zweite Arbeitsergebnis dar. Die Methode ist eine Resultierende aus dem Hauptarbeitsergebnis, da sie zum entworfenen System passen muss. Dabei wird angemerkt, dass sich diese Arbeit auf die Entwicklung eines dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems fokussiert und die mit der Umsetzung verbundenen Herausforderungen nicht in den Vordergrund stellt. Nichtsdestotrotz soll ein grober Rahmen in drei Schritten unter Referenzieren auf weiterführende Literatur gegeben werden (Abbildung 6-1).

Im ersten Schritt ist der Arbeitsplatz auszuwählen oder zu eruieren, ob die Einführung eines Werkerinformationssystems am gewünschten Arbeitsplatz sinnvoll ist. Als zweites muss festgelegt werden, welche der dynamischen und individuellen Systemfunktionen implementiert werden sollen. Abschließend sind die entsprechenden Systemelemente zu gestalten. Die drei Schritte werden in den folgenden Abschnitten erläutert.

Methodenschritt	Kerninhalte
Arbeitsplatz auswählen (vgl. MERKEL 2021)	<ol style="list-style-type: none"> 1) Bedarfsanalyse 2) Partizipative Technologieauswahl 3) Konzeptionierung von Assistenzfunktionen 4) Generierung alternativer Assistenzsystemlösungen 5) Wirtschaftlichen Systembewertung <p>→ Gegebenenfalls Entscheidung für die Implementierung eines Werkerinformationssystems für einen Arbeitsplatz</p>
Systemfunktionen festlegen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Formulierung von Anforderungen mit Hilfe der Anforderungsstudie und Anforderungssammlungen ▪ Beachten von Synergien zwischen Systemfunktionen mit datentechnischen Teilmengen
Systemelemente gestalten	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Datensätze <ul style="list-style-type: none"> – Modellierung Montagetätigkeiten und Werkerinformationen – Umgang mit personenbezogenen Daten ▪ Regelwerke <ul style="list-style-type: none"> – unternehmensspezifische Anpassungsmöglichkeiten ▪ Anzeigefelder <ul style="list-style-type: none"> – Gestaltungsrichtlinien und Prinzipien für bildliche Werkerinformationen

Abbildung 6-1: Schritte der Konfigurationsmethode mit Kerninhalten

6.1 Schritt 1 – Arbeitsplatz auswählen

Bei der Gestaltung von Arbeitssystemen, welche die Entscheidung für die Implementierung eines Werkerinformationssystem an einem ausgewählten Arbeitsplatz inkludiert, sind bereits einige Methoden in der Literatur zu finden, auf denen aufgebaut werden kann.

Von großer Allgemeingültigkeit ist die Vorgehensweise in sechs Phasen nach ISO 6385 (S. 9-19) (Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen): Basierend auf der Formulierung von Zielen (Leistungsanforderungen des Arbeitsprozesses) und mitarbeiterbezogenen, gegebenenfalls einschränkenden Merkmalen wird in der zweiten Phase entschieden, welche Beiträge zur Erfüllung der Arbeitsaufgabe von Arbeitsmitteln und vom Mitarbeiter geleistet werden sollen. Anschließend werden technische Lösungen konzipiert und deren Bestandteile ausgestaltet, wobei insbesondere deren Wechselwirkungen zu berücksichtigen sind. Die fünfte Phase legt den Schwerpunkt auf der Realisierung des Arbeitssystems. Abschließend folgt die Bewertung hinsichtlich einer stabilen und langfristigen Zielkonformität.

Da die Norm nicht explizit bei der Entscheidung zur Entwicklung und Einführung von Assistenzsystemen unterstützt, sind *weiterführende Ansätze* entwickelt worden. Neben HOLD ET AL. (2017), KLEINEBERG ET AL. (2017) und LUŠIĆ ET AL. (2015, S. 1117) sticht für die vorliegende Aufgabe vor allem der *Ansatz von MERKEL (2021)* hervor, da er sich auf *kognitive Assistenzsysteme* konzentriert. Dafür werden sechs Grundtypen von Assistenz unterschieden: Werkerinformation, manuelle Dokumentation, Produktaktualisierung, automatisierte Dokumentation, Qualitätssicherung, manuelle Produktbeschreibung (MERKEL 2021, S. 71).

Angelehnt an die ISO 9241-210 startet die Methodik nach MERKEL (2021, S. 71) mit einer *Bedarfsanalyse*. Auslöser dafür können die Prüfung des Assistenzbedarfs aufgrund veränderter Randbedingungen (siehe beispielsweise CLAEYS ET AL. (2015) oder MATTSSON ET AL. (2012)) oder die langfristige Ausrichtung hinsichtlich technologischer Trends sein (siehe beispielsweise VERNIM (2020)).

Als zweites folgt die *partizipative Technologieauswahl*, bei der die zukünftigen Nutzer durch Erprobungen und Befragungen in die Bedarfsermittlung eingebunden werden (MERKEL 2021, S. 77), da ein entscheidender Erfolgsfaktor für den Einsatz von Assistenzsystemen am Arbeitsplatz die Einbindung und Akzeptanz der betroffenen Mitarbeiter ist (ABEL ET AL. 2019, S. 11-12). Dieser Schritt wird durch das entwickelte Werkerinformationssystem begünstigt, da für die bildschirmbasierte Informationsbereitstellung ein technologieunabhängiges Modell entworfen wurde (Tablet, Monitor, Projektion). Zudem bestehen Gestaltungsmöglichkeiten beim Informationsmodus (Text, Bild, Video) sowie bei der Darstellungsform der Werkerinformationen. Darüber hinaus können die Systemfunktionen modular und teilweise (nutzer-)adaptierbar

(Rollenauswahl und AVOG-Status-Einstellung bei Arbeitsteilung, Qualifikationsstufenauswahl und Informationsempfehlungseinstellung, Erläuterungsanzeige und Lernfortschrittsnutzung) umgesetzt werden. Adaptierbarkeit verspricht in der Regel eine höhere Nutzerakzeptanz, wenn der Einstellungsaufwand nicht zu groß wird (BENGLER ET AL. 2017, S. 58). Des Weiteren soll die Akzeptanz insbesondere bei der qualifikationsspezifischen Informationsauswahl durch den Wechsel von einer Prozessvorgabe hin zu einer teilprozessualen, variantenfokussierten Informationsbereitstellung gesteigert werden, da eine starre Anleitung eine negativ aufgenommene Bevormundung impliziert (FRANKE & RISCH 2009, S. 825).

Daraufhin wird die *Konzeptionierung von Assistenzfunktionen* durchgeführt, wie beispielsweise die Qualitätssicherung mittels eines Pick-by-Light-Systems oder die Ausgabe von Variantenbeschreibungen mit einem Werkerinformationssystem. Die Konzeptionierung erfolgt durch die Beschreibung der gewünschten Assistenzfunktionen mit User Stories (MERKEL 2021, S. 85-86). An dieser Stelle sind die in den beiden folgenden Abschnitten besprochenen Schritte zur Festlegung der Systemfunktionen und Gestaltung der Systemelemente durchzuführen.

Als Viertes werden zu den Assistenzfunktionen *alternative Assistenzsystemlösungen* mit Hilfe einer Technologie- und Komponentendatenbank generiert (MERKEL 2021, S. 90). Für Werkerinformationssysteme können dabei auch das Klassifikationsmodell (Abschnitt 2.3 und 10.1) sowie die Vielfalt der hier vorgestellten acht Systemfunktionen unterstützen.

Abschließend kann mit der *wirtschaftlichen Systembewertung* auf Basis einer Investitionsrechnung und einer Nutzwertanalyse für die schwer zu quantifizierenden Effekte das favorisierte Assistenzsystem ausgewählt werden (MERKEL 2021, S. 97).

6.2 Schritt 2 – Systemfunktionen festlegen

Unabhängig von der Methodik zur Einführung von Assistenzsystemen kann die Wahl eines Assistenzsystems auf ein dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem fallen. Durch die *modulare Gestaltung* des Systems können *verschiedene Anforderungen* über die hier entwickelten acht Systemfunktionen adressiert werden.

Welche Anforderungen die Systemfunktionen adressieren und für welche Anwendungsfälle sie sinnvoll erscheinen, kann aus der konsolidierten Anforderungsstudie in Kapitel 4 sowie aus den einzeln aufgezeichneten Anforderungssammlungen der Expertenworkshops (Abschnitt 10.6.2) abgeleitet werden und wird daher an dieser Stelle nicht wiederholt dargelegt.

Bei der Festlegung der Systemfunktionen sollten auch die Synergieeffekte der Systemfunktionen untereinander berücksichtigt werden. Aus Abbildung 5-38 bis Abbildung 5-40 (Seiten 118

bis 120) wird ersichtlich, dass die qualifikationsspezifische Informationsauswahl, die Anlernprozessförderung und die Variantentransparenzunterstützung untereinander sowie die auftragsspezifische Informationsselektion mit der Variantentransparenzunterstützung durch die Datentabelle 'werker' beziehungsweise die Tabellen zu den Montagevarianten datentechnische Teilmengen aufweisen. Vielmehr betrifft dies aber die Anlage der Werkerinformationen als aufwändigem Teil bei der Einführung von Werkerinformationssystemen. Da die auftragspezifische Informationsselektion und die qualifikationsspezifische Informationsauswahl jeweils auf produktrelationalen oder prozess- & produktrelationalen Werkerinformationspaketen beruhen, empfiehlt sich die Kombination beider Systemfunktionen zu prüfen.

Darüber hinaus gilt grundsätzlich, *je mehr Systemfunktionen* implementiert werden, auf desto mehr Nutzeneffekte kann der Aufwand des Basis-Systems mit den Werkerinformationspaketen umgelegt werden, was den durchschnittlichen Aufwand pro Systemfunktion reduziert.

6.3 Schritt 3 – Systemelemente gestalten

Nach der Festlegung, welche Systemfunktionen implementiert werden sollen, müssen die Systemelemente in Form der Datensätze, Regelwerke und Anzeigefelder gestaltet werden. In diesem Abschnitt werden wichtige Aspekte behandelt, die bei der Konfiguration des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems zu beachten sind.

Datensätze

Für das Basis-Werkerinformationssystem müssen die *Arbeitsplatzstruktur* (siehe Abbildung 5-7 auf Seite 72), die *Verknüpfung von Montagetätigkeiten und Werkerinformationspaketen* (siehe Abbildung 5-8 auf Seite 73) sowie die *Werkerinformationspakete mit den Werkerinformationen* selbst (siehe Abbildung 5-10 auf Seite 77) initial angelegt werden.

Die Modellierung der Arbeitsplatzstruktur und Montagetätigkeiten (je nach Ebene erfolgt die Abbildung mit Arbeitsvorganggruppen, Arbeitsvorgängen oder Arbeitsvorgangsvarianten) richtet sich nach den ausgewählten Arbeitsplätzen und den unternehmensspezifischen Gegebenheiten. Eine Arbeitsplanung auf Ebene der Arbeitsvorgangsvarianten ist gegebenenfalls zusätzlich zur bestehenden Modellierung der Montagetätigkeiten erforderlich, wenn arbeitsvorgangsvariantenspezifische Informationen, also prozess- & produktrelationale Werkerinformationspakete, bereitgestellt werden sollen. Ansonsten kann jedoch die Relationsart der Werkerinformationspakete untereinander für die Ebenen der Arbeitsvorganggruppen und Arbeitsvorgänge frei gewählt werden. Prozessrelationale Werkerinformationspakete, die generische Prozessbeschreibungen für Montageaufgaben darstellen, bieten sich für lange, aber übersichtli-

che Tätigkeitsfolgen mit einfacher oder selbsterklärender Varianz an. Produktrelationale Werkerinformationspakete hingegen beinhalten Produktvariantenbeschreibungen. Sie sind geeignet, wenn die Werker viel Erfahrung besitzen und/oder bei kürzeren Tätigkeiten mit zahlreichen kleinen Details und Varianten.

Die vorgestellte Form der Werkerinformationsmodellierung mit Aspekt und Modus ist sehr feingliedrig, was nicht für jeden Anwendungsfall notwendig ist. Grundsätzlich ist es aber sinnvoll, die Speicherung der Werkerinformationen modular nach *standardisiertem Beschreibungsmuster* aufzubauen und gekoppelt an die Arbeitsplanung in einer Datenbank⁸³ zu verwalten. Damit können zum einen unterschiedliche Varianten der Werkerinformation aus einer Datenquelle abgeleitet werden, so wie es mit dem hier entworfenen dynamischen und individuellen Werkerinformationssystem vorgeschlagen wird. Zum anderen kann dadurch der Erstellungs- und Verwaltungsaufwand reduziert werden⁸⁴.

Bei der Moduswahl empfehlen sich oftmals *mit Stichworten versehene Bilder*, da eine graphische Darstellung eine schnelle Erlernbarkeit, einfachen Gebrauch und eine natürliche Informationsaufnahme versprechen (RADOW 1999, S. 35). Weitere Hinweise zur Gestaltung der Werkerinformationen werden im Abschnitt Anzeigefelder am Ende von diesem Abschnitt gegeben.

Neben der Anlage der funktionsübergreifenden Datensätze des Basis-Werkerinformationssystems sind abhängig von Schritt 2 funktionspezifische Datensätze erforderlich. Neben den dynamischen Systemfunktionen, die Daten aus den klassischen Produktionsdaten wie Änderungen oder Fehleraufnahmen beziehen, führen hier insbesondere die individuellen Systemfunktionen zu grundsätzlichen Fragen im Umgang mit Datensätzen.

Die Einführung von Assistenzsystemen geht aufgrund der Möglichkeiten der digitalen Datenverarbeitung häufig mit Fragen um die (*datenschutz-*)*rechtlichen Rahmenbedingungen* und dem allgemeinen Arbeitsschutz einher, da Aussagen über die individuelle Eignung und Arbeitsleistung abgeleitet werden könnten (HORNUNG & HOFMANN 2017, S. 204). Um kritische Aspekte bei der Konfiguration des Werkerinformationssystems nicht außer Acht zu lassen, wurde Herr SEBASTIAN ROLOFF als Experte für Arbeitsrecht konsultiert (siehe Abschnitt 10.6.2). Die folgenden Ausführungen beruhen auf den Diskussionen des Workshops.

⁸³ Auch FELDMANN & LANG (2005, S. 26) empfehlen eine Datenbank für die Verwaltung der Informationen in einem Werkerinformationssystem.

⁸⁴ Darüber hinausgehend befassen sich beispielsweise LUŠIĆ (2017) und FISCHER ET AL. (2016A) sowie die Forschungsprojekte GAIS I & II mit der Verknüpfung von Produktentwicklung und Produktionsplanung, um eine einfachere Informationserstellung für die Produktion zu ermöglichen.

Für die individuellen Systemfunktionen sind Datensätze zur arbeitsplatzspezifischen Qualifikationsstufe sowie zum Anlernlevel als auch zur Arbeitszeit erforderlich, die als *personenbezogene Daten* zu klassifizieren sind. Gleiches gilt für die Daten, die Aufschluss über das Nutzungsverhalten des Systems geben. Personenbezogene Daten sind „alle Informationen, die sich auf eine identifizierbare natürliche Person beziehen“ (EU 2020, Kap. 1, Art. 4, Nr. 1). Grundsätzlich bedarf jede Erhebung und Verwendung personenbezogener Daten der Einwilligung oder gesetzlichen Ermächtigung (EU 2020, Kap. 2, Art. 6, Nr. 1a).

Dem gegenüber steht ein *berechtigtes Interesse des Unternehmens*, die Mitarbeiterbelastung durch eine individuelle Informationsbereitstellung zu reduzieren. Zudem sollen die Informationsübermittlung effizienter gestaltet und die Nacharbeitsaufwände gesenkt werden.

Da die persönliche Einwilligung im Unternehmen kaum realisierbar ist, wird laut HORNING & HOFMANN (2017, S. 204) oftmals auf eine *Betriebsvereinbarung* zurückgegriffen, die nach Bundesdatenschutzgesetz als eigenständige Rechtsgrundlage für den Umgang mit personenbezogenen Daten aufgefasst wird. Dies gilt beispielsweise für den Einsatz von Videoüberwachung auf dem Firmengelände. Ob diese Auffassung allerdings im Kontext der neueren europaweiten Datenschutzgrundverordnung und insbesondere hinsichtlich des individuellen Werkerinformationssystems Gültigkeit besitzt, ist eine äußerst komplexe juristische Fragestellung, die an dieser Stelle nicht aufgelöst werden kann.

Neben der Verarbeitung personenbezogener Daten gilt es, bei der Implementierung von Werkerinformationssystemen auch das Betriebsverfassungsgesetz zu berücksichtigen. Nach BETRVG §87 2017, Abs. 1 Nr. 6 hat der Betriebsrat ein *Mitbestimmungsrecht bei der Einführung technischer Einrichtungen*, die zur Überwachung des Verhaltens und der Leistung der Werker bestimmt sind. Das Zustandekommen einer Vereinbarung wird durch die Transparenz über die zu erhebenden Daten und deren zweckbezogene Verwendung sowie Diskussion folgender Punkte begünstigt.

Der Befürchtung einer Leistungskontrolle durch Fehlerzuordnung wird begegnet, indem die Systemfunktion zur Montagefehlermeldung als dynamische, das heißt, angepasst an Produkte oder Prozesse, umgesetzt wird. Eine als Bevormundung empfundene Prozessvorgabe wird durch die qualifikationsspezifische Informationsauswahl unterbunden. Die technisch mögliche Leistungskontrolle anhand der Qualifikationsstufen- und Anlernlevelentwicklung sowie Auswertungen des Nutzungsverhaltens und der arbeitsplatzspezifischen Arbeitszeit können über *Pseudonymisierung von Werkerprofilen* verhindert werden. Damit würde auch das Problem der Aufnahme von personenbezogenen Daten gelöst.

Auf die häufig in der Literatur genannten Sprachen- oder adaptive Schriftgrößenanpassungen wird verzichtet. Zum einen, weil es bei der Anforderungsstudie nicht als Verbesserungspotenzial aufgenommen wurde. Zum anderen aber auch, um Diskriminierung zu vermeiden. Mitarbeiter, die den verfügbaren Systemsprachen nicht mächtig sind, könnten bei der Auswahl für die durch das Werkerinformationssystem unterstützten Arbeitsplätze benachteiligt werden.

Unabhängig von den Systemfunktionen kann durch Werkerinformationssysteme eine Reduzierung der notwendigen Kompetenz befürchtet werden. Indem Know-how, welches den Werker an das Unternehmen bindet, digitalisiert und damit wissenstechnisch externalisiert wird, könnten Arbeitsplätze an andere Standorte verlagert werden. Dem wird mitbestimmungsseitig oftmals mit Beschäftigungsgarantien entgegengewirkt. Unter Verweis auf Abschnitt 1.1 sei ausdrücklich darauf hingewiesen, dass mit dem dynamischen und individuellen Werkerinformationssystem ein Beitrag zur Produktivitäts- und Flexibilitätssteigerung und damit zur Arbeitsplatzsicherung an Hochlohnstandorten geleistet werden soll.

Regelwerke

Die Systemfunktionen erlauben die einfache Konfiguration der Regelwerke für unternehmensspezifische Anpassungen.

Bei der Änderungsmarkierung und bei der Montagefehlermeldung wurden *Richtwertempfehlungen* für die minimale und maximale Dauer sowie die Häufigkeit von Hervorhebungen erarbeitet (Abbildung 5-18, Seite 91, und Abbildung 5-21, Seite 95). Da diese nicht als allgemeingültig aufgefasst werden können, ist eine *anwendungsfallsspezifische Prüfung* empfehlenswert. Im Zusammenhang der Aufmerksamkeitserzeugung sei auch auf den Effekt von *fehlleitender Salienz* hingewiesen. Sie bezeichnet die unangemessen auffällige Gestaltung von Anzeigen/Informationen, die im Wiederholfall aufgrund ihrer geringen Bedeutung schlussendlich zu einer Missachtung führt (BREZNITZ 2013, S. 1-3). Die Markierung von Änderungen und die Meldung von Montagefehlern sind also mit Bedacht einzusetzen. Gleiches gilt auch für Produkt-/Prozesskommentare sowie für Warnungen und Hinweise, deren Wirkung bei zu intensiver Verwendung nachlässt.

Bei der rollenspezifischen Informationsaufteilung besteht die Möglichkeit, die Rolle-Status-Kombinationen anzupassen, falls weniger oder sogar mehr Rollen in arbeitsteiligen Montagesituationen eingesetzt werden (Abbildung 5-27 auf Seite 101).

Die Regelwerke der qualifikationsspezifischen Informationsauswahl bieten zwei Möglichkeiten zur anwenderbezogenen Konfiguration (siehe Abbildung 5-30 auf Seite 108). Zum einen kann die Anzeige von Werkerinformationspaketen über die tabellarische Zuordnung der WIP-Bewertung (Standard-WIP etc.) und Qualifikationsstufen (ILUO) modifiziert werden. Das ist

insbesondere die Anzahl von drei bis fünf oder fünf bis sieben obligatorischen beziehungsweise optionalen WIP-Varianten, ab der die Werkerinformationspakete für Werker der Qualifikationsstufe U angezeigt werden sollen. Zum Zweiten lässt die Matrix aus Informationsaspekt/-modus und Qualifikationsstufe Freiräume für die Ausgabe der Werkerinformationen.

Anzeigefelder

Wie in Abschnitt 1.3 dargelegt, fokussiert sich diese Arbeit nicht auf interaktionsbezogene und teilweise damit verbundene technologische Herausforderungen bei der Konfiguration von Werkerinformationssystemen. Dem widmet sich die Produkt- und Produktionsergonomie. Trotz alledem soll ein Überblick gegeben werden, um dem Anwender Anknüpfungspunkte für die von den Anzeigefeldern berührte Interaktions- und Informationsgestaltung zu geben⁸⁵.

Neben den drei Gestaltungsmaximen und den Conceptual Models (siehe Abschnitt 2.2) gilt es, Empfehlungen der *Normreihe ISO 9241* für eine höhere Gebrauchstauglichkeit zu befolgen (Abbildung 6-2). Außerhalb der ISO-Normen haben *Gestaltungsrichtlinien der Softwarekonzerne* wie beispielsweise Google, Microsoft und Apple aufgrund ihrer Verankerung in weit verbreitetem Nutzerequipment einen Standard etabliert. Die Übertragbarkeit ist im Einzelfall in Frage zu stellen, da Werkerinformationssysteme parallel während der Montagearbeit genutzt werden und daher nicht mit dem häufigen Anwendungsfall eines Bildschirmarbeitsplatzes zu vergleichen sind.



Abbildung 6-2: Übersicht der Normreihe ISO 9241 zur Gebrauchstauglichkeit technischer Systeme

⁸⁵ Dabei sei darauf hingewiesen, dass auch die Datensätze und Regelwerke einen Einfluss auf das vom Nutzer wahrgenommene Systemverhalten haben.

Für die *Gestaltung von bildlichen Werkerinformationen* im WIP-Feld sind ergänzend zum House of Information Efficiency von LANG (2007, S. 25) und basierend auf LEE & BOLING (1999), MAYER (2008) und TAN & ARAI (2010, S. 771) 13 *Prinzipien* zusammengestellt worden (Tabelle 6-1), deren Berücksichtigung die Aufnahme der Informationen erleichtert. Ein beispielhafter Leitfaden, der bei den Prototypen aus den Abschnitten 7.4 und 7.5 angewendet wurde, wird im Anhang in Abschnitt 10.4 präsentiert.

Tabelle 6-1: Prinzipien für die Gestaltung von bildlichen Werkerinformationen

Prinzip	Erklärung
Lesbarkeit	Detailreiche Bilder nicht zu klein darstellen; bei Stichworten auf ausreichenden Kontrast der Schriftfarbe und Hintergrund achten, nur in Ausnahmefällen Wörter durchgängig in Großbuchstaben schreiben.
Einfachheit	Wenige Bilder und kurze Stichworte nutzen.
Farbwahl	Anzahl unterschiedlicher Farben pro Bild auf 5 ± 2 begrenzen, semantische Farbkodierung verwenden.
Regelmäßigkeit	Elemente nach einem Plan anordnen und Positions-, Formatänderungen etc. zwischen Ansichten vermeiden.
Sequenz	Elemente logisch anordnen, sodass das Auge geführt wird (beispielsweise von oben links nach unten rechts).
Kontinuität	Verbindung zwischen Elementen nicht unterbrechen.
Zugehörigkeit	Korrespondierende Inhalte, beispielsweise Bilder und Stichworte, beieinander positionieren oder optisch einheitlich darstellen (beispielsweise Farbe, Proportion).
Ausrichtung	Anzahl der vertikalen und horizontalen Ausrichtungsstufen minimieren.
Balance	Summe der optischen Elementgewichte in den vier Quadranten ähnlich halten.
Symmetrie	Gleiche Elemente auf den jeweiligen Seiten von horizontalen oder vertikaler Achsen wiederholen. Symmetrie erzeugt Balance, aber Balance kann auch bei Asymmetrie erzielt werden.
Proportion	Ästhetisch empfundene Verhältnisse von Breite und Höhe verwenden (beispielsweise 3:2).
Horizontalität	Elemente mit größerer Breite als Höhe verwenden.
Dichte	Mit Elementen bedeckte Fläche begrenzen.

Nachdem mit der Konfigurationsmethode drei Schritte vorgestellt wurden, um das dynamische und individuelle Werkerinformationssystem an einem unternehmensspezifischen Arbeitsplatz zu implementieren, folgt deren beispielhafte Anwendung im nächsten Kapitel.

7 Prototypeneinsatz

In diesem Kapitel werden *fünf prototypenhafte Umsetzungen* von Werkerinformationssystemen vorgestellt, die in diesem Forschungsprojekt entwickelt worden sind. Dabei sind unter Nutzung des modularen Systemaufbaus *Teilumfänge der acht Systemfunktionen* implementiert worden. Mit den Prototypen werden das entwickelte dynamische und individuelle Werkerinformationssystem sowie die Konfigurationsmethode beispielhaft veranschaulicht, die Praxistauglichkeit aufgezeigt und eine Diskussionsgrundlage für die Evaluation geschaffen. Als repräsentatives Anwendungsfeld eignet sich die taktgebundene Serienmontag von Nutzfahrzeugen im MAN-Werk München aufgrund ihrer großen Variantenvielfalt und überwiegend manuellen Montagetätigkeiten. Dort werden auf einem Montageband Lkw für den Fernverkehr, den Verteilerverkehr und für den Baustelleneinsatz produziert.

Tabelle 7-1 gibt einen Überblick zum Funktionsumfang und dem Entstehungszeitraum der Werkerinformationssysteme. Mit dem Prototypen aus Abschnitt 7.1 werden beispielhaft alle acht Systemfunktionen angewendet (Probandenstudie). Die Werkerinformationssysteme aus den Abschnitten 7.2 bis 7.5 wurde im Rahmen von Feldstudien erprobt, wobei die letzten drei über den Entstehungszeitpunkt dieser Dissertationsschrift hinaus im realen Produktionsbetrieb eingesetzt werden.

Tabelle 7-1: Prinzipien für die Gestaltung von bildlichen Werkerinformationen

Ab-schnitt	Bezeichnung	Systemfunktionen	Entwicklungs-zeitraum
7.1	Tablet-App Anbauteile	Alle 8 Systemfunktionen	2018 – 2020
7.2	Tablet-App Prüflinien	Anlernprozessförderung	Ende 2016 – Frühjahr 2017
7.3	Anlernmappe Bremskreisprüfung	Anlernprozessförderung, Variantentransparenzunterstützung	Frühjahr 2016
7.4	Werkerinfo Luftkesselvorgruppierung	Auftragsspezifische Informationsselektion, Montagefehlermeldung	Sommer 2016
7.5	Werkerinfo Seitenschutz-/Kotflügelstützen	Auftragsspezifische Informationsselektion, Rollenspezifische Informationsaufteilung	Ende 2016/ Sommer 2017

Die Prototypen wurden mit agilen Entwicklungsmethoden erarbeitet (siehe Abschnitt 10.6.5), um im engen Austausch mit den späteren Anwendern die Anforderungen besser zu verstehen und anwendungsfallenspezifische Rahmenbedingungen zu berücksichtigen.

7.1 Tablet-App Anbauteilmontage

Schritt 1 – Arbeitsplatz auswählen

Bei der Lkw-Montage werden nach dem Auflegen der Rahmenlängs- und Querträger diverse Anbauteile an den Rahmen montiert. Das sind unter anderem Anschlagpuffer und Stoßdämpferhalter für den späteren Achseinbau sowie diverse andere Halter für die Montage weiterer Komponenten am Fahrzeugrahmen. Aufgrund unterschiedlicher Fahrzeugkonfigurationen hinsichtlich Fahrzeuglänge, Achszahl und -position, Federungsart, Antriebsvarianten und späteren Lkw-Aufbauten tritt an diesen Arbeitsplätzen eine *enorme Anzahl und Montagevarianz von Anbauteilen* auf. Fehlerhafte Anbauteile verursachen Prozessstörungen an den nachgelagerten Arbeitsplätzen, die auf eine korrekte Montage für ihre Tätigkeiten angewiesen sind.

Schritt 2 – Systemfunktionen festlegen

Zugleich wird auf dem Montageband nach jedem Montagetakt ein Lkw zur nächsten Station weitergefahren, sodass die Werker optimal mit Informationen versorgt werden sollen, um ihre Tätigkeiten effizient und fehlerfrei ausführen zu können. Daher eignet sich der Arbeitsplatz besonders gut, um beispielhaft den vollen Funktionsumfang des *dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems mit allen acht Systemfunktionen* zu demonstrieren.

Schritt 3 – Systemelemente gestalten

Hardwareseitig wurde das Werkerinformationssystem mit einer *Datenbank zur Demonstration der Datensatzanlage* und einer separaten *Tablet-Applikation zur Verdeutlichung der Informationsausgabe* prototypisch umgesetzt. Die Datenbank wurde mit MySQL und phpMyAdmin auf einem als Server fungierenden Linus-Rechner (Ubuntu 16.10) installiert. Die einzelnen Datensätze können, sofern der Nutzer in das ausgestrahlte WLAN des Servers eingewählt ist, über eine php-Schnittstelle abgerufen werden. Abbildung 7-1 zeigt das Datenbankmodell und die Fremdschlüsselbeziehungen unter den Datentabellen. Die Tabellen für das Basis-Werkerinformationssystem sind mittig angeordnet und werden flankiert von den Tabellen für die dynamischen (Teil A) und individuellen (Teil B) Systemfunktionen. Die Tablet-Applikation ist in der Apple-spezifischen Entwicklungsumgebung XCode 11.5 in der Sprache Swift 5.2 programmiert. Sie kann über ein iPad genutzt werden, welches als Interaktionsgerät die Nutzereingaben entgegen nimmt und auf einen größeren Bildschirm am Arbeitsplatz gespiegelt werden kann. Die Wahl auf ein Tablet ist für diesen Prototypen aufgrund der einfachen Bedienung im Gegensatz zu herkömmlichen Computer-Eingabegeräten wie Tastatur und Maus und zur flexiblen Vorführung des Werkerinformationssystems gefallen. Eine mobile Nutzung des Werkerinformationssystems ist an dem Arbeitsplatz nicht sinnvoll.

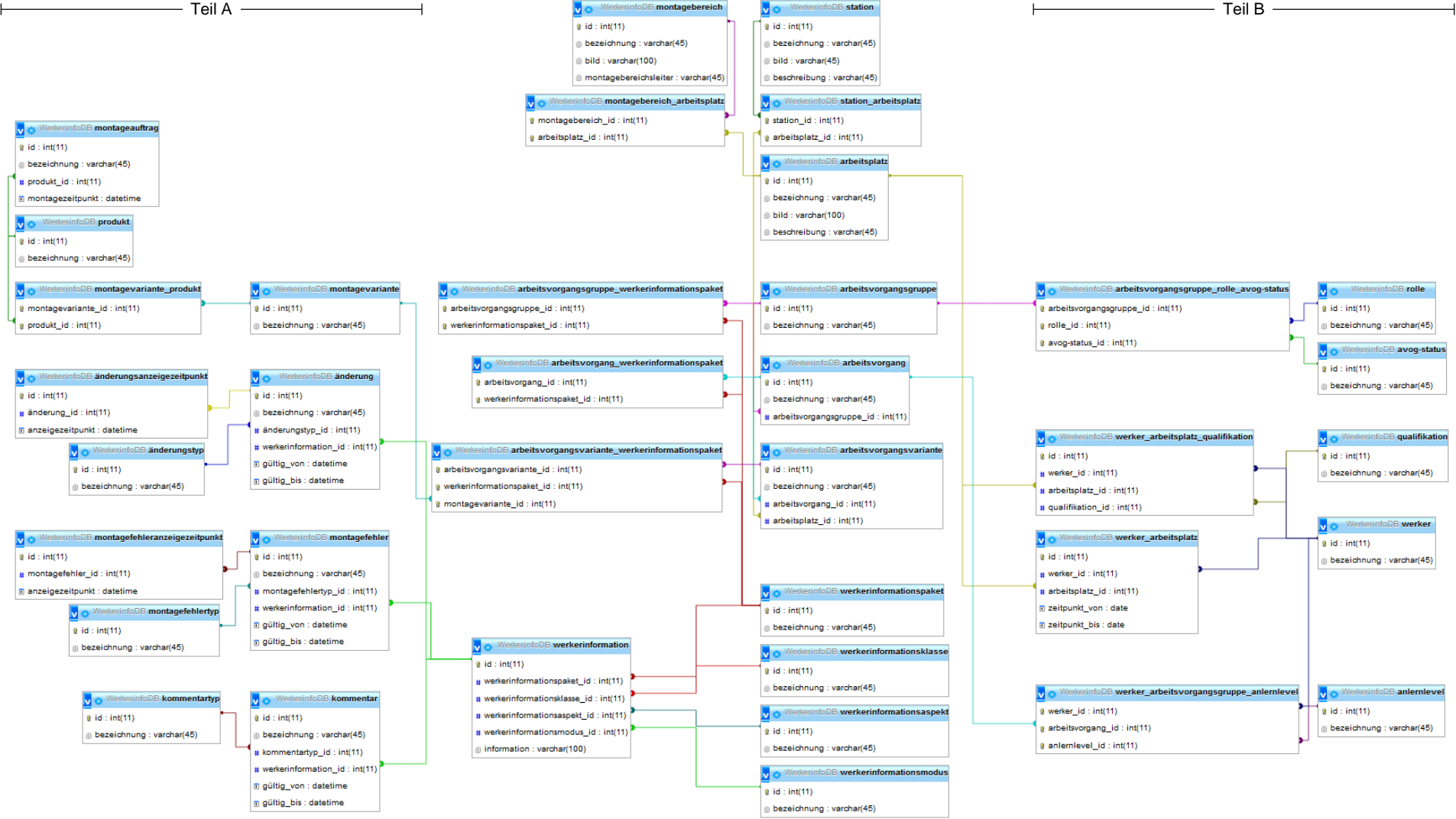


Abbildung 7-1: Datenbank für das dynamische und individuelle Werkerinformationssystem

Die Datensätze des Anwendungsfalls können im Anhang (Abschnitt 10.5) eingesehen werden. Dabei sei erwähnt, dass nicht alle Montageaufträge und eine reduzierte Anzahl und Varianz der Anbauteile abgebildet wurden. Die Produkt- und Prozessdaten sowie die Mitarbeiterdaten sind in Anlehnung an den realen Anwendungsfall angelegt worden. Dadurch sind unter Beibehaltung der Validierungsfähigkeit keine Rückschlüsse auf die reale Produktionsleistung möglich. Für den Arbeitsplatz sind für *zwei Montagevarianten* die Tätigkeiten, Werkerinformationspakete und Werkerinformationen (der Klasse Aktivität, Warnung, Hinweis) erstellt worden. Es sind die fünf oder sechs Arbeitsvorgangsguppen Getriebehalter, gegebenenfalls Anschlagpuffer der Hinterachse, Vorbereitungen, Anschlagpuffer der Vorderachse und Stoßdämpfer, Verschrauben und Stempeln durchzuführen. Die zweite Arbeitsvorgangsguppe tritt als optionale Gruppe bei größeren Fahrzeugtypen auf. Den Gruppen sind jeweils Arbeitsvorgänge und optionale sowie obligatorische Arbeitsvorgangsvarianten zugeordnet. Die Werkerinformationspakete bündeln für alle drei Ebenen der Arbeitsplanung (Gruppe/Vorgang/Variante) Werkerinformationen, die textuell und teilweise als Bild vorliegen.

Zur Demonstration der dynamischen Systemfunktionen kann mittels der *Auftragskette* ein Produkt beziehungsweise eine Montagevariante ausgewählt werden. Das Produkt 06X-1234 repräsentiert eine einfache Montagevariante, während 39S-1234 für ein komplexes Produkt steht. 92X-a23d ist ein Platzhalter für nicht angelegte Montagevarianten. *Änderungs-, Montagefehler und Kommentarinformationen* wurden *beispielhaft* erstellt. Da der Prototyp nicht im Dauereinsatz ist, wurden die Richtwerte zur Anzeige nicht integriert. Der Einfachheit halber sind die rollenspezifische Informationsselektion und die qualifikationsspezifische Informationsauswahl über unterschiedliche Aufträge realisiert, wie die Endung der Produktbezeichnung indiziert. Die Auswirkungen der Regelwerke für die individuellen Systemfunktionen werden für die zwei Montagevarianten für die *Rollen Werker* (Endung W), *Springer* (Endung S), *Lerner* (Endung A) und *Lehrer* (Endung L) dargestellt. Dabei wird für den Lerner eine *Qualifikationsstufe von I* und für die anderen drei Rollen die *Stufe O* angenommen. Anhand des rautenförmigen Symbols wird der rollenspezifische Status der Arbeitsvorgangsguppe in der AVOG-Kette ersichtlich. Die Färbung der AVOG-Pfeile zeigt an, ob für die Qualifikationsstufe Werkerinformationen vorgesehen sind. Dabei werden auch der rollenspezifische Status der Arbeitsvorgangsguppe berücksichtigt. Für die *Qualifikationsstufe I* liegt eine *vollständige Prozessbeschreibung mit Bildern und Texten* vor, während die *erfahreneren Werker mit ausgewählten Bildern eine teilprozessuale, variantenfokussierte Informationsbereitstellung erhalten*. Wenn *Änderungs-, Montagefehler- oder Kommentarinformationen* vorliegen, ist der AVOG-Pfeil zu-

sätzlich zum Symbol eingefärbt, um auf die beachtenswerten Werkerinformationen hinzuweisen. Für die Anlernprozessförderung sind Erläuterungsinformationen ergänzt⁸⁶. Das Einstellungsfeld der Variantentransparenzunterstützung zeigt ein Häufigkeitsprogramm für ausgewählte Produkte beziehungsweise Montagevarianten, deren Bezeichnung zusätzlich je ausgewähltem Auftrag neben der Auftragskette angezeigt wird.

In den Abbildung 7-2 und Abbildung 7-3 sind Auszüge der Informationsbereitstellung der Tablet-Applikation dargestellt. Weitere Abbildungen, insbesondere zu den funktionsspezifischen Einstellungsfeldern, finden sich im Anhang in Abschnitt 10.5.

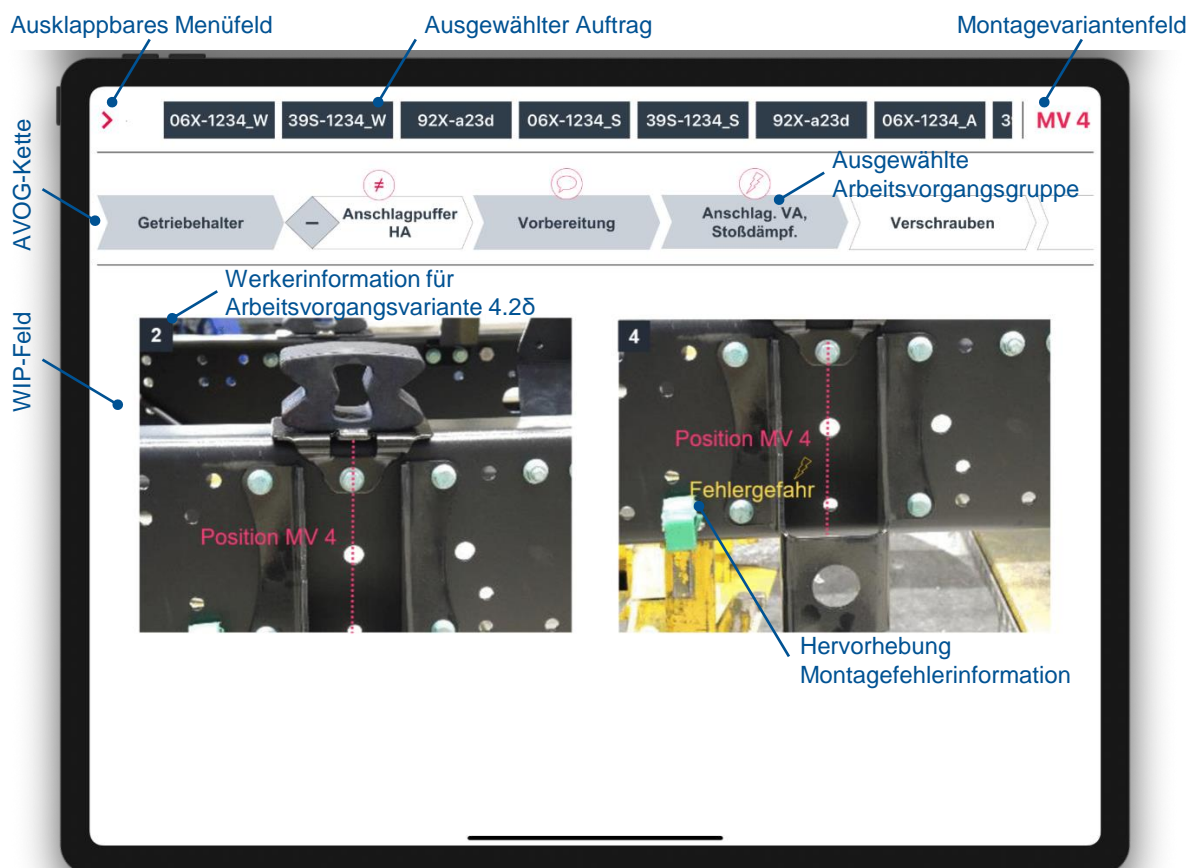


Abbildung 7-2: Anzeige des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems zur Anbauteilmontage mit Montagefehlerinformation für einen Werker der Qualifikationsstufe O

⁸⁶ Die persönliche Erstellung von Erläuterungsinformationen und der Lernfortschritt sind nicht implementiert und können beim zweiten Prototypen in Abschnitt 7.2 begutachtet werden.



Abbildung 7-3: Anzeige des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems zur Anbauteilmontage mit Kommentarinformation für einen Lerner der Qualifikationsstufe I

7.2 Tablet-App Prüflinien

Schritt 1 – Arbeitsplatz auswählen

In mehreren parallelen Prüflinien am Ende des Montagebandes werden *letzte Justierungen am Fahrzeug sowie qualitätsbezogene und gesetzlich vorgeschriebene Prüfungen* vorgenommen. Ein Werker, der sogenannte Einfahrer, fährt das Fahrzeug über mehrere Arbeitsstationen. Aufgrund dessen und der durch die parallelen Linien erhöhten Taktzeit je Station führt der Einfahrer Tätigkeitsfolgen von bis zu einer Stunde Dauer durch. Die zahlreichen Arbeitsplatzbeschreibungen lagen bis dahin größtenteils in Schriftform in Aktenordnern an den Arbeitsplätzen bereit.

Schritt 2 – Systemfunktionen festlegen

Aufgrund der umfangreichen Tätigkeiten dauerte der Anlernprozess für neue Mitarbeiter bisher sechs bis sieben Wochen. Das stellte nicht nur für die Personaleinsatzplanung, die während des Anlernens zwei Mitarbeiter (Lehrer und Lernender) an dem Arbeitsplatz einsetzt, sondern auch für manche Werker eine Herausforderung dar. Zur qualitativen Steigerung und Beschleunigung wurde ein Werkerinformationssystem mit der *Systemfunktion Anlernprozessförderung* programmiert. Neben den digitalisierten Instruktionen soll der einzulernende Einfahrer vor allem mit der Möglichkeit zur persönlichen Erstellung von erläuternden Informationen unterstützt sowie mit einer Lernfortschrittsanzeige motiviert werden.

Darüber hinaus sollte in diesem Prototypen eine Feedback-Funktionalität zur strukturierten Kommunikation von Verbesserungswünschen hinsichtlich der angefertigten Werkerinformationen integriert werden. Da sie sich auf die Erstellung der neuen Werkerinformationen bezieht, ist sie nicht als Systemfunktion des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems aufgenommen worden.

Schritt 3 – Systemelemente gestalten

Da der Einfahrer die Werkerinformation an mehreren Stationen benötigt und zumeist in der Fahrzeugkabine sitzt, wurde eine *native Werkerinformations-Applikation* in der Programmiersprache Swift (Entwicklungsumgebung XCode) für die mobile *Tabletnutzung* entwickelt.

Für das Basis-Werkerinformationssystem wurden zunächst alle Arbeitsvorgänge geclustert nach Arbeitsvorganggruppen für die fünf Arbeitsplätze aufgenommen. Zu jedem Arbeitsvorgang wurden mit Fotos und Texten Datensätze für alle aktivitätsbeschreibenden Werkerinformationen angelegt. Darüber hinaus wurden, falls notwendig, Warnungs- und Hinweisinformationen erstellt.

Da das Werkerinformationssystem während des Anlernprozesses oder in den ersten Wochen danach als Nachschlagewerk und nicht als dauerhafter Begleiter genutzt werden soll, ist kein Regelwerk zum Ausblenden der Erläuterungsinformationen und des Lernfortschritts vorgesehen.

Anders als beim in dieser Arbeit vorgestellten Anzeigeconcept (Abschnitt 5.2.3), das sich auf einen Arbeitsplatz bezieht, wurde aufgrund der umfangreichen und stationsübergreifenden Arbeitsinhalte eine *Drop-down-Navigation* anstelle einer AVOG-Kette für die Auswahl der Arbeitsvorgänge entworfen (Abbildung 7-4). Damit wird ein schneller Zugriff auf die Werkerinformationen ermöglicht und eine sequenzielle Informationsbereitstellung (Prozessvorgabe) umgangen.

Nach der Auswahl eines Arbeitsplatzes in der Drop-down-Navigation oben links kann im WIP-Feld entweder die Übersicht zu den Arbeitsvorgängen einer ausgewählten Arbeitsvorgangsguppe oder die Detailansicht eines Arbeitsvorgangs präsentiert werden (Abbildung 7-4). In der Übersicht werden die *Werkerinformationspakete* zu den Arbeitsvorgängen als *scrollbare vertikale Liste* dargestellt, um die Leserichtung des Drop-downs beizubehalten. Je Arbeitsvorgang werden aus dem Werkerinformationspaket ein Foto, die Vorgangsbezeichnung sowie Symbole für vorhandene Warnungen und Hinweise angezeigt. Zusätzlich ist ein Anzeigefeld für den Haken des Lernfortschritts in der Zeile platziert. Entweder über die Auswahl eines Arbeitsvorgangs in der Liste oder über die Drop-down-Navigation gelangt der Nutzer zur Detailansicht. Dort werden, sofern vorhanden, die Werkerinformationen der Klasse Warnung und Hinweis in der oberen Bildschirmfläche aufgeführt, damit sie von den anzulernenden Werkern nicht übersehen werden. Darunter folgen die aktivitätsbeschreibenden Werkerinformationen mit einer großen Darstellung des Fotos sowie detaillierten, textuellen Angaben.

Indem der Werker im Menüfeld oben rechts das Stift-Icon auswählt, kann er *ergänzende Erläuterungsinformationen* beliebig mittels eines tabletkompatiblen *Eingabestifts handschriftlich* auf den Werkerinformationen einzeichnen (linkes Foto in Abbildung 7-5). Für den Lernfortschritt lässt sich jeder Arbeitsvorgang mit einem Haken als gelernt gekennzeichnet. Der stationsspezifische und gesamte *Lernfortschritt* wird über das einfache Verhältnis von gelerntem zu vorhandenen Arbeitsvorgängen kalkuliert. Ein Cockpit, aufrufbar über das rechte Icon im Menüfeld, zeigt dem Mitarbeiter neben seinem Lernfortschritt die gemeldeten Verbesserungswünsche (rechtes Foto in Abbildung 7-5). Über das Sprechblasen-Icon können die Verbesserungswünsche erstellt werden. Über das Barcode-Icon kann aus dem Fahrzeugprotokoll der Fahrzeugtyp gescannt werden als Grundlage für die Systemfunktion zur Variantentransparenzunterstützung. Der Applikationsumfang wurde hinsichtlich einer entsprechenden Variantenübersicht bisher jedoch nicht erweitert.

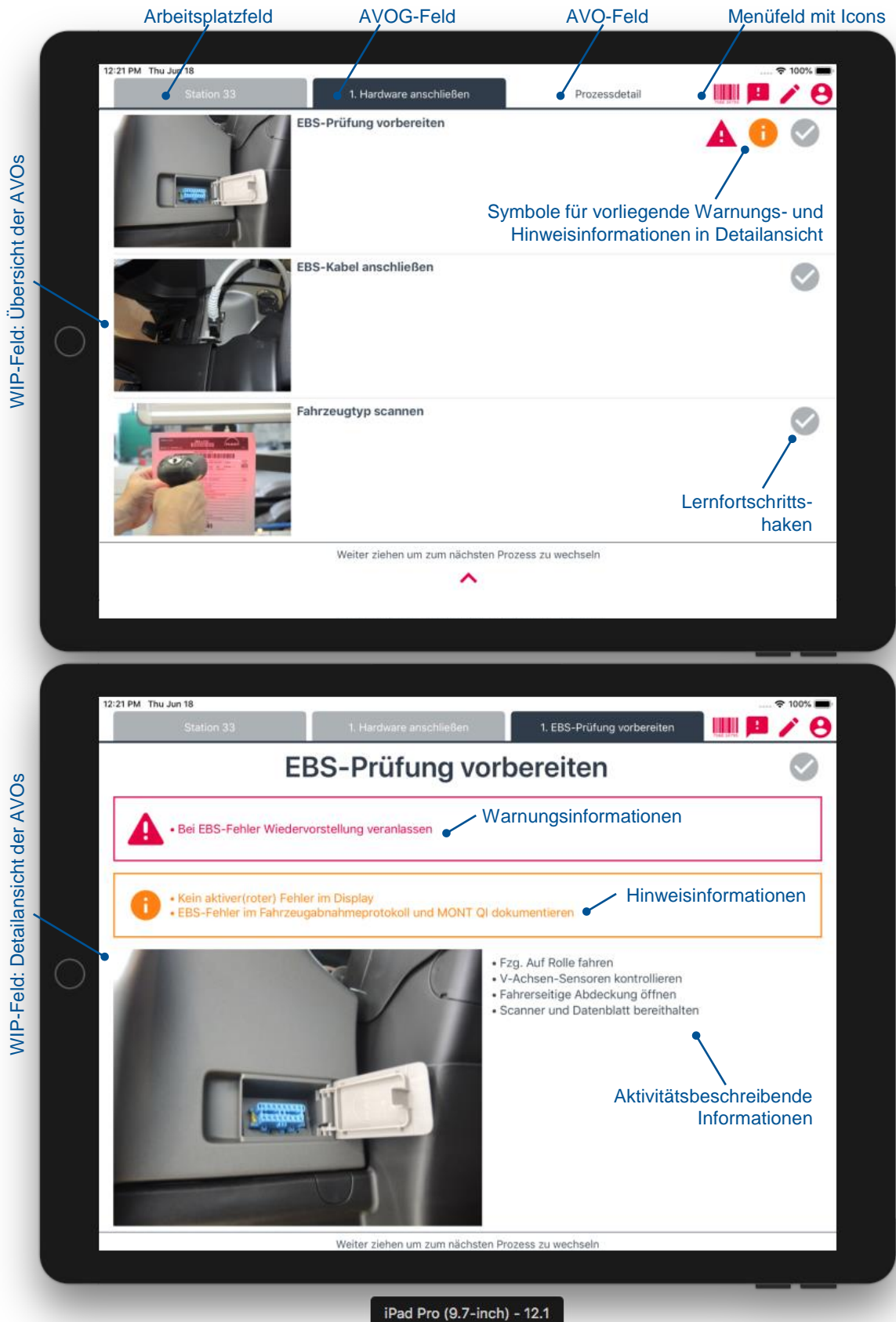


Abbildung 7-4: Anzeigekonzept der Tablet-App für die Prüflinien



Abbildung 7-5: Erstellung handschriftlicher Erläuterungsinformationen (links) und Cockpit zum Lernfortschritt (rechts) bei der Tablet-App für die Prüflinien

7.3 Anlernmappe Bremskreisprüfung

Schritt 1 – Arbeitsplatz auswählen

Ein weiterer Arbeitsplatz in den Prüflinien ist der des Bremskreisprüfers. Von ihm werden die je nach Fahrzeug unterschiedlich *vorhandenen Bremskreise getestet*, während der Einfahrer Tätigkeiten außerhalb der Fahrerkabine durchführt. Zwar wird die Bremskreisprüfung auch systemisch über ein produktionsbezogenes Fahrzeugprotokoll erfasst und dokumentiert. Dennoch sollte im Sinne eines optimalen Fahrzeugflusses durch die Prüflinien der Werker auf Anhieb die zu prüfenden Bremskreise und die zugehörigen Arbeitsvorgänge kennen. Wie auch bei der Tablet-App für die Einfahrer liegt an diesem Arbeitsplatz der Schwerpunkt auf dem Anlernen neuer Mitarbeiter.

Schritt 2 – Systemfunktionen festlegen

Als Besonderheit beim Anlernen stellt sich bei der Bremskreisprüfung das reaktive Verhalten der Prüfanlage dar, die den prüfenden Werker bei seiner Tätigkeit unterstützt. Daher wurde die *Systemfunktion zur Anlernprozessförderung mit Erläuterungsinformationen* im zu erstellenden Werkerinformationssystem angefordert, um das Anlernen zu erleichtern.

Mitarbeiter, die diese Tätigkeiten selbstständig durchführen, müssen eine gewisse Erfahrung mit allen Varianten von Fahrzeugtypen haben und die jeweiligen Besonderheiten kennen. Daher sollte mit der *Variantentransparenzunterstützung* sichergestellt werden, dass ein angelearnter Mitarbeiter alle Varianten in ausreichender Vielzahl unter Anleitung durchgeführt hat, bevor er die Arbeitsvorgänge selbstständig ausführt.

Schritt 3 – Systemelemente gestalten

Für den Arbeitsplatz wurde eine *Anlernmappe* angelegt, die neben den vorhandenen *Unterweisungsdokumenten* eine *tabletbasierte Werkerinformation* und ein Übersichtsblatt für die Variantentransparenzunterstützung beinhaltet. Für den Prototypen, der chronologisch gesehen vor der in Abschnitt 7.2 gezeigten nativen Tablet-App entstanden ist, wurde eine *mit Hyperlinks versehene PowerPoint-Datei* erstellt, die auf einem Tablet abgerufen werden kann. Die technischen Restriktionen, keine Datenbank und automatisierte Regelwerke implementieren zu können, standen die kurze Entwicklungszeit des „Werkerinformationssystems“ sowie die einfache Betriebsbetreuung ohne Fachkenntnisse gegenüber, weshalb an diesem Arbeitsplatz der pragmatische Ansatz verfolgt wurde.

Demzufolge wurden keine Datensätze in einer Datenbank angelegt, sondern die Werkerinformationen direkt mit den Arbeitsvorgängen im Foliensatz verschmolzen. Über die AVOG-Kette oder eine intuitive horizontale Wischgeste, kann der Mitarbeiter die Werkerinformationen ab-

rufen (Abbildung 7-6). Im WIP-Feld sind unter der AVOG-Bezeichnung die Werkerinformationen dargestellt. Für die geforderten Erläuterungsinformationen wurden *kommentierte Videos* in den Foliensatz eingebettet. Bei Bedarf kann der Mitarbeiter durch einen Klick auf das Foto den korrekten Anzeigeverlauf der Prüfanlage zur Bremskraftprüfung ansehen.

Der Lernfortschritt wurde zwar aus technischen Gründen nicht auf dem Tablet erfasst, konnte aber manuell auf dem Beiblatt zur Variantentransparenz dokumentiert werden (Abbildung 7-7). Auf dem Blatt wird zudem wie gefordert die Anzahl der bisher bearbeiteten Fahrzeugtypen (Varianten) manuell mit einer Strichliste nachgehalten. Der Foliensatz bezieht sich auf eine Referenzvariante. Sie enthält alle Vorgänge, die für alle Typen erforderlich sind. Auf dem Blatt sind daher die variantenspezifischen Sondertätigkeiten aufgelistet.

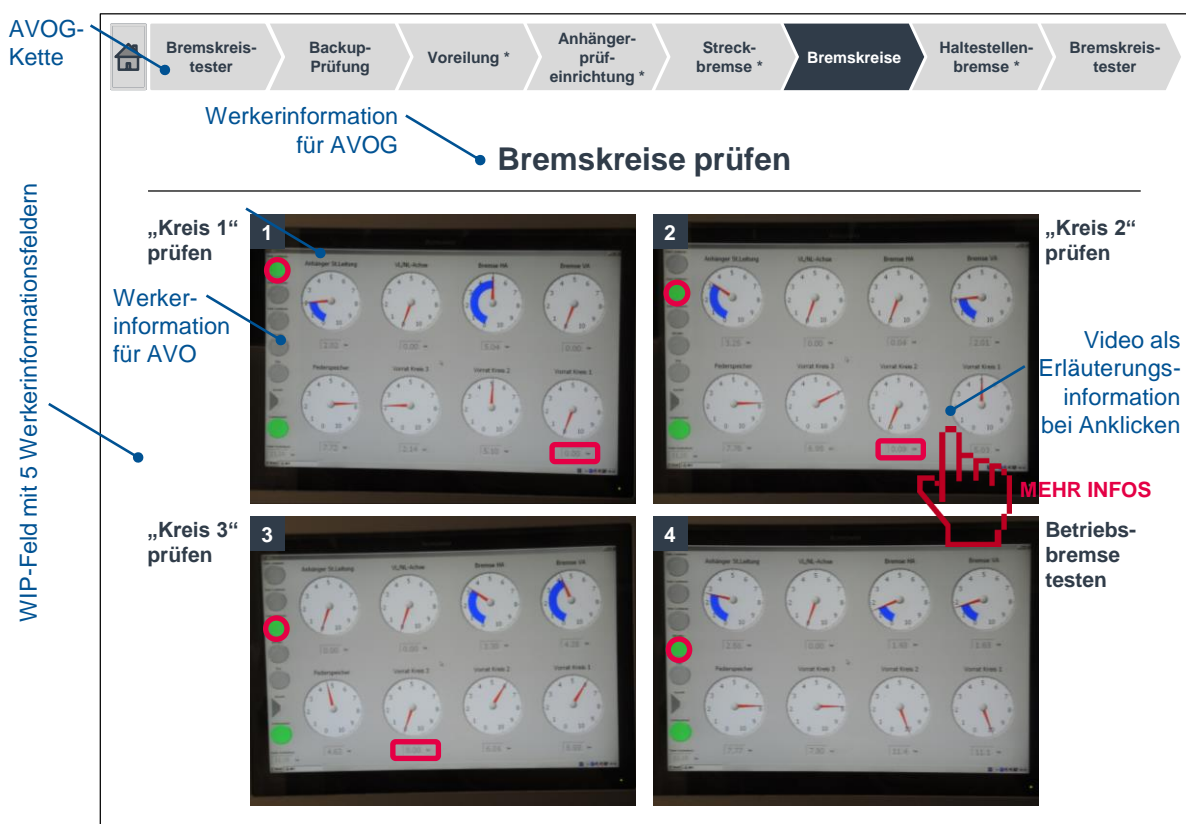


Abbildung 7-6: Anzeige Bremskreisprüfung mit interaktiven Videos




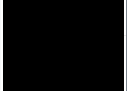














 Typenliste Bremskreisprüfung Version 03 Datum 08.11.2017		Erläuterung der Angaben Achskonfiguration 	
4x2 	Referenzvariante	6x4 H 	Sondertätigkeiten
# Fzg.		# Fzg.	
4x2 H 	Sondertätigkeiten • Funktion HydroDrive prüfen	6x4- 	Sondertätigkeiten
# Fzg.		# Fzg.	
4x4 	Sondertätigkeiten	6x6 	Sondertätigkeiten
# Fzg.		# Fzg.	
6x2- 	Sondertätigkeiten	8x4 	Sondertätigkeiten
# Fzg.		# Fzg.	
6x2-H 	Sondertätigkeiten	8x4 H 	Sondertätigkeiten
# Fzg.		# Fzg.	
6x2/ 	Sondertätigkeiten	8x4- 	Sondertätigkeiten
# Fzg.		# Fzg.	
6x2/H 	Sondertätigkeiten	8x4/ 	Sondertätigkeiten
# Fzg.		# Fzg.	
6x4 	Sondertätigkeiten	8x6 8x8 	Sondertätigkeiten
# Fzg.		# Fzg.	

Abbildung 7-7: Typenliste Bremskreisprüfung für Variantentransparenzunterstützung

7.4 Werkerinfo Luftkesselvorgruppierung

Schritt 1 – Arbeitsplatz auswählen

Als ein Beispielarbeitsplatz wurde auch eine Vormontagestation betrachtet. Bevor die Druckluftkessel am Fahrzeugrahmen angebracht werden, werden sie an einem Vormontagearbeitsplatz auftragsspezifisch vorgruppiert. Die Nummer der Luftkesselvorgruppierung und die daraus resultierenden Arbeitsvorgänge (jeweils oben in der Kopfzeile des Werkerinformationsbildes in Abbildung 7-8) werden determiniert durch das Grundkesselvolumen, die Halter und deren durch die Spannbänder bestimmten Positionen. Demzufolge leiten die Werker aus der Nummer ihre Tätigkeitsfolgen ab. Das *Kesselmaterial (Stahl oder Alu)* hat in der technischen Dokumentation keinen Einfluss auf die Nummer der Luftkesselvorgruppierung. Weil die überwiegende Anzahl der Luftkesselvorgruppierungen mit Stahlkesseln erfolgt, besteht trotz der Angabe der Stahl- oder Alukesselsachnummer (jeweils unten rechts in der Kopfzeile des Werkerinformationsbildes) die Möglichkeit, aus Gewohnheit einen Stahlkessel anstelle eines gewünschten Alukessels zu verbauen.

Schritt 2 – Systemfunktionen festlegen

Um unnötige Nacharbeit zu vermeiden, wurde an diesem Arbeitsplatz die Systemfunktion zur *Montagefehlermeldung* umgesetzt, um präventiv auf die Verwechslungsgefahr hinzuweisen. Eine *auftragsspezifische Informationsselektion* war bereits in dem am Arbeitsplatz installierten Werkerinformationssystem vorhanden.

Schritt 3 – Systemelemente gestalten

Bei dem vorhandenen Werkerinformationssystem handelt es sich um eine *MAN-spezifische Software namens Werkerinfo*. Über den Vergleich von auftragsspezifischen Fahrzeugmerkmalen und die vorherige Definition von montagevariantentreibenden Merkmalen für einen Arbeitsplatz, können *auftragsspezifische Werkerinformationen gefiltert* werden. Über einen *Webbrowser* werden dann auftragsspezifische Bilder bereitgestellt.

Die Werkerinformationen werden in PowerPoint gestaltet, in ein Bild-Format exportiert und auf einem Datenlaufwerk abgelegt. Für den Arbeitsplatz wurden alle Werkerinformationsbilder überarbeitet. Alle *Alukessel* wurden mit einem *roten Schriftzug* versehen, um diese Fehlerquelle dauerhaft hervorzuheben. Eine separate Montagefehlerinformation wird nicht benötigt. Zudem wurden die Kopfzeile übersichtlicher gestaltet und durch starke Schriftgrößenunterschiede die wichtigsten Informationen betont.



Abbildung 7-8: Webbasierte, MAN-spezifische Werkerinfo-Software für die Luftkesselvordruppierung zum Vergleich der umgestellten Werkerinformationsbilder (oben: vorher; unten: nachher)

7.5 Werkerinfo Seitenschutz- und Kotflügelstützenmontage

Schritt 1 – Arbeitsplatz auswählen

An den zwei ausgewählten Arbeitsstationen werden jeweils Stützen für die an einer späteren Station folgende Montage der Seitenschütze und Kotflügel am Fahrzeugrahmen angebracht. Dabei ist pro Station *ein Werker für die linke und einer für die rechte Fahrzeugseite* zuständig. An den Stationen treten jeweils *über 300 Montagevarianten* auf, zum großen Teil resultierend aus verschiedenen Positionen der Stützen. Der Monitor mit der Werkerinformation für beide Fahrzeugseiten war auf einer Bandseite positioniert, sodass ein Werker mit dem Rücken zum Monitor stand. Das impliziert, dass er sich umdrehen und anschließend das Werkerinformationsbild (siehe obere Reihe in Abbildung 7-9/Abbildung 7-10) gedanklich rotieren musste, damit die Maßangaben zur Lkw-Orientierung vor ihm passen.

Schritt 2 – Systemfunktionen festlegen

Aufgrund der Vielzahl an Montagevarianten war, wie auch bei der Luftkesselvorgruppierung, das MAN-spezifische System Werkerinfo bereits implementiert, um die *auftragsspezifischen Informationen* bereitzustellen. Um die Werkerinformation zu verbessern, wurden zusätzlich ein zweiter Monitor auf den anderen Bandseite und die *rollenspezifische Informationsselektion*⁸⁷ installiert, sodass jedem Werker nur diejenigen Informationen angezeigt werden, die seine Arbeitsvorgänge betreffen.

Schritt 3 – Systemelemente gestalten

Dafür wurden die ursprünglichen Bilder rollenspezifisch beziehungsweise für *jede Fahrzeugseite aufgeteilt*. In Abbildung 7-9 und Abbildung 7-10 zeigt die mittlere Reihe den oberen Teil des ursprünglichen Bildes und die untere Reihe den unteren Teil. Dabei sind die Bilder der mittleren Reihe jeweils eine Rotation des oberen Teils, die der Werker zuvor gedanklich vornehmen musste. Im Zuge der Erstellung der neuen Werkerinformationen wurden wieder – unter Verwendung des Leitfadens aus Abschnitt 10.4 – Optimierungen der Darstellung vorgenommen. Der Einfachheit halber sind nur die Bilder gezeigt und nicht der Systemrahmen (siehe dafür Abbildung 7-8). Systemisch nicht per Regelwerk vorgesehen, aber über einen manuellen Prozess eingesteuert, werden auch Hervorhebungen von Änderungen vorgenommen. Beispielhaft zeigt dies die Information zu einem Kundensonderwunsch bei den Kotflügelstützen im rechten mittleren Bild.

⁸⁷ Genau genommen handelt es sich nicht um eine rollenspezifische Informationsaufteilung, da die Information zwischen zwei Arbeitsplätzen aufgeteilt wird. Sie zeigt aber den gleichen Effekt.

7.5 Werkerinfo Seitenschutz- und Kotflügelstützenmontage

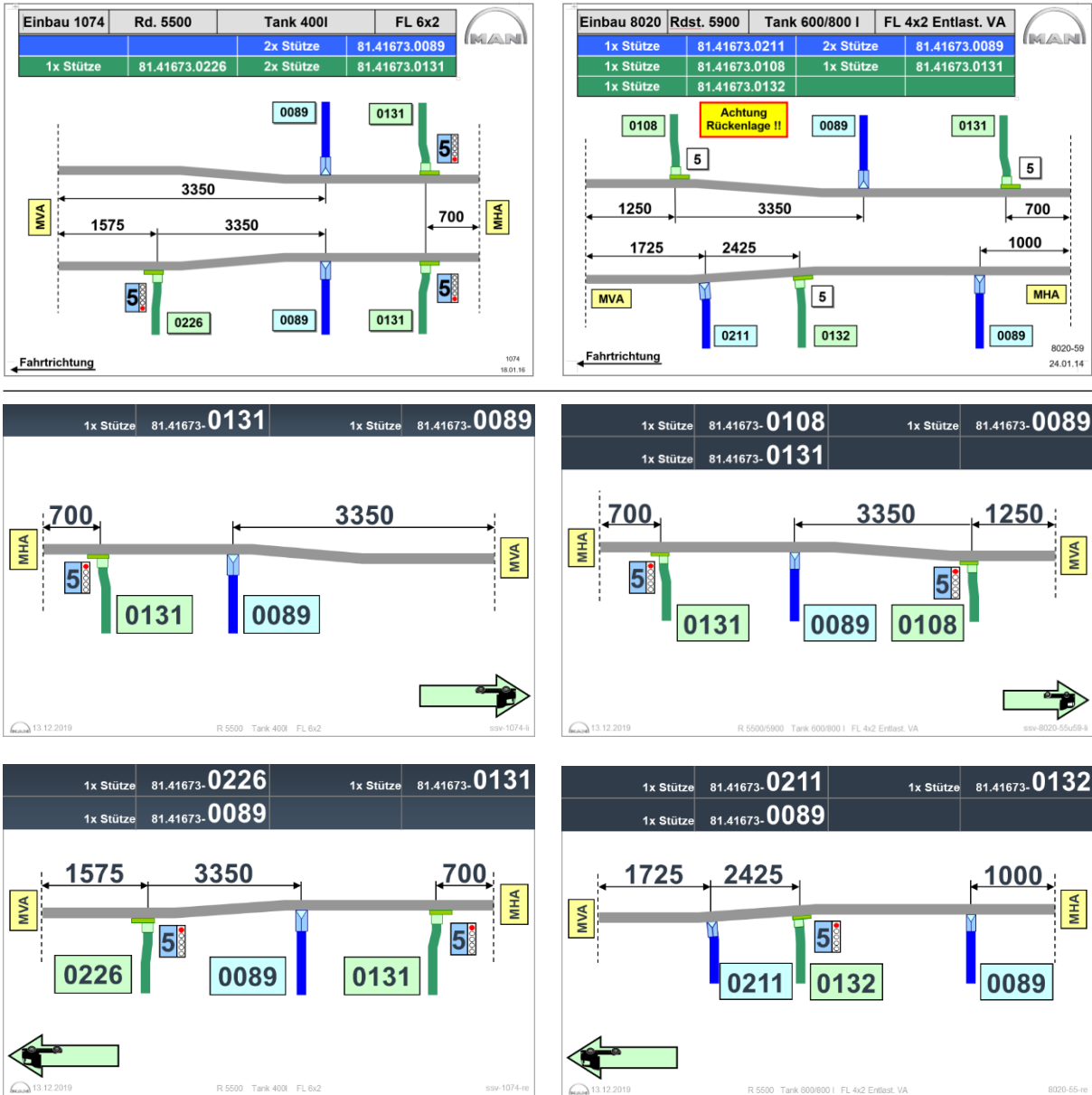


Abbildung 7-9: Beispielhafte Werkerinformationen für die Seitenschutzstützenmontage
(oben: vorher, unten: nachher mit rollenspezifischer Informationsaufteilung)

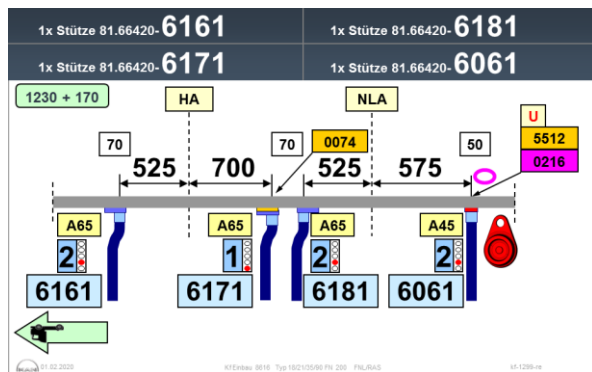
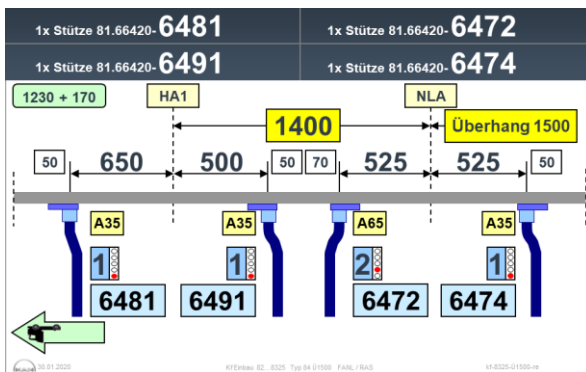
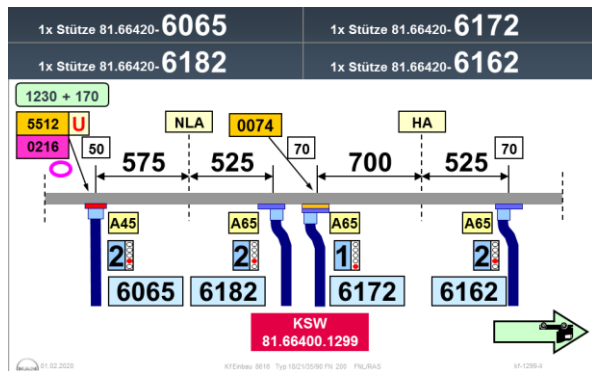
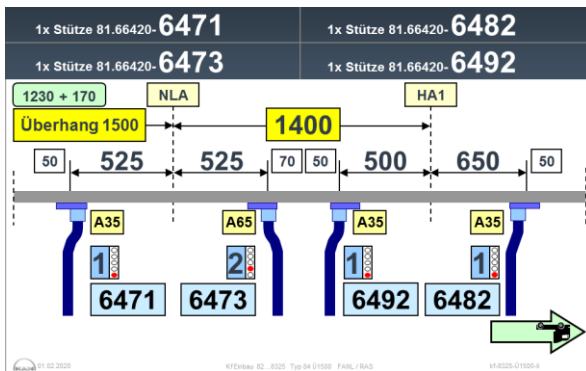
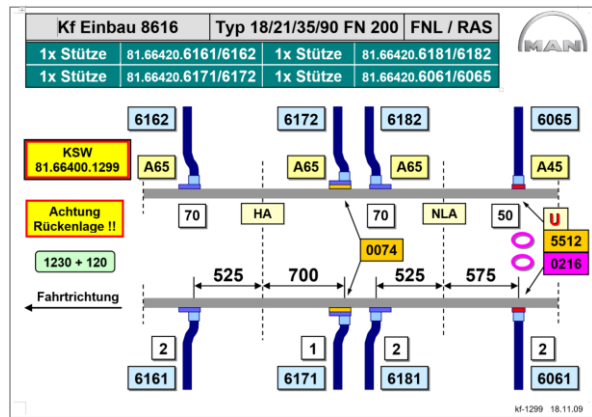
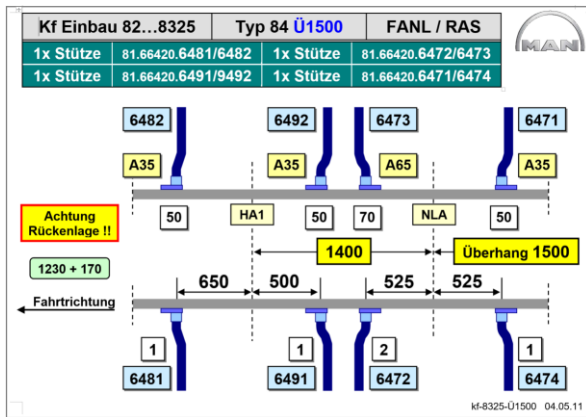


Abbildung 7-10: Beispielhafte Werkerinformationen für die Kotflügelstützenmontage
(oben: vorher, unten: nachher mit rollenspezifischer Informationsaufteilung)

8 Evaluation

Wie in Abschnitt 1.5 dargelegt, ist dieses Forschungsprojekt mit explorativem Charakter den angewandten Wissenschaften zuzuordnen, die sich durch ein aus der Praxis gewonnenes Ziel auszeichnen. Dabei wird die *Forschungshypothese*, dass in einer manuell geprägten hochvariablen Serienmontage mit einer dynamischen und individuellen Werkerinformation dem industriellen Leidensdruck begegnet und zur Informationseffizienzsteigerung sowie Nacharbeitsreduktion beigetragen werden kann, als *nicht vollständig beweisbare Prämisse* verstanden. Daher sind die in der Zielsetzung hergeleiteten Forschungsfragen konstruktiv formuliert und es erfolgt im Rahmen der Evaluation keine Hypothesenprüfung⁸⁸.

Stattdessen wird zunächst mit der Verifikation (Abschnitt 8.1) die *Umsetzung der Anforderungen* (Kapitel 4) formal geprüft, um dem Ziel einer anforderungsgerechten Informationsbereitstellung zu genügen. Anschließend erfolgt mit der Validierung (Abschnitt 8.2) die *Beurteilung* des Werkerinformationssystems hinsichtlich der *Anwendbarkeit* und der *Problemlösung*, die alleine durch die Anforderungserfüllung nicht gewährleistet ist. Darüber hinaus wird in Abschnitt 8.3 das *Verhältnis von Aufwand und Nutzen* analysiert. Abschließend werden *Einschränkungen* der Ergebnisse diskutiert (Abschnitt 8.4).

Die Evaluation bezieht sich dabei auf das in Kapitel 5 entwickelte dynamische und individuelle Werkerinformationssystem als zentrales wissenschaftliches Arbeitsergebnis. Die Konfigurationsmethode ist durch die Umsetzungsbegleitung indirekt berücksichtigt und hinsichtlich des Ziels von nachgelagerter Relevanz.

8.1 Verifikation – Prüfung auf Anforderungen

Die Anforderungen gliedern sich in vier Gruppen (siehe Kapitel 4). Dass die *vorgehensbezogenen Anforderungen* erfüllt werden, wird mit der verfolgten Forschungskonzeption in Abschnitt 1.5 sowie den zugehörigen Abschnitten im Anhang belegt. Die *wirtschaftlichen Anforderungen* werden, wie einleitend erwähnt, in Abschnitt 8.3 separat thematisiert.

Die *grundlegende Anforderung* lautete, dass ein modifizierbares und detailliertes Modell zu erarbeiten ist. Dafür wurde mit Hilfe der Systemtheorie eine interdisziplinäre Beschreibung des

⁸⁸ Auch die Hypothesenfalsifikation unterliegt derart vielen Einflussfaktoren, dass dieses Prüfverfahren ebenso unmöglich erscheint.

Werkerinformationssystemen entworfen. Durch die Einführung von den drei Systemelementen Datensätze, Regelwerke und Anzeigefelder wird das System sehr detailliert dargestellt. Dadurch und durch das funktionsunabhängige Basis-System wird die Grundlage für eine modulare Auswahl der Systemfunktionen und damit ein modifizierbares Werkerinformationssystem gelegt. Insbesondere durch die flexible Modellierung der Montageaufgaben und der Werkerinformationen können unternehmensspezifische sowie arbeitsplatzspezifische Belange berücksichtigt werden, was einen Transfer des Modells in die industrielle Praxis erleichtert.

Für die Ermittlung der *inhaltlichen Anforderungen* wurde eine Studie durchgeführt, aus der sich acht Anforderungen ableiten. Jede Anforderung wurde in eine Systemfunktion überführt, woraufhin anforderungsspezifische Datensätze, Regelwerke und Anzeigefelder – auch als Lösungsbausteine bezeichnet – entwickelt wurden. Durch das Zusammenspiel der Systemelemente wird die Systemfunktion ermöglicht und dadurch die Anforderung erfüllt. Der Zusammenhang zwischen Systemfunktion und Anforderung ist jeweils zu Anfang der Abschnitte 5.3.1 bis 5.3.4 für die dynamischen Funktionen sowie 5.4.1 bis 5.4.4 für die individuellen Funktionen erläutert und wird daher an dieser Stelle nicht wiederholt. Mit der Entwicklung der Systemelemente und der Erfüllung der inhaltlichen Anforderungen ist auch der in Abschnitt 3.3 proklamierte Forschungsbedarf in den Themenfeldern adressiert. Bezüglich des vorliegenden Ziels wird er als gedeckt angesehen (Abbildung 1-4 auf Seite 11 stellt den Sachverhalt qualitativ dar). Das schließt jedoch nicht aus, dass zukünftige Forschungsaktivitäten zur Weiterentwicklung von Werkerinformationssystemen erstrebenswert sind (siehe Ausblick in Abschnitt 9.2).

In Summe wird durch das innovative Mittel (siehe Seite 7) in Form des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems eine anforderungsgerechte Information bereitgestellt.

8.2 Validierung – Beurteilung des Werkerinformationssystems

Während mit der Verifikation im vorangegangenen Abschnitt das Verhältnis von Anforderungen und Lösung betrachtet wurde, bezieht sich die Validierung auf das *Verhältnis zwischen Problemstellung und Lösung*. Über die Anforderungserfüllung hinaus gilt es, zu beurteilen, ob das entwickelte Werkerinformationssystem für reale Anwendungsfälle und hinsichtlich der Problemstellung eine valide Lösung bietet.

Mit den Prototypen in Kapitel 7 konnte gezeigt werden, dass sich das entwickelte Modell auf die ausgewählten Arbeitsplätze anwenden lässt. Anhand der verschiedenen Werkerinformationssysteme wurde die Umsetzbarkeit der modularen Systemfunktionen verdeutlicht. Die Montagetätigkeiten und notwendigen Werkerinformationen konnten mit den Datensätzen des Basis-Systems abgebildet werden. Auch die funktionspezifisch erforderlichen Datensätze ließen sich mit realen Anwendungsdaten anlegen. Die Regelwerke haben in den Praxisanwendungen

auch nutzenstiftende Ergebnisse erzeugt. Einschränkend muss jedoch erwähnt werden, dass sie im Prototypen von Abschnitt 7.1 simuliert und in den anderen Prototypen in reduzierter Form oder teilweise händisch umgesetzt wurden. Bezüglich der Anzeige reichen die definierten Felder, Prinzipien und Formate aus, um die Informationsbereitstellung in den fünf Anwendungsfällen zu beschreiben. *Durch die Abbildbarkeit von realen Anwendungsfällen mit den Prototypen wird das entwickelte Modell des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems als anwendbar beurteilt.*

Die Beurteilung des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems hinsichtlich der Problemlösung – also einer effizienteren Informationsübermittlung und einer Reduktion der Nacharbeitsaufwände – ist ungleich schwieriger. Wie in der Einleitung dieses Kapitels geschildert, kann aufgrund des komplexen Anwendungsfeldes kein Beweis der Problemlösung oder des Nutzens erbracht werden. Dennoch wurden Untersuchungen angestellt, um den Nutzen des Werkerinformationssystems abschätzen zu können. Für die Beurteilung des alle acht Systemfunktionen umfassenden Prototypen wurden die Teilnehmer der *Probandenstudie* befragt. Die in einer *Feldstudie* in den Prüflinien eingesetzte Tablet-App sowie die Anlernmappe zur Bremskreisprüfung wurden ebenfalls in Gesprächen mit den Anwendern diskutiert. Für die Beurteilung der verbesserten Werkerinformationssysteme zur Luftkesselvorgruppierung sowie zur Seitenschutz- und Kotflügelmontage konnten Produktionsfehlerdaten ausgewertet werden.

Befragung

Tablet-App Anbauteilmontage, Tablet-App Prüflinien, Anlernmappe Bremskreisprüfung

Die Tablet-App für alle acht Systemfunktionen wurde, wie in Abschnitt 7.1 beschrieben, beispielhaft für einen Arbeitsplatz der Anbauteilmontage umgesetzt. Für die Beurteilung der Problemlösung wurden drei Montageplaner, drei Administratoren eines Werkerinformationssystems und stellvertretend für die Werker zwei Montagebereichsleiter befragt, denen das entwickelte Werkerinformationssystem vorgestellt wurde. Die vollständige Auswertung findet sich im Anhang (Abschnitt 10.6.6 – Abbildung 10-35). 87,5% stimmten jeweils den beiden Fragen zu, dass das Werkerinformationssystem eine *effizientere Informationsübermittlung* zum Werker verspricht und dass eine *Reduktion von Nacharbeitsaufwänden* wahrscheinlich ist.⁸⁹

⁸⁹ Bei der Gelegenheit wurde auch abgesichert, dass das System grundsätzlich als dynamisch und individuell verstanden wird. Ebenso wurde die Anwendbarkeit bestätigt. Die definierten Datensätze schätzen die Befragten als realistisch ein, sowohl was ihre Notwendigkeit als auch die Erfassbarkeit im Produktionsbetrieb anbelangt. Die Regelwerke sind für die Mehrheit nachvollziehbar, wobei vor allem durch die anwendungsfallspezifische Anpassbarkeit die Umsetzung an unterschiedlichen Arbeitsplätzen als möglich empfunden wird. Die Anzeigefelder mit dem Anzeigeconcept werden als verständlich beurteilt. Neben dem Fragebogen wurde in den Gesprächen im Rahmen der Vorführung des Werkerinformationssystems die Komplexität der AVOG-Kette als Hürde gesehen. Bei Implementierung aller acht Systemfunktionen bildet das Werkerinformationssystem eine komplexe Montagesituation ab, sodass Schulungen zur Nutzung des Systems für die Werker empfohlen werden. Zudem kann

Mit dem Einsatz der Tablet-App beim Anlernen neuer Mitarbeiter in den Prüflinien im Rahmen einer Feldstudie konnte laut zuständiger Führungskräfte die Anlerndauer um ein bis zwei Wochen reduziert werden. Das wird unter anderem auf eine *werkerinformationsbedingt schnellere Aufnahme* sowie steilere Lernkurve bezüglich der fehlerfreien Ausführung der Arbeitsvorgänge zurück geführt. Insbesondere der Lernfortschritt wurde als förderlich angegeben. Dabei ist durchaus bewusst, dass weitere Faktoren unabhängig vom verbesserten Werkerinformationssystem einen Einfluss haben. Das sind beispielsweise die mediale Aufbereitung der Werkerinformationen, die Möglichkeit zum Lernen abseits des Arbeitsplatzes oder die erhöhte Aufmerksamkeit während der Feldstudie. Positiv wurde insgesamt der innovative Ansatz bewertet, der den Anlernprozess für den Werker interessanter gestaltet. Die ehemals auf Papier vorgenommenen persönlichen Erläuterungen konnten mit der Tablet-App digital erfasst werden, was besonders motivierend war.

Bezüglich der Anlernmappe wurden von betroffenen Personen vergleichbare Aussagen wie bei der Tablet-App für die Prüflinien getroffen. Der *Anlernprozess* konnte durch die videobasierten Erläuterungsinformationen *didaktisch verbessert und beschleunigt* werden. Die Variantentransparenzunterstützung wird als *spürbare Entlastung* für den anzulernenden Mitarbeiter empfunden, da ohne übersichtliche Darstellung und bei mündlicher Erläuterung die Vielfalt der Tätigkeiten überfordernd wirken kann.

Datenauswertung

Werkerinfo Luftkesselvorgruppierung & Seitenschutz-/Kotflügelstützenmontage

Um die Verbesserungen durch die präventive Montagefehlermeldung und die rollenspezifische Informationsaufteilung zu beurteilen, wurden die Produktionsfehler der Arbeitsplätze analysiert. Die Daten wurden dem MAN-Qualitätsdatensystem entnommen, in dem alle Produktionsfehler erfasst werden. Für diese Auswertung wurden nur *Fehler mit Bezug zur Werkerinformation* berücksichtigt, also beispielsweise eine zu korrigierende Komponentenposition. Abbildung 8-1 zeigt die normierte wöchentliche Fehlerquote pro Fahrzeug der Luftkesselvorgruppierung, Seitenschutzstützen- und Kotflügelstützenmontage. Dabei wurden die variierenden Produktionsvolumen pro Woche sowie die produktionsfreien Tage und Wochen beachtet.

Bei allen drei Anwendungsfällen ist die durchschnittliche *Fehlerrate nach der Umsetzung niedriger* als vorher. Es kann jedoch eingewendet werden, dass sich ein Anteil der Fehlerreduktion auf eine verbesserte Informationsdarstellung und bei den Seitenschutz- und Kotflügelstützen auf den zweiten Monitor zurückführen lässt. Zudem ist das Produktionssystem zahlreichen

interdisziplinär mit Hilfe der Produkt- und Produktionsergonomie die Nutzerfreundlichkeit des Systems weiterentwickelt werden.

anderen Einflussfaktoren ausgesetzt, welche die Fehlerrate determinieren. Es konnte jedoch kein Faktor mit systematischem Einfluss identifiziert werden. Beispielsweise sind die Auswerteziträume jeweils zwischen Taktzeitreduzierungen gewählt, um den Einfluss von damit verbundenen Änderungen an den Arbeitsplatzabläufen auszuschließen. Des Weiteren beziehen sich die Datenauswertungen auf einen langen Zeitraum, sodass der Einfluss von wechselhaften Faktoren wie unterschiedliche Mitarbeiter und Lerneffekte als vernachlässigbar aufgefasst werden. Auch die Verteilung von schwierigen Produktvarianten wird über die Zeit als gleichmäßig angenommen, da die Programmplanung das Heijunka-Prinzip verfolgt. Neben der Datenauswertung wurden auch die verantwortlichen Montagebereichsleiter konsultiert. Sie nehmen eine *Reduzierung der mentalen Belastung* und ein *schnelleres Einarbeiten* von neuen Mitarbeitern an den Arbeitsplätzen wahr.

Die Befragungen und Datenauswertungen stellen keinen Nachweis dafür dar, dass durch die verbesserten Werkerinformationssysteme die Informationseffizienz gesteigert und die Nacharbeit reduziert wurde. Zudem fällt es schwer, den positiven Nutzen der Prototypen trennscharf auf die digitalisierten Werkerinformationen oder die dynamischen und individuellen Systemfunktionen zu kontieren. Dennoch werden die Ergebnisse der Befragungen und Datenauswertungen als ausreichende Indikation für die richtige Annahme der Forschungshypothese gesehen. Damit wird die *Forschungshypothese*, nach der erstinstanzlichen Zuordenbarkeit der acht Anforderungen in die Themenfelder der dynamischen und individuellen Werkerinformation (siehe Abschnitt 4.2), *in zweiter Instanz als berechtigt bestätigt*.

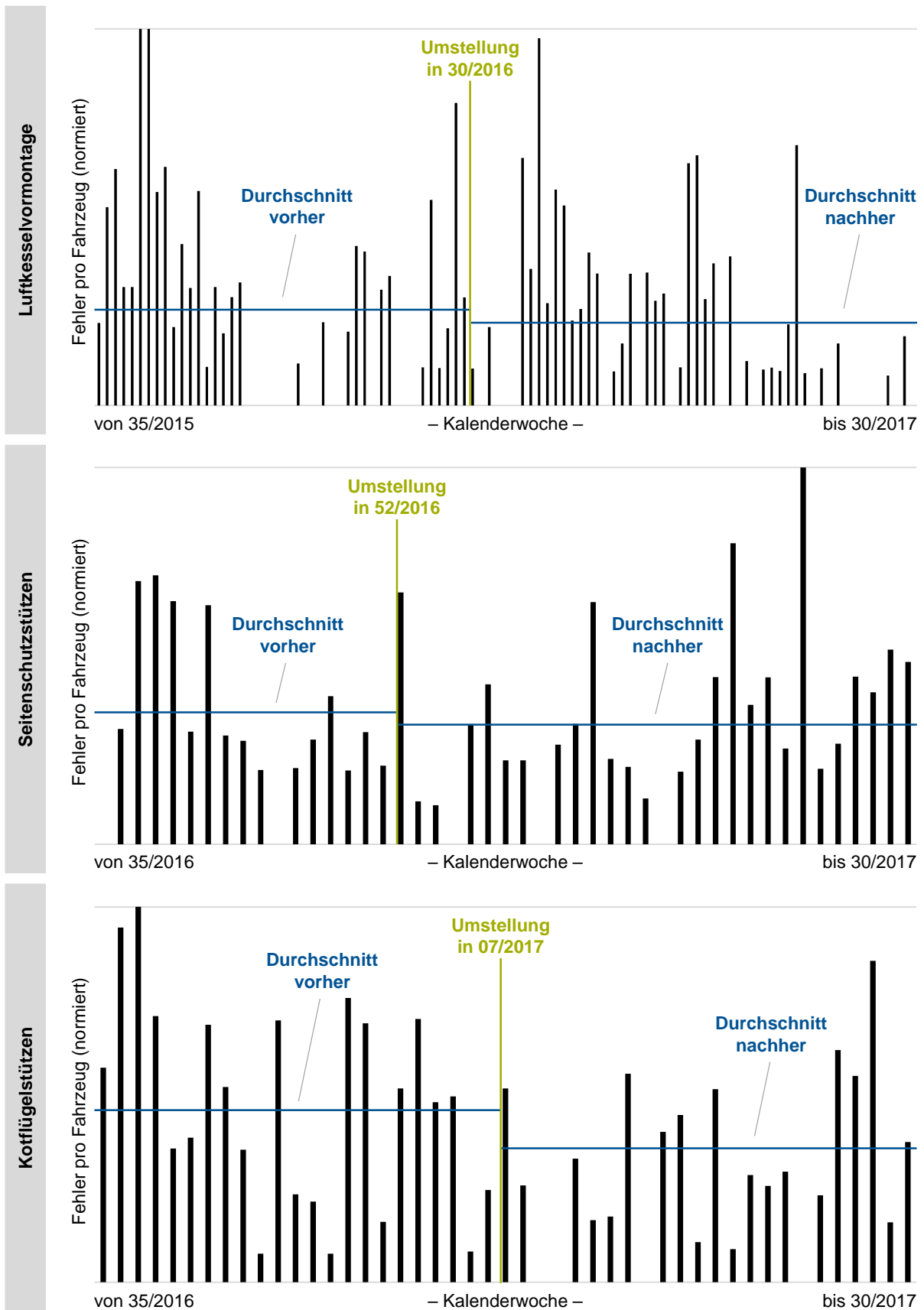


Abbildung 8-1: Werkerinformationsbezogene Produktionsfehlerdatenauswertung mit Betrachtung des Umstellungszeitpunkts auf ein verbessertes Werkerinformationssystem

8.3 Aufwand-Nutzen-Analyse – Abschätzung der Wirtschaftlichkeit

Wie auch die Forschungshypothese kann die Wirtschaftlichkeit des entwickelten dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems nicht allgemeingültig nachgewiesen werden. Das liegt vor allem daran, dass die *Wirtschaftlichkeit in einem hohen Maße vom Anwendungsfall abhängig* ist. Beeinflussende Faktoren sind beispielsweise aus dem Produktionsumfeld die kundenbedingte Variantenanzahl und deren Wiederholhäufigkeit, die Häufigkeit von Produktionsänderungen, die Taktzeit oder die Qualitätsansprüche und der potenzielle Imageschaden. Im Einflussfeld der Produktionsmitarbeiter können eine unterschiedliche Mitarbeiterbelastung, Mitarbeiterqualifikation, Mitarbeiterkosten oder die Begehrlichkeit als Arbeitgeber genannt werden. Bei der Produktionstechnologie sind die vorhandenen Werkerinformationssysteme und IT-Infrastrukturen, die Kombinierbarkeit mit anderen Assistenzsystemen, die Skaleneffekte durch Einsetzbarkeit an weiteren Arbeitsplätzen oder der Informationserstellungs- und pflegeaufwand zu bedenken.

Entsprechende Einschränkungen könnten im Betrachtungsbereich vorgenommen werden. Aber dann würde nicht der Nutzen, sondern die Wahrheit als dominantes Regulativ die Oberhand gewinnen, was dem *Praxistransfer* im Kontext der angewandten Wissenschaft nicht dienlich ist (ULRICH 1982, S. 3-4). Das bedeutet nicht, dass die Wahrheit kein essenzielles Regulativ darstellt, aber dass ihr bei den Bemühungen um ein nutzenorientiertes Wirken im realen soziotechnischen System eine *tolerierbare Unschärfe* zugestanden werden muss (siehe Abschnitt 1.5).

Bei allen Schwierigkeiten legen folgende Überlegungen jedoch nahe, dass der Einsatz entsprechender Systeme wirtschaftlich gestaltet werden kann.

Zum einen sind die Konfiguration und der folgende Betrieb des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems eingebettet in die *methodische Einführung* von Assistenzsystemen an einem Arbeitsplatz (siehe Abschnitt 6.1). Wenn dort eine *Abschätzung der Wirtschaftlichkeit eines Werkerinformationssystems* getroffen wird, wird diese auch als gültig für die hier vorgenommene detaillierte Ausgestaltung hinsichtlich der dynamischen und individuellen Informationsanpassung aufgefasst.

Zum anderen haben die *Studien* von AEHNELT (2016A, S. 130-146), FELDMANN ET AL. (2004, S. 244-246), LI ET AL. (2018) und HOLM ET AL. (2017, S. 13) den Einsatz von Werkerinformationssystemen untersucht und wirtschaftliche Vorteile ausgewiesen (damit wird die Forschungshypothese *in dritter Instanz als berechtigt bestätigt*). Auch hier werden die Untersuchungsergebnisse als übertragbar aufgefasst.

Trotz alledem wird ein Unternehmen mit der Abschätzung der Wirtschaftlichkeit konfrontiert. Daher wird im Folgenden ein *Vorgehen zur Aufwand-Nutzen-Analyse* für dynamische und individuelle Werkerinformationssysteme skizziert. Das Vorgehen wird beispielhaft mit abgeschätzten Werten anhand der Systemfunktion zur auftragsspezifischen Informationsselektion für einen Arbeitsplatz erklärt.

Im ersten Schritt werden *Wirkketten* erstellt, die den Nutzen in eine *monetäre Größe* überführen (Tabelle 8-1). Damit sollen die vielfältigen, schwer quantifizierbaren Nutzenaspekte berücksichtigt werden. Beispielsweise erwirkt der Entfall des Suchens der auftragsspezifischen Informationen eine Reduktion der Fertigungszeit. Unter der Annahme, dass zuvor schon Werkerinformationen in Form von technischen Zeichnungen digital über ein Terminal abrufbar waren, gibt es keine Nutzeneffekte aus einer verbesserten technologischen Informationsdistribution. Einzelne Nutzenaspekte können auch mehrere Nutzen bewirken und über die beispielhafte Darstellung hinaus in mehrstufigen Wirkketten abgebildet werden. Zugleich wird aufgrund der Unschärfe der Abschätzung im zweiten Schritt eine *Sensitivitätsanalyse* für die monetäre Größe durchgeführt, die zwischen minimaler, mittlerer und maximaler Veränderung unterscheidet. Durch die Reduktion der Fertigungszeit um drei, fünf oder sieben Prozent wird eine entsprechende Reduktion der Lohnkosten vermutet.

Tabelle 8-1: Wirkketten für die Übersetzung des Nutzens in monetäre Größen

Nutzenaspekt	Nutzen	Monetäre Größe [% Veränderung]
Entfall Suchen der auftragsspezifischen Informationen	Reduktion Fertigungszeit	Lohnkosten (Fertigungseinzelkosten) -3%, -5%, -7%
Anzeige der richtigen Informationen; keine Verwechslungsgefahr	Steigerung Qualität	Nacharbeitskosten (Fertigungsgemeinkosten) -4%, -5%, -6%
Entfall Raussuchen der auftragsspezifischen Informationen Anzeige der richtigen Informationen; keine Verwechslungsgefahr	Stressreduktion Mitarbeiter und Verbesserung Krankenquote	Lohnkosten (Fertigungseinzelkosten) -0,3%, -0,5%, -0,7%
Erleichterung kundenindividueller Produktion	Erhöhung Auftragseingänge	Umsatz +1%, +1,5%, +2%

Im dritten Schritt werden die monetären Größen der Wirkketten in *Euro pro Jahr* umgerechnet und den *Aufwänden* gegenüber gestellt (Tabelle 8-2). Bei Aufwänden wird zwischen einmaligen Investitionen und jährlich anfallenden Kosten in den drei Kategorien Hardware, Software und Personal unterschieden (POTTHOF 1998, S. 7). Um die auftragsspezifische Informationsselektion mit einem statischen Werkerinformationssystem zu vergleichen, wird die Hardware als durch das vorherige System vorhanden angenommen. Instandhaltungskosten sind bei ei-

ner relativ simplen Hardware (Computer und Bildschirm) in den ersten Jahren nicht zu erwarten. Die Programmierkosten für die Software werden auf 100.000 € beziffert. Im Wesentlichen müssen eine Datenbankabfrage und eine einfache Nutzer-Oberfläche realisiert werden. Für Optimierungen und den Datenbankbetrieb werden pro Jahr 5.000 € veranschlagt. Unter Personal werden die Aufwände zur Aufbereitung der notwendigen Datensätze gefasst, wofür initial zehn und pro Jahr fünf Arbeitstage kalkuliert werden. Darunter fallen vor allem die Definition von Montagevarianten und die Zuweisung der Werkerinformationen für diesen Arbeitsplatz sowie das Einpflegen von neuen Varianten und Änderungen. Bei einer vereinfachten Betrachtung ohne Abschreibungen und Zinsen ergibt sich für den minimalen, den mittleren und den maximalen Fall eine entsprechende *Amortisationsdauer* (GÖTZE 2014, S. 70-73), die in der letzten Zeile der Tabelle berechnet ist.

Tabelle 8-2: Aufwand-Nutzen-Analyse für Werkerinformationssysteme am Beispiel der auftragsspezifischen Informationsselektion

NUTZEN (monetarisiert)	Annahmen	Veränderung		
		minimal	mittel	maximal
Reduktion Fertigungszeit	80.000 €/a pro MA (durchschnittl. Personalkosten)	2.400 €	4.000 €	5.600 €
Steigerung Qualität	5 MA à 100.000 €/a aus Qualität, Umlage auf 100 Arbeitsplätze	200 €	250 €	300 €
Stressreduktion Mitarbeiter, Verbesserung Krankenquote	80.000 €/a pro MA	240 €	400 €	560 €
Erhöhung Auftragseingänge	50 Mio. € Umsatz, 5% Gewinn, Anteilig (Einsatz WIS an 10 APs)	2.500 €	3.750 €	5.000 €
Summe		5.340 €	8.400 €	11.460 €
AUFWAND EINMALIG				
	Annahmen			
Hardware	Bereits vorhanden			0 €
Software	Anteilig: 10% von 100.000 € (Einsatz WIS an 10 APs)			10.000 €
Personal	10 von 240 Arbeitstagen für 1 MA à 100.000 €/a			4.166 €
Summe				14.166 €
AUFWAND LAUFEND				
	Annahmen			
Hardware	Kein Austausch während Nutzungsdauer zu erwarten			0 €
Software	Anteilig: 10% von 5.000 €/a (Einsatz WIS an 10 APs)			500 €
Personal	5 von 240 Arbeitstagen für 1 MA à 100.000 €/a			2.083 €
Summe				2.583 €
Amortisationsdauer	Kalkulation: Einmaliger Aufwand / (jährlicher Nutzen - jährlicher Aufwand)	5,1 a	2,4 a	1,6 a

Die Kalkulation zeigt, dass die auftragsspezifische Informationsselektion grundsätzlich wirtschaftlich eingesetzt werden kann. Die Amortisationszeiten müssen jedoch mit Hinblick auf die geplante Nutzungsdauer diskutiert werden. Bei geschätzten zehn Jahren Nutzungsdauer vor größeren Instandsetzungsarbeiten wie vollständiger Hardwareaustausch und grundlegende Softwareaktualisierung, erfüllt die Amortisationszeit von 5,1 Jahren im Fall der minimalen Nutzenverbesserungen die meisten unternehmensspezifischen Erwartungen nicht. Die Amortisationsdauern des mittleren und maximalen Szenarios bewegen sich jedoch in gängigen Größenordnungen.

Die auftragsspezifische Informationsselektion wurde deshalb als Beispiel ausgewählt, da sie unter den acht Systemfunktionen als diejenige mit der potenziell häufigsten Anwendung in der hochvarianten Serienmontage erscheint. Beim Einsatz zusätzlicher Systemfunktionen wird davon ausgegangen, wie schon in Abschnitt 6.2 erwähnt, dass sich das Aufwand-Nutzen-Verhältnis verbessert, da funktionsübergreifende Aufwände zum Basis-System mit den Werkerinformationspaketen auf mehr Nutzeneffekte umgelegt werden kann. Entsprechend wird bei der Implementierung der anderen Systemfunktionen von vergleichbaren Amortisationsdauern ausgegangen.

8.4 Limitation – Einschränkung der Ergebnisse

Auf Basis der Prototypen mit der Verifikation (Anforderungserfüllung) und Validierung (Anwendbarkeit und Problemlösung) erscheint die empirisch-induktive Schlussfolgerung zur Allgemeingültigkeit der Lösung als plausibel. Sie lässt sich jedoch – wie schon erwähnt – nicht beweisen. Um aber die Plausibilität der Schlussfolgerung zu erhöhen, werden im Folgenden Limitationen diskutiert, die die Allgemeingültigkeit der Ergebnisse einschränken können. Dabei sei darauf hingewiesen, dass sich die Forschungsarbeit bereits durch die Definition des Betrachtungsbereichs auf die bildschirmbasierte Werkerinformation für manuelle, hochvariable Serienmontage beschränkt (Abbildung 1-3 auf Seite 9) und keine technologischen oder interaktionsbezogenen Fragestellungen fokussiert (siehe Abschnitt 1.3).

Für den Einsatz der Prototypen wurden mit den Arbeitsplätzen am fest getakteten Montageband, an den frei getakteten Prüflinien sowie in der teilweise entkoppelten Vormontage repräsentative Anwendungsfälle ausgewählt. Den Arbeitsplätzen ist jedoch eine relative niedrige Taktzeit im Bereich weniger Minuten gemein. Im Expertenworkshop mit Rhode & Schwarz wurde ersichtlich, dass für höhere Taktzeiten im Bereich von mehreren Stunden manche Systemfunktionen an Bedeutung verlieren. Die auftragsspezifische Informationsselektion oder die rollenspezifische Informationsaufteilung sind weniger interessant, weil sie im Vergleich zur

Taktzeit eine geringe Zeitersparnis und Informationseffizienzsteigerung ausmachen. Eine Arbeitsfortschrittsanzeige wäre hingegen wünschenswert, um bei Unterbrechungen, wie beispielsweise beim Schichtwechsel, die Arbeit ab dem letzten Arbeitsvorgang aufnehmen zu können. Auf der anderen Seite kann bei sehr kurzen Taktzeiten der Einsatz des entwickelten Werkerinformationssystems ungeeignet sein, da der geringe Tätigkeitsumfang einen kleineren Informationsbedarf nach sich zieht. Zudem ist beispielsweise die rollenspezifische Informationsaufteilung schwierig umzusetzen, wenn es wenig Raum für Arbeitsteilung gibt. Entsprechend ergibt sich für das entwickelte dynamische und individuelle Werkerinformationssystem ein *Betriebsbereich bei Taktzeiten ab wenigen Minuten bis zu circa einer Stunde*.

Wie die Aufwand-Nutzen-Analyse zeigt, empfiehlt sich für den wirtschaftlichen Betrieb des Systems der *Einsatz an mehreren Arbeitsplätzen*. Dies ist notwendig, um die verhältnismäßig hohen initialen Softwareentwicklungsaufwände über zahlreiche kleine Nutzeneffekte in kurzer Zeit zu amortisieren. In dem Zusammenhang sei auch darauf hingewiesen, dass das Werkerinformationssystem *hohe Bedingungen an die Arbeitsplanung* stellt. Wenn mit der Einführung hohe Aufwände bei der Abbildung von Arbeitsvorgängen und Werkerinformationen einhergehen, sind höhere Nutzeneffekte für eine zügige Amortisation notwendig. Dies ist jedoch keine direkte Einschränkung für das vorgeschlagene Modell, da es auf bestehenden Werkerinformationssystemen aufsetzt und sie hinsichtlich einer dynamischen und individuellen Informationsanpassung weiterentwickelt.

Der Prototypeneinsatz wurde in der Lkw-Endmontage bei MAN vorgenommen. Daher steht in Frage, ob das entwickelte Werkerinformationssystem auch in anderen Unternehmen mit anderen Produkten eingesetzt werden kann. Aufgrund der unterschiedlich gewählten Arbeitsplätze für den Prototypeneinsatz und in Kombination mit dem flexibel gestalteten Basis-Werkerinformationssystem wird davon ausgegangen, dass sich das entwickelte Modell grundsätzlich *für Arbeitsplätze anderer Unternehmen* anwenden lässt. Im Basis-System können Tätigkeiten und zugehörige Werkerinformationen über die Werkerinformationspakete mit Prozess- oder Produktvarianten auf verschiedenen Granularitätsstufen der Arbeitsplanung und der Informationsmenge modelliert werden. Auch das Anzeigekonzept lässt Spielräume für unternehmensspezifische Anpassungen, insbesondere bei der Gestaltung und Positionierung der Werkerinformationen. Hinsichtlich der dynamischen Systemfunktionen können gegebenenfalls andere Richtwertempfehlungen oder Hervorhebungsarten für Änderungen, Montagefehler und Kommentare gewünscht sein, die jedoch keine umfangreichen Modellanpassungen erfordern. Bei den individuellen Systemfunktionen hingegen können Anpassungen etwas umfangreicher ausfallen. Falls bei der rollenspezifischen Informationsaufteilung weitere Mitarbeiterrollen oder mehr als zwei Rollen in einer arbeitsteiligen Situation (beispielsweise ein Lehrer und zwei Lerner) berücksichtigt werden sollen, müssen die Datentabellen 'rolle' und 'avog-status' sowie

das Regelwerk um die Rolle-Status-Kombinationen erweitert werden. Die qualifikationsspezifische Informationsauswahl differenziert im vorgeschlagenen Modell vier Qualifikationsstufen. Eine anders stufige Einteilung bedarf für die Informationskomposition modifizierte Entscheidungstabellen im Regelwerk zur Ermittlung der anzuzeigenden Werkerinformationspakete, Werkerinformationsaspekte und des Werkerinformationsmodus.

Hinsichtlich einer Übertragbarkeit oder Allgemeingültigkeit über die manuelle Montage hinaus muss der *Einsatz in anderen Unternehmensbereichen* erörtert werden. Dabei gilt es zu beachten, dass möglicherweise eine von der vorliegenden Arbeit abweichende Zielsetzung verfolgt wird. Beispielsweise kann eine dynamische Prüfplanung mit dem Werkerinformationssystem angestrebt werden, während eine Reduktion der „Nacharbeit“ von Qualitätsprüfungstätigkeiten, also eine Wiederholung von Prüftätigkeiten, sehr selten auftritt und nicht priorisiert wird. Je nach Zielsetzung ist die Amortisationsdauer mit angepassten Wirkketten zu kalkulieren. Um das Werkerinformationssystem für andere Unternehmensbereiche zu konfigurieren, lassen sich auch Arbeitsvorgänge anderer Fertigungsverfahren außer den Montagetätigkeiten datensatztechnisch mit zugehörigen Werkerinformationen im Basis-System abbilden. Allerdings müssen Besonderheiten wie die *Interaktion mit Fertigungsmaschinen* oder die *Eingabe von Messdaten* in der Qualitätsprüfung berücksichtigt werden. Während das Einpflegen von Daten durch den Werker mit dem Anzeigeconcept des entwickelten Werkerinformationssystem mit geringen Anpassungen möglich ist, wirft die automatisierte Kommunikation zwischen Maschine und Werkerinformationssystem weitere Fragen auf. Beispielsweise ist zu klären, wie in der AVOG-Kette automatisierte Arbeitsvorgänge gekennzeichnet oder parallele Arbeitssequenzen dargestellt werden.

Als Fazit aus der Evaluation wird gezogen, dass ein vielseitig anwendbares dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem entwickelt wurde, dessen wirtschaftlicher Einsatz jedoch an Rahmenbedingungen geknüpft ist, wie sie in einer manuell geprägten, hochvariablen Serienmontage vorzufinden sind. Zuvor wurde die initiale Forschungshypothese, dass mit einem dynamischen und individuellen Werkerinformationssystem die Informationsübermittlung effizienter gestaltet und die Nacharbeit reduziert werden kann, als berechtigt bestätigt.

9 Abschluss

Dieses Kapitel zieht ein Resümee über die wichtigsten Aspekte dieser Arbeit und schließt mit einem Ausblick auf weitere mögliche Forschungsfelder.

9.1 Resümee

Werkerinformationssysteme sind eine Möglichkeit, Montagemitarbeiter bei einer hohen Variantenvielfalt zu unterstützen und eine flexible sowie produktive Serienmontage zu ermöglichen. Derzeitige Systeme sind jedoch inhaltlich nicht anforderungsgerecht gestaltet. Das äußert sich oftmals in statischen Standardlösungen nach dem One-fits-all-Prinzip, was in einer ineffizienten Informationsübermittlung und in signifikanten Nacharbeitsaufwänden resultiert.

Dynamische und individuelle Werkerinformationssysteme stellen sich im Kontext von Industrie 4.0 als Lösungsidee dar. Sie passen die Werkerinformationen an das Produkt oder den Prozess respektive den Werker an. Basierend auf einem ausgearbeiteten Vorschlag für ein Forschungsprogramm der Produktionswissenschaften wurde in diesem Forschungsprojekt ein entsprechendes Werkerinformationssystem entwickelt.

Dabei wurden zunächst grundlegende Definitionen und eine Klassifikation für Werkerinformationssysteme erarbeitet. Unter Berücksichtigung eines umfangreichen Überblicks zu aktuellen Forschungsaktivitäten in den relevanten Themenfeldern ist eine Anforderungsstudie durchgeführt worden, um einen objektiven und belastbaren Entwicklungsauftrag zu formulieren. Neben der Forderung nach einem modifizierbaren und detaillierten Modell des Werkerinformationssystems sind acht Anforderungen abgeleitet worden.

Für die Systementwicklung ist eine systemtheoretische Modellierung entworfen worden, die das Werkerinformationssystem mit acht jeweils zu den Anforderungen korrespondierenden Systemfunktionen beschreibt, die alle nach der gleichen Funktionsweise aus Kontext erfassen, Informationen komponieren und Informationen bereitstellen ablaufen. Die Systemfunktionen werden durch das Zusammenspiel der drei Systemelemente Datensätze, Regelwerke und Anzeigefelder ermöglicht.

Daraufhin wurde das Basis-Werkerinformationssystem gestaltet, das alle funktionsübergreifenden Systemelemente beinhaltet. Es beinhaltet die Abbildung der Montagetätigkeiten und Werkerinformationspakete, wobei die Pakete als zentrales Element dienen, um die Datensätze zur Speicherung der Werkerinformationen zu bündeln. Das hergeleitete Anzeigekonzept stellt dar, wie die Werkerinformationen in verschiedenen Fällen bereitgestellt werden können. Dabei

eignet sich der Entwurf auch für die Modellierung von bestehenden statischen Werkerinformationssystemen nach dem One-fits-all-Prinzip, wie beispielsweise Arbeitsanweisungen oder Standardarbeitsblätter.

Anschließend wurden die Systemelemente für die acht Systemfunktionen detailliert entwickelt. Auf Seite der dynamischen Systemfunktionen sind das die auftragspezifische Informationsselektion, die Änderungsmarkierung, die Montagefehlermeldung und die Produkt-/Prozesskommentierung. Hervorzuheben ist dabei die einheitliche Anlage und Anzeige von Informationen zu Änderungen, Montagefehlern und Kommentaren. Als individuelle Systemfunktionen sind die rollenspezifische Informationsaufteilung, die qualifikationsspezifische Informationsauswahl, die Anlernprozessförderung und die Variantentransparenzunterstützung definiert worden. In diesem Themenfeld sticht vor allem der qualifikationsabhängige Wechsel von einer Prozessvorgabe hin zu einer teilprozessualen, variantenfokussierten Informationsbereitstellung hervor.

Ein besonders auszeichnendes Merkmal ist die Modularität des Werkerinformationssystems, mit der es für unternehmensspezifische Anwendungsfälle modifiziert werden kann. Für diese Zwecke wird eine Konfigurationsmethode vorgeschlagen, die einen Rahmen zur Umsetzung bietet. Das entwickelte Werkerinformationssystem wurde in fünf Prototypen umgesetzt, woraufhin die Evaluation folgte. Dabei wird resümierend festgehalten, dass alle Anforderungen erfüllt sind und das entwickelte dynamische und individuelle Werkerinformationssystem als validierte Lösung für das anvisierte Ziel einer anforderungsgerechten Werkerinformation aufgefasst wird.

9.2 Ausblick

Zwar ist mit dem entwickelten und prototypisch umgesetzten Werkerinformationssystem im Sinne des Forschungsprogramms der Weg für eine Praxislösung geebnet, dennoch ist die weitere Konkretisierung einzelner Aspekte ratsam. Das betrifft insbesondere die durch die Fokussierung ausgeschlossenen Themen wie die hardwareorientierte Technologiewahl und die ergonomische Interaktionsgestaltung, die interdisziplinär mit der Informatik und der Produktionsergonomie zu erarbeiten sind. Zudem sind unternehmensspezifisch vor allem die Schnittstellen zur (automatisierten) Informationserstellung und (dynamischen) Arbeitsplanung zu definieren. Für letztere ermöglicht das Werkerinformationssystem, dynamisch Arbeitsvorgänge zu Qualitätsprüfungen oder Nacharbeiten im Montageband einzusteuern.

Von wissenschaftlichem Interesse ist vor allem der Umgang mit personenbezogenen Daten in der Produktion. Hier gilt es, Richtlinien zur Klassifizierung von Daten und entsprechende Maßnahmen zur Wahrung der Persönlichkeitsrechte zu entwerfen. Dies könnten beispielsweise

die Pseudonymisierung oder die Substitution durch alternative Datenkombinationen sein. Für eine vollständig technologieunabhängige Lösung besteht ein Forschungsbedarf hinsichtlich der Informationsbereitstellung. Das Anzeigekonzept ist beispielsweise für eine Darstellung mittels augmented-reality-fähigen Ausgabegeräten weiter zu entwickeln. Untersuchungswürdig sind sicherlich auch die Potenziale einer akustischen Informationsausgabe, die ähnlich wie bei Navigationssystemen den Werker synchron zum Arbeitsvorgang anweisen.

Darüber hinaus kann funktionspezifisch weiter geforscht werden. Das entwickelte Werkerinformationssystem bietet ein Rahmenwerk, in dem Systemfunktionen detailliert oder auch ergänzt werden können. Für die präventive Montagefehlermeldung kann als Frühwarnsystem basierend auf Big Data und Process Mining ein Regelwerk zur Fehlerseismographie entwickelt werden, mit dem versucht wird, künftige Montagefehler zu prognostizieren und über eine präventive Information gegenzusteuern. Für die Unterstützung unerfahrener Werker bietet der Themenkomplex des produktionsnahen Anlernens Raum für weitere Forschungsaktivitäten. Je nach Vorwissen und Tätigkeitsarten kann die Informationsbereitstellung didaktisch individuell ausgerichtet werden. Integrationswürdig, wenn auch nicht direkt mit Werkerinformationen verknüpft, erweisen sich auch Gamification-Aspekte, wie beispielsweise die Anzahl fehlerfrei durchgeführter Montageaufträge, beherrschter Montagevarianten oder erlernter Arbeitsplätze. Dies könnte zur Motivationssteigerung bei auf Dauer monotonen Tätigkeiten beitragen.

Abschließend ist wünschenswert, dass dieses und weiterführende Forschungsprojekte einen Beitrag leisten, damit folgende fiktive Montageszene industrieller Alltag wird:

Die Taktzeit läuft. Der Werker erblickt das nächste Produkt auf dem Fließband. Das Werkerinformationssystem zeigt ihm auftragsspezifisch die Informationen zur Variante 3 aus 42 an. Gezielt sucht er die notwendigen Komponenten zusammen, wovon eine aufgrund eines Kundenwunsches separat von der Logistik angeliefert wurde. Die Schraubenummer wird bei dieser Variante hervorgehoben, damit es nicht zu Verwechslungen kommt. Er ist gut in der Zeit. Den letzten Arbeitsvorgang führt er zusammen mit einem erfahrenen Kollegen durch, da er sich noch in der Anlernphase befindet. Für jeden Arbeitsvorgang erhält er eine bildliche Information, die meisten von ihnen hat er schon als gelernt markiert. Bald hat er jede Variante ausreichend oft montiert, sodass er mit Hilfe des Werkerinformationssystems eigenständig arbeiten kann – effizient und fehlerfrei. Die Zeit ist abgelaufen. Er freut sich auf den nächsten Auftrag.

10 Anhang

10.1 Klassifikationsmodell Werkerinformationssysteme

Das Klassifikationsmodell für Werkerinformationssysteme basiert auf einem morphologischen Kasten, dessen Struktur mit Gestaltungsfeldern und -variablen in Abschnitt 2.3 hergeleitet wurden. Abbildung 10-1 und Abbildung 10-2 stellen mögliche Ausprägungen der Gestaltungsvariablen aus Ersteller- beziehungsweise aus Werker-Sicht dar. Das Modell bildet nicht ab, wie das System funktioniert, sondern in welchen möglichen Ausprägungen es sich dem Ersteller (Sender) und dem Werker (Empfänger) präsentieren kann.

Für die vier geläufigen Werkerinformationssysteme Arbeitsanweisung, Arbeitsplan (Standardarbeitsblatt), Konstruktionszeichnung und Stückliste werden klassifizierende Einordnungen vorgeschlagen.





Gestaltungsfeld	Gestaltungsvariable	Ausprägung					In Anlehnung an
Warum? 	▪ Verwendungsart	simultane Bearbeitungsunterstützung	Arbeitskontrolle, Nachschlagewerk	Lernsystem zum Training vorab	Auswertung der Tätigkeiten		FELDMANN ET AL. 2002
	▪ Nutzungsverpflichtung	gesetzlich vorgeschrieben	firmenintern vorgeschrieben	freiwillig			
SCOPE	▪ Anwender	namentlich bekannter Mitarbeiter	Arbeitsplatz	Arbeitsstation	Produktions-einheit	Werk	DOMBROWSKI ET AL. 2010, KLETTI 2007
	▪ Benutzerdaten	Arbeitsjahre/Alter	Fähigkeiten/Fertigkeiten	Wissen/Kenntnisse	Interessen/Vorlieben	keine	
CONSUMER	▪ Datengrundlage	<u>Produktdaten</u>	<u>Prozessdaten</u>	<u>weitere</u>			GERLACH 2011, AEHNELT & BADER 2014
	▪ Granularität (Produktdaten)	Module	Komponenten-gruppen	Komponenten			
	▪ Granularität (Prozessdaten)	Montageaufgabe	Arbeitsvorgangs-gruppen (Hauptprozesse)	Arbeitsvorgänge (Prozessschritte)	Teilarbeitsvorgänge (Teilprozessschritte)		
	▪ Bezugsquelle	Technische Zeichnung, CAD Dateien	Produktions-/Prozessdaten, MES	weitere			
	▪ Auseleseart	automatisch	unterstützt	manuell			
Was? 	▪ Datengrundlage	<u>Produktdaten</u>	<u>Prozessdaten</u>	<u>weitere</u>			DOMBROWSKI ET AL. 2010
	▪ Granularität (Prozessdaten)	Montageaufgabe	Arbeitsvorgangs-gruppen (Hauptprozesse)	Arbeitsvorgänge (Prozessschritte)	Teilarbeitsvorgänge (Teilprozessschritte)		
CORE DATA	▪ Bezugsquelle	Technische Zeichnung, CAD Dateien	Produktions-/Prozessdaten, MES	weitere			FAVRE-BULLE 2004, KLETTI 2007
	▪ Auseleseart	automatisch	unterstützt	manuell			
Wie? 	▪ Gültigkeit	kurzfristig	mittelfristig	langfristig			DOMBROWSKI ET AL. 2010
	▪ Standardisierung	genormt	Leitlinien, Empfehlungen	ohne Vorgabe			
CONDITION	▪ Standardisierung	genormt	Leitlinien, Empfehlungen	ohne Vorgabe			GERLACH 2011

Legende

fett konstituierende Ausprägung mit Untergruppen *kursiv* Gestaltungsvariable und untergeordnete Ausprägungen

■ Arbeitsanweisung ▲ Arbeitsplan (Standardarbeitsblatt) ● Konstruktionszeichnung ◆ Stückliste

Abbildung 10-1: Morphologischer Kasten (Ersteller-Seite) mit Gestaltungsfeldern, Gestaltungsvariablen und möglichen Ausprägungen sowie Einordnungsvorschlag für geläufige Werkerinformationssysteme

Gestaltungsfeld	Gestaltungsvariable	Ausprägung					In Anlehnung an	
Wo? & Wann?  SETTING	Ort	Komponente, Produkt	Werker	Arbeitsplatz	Arbeitsstation	stations-übergreifend	LUSIC ET AL. 2016	
	Auslöser	manuell auf Nachfrage (adaptierbar)	automatisch (adaptiv)					
	Zeitpunkt	vor Beginn der Tätigkeit	schrittweise während der Tätigkeit	kontinuierlich während der Tätigkeit	nach der Tätigkeit (Checkliste)			
	Wiederholung	einmalig	täglich	bei jedem Auftrag				
Was?  DEGREE	Informations-art	produktbezogen (Sachnummer)	prozessbezogen (Montage-reihenfolge)	auftragsbezogen (Kunde, Fälligkeitstermin)	ablaufbezogen (Materialfluss-information)	qualitätsbezogen (Prüfkriterien zur Montagekontrolle)	LANG 2007, GERLACH 2011, RADOW 1999	
	Informations-klasse	<u>Aktivität</u>	Warnung	Hinweis	Weitere			
	Informations-aspekt (Aktivität)	Was_Prozess? (Füge-, Handhabe-, Kontrollprozess)	Was_Komponente? (Erzeugnisse und Hilfsstoffe)	Wodurch? (Betriebsmittel und -stoffe)	Wohin? (Eigenschaften techn. Gebilde)	Welche_Weise? (Füge- und Prüfdaten)		
	Entdeckung-sinn	<u>Vision (Sehen) – Augen</u>			<u>Audition (Hören) – Ohren</u>			
Wie? (in welcher Weise)  DESIGN	Modus	<u>Text</u>	<u>Bild</u>	<u>Video</u>	<u>Signalton</u>	<u>Stimme</u>		
	Stil (Text)	unterschiedliche Sprache	einfacher Text (Stichwörter)	Fachsprache	Tabellen			
	Stil (Bild)	Piktogramm, Skizze	Zeichnung, Diagramme	Fotografie	'Augmented Reality'-Foto			
	Stil (Video)	Animation, Simulation	Video	'Augmented Reality'-Video				
	Stil (Signalton)	Hinweiston (bspw. Erfolgsmeldung)	Warnton	Alarmton				
	Stil (Stimme)	Sprachnachricht Stichwörter	Sprachnachricht Ganze Sätze					
	Intensität (Vision)	Größe	Farbe					
	Intensität (Audition)	Lautstärke	Tonhöhe					
	Wie? (Womit)  DEVICE	Übermittlungs-form	mündlich (Mitarbeiter)	papiergebunden	<u>IT-basiert</u>			NEUSCHWINGER 2003 NEUSCHWINGER 2003, MEIER & NEUSCHWINGER 2000, LUSIC ET AL. 2016
		Übermittlungs-medium (IT-basiert, Vision)	ortsfest/Stationary (PC-Monitor / Projektor)	beweglich/Portabel (Laptop)	Handgerät/ Handheld (Tablet, Smartphone)	tragbar/Wearable (Smartwatch, Datenbrille)	Implantat	
Übermittlungs-medium (IT-basiert, Audition)		Kopfhörer	Lautsprecher					
Bedienungs-option		nicht vorhanden	visuell – Geste	akustisch – Sprache	mechanisch (taktil, haptisch) – Berührung, Druck			

Legende
siehe Ersteller-Seite

Abbildung 10-2: Morphologischer Kasten (Werker-Seite) mit Gestaltungsfeldern, Gestaltungsvariablen und möglichen Ausprägungen sowie Einordnungsvorschlag für geläufige Werkerinformationssysteme

Für eine individuelle Werkerinformation ist eine Identifikation des Werkers erforderlich. Tabelle 10-1 listet gängige Verfahren auf.

Tabelle 10-1: Übersicht gängiger Identifikationsverfahren für die individuelle Anmeldung bei Werkerinformationssystemen

Bildschirminteraktiv	Ausweisgebunden	Ortsgebunden	Biometrisch
Passworteingabe	Strichcode	WLAN	Fingerbild
Profilauswahl	RFID	GPS	Gesicht
		NFC	Iris
		Bluetooth	Stimme
			Unterschrift

10.2 Werkerinformationspakete

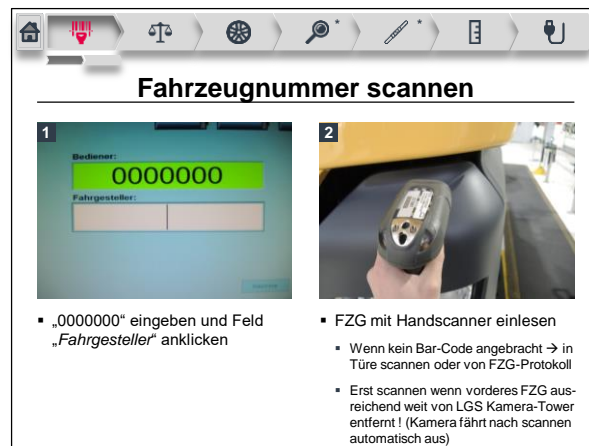


Abbildung 10-3: Beispiel für prozessrelationale Werkerinformationspakete: Auszug aus einer generischen, variantenneutralen Prozessbeschreibung

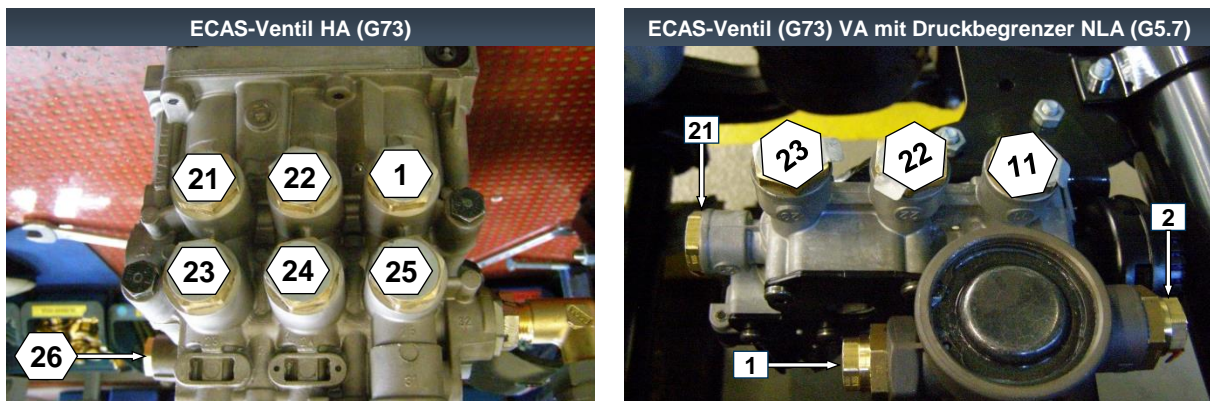


Abbildung 10-4: Beispiel für produktrelationale Werkerinformationspakete: Auszug aus einem Werkerinformationsheft zur Darstellung unterschiedlicher Komponentenvarianten

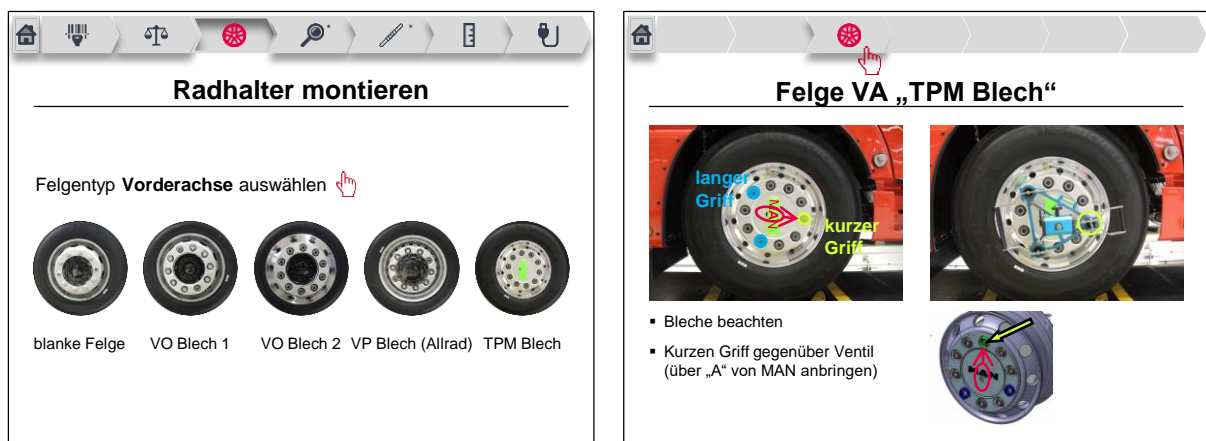


Abbildung 10-5: Beispiel für prozess- & produktrelationale (= arbeitsvorgangsvariante-spezifische) Werkerinformationspakete: Auszug aus einer komponentenabhängigen Prozessbeschreibung (rechts im Bild; Komponentenauswahl links im Bild)

In Abbildung 10-6 werden die Werkerinformationsklassen und Werkerinformationsaspekte, die in Abschnitt 5.2.1 bei der Definition von Werkerinformationspaketen basierend auf Abbildung 10-2 (Seite 171) aufgegriffen worden sind, detailliert und in das Unternehmensdatenmanagement eingeordnet.

Werkerinformationen werden demnach grundsätzlich in Aktivität, Warnung oder Hinweis klassifiziert und sind einer Tätigkeiten zugeordnet. Als weitere funktionsabhängige Werkerinformationsklassen wurden in dieser Arbeit Änderung, Montagefehler, Kommentar und Erläuterung ergänzt. Ein Montageauftrag gliedert sich in arbeitsplatzbezogene Montageaufgaben, die in der Regel aus mehreren Tätigkeiten bestehen. Die Tätigkeiten lassen sich in ein Gerüst auf unterschiedlichen Ebenen in Arbeitsvorganggruppen oder Arbeitsvorgängen eingliedern (siehe Abbildung 2-1 auf Seite 20). Die Montageaufträge leiten sich aus der Produktionsplanung und -steuerung ab und beziehen unter anderem Auftrags-, Lieferanten- und Materialstammdaten mit ein. Die Produktionsplanung und -steuerung erfolgt auf Basis von (prognostizierten) Kundenaufträgen unter Einbezug von Produktkenndaten und Kundenstammdaten sowie unter Berücksichtigung von Grunddaten der Arbeitsvorbereitung. Letztere sind teilweise abhängig von Anlagen- und Betriebsmittelstammdaten.

Die Grunddaten der Arbeitsvorbereitung, die Anlagen- und Betriebsmittelstammdaten und die Materialstammdaten sind wiederum verknüpft mit den Werkerinformationsaspekten. Die fünf Aspekte zur Einteilung von Werkerinformationen orientieren sich an der prozessualen Durchführung von Montagetätigkeiten und wurden basierend auf ZACHMANN (2011) sowie LUŠIĆ (2017, S. 82)⁹⁰ und TAN & ARAI (2010, S. 771)⁹¹ für diese Arbeit entworfen.

Das Rahmenwerk für Informationssystemarchitekturen von ZACHMANN (2011) kann mit den Fragestellungen (Was, Wie, Wo, Wer, Wann, Warum), neben der Beschreibung von Informationssystemen wie in Abschnitt 2.3 und Abbildung 10-2 (Seite 171), auch für Tätigkeitsbeschreibungen strukturierend eingesetzt werden.

Aus der Fragestellung *Was* werden die Aspekte *Was_Prozess* (Was wird gemacht?) und *Was_Komponente* (Was wird gefügt?) abgeleitet. Auch die Frage nach dem *Wie* wird in zwei

⁹⁰ LUŠIĆ (2017, S. 82) definiert ein Datenmodell zur Abbildung manueller Montageprozesse, das die Informationsklassen Füge- und Sekundärfunktionen, Betriebsmittel, Fügekomponenten und Bestimmflächen miteinander in Relation setzt. Die Klassen finden sich in den fünf Aspekten wieder, werden jedoch um die Füge- und Prüfdaten ergänzt.

⁹¹ TAN & ARAI (2010, S. 771) haben einen Vektor für textuelle Werkerinformationen für Mensch-Roboter-Kollaborationen entwickelt, dessen sieben Einträge (Agent [Mitarbeiter oder Roboter], Action, Object 1, Assembly location of object 1, Object 2, Assembly location of object 2, extra explanation of action with tool, jig, fixture) sich in den hier vorgeschlagenen fünf Aspekten mit Ausnahme des durchführenden Agenten wiederfinden. Sie weisen jedoch darauf hin, dass weitere Informationen für ungelernete Mitarbeiter erforderlich sein können, die sich nicht mit dem Muster des Vektors darstellen lassen. Dafür sind in dieser Arbeit die Werkerinformationsklassen Warnung, Hinweis und Erklärung vorgesehen.

Aspekte aufgegliedert: *‘Wodurch’* und auf *‘Welche Weise’* eine Tätigkeit durchgeführt wird. *‘Wohin’* komplettiert die Beschreibung der Montagetätigkeit. Die Fragestellungen *Wer*, *Wann* und *Warum* sind dauerhaft mit dem Werker, dem Zeitpunkt der Tätigkeitsausführung und der Erfüllung des Montageauftrags zu beantworten, sodass sie bei der Beschreibung der Tätigkeit mittels Werkerinformationspaketen keinen Mehrwert stiften.

Den Aspekten sind zur weiteren Differenzierung Unterpunkte zugeordnet, die typischerweise für Werkerinformationen relevant sind. Beim Aspekt *‘Was_Prozess’* sind das die Montagetätigkeiten wie Fügen, Handhaben, Kontrollieren oder Sonderoperationen. *‘Was_Komponente’* unterscheidet zwischen Erzeugnissen und Rohstoffen sowie Hilfsstoffen. Unter *‘Wodurch’* werden Betriebsstoffe und Betriebsmittel gefasst, mit denen der Werker die Tätigkeiten durchführt. Die Grundeigenschaften technischer Gebilde und ergänzende Beschreibungen sind Unterpunkte von *‘Wohin’*. Der Aspekt *‘Welche Weise’* spezifiziert schließlich Füge- oder Prüfdaten, die der Werker bei seinen Tätigkeiten zu berücksichtigen hat.

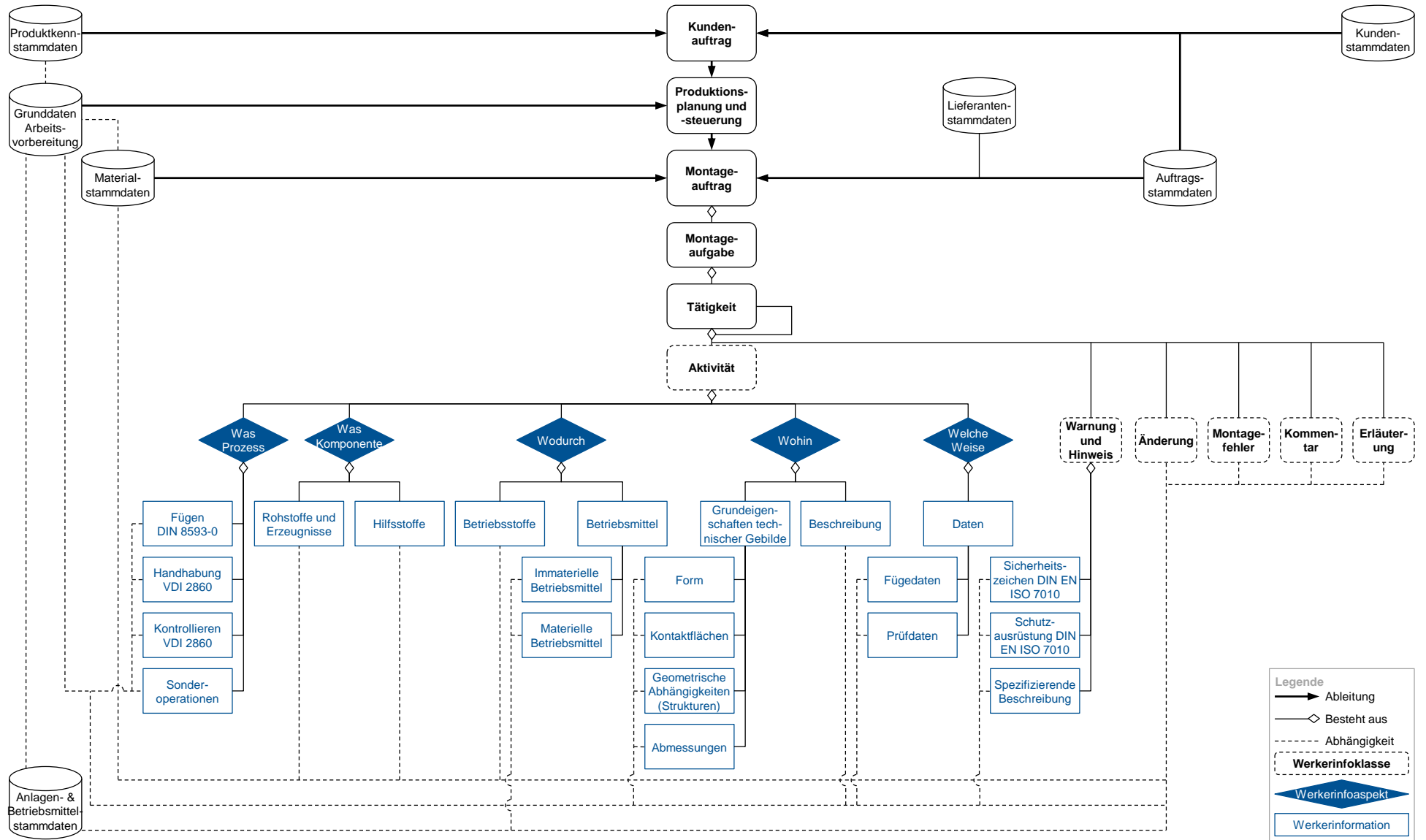


Abbildung 10-6: Werkerinformationsklassen und -(unter)aspekte für Werkerinformationen mit Anbindung des Unternehmensdatenmanagements

10.3 Anzeigekonzepte

In diesem Abschnitt werden die zwei Themen Anzeigeprozesse und AVOG-Ketten für die rollenspezifische Informationsaufteilung ergänzend zu den Schilderungen aus den Abschnitten 5.2.3 (Anzeigefelder des Basis-Werkerinformationssystems) und 5.4.1 erläutert.

Anzeigeprozesse

Die drei in Abbildung 5-13 (Seite 82) aufgeführten Anzeigeprozesse ergeben sich aus den Konstellationen von Zuordnungsebene, WIP-Relation und Zuordnungsverhältnis. In Abbildung 10-7 und Abbildung 10-8 ist zu jeder Konstellation skizziert, wie die zugehörigen Werkerinformationspakete einer ausgewählten Arbeitsvorgangsgruppe aus der AVOG-Kette dargestellt werden, auf dessen Basis drei grundsätzliche Anzeigeprozesse identifiziert werden. Zur Ermittlung der Konstellationen wird unterschieden, welcher Ebene (Arbeitsvorgangsgruppe, Arbeitsvorgang oder Arbeitsvorgangsvariante) die Werkerinformationspakete zugeordnet sind.

Für die ersten beiden Ebenen muss zudem unterschieden werden, ob die Werkerinformationspakete pro Arbeitsvorgangsgruppe beziehungsweise Arbeitsvorgang prozessrelational oder produktrelational zueinander stehen. Für die dritte Ebene ist nur die prozess- & produktrelationale (= arbeitsvorgangsvariantenspezifische) Zuordnung möglich (siehe Abschnitt 5.2.1).

Grundsätzlich können folgende Zuordnungsverhältnisse auftreten: 1:1, n:1, 1:n und n:n (nicht zu verwechseln mit der Bezeichnung des Prinzips). Beim Verhältnis von 1:1 ist einem/einer AVO/-Gruppe/-Variante ein Werkerinformationspaket zugeordnet. Bei n:1 werden mehrere AVO(s)/-Gruppen/-Varianten von einem Werkerinformationspaket abgedeckt werden. Das Verhältnis ist 1:n, wenn zu einem/einer AVO/-Gruppe/-Variante mehrere, alternative Werkerinformationspakete gehören. Als n:n wird die Zuordnung bezeichnet, wenn mehrere AVO(s)/-Gruppen/-Varianten von mehreren, alternativen Werkerinformationspaketen beschrieben sind.

Auf Ebene der Arbeitsvorgangsgruppen ist per Definition bei der generischen Beschreibung nur x:1 möglich, da es keine Variantenunterscheidung gibt.

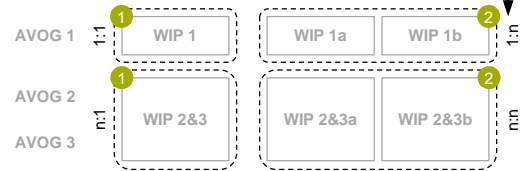
Auf Ebene der Arbeitsvorgänge gibt es bei 1:1 und 1:n jeweils zwei Varianten zu unterscheiden, da es unter einer Arbeitsvorgangsgruppe einen oder mehrere Arbeitsvorgänge geben kann, denen Werkerinformationspakete zugeordnet sind (siehe AVOG 1 und AVOG 2). Aus dem gleichen Grund können auch Mischformen im Zuordnungsverhältnis auftreten, wie bei AVOG 4 gezeigt ist.

Auf Ebene der Arbeitsvorgangsvarianten ist per Definition kein 1:x möglich, da es keine alternativen Variantenbeschreibungen gibt. Auch hier müssen zwei Varianten bei 1:1 und Mischformen beachtet werden.

Zuordnungsebene: Arbeitsvorgangsgruppen

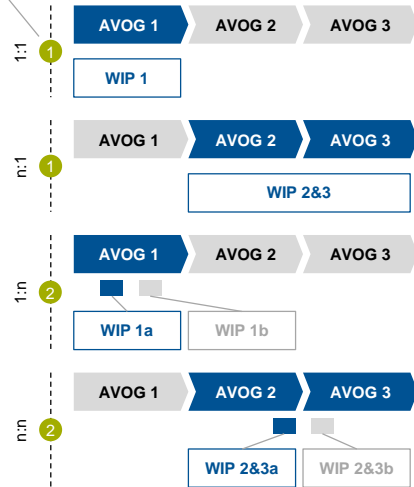
WIP-Relation: prozessrelational produktrelational

Zuordnungsverhältnis:



Per Definition ist bei der generischen Beschreibung nur $x \leq 1$ möglich, da es keine Variantenunterscheidung gibt.

Anzeigeprinzip



Zuordnungsebene: Arbeitsvorgänge

WIP-Relation: prozessrelational produktrelational

Zuordnungsverhältnis:

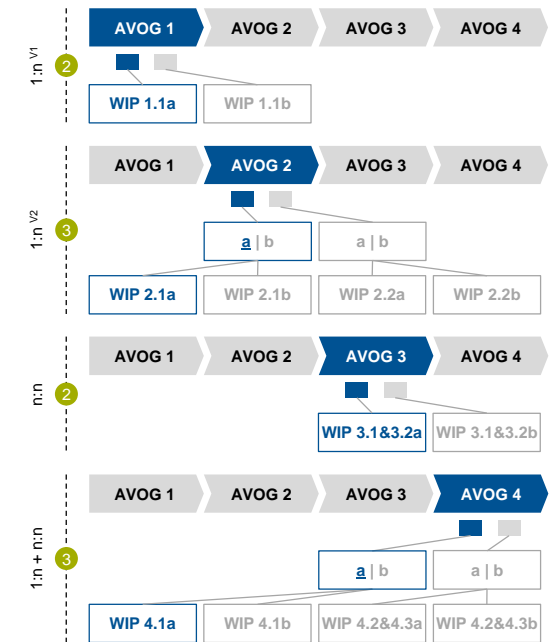
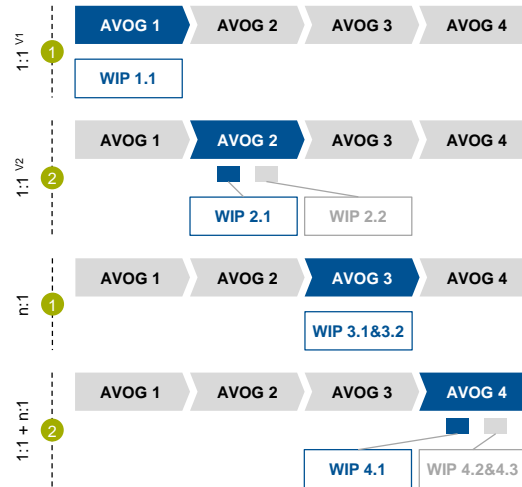
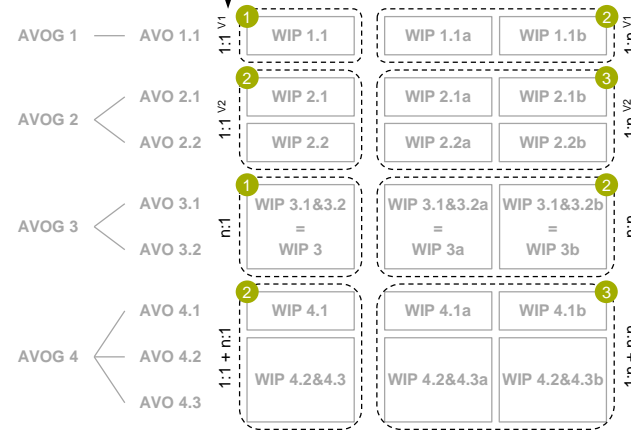


Abbildung 10-7: Konstellationen aus Zuordnungsebene, WIP-Relation und Zuordnungsverhältnis zur Ableitung von drei Anzeigeprinzipien (Teil 1/2)

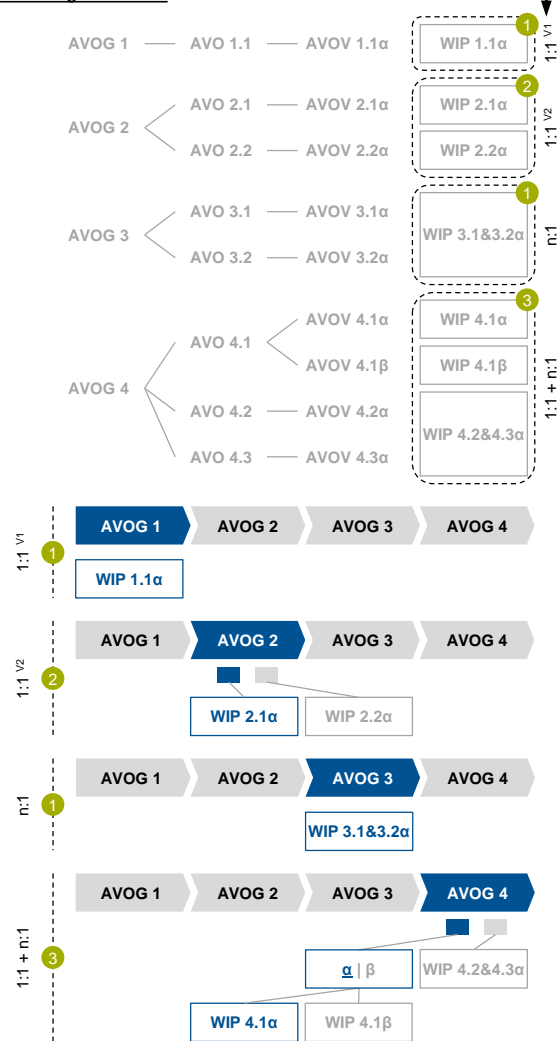
Zuordnungsebene:

Arbeitsvorgangsvarianten

WIP-Relation:

prozess- & produktrelational

Zuordnungsverhältnis:



Per Definition ist bei der AVOV-Ebene kein 1:x möglich, da es keine alternativen Variantenbeschreibungen gibt.

Abbildung 10-8: Konstellationen aus Zuordnungsebene, WIP-Relation und Zuordnungsverhältnis zur Ableitung von drei Anzeigeprinzipien (Teil 2/2)

In Abbildung 10-9 sind Beispiele für jedes der drei Anzeigeprinzipien zusammengestellt.

1 Anzeigeprinzip (1 zu 1)

Kalibriergeräte überreichen



- „Libelle“ IMMER überreichen
- „Reflektor“ NUR wenn FZG mit LGS-Kamera (Lane Guard System) ausgestattet ist
- Falls Kalibriergeräte oder Radhalter beschädigt sind melden
- Falls Kalibriergeräte oder Radhalter hinunter fallen → neu kalibrieren

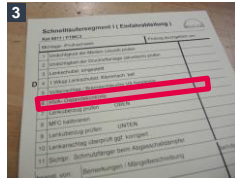
2 Anzeigeprinzip (1 zu n)

Schauglas HVA prüfen * (wenn vorhanden)




- Schauglas je nach Modell von oben oder von unten einsehbar
- Tipp: Wenn HVA vorhanden ist hat VA-Felge hervorstehende Radnabe
- Füllstand der Flüssigkeit innerhalb Toleranz ?
- Ggf. Taschenlampe verwenden

Schauglas HVA prüfen * (wenn vorhanden)



- Stempeln

3 Anzeigeprinzip (1 zu x zu n)



Radhalter montieren

Felgentyp **Vorderachse** auswählen 



blanke Felge VO Blech 1 VO Blech 2 VP Blech (Allrad) TPM Blech

Felge VA „TPM Blech“

- Bleche beachten
- Kurzen Griff gegenüber Ventil (über „A“ von MAN anbringen)

Abbildung 10-9: Beispielhafte Werkerinformationsbereitstellung für drei Anzeigeprinzipien

AVOG-Ketten für rollenspezifische Informationsaufteilung

In Abbildung 10-10 sind beispielhafte AVOG-Ketten mit Kennzeichnung des rollenspezifischen AVOG-Status dargestellt, um die drei in Abschnitt 5.4.1 genannten arbeitsteiligen Montagesituationen ergänzend zu Abbildung 5-28 (Seite 102) vollständig zu erläutern.

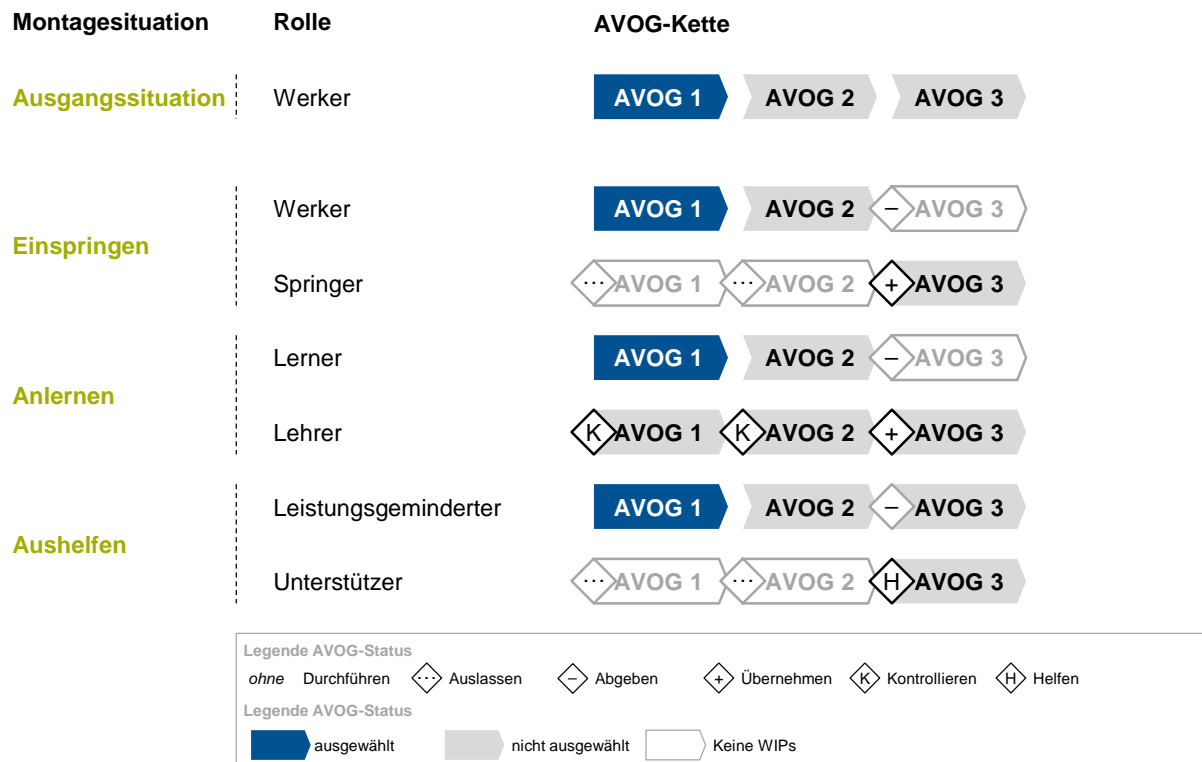


Abbildung 10-10: AVOG-Ketten für unterschiedliche Montagesituationen bei der rollenspezifischen Informationsaufteilung

10.4 Leitfaden Werkerinformation

Der in den drei folgenden Abbildungen präsentierte Leitfaden wurde für die Gestaltung von Werkerinformationen bei der MAN Truck & Bus SE erarbeitet. Die erzeugten Bilder werden in einem browserbasierten Werkerinformationssystem angezeigt. Im ersten Kapitel werden die Vorlagen vorgestellt, die als mit Makros angereicherte PowerPoint-Dateien umgesetzt wurden. Der Umgang mit den Vorlagen wird im zweiten Kapitel erklärt. Abschließend werden im dritten Kapitel Grundelemente vorgestellt, die für mehrere Anwendungsfälle relevant sind.

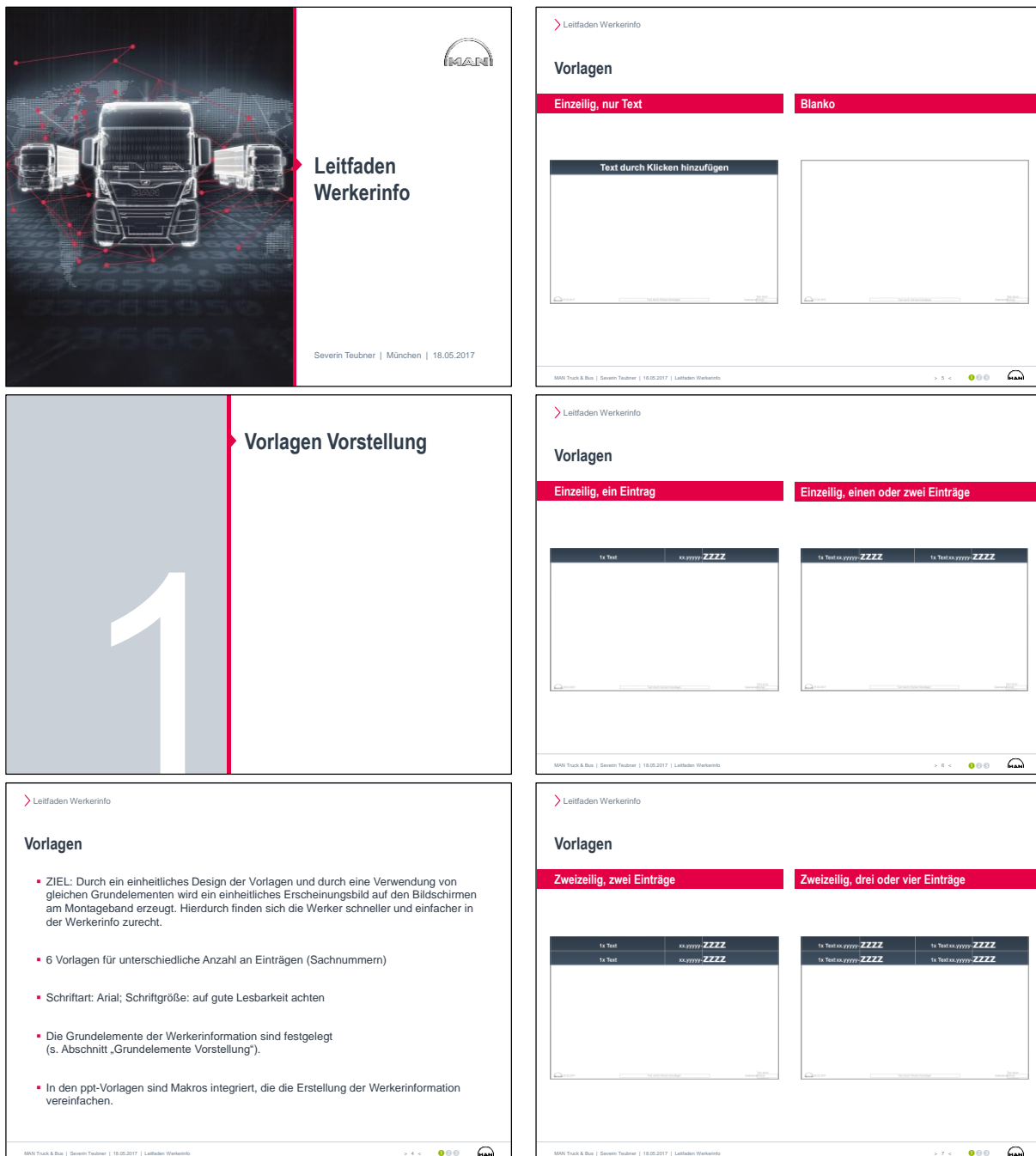


Abbildung 10-11: MAN Leitfaden Werkerinformation – Vorstellung Vorlagen

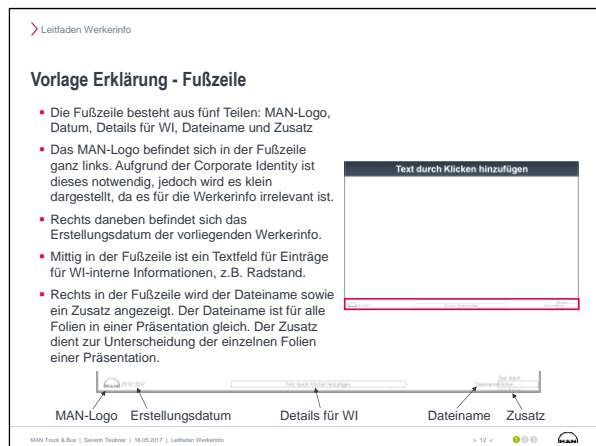
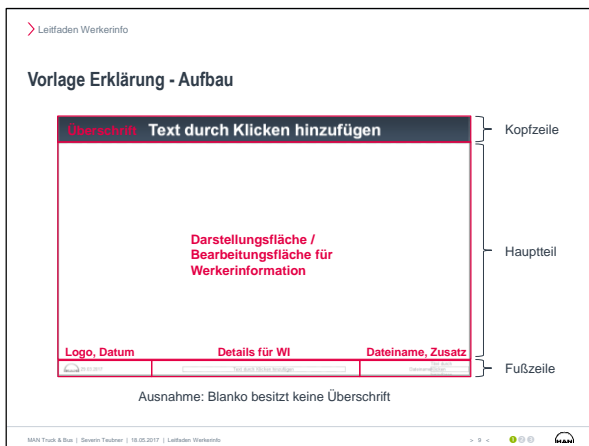
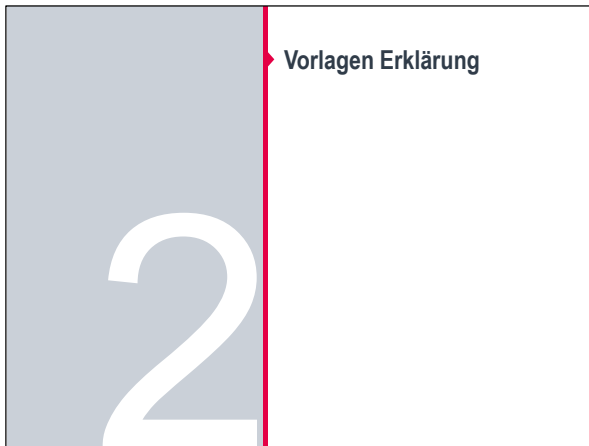


Abbildung 10-12: MAN Leitfaden Werkerinformation – Erklärung Vorlagen

Grundelemente Vorstellung

3

Leitfaden Werkerinfo

Fahrtrichtungs Pfeil

- Die Farbe des Richtungspfeil ist mintgrün.
- Der Richtungspfeil zeigt die Fahrtrichtung in der dargestellten Werkerinformation dar.
- Anhand eines Miniatur-LKW's wird angezeigt, ob sich der LKW in Normallage oder Rücklage befindet.
- Der Richtungspfeil kann anhand von Makros eingefügt werden.
- Die nach links zeigenden Richtungspfeile werden in der linken unteren Ecke der Bearbeitungsfläche positioniert.
- Die nach rechts zeigenden Richtungspfeile werden in der rechten unteren Ecke der Bearbeitungsfläche positioniert.

Mintgrün
R 204
G 255
B 204

Richtungspfeil links Normallage

Richtungspfeil rechts Normallage

Richtungspfeil links Rückenlage

Richtungspfeil rechts Rückenlage

Leitfaden Werkerinfo

Label Sachnummer / Schrauben

Großes Label Sachnummer

1234

Vorzugsgröße: 3,6 x 1,8 cm
Vorzugschriftgröße: 36
Beispielfarbe: Blau aus Farbpalette (s. S. 16)

Kleines Label Sachnummer

1234

Vorzugsgröße: 3,2 x 1,4 cm
Vorzugschriftgröße: 32
Beispielfarbe: Blau aus Farbpalette (s. S. 16)

2x Label Schraubenanzahl

A45

Vorzugsgröße: 1,8 x 1,2 cm
Vorzugschriftgröße: 24

A45

Vorzugsgröße: 1,4 x 1,0 cm
Vorzugschriftgröße: 20

- Die Label der Sachnummer sind rechteckig darzustellen. Die Farbe des Labels sollte der Farbe des dazugehörigen Bauteils ähneln, um den Zusammenhang zu verdeutlichen. Ein heller Farbton und schwarze Schrift ist einem dunklen Farbton und weißer Schrift vorzuziehen. (s. nächste Folie) Die Farbtöne mintgrün und hellgelb dürfen nicht verwendet werden und sind für den Fahrtrichtungs Pfeil und die Achslabel reserviert.
- Die Anzahl der Schrauben wird in MAN-rot dargestellt.
- Die Schraubengröße wird in einem rechteckigen Rahmen angegeben.

Leitfaden Werkerinfo

Label Achsen / Warnhinweis

Hellgelb
R 255
G 255
B 204

Label Achse für Schnittlinie

MVA MHA

Vorzugsgröße: 2,0 x 1,0 cm
Vorzugschriftgröße: 18

MVA MHA

- Die Label der Achsen werden in hellgelb dargestellt.
- Die Textrichtung ist horizontal. Dadurch sind sie gut über Schnittlinien und Bemessungslinien zu platzieren.
- Die Achslabel können über ein Makro eingefügt werden.
- Der Warnhinweise dient der Mitteilung von sehr wichtigen Informationen an den Werker, z.B. bei Maßänderungen oder neuen Varianten.
- Der Warnhinweis kann über ein Makro „o_Warnhinweis“ eingefügt werden.

Achtung!

Leitfaden Werkerinfo

Beispiel Label Sachnummern - Übereinstimmung mit CAD-Farben

Leitfaden Werkerinfo

Lochreihe

1 2 3 4 5

Lochreihe in Rückenlage

1 2 3 4 5

Lochreihe in Normallage

Blau
R 153
G 204
B 255

Rot
R 255
G 000
B 000

Leitfaden Werkerinfo

Farbschema

- Für den Fall, dass keine CAD-Farben verwendet werden (können), stehen 6 Akzentfarben über die Farbpalette MAN_Werkerinfo zur Verfügung. Das Spektrum ergibt sich aus den drei Hauptfarben Rot-Grün-Blau sowie jeweils deren Mischungen.
- Bei der Farbfindung wurden bereits verwendete Farben berücksichtigt und auf einen guten Kontrast von Schriftfarbe zu Hintergrundfarbe geachtet, um die Leserlichkeit und Unterscheidbarkeit zu erhöhen. Zudem wurde ein farblicher Unterschied zu vorhandenen Standardelementen (Fahrtrichtungs Pfeil, Achslabel, etc.) angestrebt.
- Um Unterscheidungsprobleme bei Mitarbeitern mit Rot-Grün-Schwäche zu vermeiden, sollten Rot und Grün nicht nebeneinander verwendet werden.

Rot
R 255
G 164
B 196

Gelb
R 255
G 204
B 000

Blau
R 204
G 236
B 255

Grün
R 090
G 236
B 144

Lila
R 204
G 172
B 255

Türkis
R 144
G 236
B 236

Leitfaden Werkerinfo

Bohrungen, Schrauben, Nieten

	Bohrung frei	
	Schraube von außen nach innen	
	Schraube von innen nach außen	
	Schraube + Länge (für Einbaurichtung gleiches Farbschema wie oben)	
	Niete + Länge	

Abbildung 10-13: MAN Leitfaden Werkerinformation – Vorstellung Grundelemente

10.5 Prototypen

In diesem Abschnitt sind die beispielhaften Datensätze (Abbildung 10-15 bis Abbildung 10-19) und Anzeigefelder (Abbildung 10-20 bis Abbildung 10-27) des Prototypen aus Abschnitt 7.1 (Tablet-App Anbauteile), um einen vollumfänglichen Eindruck der Umsetzung aller acht Systemfunktionen gewinnen zu können. Vorab gibt Abbildung 10-14 einen Überblick zu den AVOG-Ketten der vier Rollen Werker, Springer, Lerner, Lehrer mit deren Qualifikationsstufe sowie den Symbolen zu Änderungs-, Montagefehler- und Kommentarinformationen.

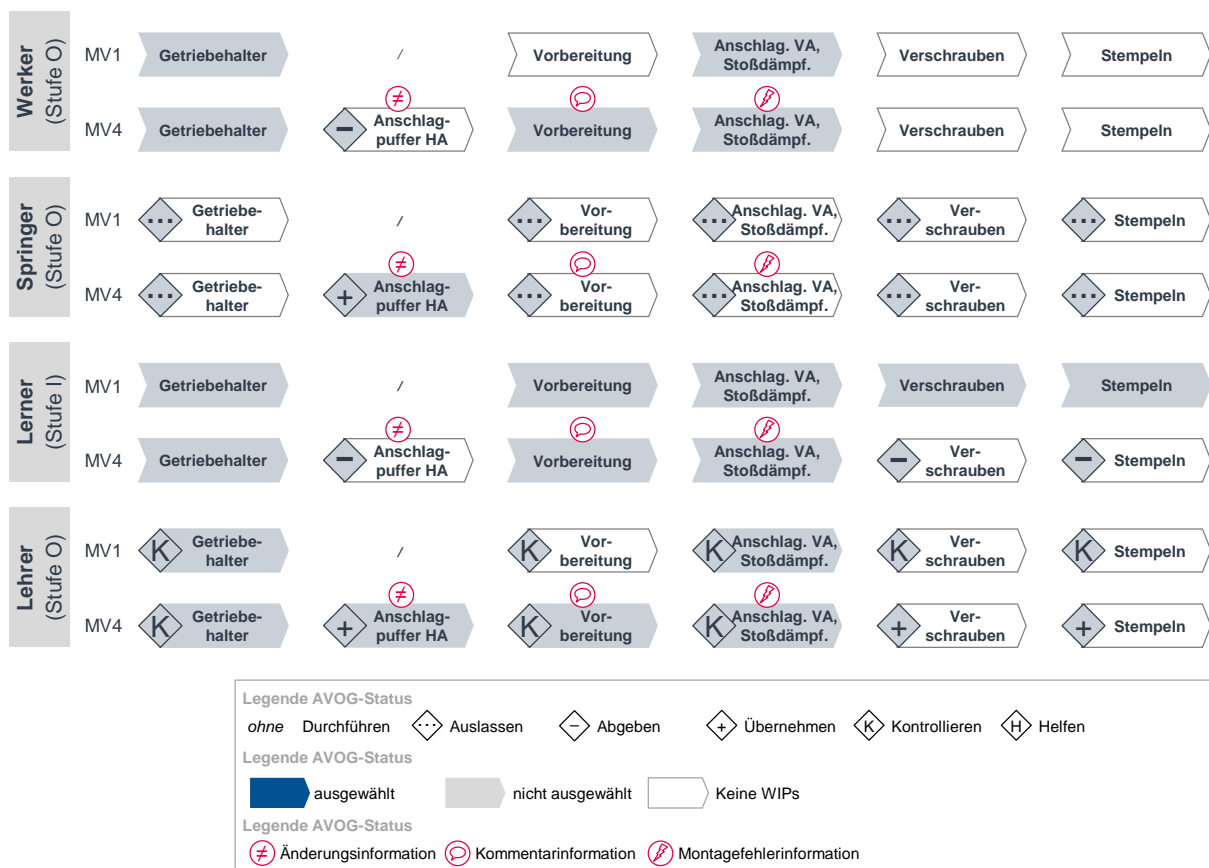


Abbildung 10-14: Übersicht der rollenspezifischen und qualifikationsspezifischen AVOG-Ketten für jeweils zwei Aufträge (Montagevarianten) mit Änderungs-, Montagefehler-, und Kommentarinformationen

montagebereich			
id	bezeichnung	bild	montagebereichsleiter
1	Montagebereich 1	■	Leiter 1

station			
id	bezeichnung	bild	beschreibung
1	Stand 8	■	Anbauteile

arbeitsplatz			
id	bezeichnung	bild	beschreibung
1	MA 1	■	links vorne
2	MA 2	■	links hinten
3	MA 3	■	rechts vorne
4	MA 4	■	rechts hinten
5	Springer	■	flexibel

montagebereich_arbeitsplatz	
montagebereich_id	arbeitsplatz_id
1 (Montagebereich 1)	1 (MA 1)
1 (Montagebereich 1)	2 (MA 2)
1 (Montagebereich 1)	3 (MA 3)
1 (Montagebereich 1)	4 (MA 4)
1 (Montagebereich 1)	Springer

station_arbeitsplatz	
station_id	arbeitsplatz_id
1 (Stand 8)	1 (MA 1)
1 (Stand 8)	2 (MA 2)
1 (Stand 8)	3 (MA 3)
1 (Stand 8)	4 (MA 4)
1 (Stand 8)	5 (Springer)

arbeitsvorgangsgruppe		arbeitsvorgangsgruppe_werkerinformationspaket		werkerinformationspaket	
id	bezeichnung	arbeitsvorgangsgruppe_id	werkerinformationspaket_id	id	bezeichnung
1	AVOG 1	1 (AVOG 1)	1 (WIP 1)	1	WIP 1
2	AVOG 2	2 (AVOG 2)	2 (WIP 2)	2	WIP 2
3	AVOG 3	3 (AVOG 3)	3 (WIP 3)	3	WIP 3
4	AVOG 4	4 (AVOG 4)	4 (WIP 4)	4	WIP 4
5	AVOG 5	5 (AVOG 5)	5 (WIP 5)	5	WIP 5
6	AVOG 6	6 (AVOG 6)	6 (WIP 6)	6	WIP 6
				7	WIP 1.1
				8	WIP 1.2
				9	WIP 2.1
				10	WIP 2.2
				11	WIP 2.3
				12	WIP 3.1
				13	WIP 4.1
				14	WIP 4.2
				15	WIP 4.3
				16	WIP 4.4
				17	WIP 5.1
				18	WIP 6.1

arbeitsvorgang			arbeitsvorgang_werkerinformationspaket	
id	bezeichnung	arbeitsvorgangsgruppe_id	arbeitsvorgang_id	werkerinformationspaket_id
1	AVO 1.1	1 (AVOG 1)	1 (AVO 1.1)	7 (WIP 1.1)
2	AVO 1.2	1 (AVOG 1)	2 (AVO 1.2)	8 (WIP 1.2)
3	AVO 2.1	2 (AVOG 2)	3 (AVO 2.1)	9 (WIP 2.1)
4	AVO 2.2	2 (AVOG 2)	4 (AVO 2.2)	10 (WIP 2.2)
5	AVO 2.3	2 (AVOG 2)	5 (AVO 2.3)	11 (WIP 2.3)
6	AVO 3.1	3 (AVOG 3)	6 (AVO 3.1)	12 (WIP 3.1)
7	AVO 4.1	4 (AVOG 4)	7 (AVO 4.1)	13 (WIP 4.1)
8	AVO 4.2	4 (AVOG 4)	8 (AVO 4.2)	14 (WIP 4.2)
9	AVO 4.3	4 (AVOG 4)	9 (AVO 4.3)	15 (WIP 4.3)
10	AVO 4.4	4 (AVOG 4)	10 (AVO 4.4)	16 (WIP 4.4)
11	AVO 5.1	5 (AVOG 5)	11 (AVO 5.1)	17 (WIP 5.1)
12	AVO 6.1	6 (AVOG 6)	12 (AVO 6.1)	18 (WIP 6.1)

Abbildung 10-15: Datensätze (Teil 1/5)

arbeitsvorgangsvariante				arbeitsvorgangsvariante_ werkerinformationspaket			werkerinformationspaket (Fortsetzung)	
id	bezeichnung	arbeitsvorgang_id	arbeitsplatz_id	arbeitsvorgangsvariante_id	werkerinformationspaket_id	montagevariante_id	id	bezeichnung
1	AVOV 1.1α	1 (AVO 1.1)	1 (MA 1)	1 (AVOV 1.1α)	19 (WIP 1.1α)	1 (Montagevariante 1)	19	WIP 1.1α
2	AVOV 1.1β	1 (AVO 1.1)	1 (MA 1)	1 (AVOV 1.1α)	19 (WIP 1.1α)	2 (Montagevariante 2)	20	WIP 1.1β
3	AVOV 1.2α	2 (AVO 1.2)	1 (MA 1)	1 (AVOV 1.1α)	19 (WIP 1.1α)	3 (Montagevariante 3)	21	WIP 1.2α
4	AVOV 1.2β	2 (AVO 1.2)	1 (MA 1)	2 (AVOV 1.1β)	20 (WIP 1.1β)	4 (Montagevariante 4)	22	WIP 1.2β
5	AVOV 2.1α	3 (AVO 2.1)	1 (MA 1)	3 (AVOV 1.2α)	21 (WIP 1.2α)	1 (Montagevariante 1)	23	WIP 2.1α
6	AVOV 2.2α	4 (AVO 2.2)	1 (MA 1)	3 (AVOV 1.2α)	21 (WIP 1.2α)	2 (Montagevariante 2)	24	WIP 2.2α
7	AVOV 2.3α	5 (AVO 2.3)	1 (MA 1)	3 (AVOV 1.2α)	21 (WIP 1.2α)	3 (Montagevariante 3)	25	WIP 2.3α
8	AVOV 3.1α	6 (AVO 3.1)	1 (MA 1)	4 (AVOV 1.2β)	22 (WIP 1.2β)	4 (Montagevariante 4)	26	WIP 3.1α
9	AVOV 3.1β	6 (AVO 3.1)	1 (MA 1)	5 (AVOV 2.1α)	23 (WIP 2.1α)	4 (Montagevariante 4)	27	WIP 3.1β
10	AVOV 4.2α	8 (AVO 4.2)	1 (MA 1)	6 (AVOV 2.2α)	24 (WIP 2.2α)	4 (Montagevariante 4)	28	WIP 4.2α
11	AVOV 4.2β	8 (AVO 4.2)	1 (MA 1)	7 (AVOV 2.3α)	25 (WIP 2.3α)	4 (Montagevariante 4)	29	WIP 4.2β
12	AVOV 4.2γ	8 (AVO 4.2)	1 (MA 1)	8 (AVOV 3.1α)	26 (WIP 3.1α)	1 (Montagevariante 1)	30	WIP 4.2γ
13	AVOV 4.2δ	8 (AVO 4.2)	1 (MA 1)	8 (AVOV 3.1α)	26 (WIP 3.1α)	2 (Montagevariante 2)	31	WIP 4.2δ
14	AVOV 4.4α	10 (AVO 4.4)	1 (MA 1)	8 (AVOV 3.1α)	26 (WIP 3.1α)	3 (Montagevariante 3)	32	WIP 4.4α
				9 (AVOV 3.1β)	27 (WIP 3.1β)	4 (Montagevariante 4)		
				10 (AVOV 4.2α)	28 (WIP 4.2α)	1 (Montagevariante 1)		
				11 (AVOV 4.2β)	29 (WIP 4.2β)	2 (Montagevariante 2)		
				12 (AVOV 4.2γ)	30 (WIP 4.2γ)	3 (Montagevariante 3)		
				13 (AVOV 4.2δ)	31 (WIP 4.2δ)	4 (Montagevariante 4)		
				14 (AVOV 4.4α)	32 (WIP 4.4α)	4 (Montagevariante 4)		

werkerinformationsklasse		werkerinformationsaspekt		werkerinformationsmodus	
id	bezeichnung	id	bezeichnung	id	bezeichnung
1	Aktivität	1	ohne	1	Text
2	Warnung	2	Was_Prozess	2	Bild
3	Hinweis	3	Was_Komponente	3	Video
4	Änderung	4	Wodurch		
5	Montagefehler	5	Wohin		
6	Kommentar	6	Welche>Weise		
7	Erläuterung				

produkt		montageauftrag			montagevariante		montagevariante_produkt		
id	bezeichnung	id	bezeichnung	montagezeitpunkt	produkt_id	id	bezeichnung	montagevariante_id	produkt_id
1	06X-1234	1	0001	15.06.2020 – 06:15:00	1 (06X-1234)	1	Montagevariante 1	1 (Montagevariante 1)	1 (06X-1234)
2	06X-5678	2	0002	15.06.2020 – 06:20:00	2 (06X-5678)	2	Montagevariante 2	1 (Montagevariante 1)	2 (06X-5678)
3	18S-1234	3	0003	15.06.2020 – 06:25:00	3 (18S-1234)	3	Montagevariante 3	2 (Montagevariante 2)	3 (18S-1234)
4	22X-1234	4	0004	15.06.2020 – 06:30:00	4 (22X-1234)	4	Montagevariante 4	3 (Montagevariante 3)	4 (22X-1234)
5	37S-1234	5	0005	15.06.2020 – 06:35:00	5 (37S-1234)			4 (Montagevariante 4)	5 (37S-1234)
6	39S-1234	6	0006	15.06.2020 – 06:40:00	6 (39S-1234)			4 (Montagevariante 4)	6 (39S-1234)

Abbildung 10-16: Datensätze (Teil 2/5)

werkerinformation					
id	werkerinformations-paket_id	werkerinformations-klasse_id	werkerinformations-aspekt_id	werkerinformations-modus_id	information
1	1 (WIP 1)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	Getriebehälter montieren
2	2 (WIP 2)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	Anschlagpuffer HA montieren
3	3 (WIP 3)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	Anschlagpuffer VA & Stoßdämpferhalter vorbereiten
4	4 (WIP 4)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	Anschlagpuffer VA & Stoßdämpferhalter montieren
5	5 (WIP 5)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	Schrauben festziehen
6	6 (WIP 6)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	Fahrzeugprotokoll stempeln
7	7 (WIP 1.1)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	Schrauben und Muttern aus Regal holen
8	7 (WIP 1.1)	1 (Aktivität)	3 (Was_Komponente)	2 (Bild)	■ Schrauben, Muttern
9	8 (WIP 1.2)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	Schrauben nach Lochbild stecken und heften
10	9 (WIP 2.1)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	Schrauben und Muttern aus Regal holen; Anschlagpuffer HA vom Bandwagen holen und auf Rahmen platzieren
11	10 (WIP 2.2)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	1. Anschlagpuffer HA mit Schrauben positionieren und heften
12	11 (WIP 2.3)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	2. Anschlagpuffer HA mit Schrauben positionieren und heften
13	12 (WIP 3.1)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	Schrauben und Muttern aus Regal holen; Anschlagpuffer VA und Stoßdämpferhalter vom Bandwagen holen und auf Rahmen platzieren
14	13 (WIP 4.1)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	1. Anschlagpuffer VA mit Schrauben über VA positionieren und heften
15	14 (WIP 4.2)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	2. Anschlagpuffer VA mit Schrauben positionieren und heften
16	15 (WIP 4.3)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	Stoßdämpferhalter mit Schrauben positionieren und heften
17	16 (WIP 4.4)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	zusätzlichen Stoßdämpferhalter mit Schrauben positionieren und heften
18	17 (WIP 5.1)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	Alle gehefteten Schrauben mit Druckluftschrauber auf 320 Nm festziehen
19	17 (WIP 5.1)	1 (Aktivität)	4 (Wodurch)	2 (Bild)	■ Druckluftschrauber
20	18 (WIP 6.1)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	Zwei Stempel auf der ersten Seite des Fahrzeugprotokolls anbringen
21	19 (WIP 1.1α)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	8 Schrauben und 8 Muttern aus Regal holen
22	20 (WIP 1.1β)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	16 Schrauben und 16 Muttern aus Regal holen
23	21 (WIP 1.2α)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	8 Schrauben nach Lochbild stecken und heften
24	21 (WIP 1.2α)	1 (Aktivität)	5 (Wohin)	2 (Bild)	■ Lochbild 8
25	22 (WIP 1.2β)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	16 Schrauben nach Lochbild stecken und heften
26	22 (WIP 1.2β)	1 (Aktivität)	5 (Wohin)	2 (Bild)	■ Lochbild 16
27	23 (WIP 2.1α)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	Schrauben und Muttern aus Regal holen; 2 Anschlagpuffer HA vom Bandwagen holen und auf Rahmen platzieren
28	23 (WIP 2.1α)	1 (Aktivität)	3 (Was_Komponente)	2 (Bild)	■ Anschlagpuffer HA
29	24 (WIP 2.2α)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	1. Anschlagpuffer HA mit Schrauben positionieren und heften
30	24 (WIP 2.2α)	1 (Aktivität)	5 (Wohin)	2 (Bild)	■ Anschlagpufferposition 1
31	25 (WIP 2.3α)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	2. Anschlagpuffer HA mit Schrauben positionieren und heften
32	25 (WIP 2.3α)	1 (Aktivität)	5 (Wohin)	2 (Bild)	■ Anschlagpufferposition 2
33	26 (WIP 3.1α)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	Schrauben und Muttern aus Regal holen; 2 Anschlagpuffer VA und 1 Stoßdämpferhalter vom Bandwagen holen und auf Rahmen platzieren
34	26 (WIP 3.1α)	1 (Aktivität)	3 (Was_Komponente)	2 (Bild)	■ Schrauben, Muttern, 2 Anschlagpuffer, 1 Stoßdämpferhalter
35	27 (WIP 3.1β)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	Schrauben und Muttern aus Regal holen; 2 Anschlagpuffer VA und 2 Stoßdämpferhalter vom Bandwagen holen und auf Rahmen platzieren
36	27 (WIP 3.1β)	1 (Aktivität)	3 (Was_Komponente)	2 (Bild)	■ Schrauben, Muttern, 2 Anschlagpuffer, 1 Stoßdämpferhalter

Abbildung 10-17: Datensätze (Teil 3/5)

Werkerinformation (Fortsetzung)

id	werkerinformations-paket_id	werkerinformations-klasse_id	werkerinformations-aspekt_id	werkerinformations-modus_id	information
37	28 (WIP 4.2α)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	2. Anschlagpuffer VA mit Schrauben positionieren und heften
38	28 (WIP 4.2α)	1 (Aktivität)	5 (Wohin)	2 (Bild)	■ Anschlagpufferposition 2
39	29 (WIP 4.2β)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	2. Anschlagpuffer VA mit Schrauben positionieren und heften
40	29 (WIP 4.2β)	1 (Aktivität)	5 (Wohin)	2 (Bild)	■ Anschlagpufferposition 2
41	30 (WIP 4.2γ)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	2. Anschlagpuffer VA mit Schrauben positionieren und heften
42	30 (WIP 4.2γ)	1 (Aktivität)	5 (Wohin)	2 (Bild)	■ Anschlagpufferposition 2
43	31 (WIP 4.2δ)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	2. Anschlagpuffer VA mit Schrauben positionieren und heften
44	31 (WIP 4.2δ)	1 (Aktivität)	5 (Wohin)	2 (Bild)	■ Anschlagpufferposition 2
45	32 (WIP 4.4α)	1 (Aktivität)	2 (Was_Prozess), 3 (Was_Komponente)	1 (Text)	2. Stoßdämpferhalter mit Schrauben positionieren und heften
46	32 (WIP 4.4α)	1 (Aktivität)	5 (Wohin)	2 (Bild)	■ Stoßdämpferhalterposition 2
47	17 (WIP 5.1)	2 (Warnung)	ohne	1 (Text)	Achtung Quetschgefahr
48	18 (WIP 6.1)	3 (Hinweis)	ohne	1 (Text)	Das Fahrzeugprotokoll befindet sich auf dem FTS
49	21 (WIP 1.2α)	7 (Erläuterung)	5 (Wohin)	1 (Text)	Blauer Punkt: Schrauben von innen; Grüner Punkt: Schrauben von außen; Roter Punkt: keine Schrauben
50	24 (WIP 2.2α)	4 (Änderung)	5 (Wohin)	2 (Bild)	■ Hervorhebung Anschlagpufferposition 1
51	26 (WIP 3.1β)	6 (Kommentar)	3 (Was_Komponente)	1 (Text)	Bitte die separate Anlieferung der Vorserienkomponenten beachten
52	32 (WIP 4.4α)	5 (Montagefehler)	5 (Wohin)	2 (Bild)	■ Hervorhebung Fehlergefahr

änderungstyp

id	bezeichnung
1	einmalig
2	temporär
3	dauerhaft

änderung

id	bezeichnung	änderungstyp_id	werkerinformation_id	gültig_von	gültig_bis
1	Positions- änderung	dauerhaft	50	15.06.2020 – 06:15:00	ohne Zeitpunkt

montagefehlertyp

id	bezeichnung
1	reaktiv
2	präventiv

montagefehler

id	bezeichnung	montagefehlertyp_id	werkerinformation_id	gültig_von	gültig_bis
1	Positions- verwechslung	präventiv	52	15.06.2050 – 06:15:00	18.06.2020 – 15:00:00

montagefehleranzeigezeitpunkt

id	montagefehler_id	anzeigezeitpunkt
1	1 (Positions- verwechslung)	15.06.2020 – 06:35:00
2	1 (Positions- verwechslung)	15.06.2020 – 06:40:00

änderungsanzeigezeitpunkt

id	änderung_id	anzeigezeitpunkt
1	1 (Positionsänderung)	15.06.2020 – 06:35:00
2	1 (Positionsänderung)	15.06.2020 – 06:40:00

kommentartyp

id	bezeichnung
1	produkt- bezogen
2	prozess- bezogen

kommentar

id	bezeichnung	kommentar- typ_id	werkerinformation_id	gültig_von	gültig_bis
1	Vorserienprodukt	produktbezogen	51	15.06.2050 – 06:15:00	26.06.2020 – 15:00:00

Abbildung 10-18: Datensätze (Teil 4/5)

rolle		avog-status		arbeitsvorgangsgruppe_rolle_avog-status		
id	bezeichnung	id	bezeichnung	arbeitsvorgangsgruppe_id	rolle_id	avog-status_id
1	Werker	1	Durchführen	1 (AVOG 1)	1 (Werker)	1 (Durchführen)
2	Springer	2	Auslassen	2 (AVOG 2)	1 (Werker)	3 (Abgeben)
3	Lerner	3	Abgeben	3 (AVOG 3)	1 (Werker)	1 (Durchführen)
4	Lehrer	4	Übernehmen	4 (AVOG 4)	1 (Werker)	1 (Durchführen)
5	Leistungs-geminderter	5	Kontrollieren	5 (AVOG 5)	1 (Werker)	1 (Durchführen)
6	Unterstützer	6	Helfen	6 (AVOG 6)	1 (Werker)	1 (Durchführen)
				1 (AVOG 1)	3 (Lerner)	1 (Durchführen)
				2 (AVOG 2)	3 (Lerner)	3 (Abgeben)
				3 (AVOG 3)	3 (Lerner)	1 (Durchführen)
				4 (AVOG 4)	3 (Lerner)	1 (Durchführen)
				5 (AVOG 5)	3 (Lerner)	3 (Abgeben)
				6 (AVOG 6)	3 (Lerner)	1 (Durchführen)

qualifikation	
id	bezeichnung
1	Stufe I (AP bekannt)
2	Stufe L (Qualität ok)
3	Stufe U (Qualität + Quantität ok)
4	Stufe O (kann Anlernen)

anlernlevel		werker_arbeitsvorgang_anlernlevel		
id	bezeichnung	werker_id	arbeitsvorgang_id	anlernlevel_id
1	lernend	3 (Mario Rossi)	1 (AVO 1.1)	2 (gelernt)
2	gelernt	3 (Mario Rossi)	2 (AVO 1.2)	2 (gelernt)
		3 (Mario Rossi)	3 (AVO 2.1)	1 (lernend)
		3 (Mario Rossi)	4 (AVO 2.2)	1 (lernend)
		3 (Mario Rossi)	5 (AVO 2.3)	1 (lernend)
		3 (Mario Rossi)	6 (AVO 3.1)	2 (gelernt)
		3 (Mario Rossi)	7 (AVO 4.1)	2 (gelernt)
		3 (Mario Rossi)	8 (AVO 4.2)	2 (gelernt)
		3 (Mario Rossi)	9 (AVO 4.3)	2 (gelernt)
		3 (Mario Rossi)	10 (AVO 4.4)	2 (gelernt)
		3 (Mario Rossi)	11 (AVO 5.1)	1 (lernend)
		3 (Mario Rossi)	12 (AVO 6.1)	1 (lernend)

werker	
id	bezeichnung
1	Max Mustermann
2	John Doe
3	Mario Rossi
4	Maria Tade

werker_arbeitsplatz_qualifikation			
id	werker_id	arbeitsplatz_id	qualifikation_id
1	1 (Max Mustermann)	1 (MA 1)	3 (Stufe O)
2	2 (John Doe)	1 (MA 1)	4 (Stufe O)
3	3 (Mario Rossi)	1 (MA 1)	3 (Stufe I)
4	4 (Maria Tade)	1 (MA 1)	4 (Stufe O)

werker_arbeitsplatz				
id	werker_id	arbeitsplatz_id	zeitpunkt_von	zeitpunkt_bis
1	3 (Mario Rossi)	1 (MA 1)	15.06.2020 – 06:15:00	15.06.2020 – 15:00:00
2	3 (Mario Rossi)	1 (MA 1)	16.06.2020 – 06:15:00	16.06.2020 – 15:00:00
3	3 (Mario Rossi)	1 (MA 1)	17.06.2020 – 06:15:00	17.06.2020 – 15:00:00
4	3 (Mario Rossi)	1 (MA 1)	18.06.2020 – 06:15:00	18.06.2020 – 15:00:00

Abbildung 10-19: Datensätze (Teil 5/5)

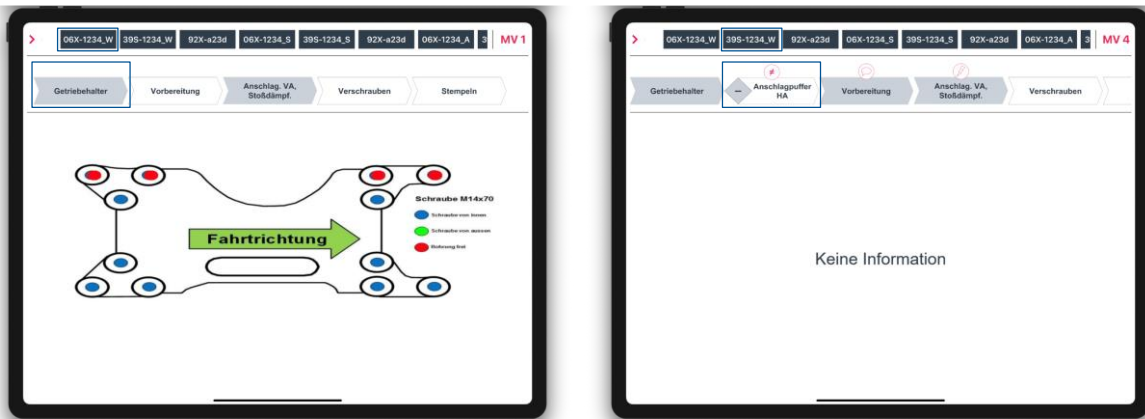


Abbildung 10-20: Anzeige für Werker der Qualifikationsstufe O

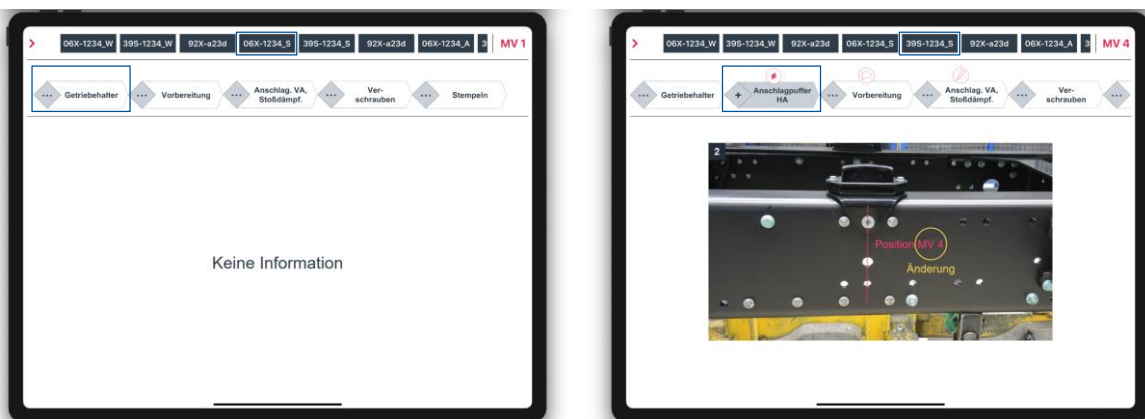


Abbildung 10-21: Anzeige für Springer der Qualifikationsstufe O mit Änderungsinformation

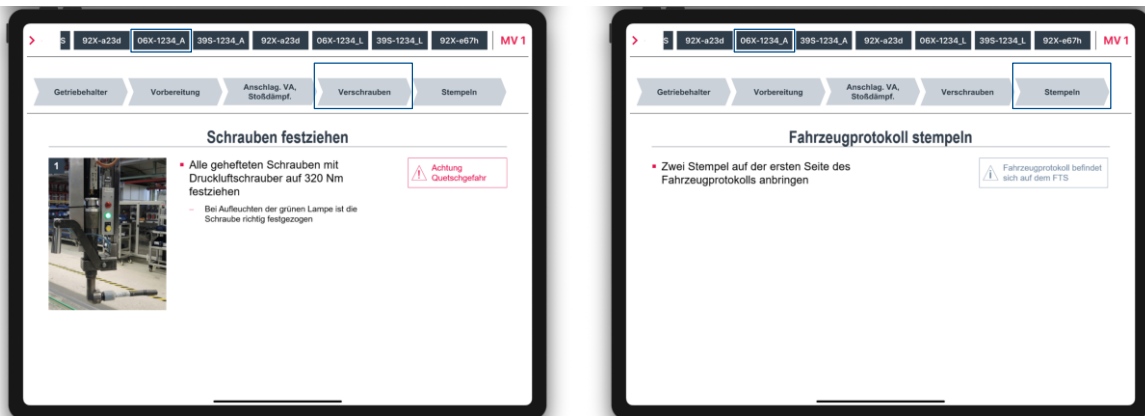


Abbildung 10-22: Anzeige für Lerner der Qualifikationsstufe I mit Warnungs- und Hinweisinformationen

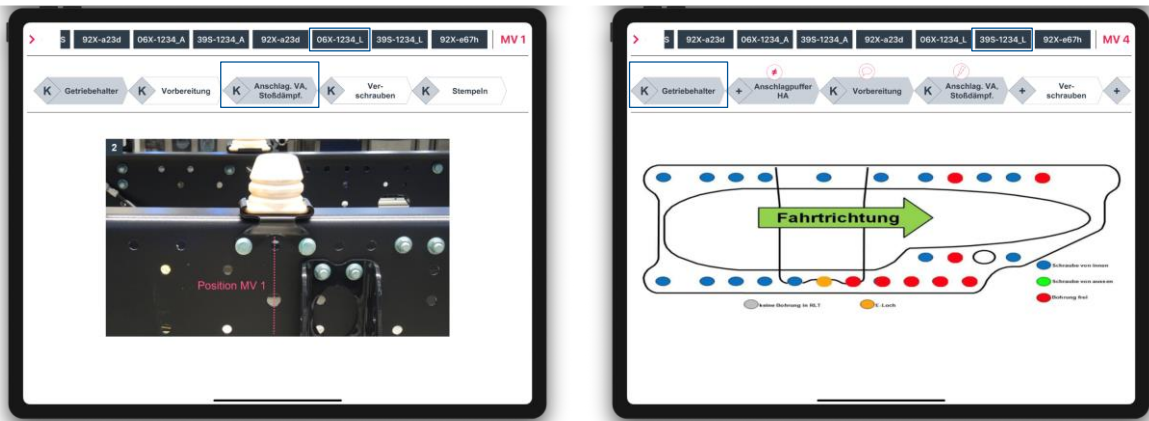


Abbildung 10-23: Anzeige für Lehrer mit Qualifikationsstufe O

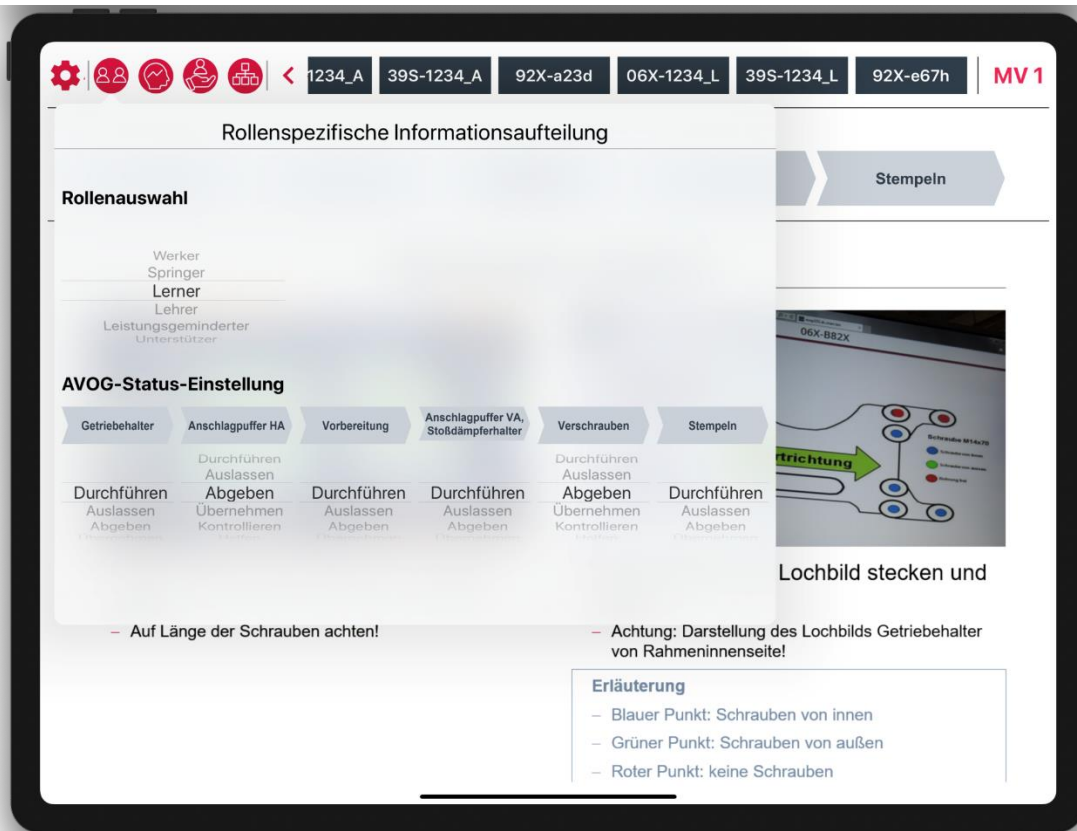


Abbildung 10-24: Einstellungsfeld für die rollenspezifische Informationsselektion und Erläuterungsinformationen im Hintergrund

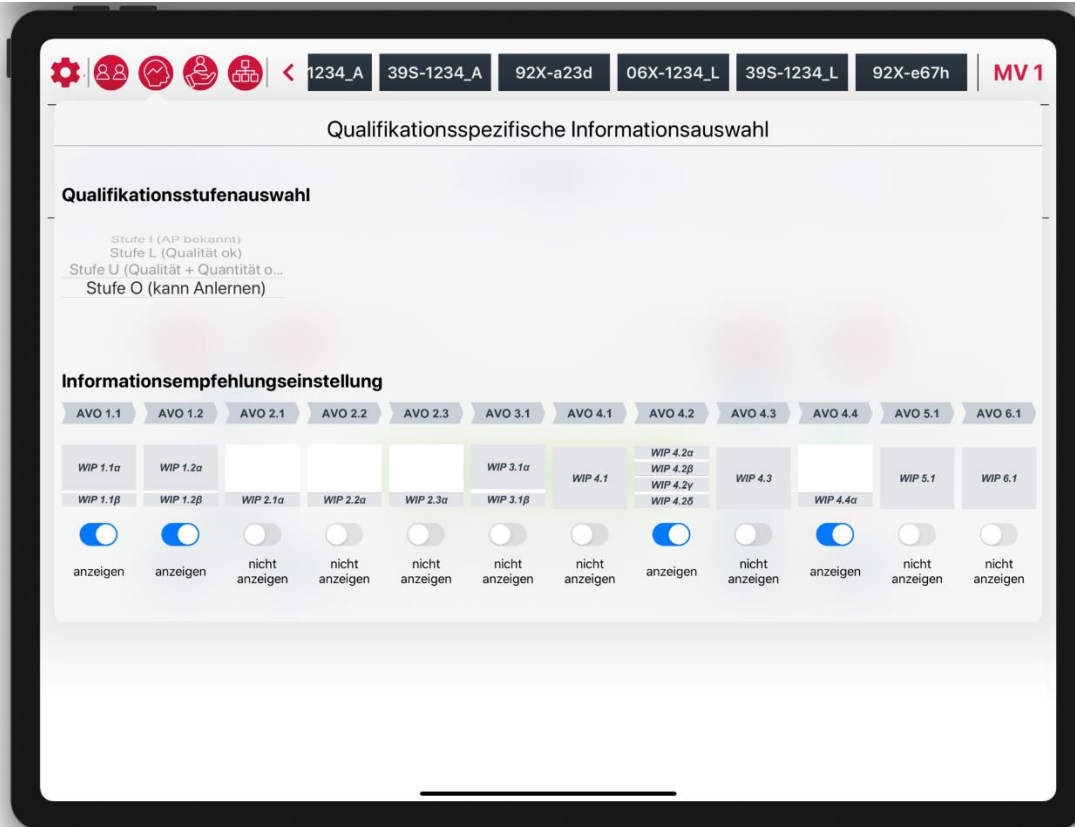


Abbildung 10-25: Einstellungsfeld für die qualifikationsspezifische Informationsauswahl

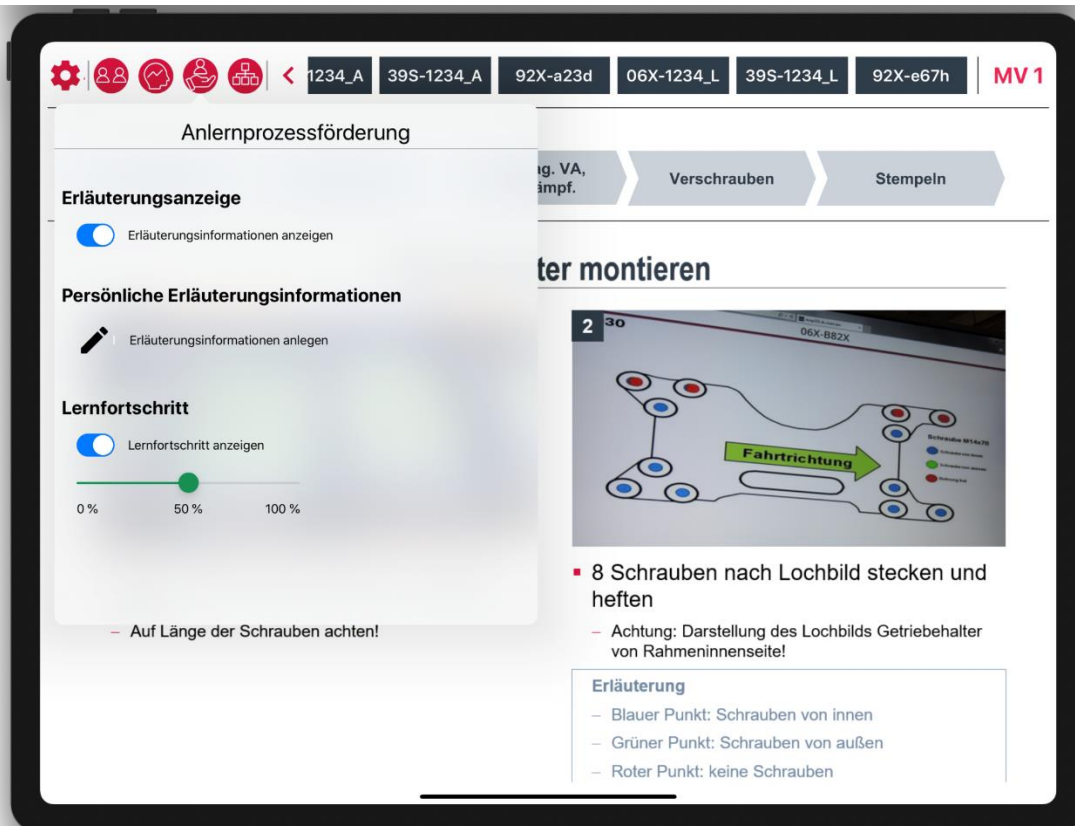


Abbildung 10-26: Einstellungsfeld für die Anlernprozessförderung

Variantentransparenzunterstützung

1234_A 39S-1234_A 92X-a23d 06X-1234_L 39S-1234_L 92X-e67h MV 1

Häufigkeitsdiagramm

Montagevarianten und Produktvarianten	Allgemeine Häufigkeit	Individuelle Häufigkeit
MV 1 06X-1234 06X-5678 Referenzvariante	High	Medium
MV 2 18S-1234	Medium	Low
MV 3 22X-1234	Low	Very Low
MV 4 37S-1234 39S-1234	Low	None

– Auf Länge der Schrauben achten!

g. VA, ämpf. Verschrauben Stempeln

ter montieren

2 30 06X-B82X

Fahrtrichtung

- 8 Schrauben nach Lochbild stecken und heften
- Achtung: Darstellung des Lochbilds Getriebehälter von Rahmeninnenseite!

Erläuterung

- Blauer Punkt: Schrauben von innen
- Grüner Punkt: Schrauben von außen
- Roter Punkt: keine Schrauben

Abbildung 10-27: Einstellungsfeld für die Variantentransparenzunterstützung

10.6 Wissenschaftliche Methoden

10.6.1 Literaturrecherche

Um bei der Vielzahl an Veröffentlichungskanälen und Literaturangeboten nicht von der Masse an Informationen überwältigt zu werden, aber gleichzeitig einen hinreichend umfassenden Einblick zu gewinnen, ist eine systematische Vorgehensweise bei der Recherche notwendig. Neben dem ordnenden Rahmen, welchen es dem Anwender bietet, ergeben sich weitere Vorteile. Zunächst wird eine unbeabsichtigte Befangenheit oder einseitig gelagerte beziehungsweise ungleichmäßige Suche verhindert. Darüber hinaus ist die Suchmethodik reproduzierbar und transparent für aufbauende wissenschaftliche Arbeiten. Drittens lassen sich Filter definieren, die den subjektiven Einfluss bei der Literatursuche mindern. (Technische Universität München 2019)

Das für diese Arbeit verwendete Vorgehen setzt sich aus drei Schritten zusammen. Zuerst wird das Thema der Recherche, dann die zu berücksichtigenden Informationsquellen und schließlich der Filterungsprozess definiert. Das Ziel ist die Generierung einer Literaturliste, deren intensive Lektüre mit Hinblick auf die Beantwortung der Forschungsfrage lohnenswert erscheint.

Für die Definition des Recherchethemas wurden aus der Forschungsfrage Suchaspekte abgeleitet. Zu jedem der Aspekte ist eine Liste mit Synonymen zusammengestellt worden (Tabelle 10-2). Diese Suchbegriffe spannen ein engmaschiges Netz auf, mit dem sichergestellt werden soll, dass alle relevanten Veröffentlichungen eingefangen werden.

Als zweites folgt die Definition der Informationsquellen. In diesem Fall wurden der Katalog der Universitätsbibliothek der Technischen Universität München und die Institutsbibliothek überprüft. Außerdem berücksichtigt wurden ausgewählte Datenbanken und Zeitschriften (Tabelle 10-3). Enthielt die gefundene Literatur interessante Quellenangaben und Querverweise, war deren Relevanz ebenfalls im folgenden Filterungsprozess zu überprüfen. Ausgewählte Informationsquellen (Tabelle 10-4 bis Tabelle 10-7) wurden aufgrund ihrer thematischen Nähe und Bedeutung nicht der stichwortbasierten Filterung sondern einer vollständigen Durchsicht auf relevante Veröffentlichungen unterzogen.

Der dritte Schritt definiert den Filterungsprozess zur Auswahl der lesenswerten Literatur. Die Suchanfragen für Synonyme zum gleichen Suchaspekt werden mit Oder-Verknüpfungen, die Anfragen zu unterschiedlichen Suchaspekten mit Und-Verknüpfungen gekoppelt. Die weiteren Filterungsstufen haben qualitativen Charakter:

- Die Literatur muss qualitativ hochwertig sein (ausreichende Quellenangaben, seriöser Verlag/Herausgeber, qualifizierte Autoren).
- Die Literatur muss ein vertrauenswürdige Publikationsformat sein (bspw. Monographie, Sammelwerk, Dissertation, Journal-Artikel oder Konferenz-Beitrag).
- Suchbegriffe müssen im Abstrakt, in der Zusammenfassung oder gegebenenfalls in den Schlagworten enthalten sein.
- Suchbegriffe müssen im Haupttext in einem (Sinn-)Zusammenhang stehen.

Bei der auf diese Weise gesammelten Literatur erscheint eine tiefergehende Inspektion sinnvoll, die schlussendlich über die Aufnahme in die Literaturliste entscheidet. Beispielsweise kann der Forschungszweck der Literatur derart anders gerichtet sein, sodass ein Erkenntnisgewinn aus der angewendeten Vorgehensweise und/oder der resultierenden Ergebnisse nicht möglich erscheint.

Im Anschluss an den Filterungsprozess als letzten Schritt der systematischen Literaturrecherche folgt die Rezension der Literatur aus der recherchierten Liste. Das engmaschige Netz der Suchbegriffe hat zu einer Erweiterung des Suchfeldes über die eigentliche Forschungsfrage hinaus geführt. Nach der intensiven Lektüre der Literatur wird eine Auswahl im Stand der Forschung präsentiert. Dabei wurden projekt- oder autorenbasiert Cluster gebildet, die Veröffentlichungen zusammenfassen und je nach Beitrag zur vorliegenden Zielsetzung in Priorität A, B oder C kategorisiert werden. Cluster der Priorität A umfassen Forschungsprojekte und Autoren mit sehr relevanten Veröffentlichungen. Die Publikationen der Prio-B-Cluster sind teilweise relevant. C-Cluster beinhalten das Forschungsprojekt tangierende Beiträge. Cluster der Priorität A und B werden im Stand der Forschung (Abschnitt 3.1 beziehungsweise 3.2) vorgestellt. Tabelle 10-6 enthält neben als A oder B kategorisierten Projekten auch Forschungsprojekte, die als C-Cluster definiert worden sind, aber der Vollständigkeit halber nicht unbemerkt bleiben sollen.

Das Vorgehen der systematischen Literaturrecherche in drei Schritten und der darauf folgenden Rezension wird in Abbildung 10-28 dargestellt. Die Methodik und deren Beschreibung wurden von der Masterarbeit des Autors (KREUELS 2014, S. 6-8), die unter der Betreuung von Herrn Dr. Christian Plehn (vergleiche auch PLEHN 2016, S. 33-35) entstanden ist, adaptiert.

Für eine differenzierte Zitation werden in dieser Arbeit zwei Fälle unterschieden. Wenn der Quellnachweis innerhalb des Satzes, also vor dem abschließenden Punkt, genannt ist, gilt er ausschließlich für den entsprechenden Satz. Befindet sich die Quellangabe hinter dem Punkt, gilt sie hingegen für den gesamten Absatz.

Bei der Recherche wurden Veröffentlichungen bis einschließlich Juni 2020 berücksichtigt.

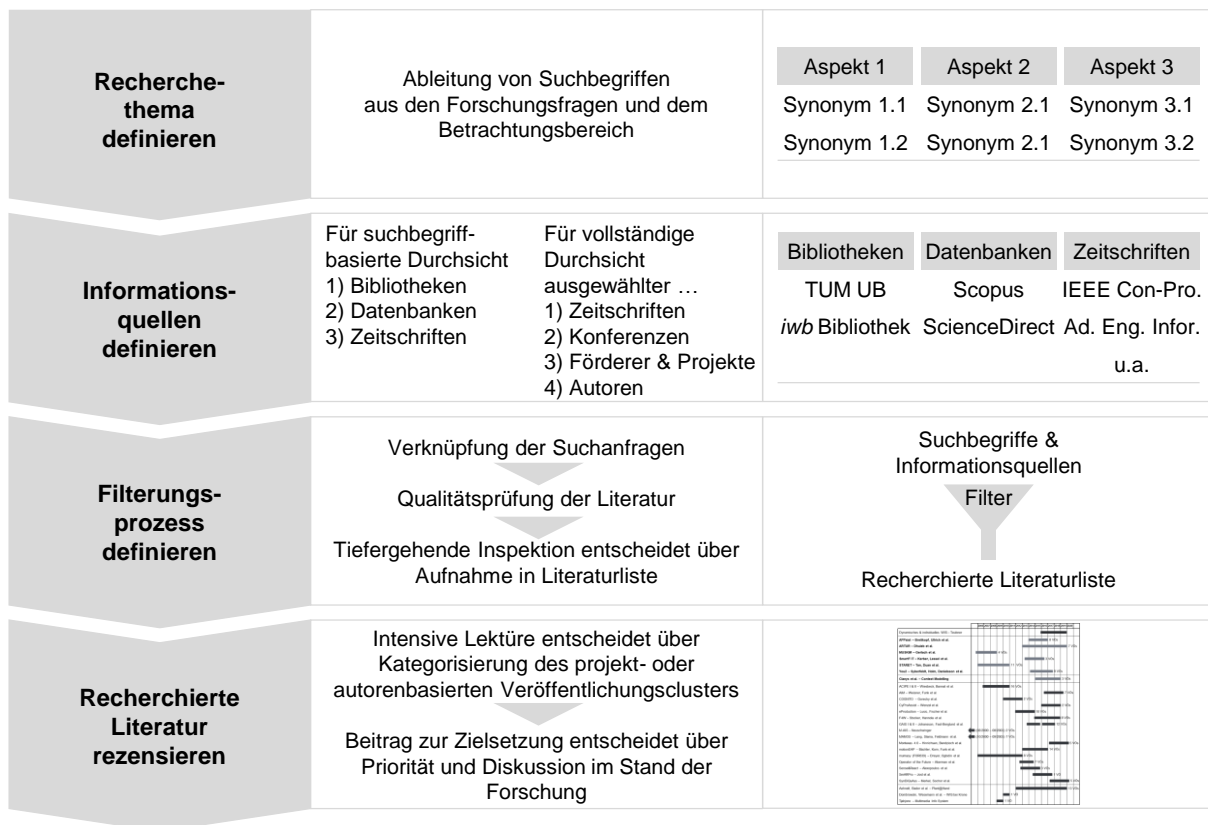


Abbildung 10-28: Methodische Literaturrecherche für diese Arbeit

Bei der systematischen Literaturrecherche wurden die in Tabelle 10-2 aufgeführten Suchbegriffe verwendet. Als Suchbegriffe gelten die Suchaspekte und die den Aspekten zugeordneten Synonyme. Um auch englischsprachige Veröffentlichungen zu erfassen, wurde auf die im zweiten Tabellenteil gelisteten Suchbegriffe zurückgegriffen.

Tabelle 10-2: Literaturrecherche: Suchbegriffe (Suchaspekte und Synonyme) sowie AND- und OR-Verknüpfung der Suchaspekte

/----- AND -----/			
/----- AND -----/			
/----- OR -----/			
<i>OR</i>	<i>OR</i>	<i>OR</i>	<i>OR</i>
Dynamisch	Individuell	Informationssystem	Montage
produktionssensitiv	Mitarbeiter	Werkereinformationssystem	Produktion
kontextabhängig	mitarbeiterspezifisch	Mitarbeiterinformationssystem	Fabrik
kontextsensitiv	werkerspezifisch		
Informationsanpassung			
Dynamic	Individual	Informationssystem	Assembly
context-aware	worker-oriented	information	production
context-sensitiv	worker	instructions	montage
context-dependend	operator	guidance	
		task support	
		assistance	
		worker information system	
		assembly information	
		assembly instructions	
		assembly guidance	
		assembly assistance	
		cognitive assistance	
		cognitive assistance	

Bei der systematischen Literaturrecherche wurden im zweiten Schritt die Informationsquellen festgelegt. *Tabelle 10-3* listet die für diese Arbeit ausgewählten Quellen auf.

Tabelle 10-3: Literaturrecherche – Informationsquellen der suchbegriffbasierten Durchsicht

Bibliotheken	Datenbanken	Zeitschriften
TUM Universitätsbibliothek	Scopus	IEEE Conference Proceedings
<i>iwb</i> Institutsbibliothek	ScienceDirect	IEEE Journals & Magazins
		Advanced Engineering Informatics
		Computers and Industrial Engineering
		Computers in Industry
		International Journal of Information Management
		International Journal of Industrial Ergonomics
		Journal of Manufacturing Systems
		Procedia Computer Science
		Robotics and Computer-Integrated Manufacturing

Ausgewählte Informationsquellen (Tabelle 10-4 bis Tabelle 10-7) wurden aufgrund ihrer thematischen Nähe und Bedeutung vollständig auf relevante Veröffentlichungen untersucht.

Tabelle 10-4: Literaturrecherche – Informationsquelle Zeitschrift für vollständige Durchsicht

Zeitschriften
CIRP Procedia
CIRP Annals
CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology
Procedia Engineering
Procedia Manufacturing
Production Engineering – Research and Development (wgp Annals)
ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb
wt Werkstatttechnik online
ZfA – Zeitschrift für Arbeitswissenschaften

Tabelle 10-5: Literaturrecherche – Informationsquelle Konferenz für vollständige Durchsicht

Konferenzen

CIRP – Conference on Manufacturing Systems (CMS)
CIRP – General Assembly (GA)
CIRP – Conference on Assembly Technologies and Systems (CATS)
CIRP – Design Conference
CIRP – International Conference on Digital Enterprise Technology (DET)
CIRP – Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering (ICME)
CIRPe Global Web Conference
International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production (CARV)
Conference on Competitive Manufacturing (COMA)
IEEE – International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)
IEEE – International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)
International Conference on Industrial Engineering (ICIE)
International Conference on Engineering and Technology (ICETECH)
IEEE International Symposium on Assembly and Manufacturing (ISAM)
International Symposium on Robot and Human Interactive Communication
International Conference on Industrial Technology (ICIT)
IEEE – International Conference on Multimedia and Expo (ICME)
IRE Transactions on Product Engineering and Production
Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)
DeLFI – Fachtagung E-Learning der Gesellschaft für Informatik (Bildungsräume)
DeLFI Workshops
Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen
APPsist – Intelligente Wissensdienste in der Smart Factory

Tabelle 10-6: Literaturrecherche – Informationsquelle Förderer & Projekte für vollständige Durchsicht mit A-, B-, C-Priorität der VÖ-Cluster

Förderer	Förderschwerpunkt/-programm/-initiative	Laufzeit	Cluster-priorität	Projektbezeichnung	Projekttitel		
BMBF (Bundes- ministerium für Bildung und For- schung)	–	–	04/2009 – 03/2012	C	BLIP	Berufliches Lernen im Produktionsprozess	
	–	–	11/2014 – 10/2017	C	DigiLernPro	Digitale Lernszenarien für die arbeitsplatz-integrierte Wissens- und Handlungsunterstützung in der industriellen Produktion	
	–	–	12/2013 – 11/2016	C	ELIAS	Engineering und Mainstreaming lernförderlicher industrieller Arbeitssysteme für die Industrie 4.0	
	–	–	12/2011 – 11/2014	B	eProduction	Produktionsforschung zu Hochvoltspeichersystemen für die Elektromobilität	
	–	–	01/2015 – 06/2017	C	PEBeMA	Phasenübergreifende Entwicklung von Benutzerschnittstellen im Maschinen- und Anlagenbau	
	–	–	ca. 2011 – 2012	C	ALSM	Assistenzsysteme für leistungseingeschränkte Mitarbeiter in der manuellen Montage	
	–	–	–	C	HYMOS	Hybride Montagesysteme	
	–	Industrie 4.0	06/2013 – 05/2016	A	SmartF-IT	Cyber-physische IT-Systeme zur Komplexitätsbeherrschung einer neuen Generation multiadaptiver Fabriken	
	–	Thema: Digitale Wirtschaft und Gesellschaft Zukunftsprojekt I4.0	05/2011 – 10/2013	C	IBIS	Gestaltung intuitiver Benutzung mit Image Schemata	
	–		KMU-innovativ: IKT	01/2016 – 04/2018	C	MACKMA	Mass customised Knowledge Management – Bedarfsgerechte und dynamische Wissensvermittlung für KMU
	–		–	C	TIM	Total Information Measurement	
	–	Virtuelle und Erweiterte Realität	09/2014 – 08/2017	B	SmARPro	Smart Assistance for Humans in Production Systems	
	–	Thema: Digitale Wirtschaft und Gesellschaft Technik zum Menschen bringen	Adaptive, lernende Systeme	05/2015 – 04/2018	C	ADAMAAS	Entwicklung einer intelligenten Brille zur Unterstützung komplexer Handlungsprozesse
	–		Mit 60+ mitten im Arbeitsleben	06/2013 – 11/2015	C	PLuTO	Portable Lern- und Wissensplattform zum Transfer episodischen Wissens in Organisationen
	–		–	11/2014 – 10/2019	C	smart ASSIST	Smart, AdjuStable, Soft and Intelligent Support Technologies

		Sozial- und emotionssensitive Systeme für eine optimierte Mensch-Technik-Interaktion	02/2015 – 01/2018	C	INEMAS	Nutzerzentrierte Individualisierung eines Fahrerassistenzsystems
<i>Fortsetzung</i>			01/2014 – 12/2016	C	INDIVA	Entwicklung eines Montagesystems mit anpassbarem Automatisierungsgrad
	Thema: Digitale Wirtschaft und Gesellschaft Technik zum Menschen bringen	Technik stellt sich auf den Menschen ein	06/2014 – 05/2017	C	MaxiMMI	Multimodale aufgabenorientierte Bediensysteme zur flexiblen nutzerzentrierten MMI an Produktionsmaschinen
			12/2014 – 11/2017	C	SmartWerk	Kontextsensitive, Multimodale Mensch-Technik Schnittstellen für Intelligente Assistenzsysteme im Bauhandwerk
<i>Fortsetzung</i>			01/2016 – 12/2017	C	Arbeit 4.0	Assistance systems for manual assembly
	PDA Zukunft der Arbeit aus Dachprogramm Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen	Arbeit in der digitalisierten Welt / Digitale Arbeit inkl. TransWork	04/2017 – 03/2020	C	IntAKom	Intelligente Aufwertung der manuellen und teilautomatisierten Arbeit durch den Einsatz digitaler Kommunikationstechnologie
BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung)			04/2017 – 03/2020	B	Montexas 4.0	Exzellente Montage im Kontext der Industrie 4.0 – wirtschaftlich und kompetenzförderlich
			05/2017 – 04/2020	B	SynDiQuAss	Synchronisierung von Digitalisierung, Qualitätssicherung und Assistenzsystem an Arbeitsplätzen mit geringem Automatisierungsgrad
		Kompetenzmanagement	01/2014 – 01/2017	C	ABEKO	Assistenzsystem zum demografiesensiblen betriebspezifischen Kompetenzmanagement für Produktions- und Logistiksysteme der Zukunft
	Forschung für die Produktion von Morgen (bis 2015)	Verbundprojekte	10/2000 – 09/2003	B	MAMOS	Marktorientierte Montagestrukturen
			10/2005 – 12/2008	A	MUSKIM	Methoden- und Systemunterstützung für die kundenintegrierte Montage
			–	C	WAMo	Erfahrungsbasierte WissensArbeit in flexiblen Montagesystemen
	PDA Forschung für Produktion aus Dachprogramm Innovationen für die Produktion, Dienstleistung und Arbeit von morgen	–	01/2016 – 12/2018	B	CyProAssist	Fertigungsassistenzsystem für sozio-cyberphysische Produktionssysteme
			01/2016 – 12/2018	C	ScaleIT	Skalierende IKT zur Produktivitätssteigerung in der Mechatronik-Fertigung
<i>Fortsetzung</i>	Thema: Innovativer Mittelstand KMU-innovativ	Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT)	09/2014 – 11/2017	C	SOPHIE	–

BMBF (Bundesministerium für Bildung und Forschung)	it's owl – Intelligente Technische Systeme OstWestfalenLippe	Querschnittsprojekte	07/2012 – 06/2017	C	PROMIMO	Prozessintegrierte Mitarbeiterunterstützung in der Montage (Mensch-Maschine-Interaktion – Intelligente Maschinen verstehen den Menschen – Transferprojekt)
			–	–	05/2015 – 06/2016	C
	–	–	01/2014 – 12/2016	A	APPsist	Intelligentes Assistenz- und Wissenssystem in der Produktion
			01/2013 – 12/2016	B	motionEAP	System zur Effizienzsteigerung und Assistenz bei Produktionsprozessen
BMW i (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie)	Digitale Technologien	Smart Data	–	C	SAKE	Semantische Analyse Komplexer Ereignisse
			03/2016 – 02/2019	C	AcRoSS	Augmented Reality für die Industrie nutzbar machen
		Smart Service Welt	–	C	Glass@Service	Intelligente Datenbrillen in der Produktion einsetzen
	Mittelstand Digital	Usability	08/2012 – 07/2015	C	Simply usable	Gebrauchstaugliche, geprüfte und gewinnbringende Software-Entwicklung für den Mittelstand
			11/2012 – 10/2015	C	uSelect DMS	Optimierung des Auswahlprozesses von Dokumentenmanagementsystemen (DMS) in kleinen und mittleren Unternehmen durch die Entwicklung und Integration von Usability-Kriterien
BMAS (Bundesministerium für Arbeit und Soziales)	–	Dialogprozess Arbeiten 4.0	–	–	–	–
BAuA (Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin)	–	Präventive Maßnahmen für die sichere und gesunde Arbeit von morgen	06/2016 – 05/2019	B	AIM	Arbeitsassistenzsystem für die Individualisierung von Arbeitsgestaltung und Methodentraining
BFS (Bayerische Forschungstiftung)	–	–	01/2017 – 12/2018	C	SmarDe's@Work	Smart Devices in der Produktion
	–	Fit4Age	bis 12/2010	C	Fit4Work	–
DFG (Deutsche Forschungsgemeinschaft)	Sonderforschungsbereiche	SFB 453 – Wirklichkeitsnahe Telepräsenz und Teleaktion	1999 – 2004	C	A01	Modellbasierte Bedienerunterstützung und Standardisierung flexibler Telepräsenz- und Teleaktionssysteme
			2007 – 2008	C	A06	Formale Methoden für die Modellierung und Analyse von mobilen kontextbezogenen Systemen

		SFB 627 – Umgebungsmodelle für mobile kontextbezogene Systeme	2007 – 2011	C	D01a	NEXUS – Smart Factory – Kontext- und situationsbezogene Anwendungen für die Produktion
			2005 – 2007	C	N01	Entwicklungswerkzeuge für kontextbezogene Anwendungen
Forschungsgruppen		FOR 639 – Gezielte vorbeugende Wartung durch automatisierte Zustandsbeobachtung	2006 – 2012	B	mumasy	Multimediales Maschineninformationssystem
Exzellenzcluster		EXC 277 – Kognitive Interaktionstechnologie	–	C	CITEC	Cognitive Interaction Technology
		EXC 142 – CoTeSys	11/2006 – 12/2008	B	ACIPE I	Adaptive und situationsorientierte Führung in der manuellen Montage
			01/2009 – 12/2010	B	ACIPE II	Adaptive und situationsorientierte Führung in der manuellen Montage
Einzelprojekte		–	2006 – 2010	C	PISB	Personalisierbare Informationssysteme für das Semantic Web
		–	2006 – 2011	C	WIKASW	Wissensbasierte Informationsverarbeitung in verteilten, komplexen Anwendungsdomänen mit Hilfe dezentraler Systemarchitekturen und verteilter Wissensmodelle
FFG (Österreich)	Produktion der Zukunft	–	01/2014 – 06/2016	B	Assist 4.0	Kontextbasierte, mobile Assistenzsysteme für die Industrie 4.0
	–	–	10/2013 – 09/2015	B	GAIS I	Global Assembly Instruction Strategy
VINNOVA (Schweden)	–	–	03/2016 – 01/2018	B	GAIS II	Global Assembly Instruction Strategy
	–	–	08/2012 – 09/2014	B	Operator of the Future	–
The Knowledge Foundation (Schweden)			04/2014 – 09/2017	A	YOU2	Young Operator 2020
Frankreich	–	–	–	A	ARTUR	AtelieR du fuTuR
United Kingdom	–	–	07/2015 – 03/2019	C	M4	Meggitt Modular Modifiable Manufacturing
ESF (Europäischer Sozialfond)		EQUAL	–	C	MULTAS	Multimediale Arbeitsassistenten für Lernschwache
Europäische Union	–	–	ca. 2016 – 2019	C	Operator 4.0	Towards Socially Sustainable Factories of the Future

Seventh Framework Programme (FP7)	–	01/2010 – 12/2012	B	COGNITO	Cognitive Workflow Capturing and Rendering with On-Body Sensor Networks	
	Public-Private-Partnership 'Factories of the Future'	10/2012 – 09/2015	B	Sense & React	The context-aware and user-centric information distribution system for manufacturing	
Horizon 2020 research and innovation programme	–	–	C	INCLUSIVE	Smart and adaptive interfaces for INCLUSIVE work environment	
	–	12/2014 – 11/2018	B	F4W	FACTorieS for WORKERS	
QUATRO – Qualifizierung, Arbeit, Technik, Reorganisation	–	ca. 2000 – 2003	B	M-AIS	Multimedia-gestütztes Arbeitsplatz-Informationssystem	
Japan	–	–	2006 – 2011	A	STARET	Strategic Development of Advanced Robotics Elemental Technologies

Tabelle 10-7: Literaturrecherche – Informationsquelle Autor für vollständige Durchsicht mit A- und B-Priorität der VÖ-Cluster

Cluster-priorität	Name	Vorname	Universität	Institut	Forschungsprojekt/-schwerpunkt
B	Aehnelt	Mario	Fraunhofer Rostock	IGD	Plant@hand
B	Alexopoulos	Kosmas	University of Patras	lms	Sense&React
B	Akerman	Magnus	Chalmers University of Technology (Göteborg)	ps	Operator of the future, GAIS I & II
B	Bächler	Andreas	Hochschule Esslingen	–	motionEAP
B	Bader	Sebastian	Universität Rostock	MMIS	Plant@hand
B	Bannat	Alexander	Technische Universität München	pe	ACIPE I & II
B	Bendzioch	Sven	Hochschule Ostwestfalen-Lippe	FB7	Montexas 4.0
A	Breitkopf (ehem. Kreggenfeld)	Niklas	Ruhr-Universität Bochum	lps	APPsist
A	Claeys	Arno	Universiteit Gent	ea18	Context Modelling
A	Danielsson	Oscar	Hogskolan Skovde	–	You2
A	Dhuieb	Mohamed	Nantes	IRCCyN	ARTUR
B	Dombrowski	Uwe	Technische Universität Braunschweig	ifu	WIS bei Krone
B	Dreyer	Joachim	Universität Stuttgart	isw	mumasy (FOR 639)
A	Duan	Feng	University of Tokyo	pe	STARET
B	Fast-Berglund	Asa	Chalmers University of Technology (Göteborg)	ps	Operator of the future, GAIS I & II
B	Feldmann	Klaus	FAU Erlangen-Nürnberg	faps	MAMOS
B	Fischer	Christian	FAU Erlangen-Nürnberg	faps	eProduction
B	Funk	Markus	Universität Stuttgart	VIS	motionEAP
B	Funk	Miriam	BAuA	–	AIM
A	Gerlach	Stefan	Fraunhofer Stuttgart	IAO	MUSKIM
B	Gorecky	Dominic	DFKI	–	COGNITO
B	Hannola	Lea	Lappeenranta University of Technology	–	F4W
B	Hinrichsen	Sven	Hochschule Ostwestfalen-Lippe	FB7	Montexas 4.0
A	Holm	Magnus	Hogskolan Skovde	–	You2

B	Johansson	Pierre	Chalmers University of Technology (Göteborg)	ps	GAIS I & II
B	Jost	Jana	Fraunhofer Dortmund	IML	SmARPro
A	Kerber	Frederic	DFKI	–	SmartF IT
B	Korn	Oliver	Universität Stuttgart	VIS	motionEAP
B	Merkel	Lukas	Fraunhofer Augsburg	IGCV	SynDiQuAss
B	Lang	Stefan	FAU Erlangen-Nürnberg	faps	MAMOS
A	Lessel	Pascal	DFKI	–	SmartF IT
B	Lušić	Mario	Technische Hochschule Nürnberg	OHM-CMP	eProduction
B	Neuschwinger	Andreas	Ruhr-Universität Bochum	lps	M-AIS
B	Oglodin	Vladimir	Universität Stuttgart	isw	mumasy (FOR 639)
B	Slama	Stefan	FAU Erlangen-Nürnberg	faps	MAMOS
B	Sochor	Robin	Fraunhofer Augsburg	IGCV	SynDiQuAss
B	Stocker	Alexander	Technische Universität Graz	v2c2	F4W
A	Syberfeldt	Anna	Hogskolan Skovde	–	You2
A	Tan	Jeffrey	University of Tokyo	pe	STARET
B	Tjahjono	Benny	Cranfield University	–	Multimedia Info System
A	Ullrich	Carsten	DFKI	–	APPsist
B	Wenzel	Ken	Fraunhofer Chemnitz	IWU	CyProAssist
B	Wesemann	Sören	IAP GmbH Braunschweig	–	WIS bei Krone
B	Wiesbeck	Mathey	Technische Universität München	iwb	ACIPE I & II
B	Weisner	Kirsten	Technische Universität Dortmund	ips	AIM

10.6.2 Expertenworkshop

Als Experten werden Personen bezeichnet, die aufgrund ihres spezifischen Praxis- und Erfahrungswissen das untersuchte Themenfeld mit Hinblick auf das Forschungsinteresse strukturieren und handlungsleitend deuten können. Damit beeinflussen sie die Perspektive, aus welcher das Problem beschrieben und gelöst werden soll, was die Praxisrelevanz des Lösungsansatzes erhöht. Die Auswahl von Personen und damit auch die rekursive Zuweisung des Expertentums erfolgt durch den Forscher auf Basis seiner Einschätzung des entsprechenden Erfahrungswissens. (BOGNER ET AL. 2014, S. 9-15)

Dies birgt die Gefahr einer „falschen“ Expertenauswahl, die zu fehlerhaften Forschungsaktivitäten führen. Daher wurden für diese Arbeit möglichst viele und voneinander unabhängige Personen(-gruppen) befragt.

Die durchgeführten Workshops lassen sich als explorative Interviews und Gruppendiskussionen bezeichnen. Solchen Befragungen eignen sich, um möglichst vielfältige Informationen über das Untersuchungsfeld zu gewinnen. (BOGNER ET AL. 2014, S. 23-24)

Die in Kapitel 4 präsentierte Anforderungsstudie wurde durch fünf Expertenworkshops unterstützt. Dabei wurde eine am Verbesserungspotenzial orientierte Entwicklungsgrundlage geschaffen, indem Probleme der manuellen Montage abgefragt wurden, die mit einem Werkerinformationssystem adressiert werden können. Abbildung 10-29 zeigt die acht Potenzialcluster auf, die mit Hilfe der Expertenworkshops zusammengestellt wurden.

Auf dieser Basis konnten Anforderungen abgeleitet, Systemfunktionen definiert und Systemelemente – auch als Lösungsbausteine bezeichnet – erarbeitet werden.

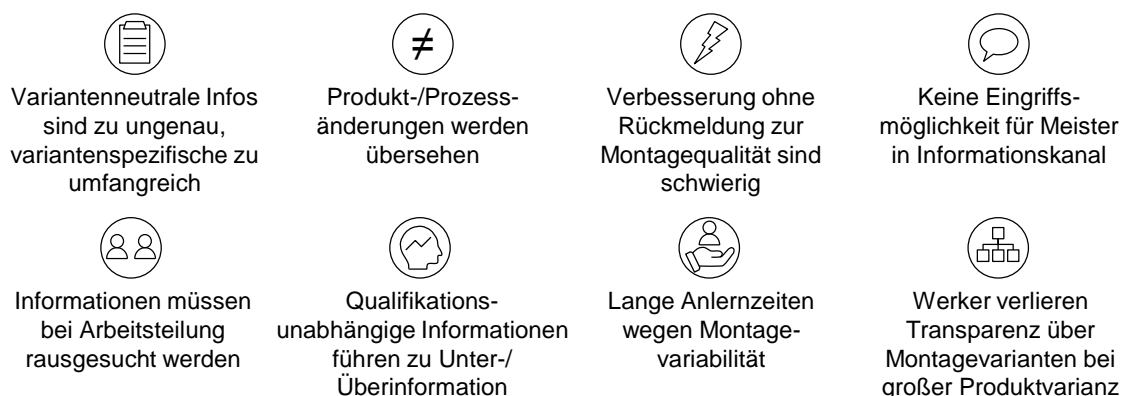


Abbildung 10-29: Potenzialcluster für verbesserte, anforderungsgerechte Werkerinformationssysteme

Die Workshops und deren Ergebnisse sind im Folgenden dokumentiert. In den jeweiligen Abbildungen sind Verbesserungspotenziale, die nicht zur Fokussierung dieser Arbeit passen und daher nicht berücksichtigt werden konnten, der Vollständigkeit halber mit aufgeführt, aber farblich in Grauton abgegrenzt.

Für die Modellentwicklung (Kapitel 5) und Validierung (Abschnitt 8.2) wurde ein Expertenworkshop abgehalten, dessen Hinweis sich am Ende des Abschnitts befindet.

Anforderungsstudie: Workshops mit MAN Truck & Bus SE

Bei der MAN wurden zwei Workshops durchgeführt, deren Ergebnisse zusammen in Abbildung 10-30 dargestellt werden.

Workshop 1 – Montagebereichsleiter

Datum & Ort: 10.10.2017 – 14:00 bis 16:00 Uhr, MAN Werk München

Teilnehmer: vier Montagebereichsleiter aus der Lkw-Montage

Workshop 2 – Produktionsmanager und -planer

Datum & Ort: 19.10.2017 – 13:00 bis 15:00 Uhr, MAN Werk München

Teilnehmer: ein Modulleiter, drei Betriebsingenieure, zwei Mitarbeiter aus der Qualitätsprüfung, ein Mitarbeiter aus der Arbeitsplanung, ein Mitarbeiter aus dem Vorseriencenter

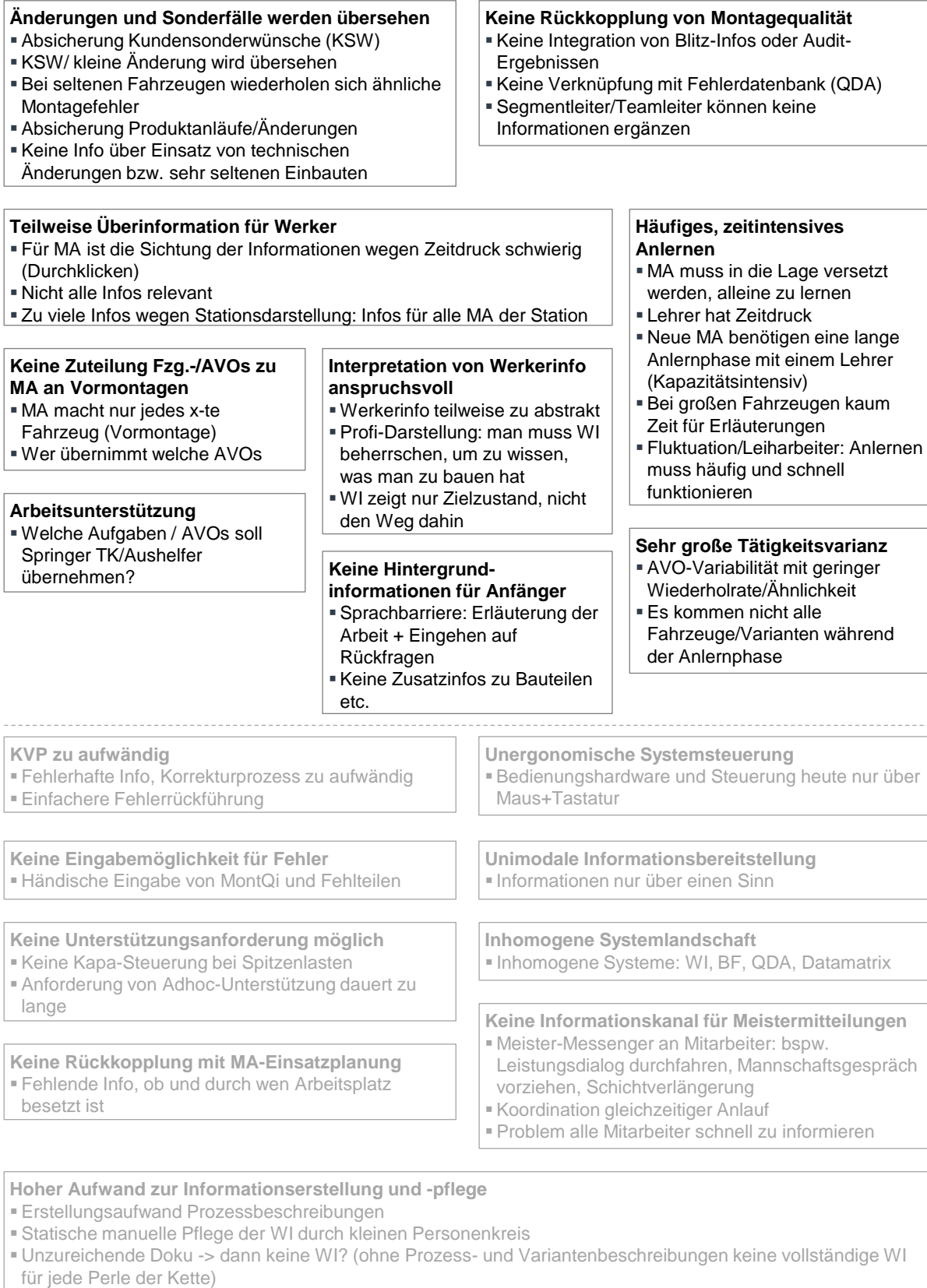


Abbildung 10-30: Anforderungsstudie: Ergebnis der Expertenworkshops mit MAN

Anforderungsstudie: Workshop mit IGH Automation

Die Ergebnisse des Workshops sind in Abbildung 10-31 zusammengefasst.

Datum & Ort: 16.11.2017 – 10:30 bis 16:30 Uhr, Ilmenau

Teilnehmer: Geschäftsführer, Technischer Leiter, ein Mitarbeiter aus dem technischen Management

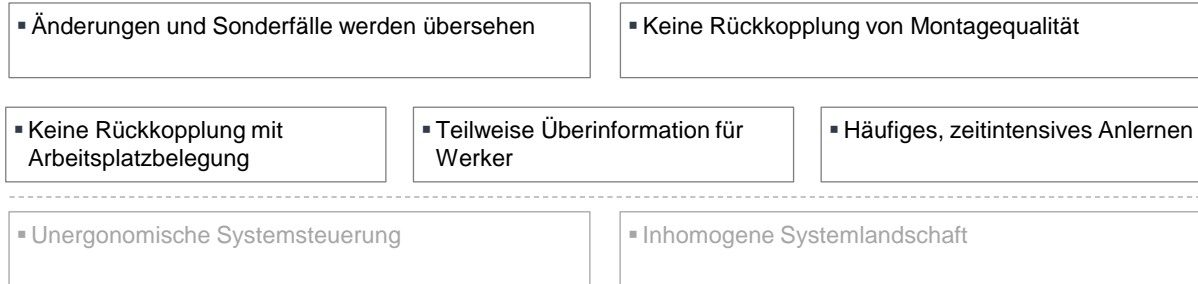


Abbildung 10-31: Anforderungsstudie: Ergebnis des Expertenworkshops mit IGH Automation

Anforderungsstudie: Workshop mit Kramer Werke GmbH

Die Ergebnisse des Workshops sind in Abbildung 10-32 zusammengefasst.

Datum & Ort: 28.06.2018 – 10:30 bis 12:30 Uhr, MAN Werk München

Teilnehmer: Leiter Produktion, Leiter Qualität

<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine arbeitsplatz-bezogene, variantenbehaftete Prozessinformation ▪ Prozesskarte (führt Ausstattungsvariante des Produkts auf) begleitet das Produkt → ist eigentlich eine Produktkarte ▪ Verschachtelte Informationen: Andere Baugruppen bestimmen die Varianz der eigenen Arbeitsvorgänge → Arbeiter müssen sich Arbeitsvorgänge aus Produkt ableiten. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schriftliche Prozessvorgaben werden teilweise nicht gesichtet → Produkt- oder Prozessänderungen (u.a. Best-Practice-Updates) werden übersehen ▪ Mitarbeiter machen Montagevarianten an Produktmerkmalen fest → Gefahr des Übersehens von Änderungen oder Sondervarianten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fehlendes direktes Feedback, ob Arbeitsvorgänge korrekt ausgeführt wurden (Direktüberwachung oder Rückmeldung aus Qualitätskontrolle) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fehlteilinformation nur auf mündlichem Weg oder separat zur Prozesskarte
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Jeder Mitarbeiter erhält vollständige Produkt-/Prozessinformation (Prozesskarte) und muss die für seinen Arbeitsplatz relevanten Informationen raussuchen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Erfahrener Werker hat zu viele Informationen: ▪ Folge 1: Informationsprozess ineffizient ▪ Folge 2: Bereitgestellte Informationen werden gar nicht mehr genutzt („Erfahrung ersetzt Prozesskarte“) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anzulernende Werker erhalten zu wenig Informationen ▪ Geringe Qualifikation neuer Mitarbeiter führt zu erhöhtem Informationsbedarf ▪ Integration von (unqualifizierten) Zeitarbeitern 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anlernprozesse dauern sehr lange und sind mit Lehrer personal- und kostenintensiv ▪ Anlernprozesse teilweise nicht nach Best-Practice / Standardarbeitsblatt ▪ Keine einheitlichen Montagestandards
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vorgabezeitenabgleich nicht möglich: Mitarbeiter weiß nicht, ob er im Takt ist 			

Abbildung 10-32: Anforderungsstudie: Ergebnis des Expertenworkshops mit Kramer Werken

Anforderungsstudie: Workshop mit Rohde & Schwarz

Die Ergebnisse des Workshops sind in Abbildung 10-33 zusammengefasst.

Datum & Ort: 19.11.2019 – 10:00 bis 12:00 Uhr, Videokonferenz

Teilnehmer: ein Mitarbeiter aus dem Bereich Digitale Fabrik, Leiter Softwareentwicklung, Leiter Fertigungslinie Körperscanner

- | | | | |
|--|--|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">▪ Komplexe Montageschritte mit längeren Arbeitsumfängen verständlich machen▪ Einheitliche Montage gewährleisten▪ Arbeitsfortschritt bei längeren Tätigkeiten und Pausen transparent machen | | | |
| <ul style="list-style-type: none">▪ Variantenspezifische Informationen erforderlich | <ul style="list-style-type: none">▪ Integration neue Produktlinie mit anderen Montagevorgängen | <ul style="list-style-type: none">▪ Fehlerquote reduzieren | <ul style="list-style-type: none">▪ Erstellung von Fehlermeldungen |
| <ul style="list-style-type: none">▪ Unterschiedlicher Informationsbedarf bei Amateur und Profi▪ Anlernen auch von erfahrenen Mitarbeitern | | | |

Abbildung 10-33: Anforderungsstudie: Ergebnis des Expertenworkshops mit Rohde & Schwarz

Modellentwicklung und Validierung: Workshop mit Hr. Dr. Lachner (Google)

Im Fokus des Expertenworkshops standen die konzeptionellen Gestaltungsmöglichkeiten des Werkerinformationssystems hinsichtlich der graphischen Bedienoberfläche und der Nutzerinteraktion. Zudem wurden Möglichkeiten der Evaluation des prototypischen Werkerinformationssystems erörtert. Die Erkenntnisse aus dem Workshop sind in die Kapitel 5 und 8 eingeflossen.

Datum & Ort: 05.03.2019 – 15:00 bis 16:00 Uhr, Google München

Teilnehmer: Herr Dr. Florian Lachner (Experte für User Interaction)

Einführung von Werkerinformationssystemen: Workshop mit Hr. Roloff (MAN)

In dem Workshop wurden für Abschnitt 6.3 die gesetzlichen Rahmenbedingungen zum Umgang mit personenbezogenen Daten im Unternehmen besprochen.

Datum & Ort: 04.06.2020 – 15:00 bis 16:00 Uhr, Telefonat

Teilnehmer: Herr Sebastian Roloff (Experte für Arbeitsrecht)

10.6.3 Fokusgruppenbildung

Um die Anforderungen der operativen Nutzer des Werkerinformationssystems zu berücksichtigen, wurden bei der MAN Truck & Bus SE zahlreiche Diskussionen mit Werkern rund um die Nutzung existierender und wünschenswerter Informationssysteme geführt. Angelehnt an die Methode der Gruppendiskussion wurde eine Fokusgruppe gebildet, um im frühen Entwicklungsstadium kollektive Meinungen und Wünsche der Zielgruppe zu ermitteln (STOESSEL 2002, S. 81). Da die Methode nicht darauf ausgerichtet ist, statistisch verwertbare Aussagen zu generieren, wurde zusätzlich unter den Werker eine fragebogenbasierte Umfrage mit 20 Teilnehmern durchgeführt, die in Abbildung 10-34 dargestellt ist. Dabei muss berücksichtigt werden, dass sich die Antworten auf bereits existierende Werkerinformationssysteme der MAN Truck & Bus SE beziehen. Die Ergebnisse sind in die Anforderungsstudie in Kapitel 4 eingeflossen.

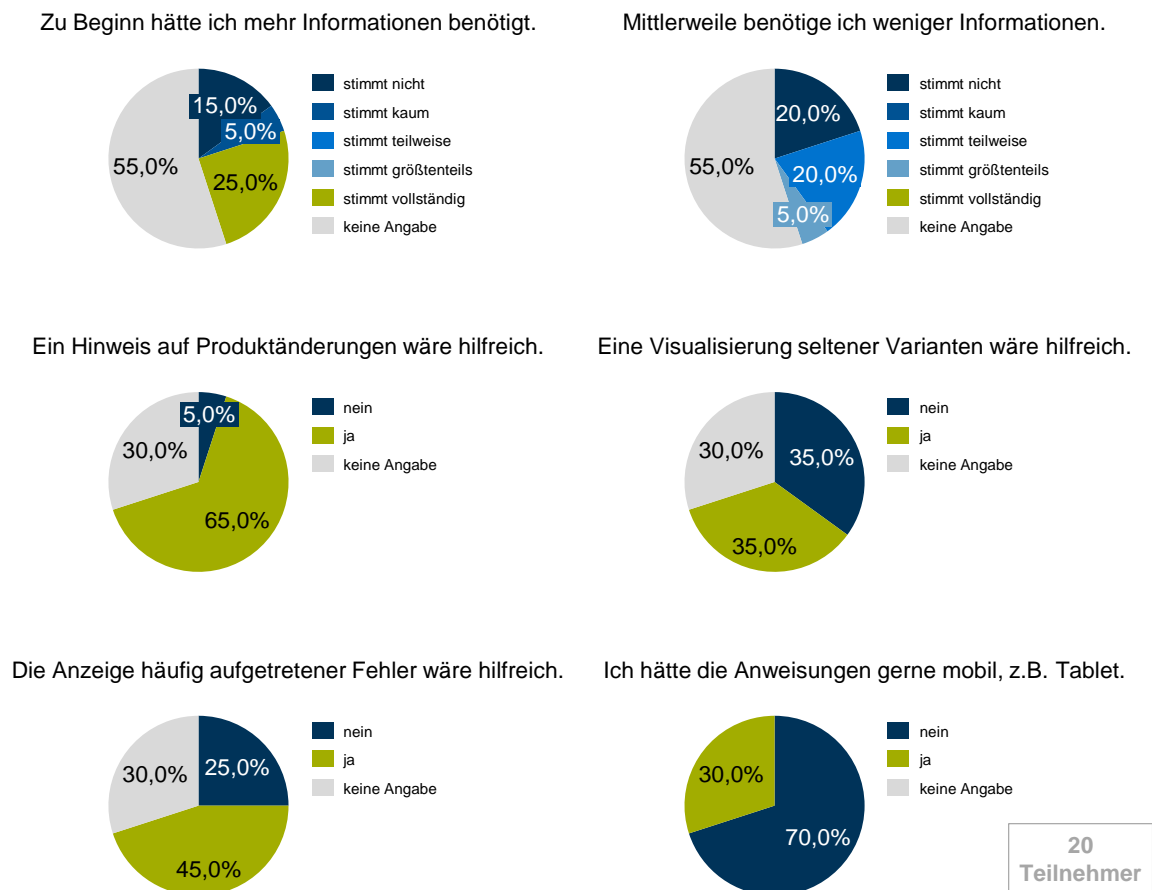


Abbildung 10-34: Anforderungsstudie: Ergebnisse aus Fokusgruppenbefragung

10.6.4 Blackbox-Betrachtung und Funktionsmodellierung

Um das Systemverständnis bei komplexen technischen Problemstellungen zu fördern, eignen sich die Blackbox-Betrachtung und Funktionsmodellierung, da mit ihnen das Problem abstrahiert wird (LINDEMANN 2009, S. 251&284). Dabei wurde die Systemtheorie als Modellierungstechnik (siehe Abschnitt 10.7.1) für eine lösungsneutrale Beschreibungsgrundlage verwendet. Zunächst erfolgte auf Basis der Blackbox-Betrachtung die Zerlegung in Teilprobleme in Form von acht Systemfunktionen. Als nächstes wurden durch die Definition der Systemelemente der Abstraktionsgrad und die Systemgrenzen festgelegt.

Auf diese Weise konnte die Entwicklung des Basis-Werkerinformationssystems sowie der dynamischen und individuellen Systemfunktionen strukturiert vorgenommen werden.

10.6.5 Agile Entwicklungsmethoden

Im Zuge der Entwicklung des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems sind zahlreiche Prototypen entstanden, um Erkenntnisse aus der Praxis insbesondere zu Anwendbarkeit und Problemlösungsfähigkeit in die Entwicklung einfließen zu lassen.

Die Prototypen sind also in einem Umfeld entstanden, das sich als komplex und mit unscharfen Anforderungen bezeichnen lässt. Bei solchen Randbedingungen eignen sich besonders agile Entwicklungsmethoden, die ein kleinschrittiges Vorgehen mit iterativem Anforderungsabgleich vorsehen. Die Entwicklung hat vor Ort bei der MAN als Anwendungspartner stattgefunden, sodass ein unkomplizierter und ständiger Austausch möglich war. Zudem konnten die Einführung begleitet und Optimierungen während des Einsatzes vorgenommen werden. Die häufigen Anforderungsdiskussionen bei den Prototypen waren auch für die Gestaltung des Gesamtmodells des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems sehr hilfreich.

Dem agilen Manifesto folgend (THE AGILE ALLIANCE 2001) wurden funktionierende Prototypen und berücksichtigte Anwenderwünsche gegenüber einer ausführlichen Dokumentation und einem initialen Projektplan priorisiert. Entsprechend weichen die Prototypen an manchen Stellen vom entwickelten Gesamtmodell ab, wo es aufgrund der anwendungsfallsspezifische Rahmenbedingungen sinnvoll erschien.

10.6.6 Probanden-/Feldstudie

Neben einem iterativen, anforderungsorientierten Vorgehen beim Gesamtmodell und den Prototypen wird für ein zufriedenstellendes Resultat die Anwendung und Erprobung des Arbeitsergebnisses angestrebt. Bei Probandenstudien wird das Werkerinformationssystem abseits

des zukünftigen Einsatzortes mit ausgewählten Nutzern und Experten getestet und diskutiert. Als Feldstudie hingegen wird der Einsatz eines prototypischen Werkerinformationssystems unter realen Produktionsbedingungen verstanden (i.A.a. STOESEL 2002, S. 85). Aufgrund der zahlreichen Neuerungen und der Prototypenreife wurde der Prototyp des Gesamtmodells (siehe Abschnitt 7.1) im Rahmen einer Probandenstudie validiert. Dabei wurde ein realer Produktionsarbeitsplatz im Werkerinformationssystem nachgebildet. Abbildung 10-35 zeigt die Ergebnisse der Befragung im Anschluss an die Probandenstudie. Die Prototypen der Abschnitte 7.2 bis 7.5 wurden in einer Feldstudie unter realen Produktionsbedingungen eingesetzt und getestet. Die jeweiligen Auswertungen sind in Abschnitt 8.2 beschrieben.

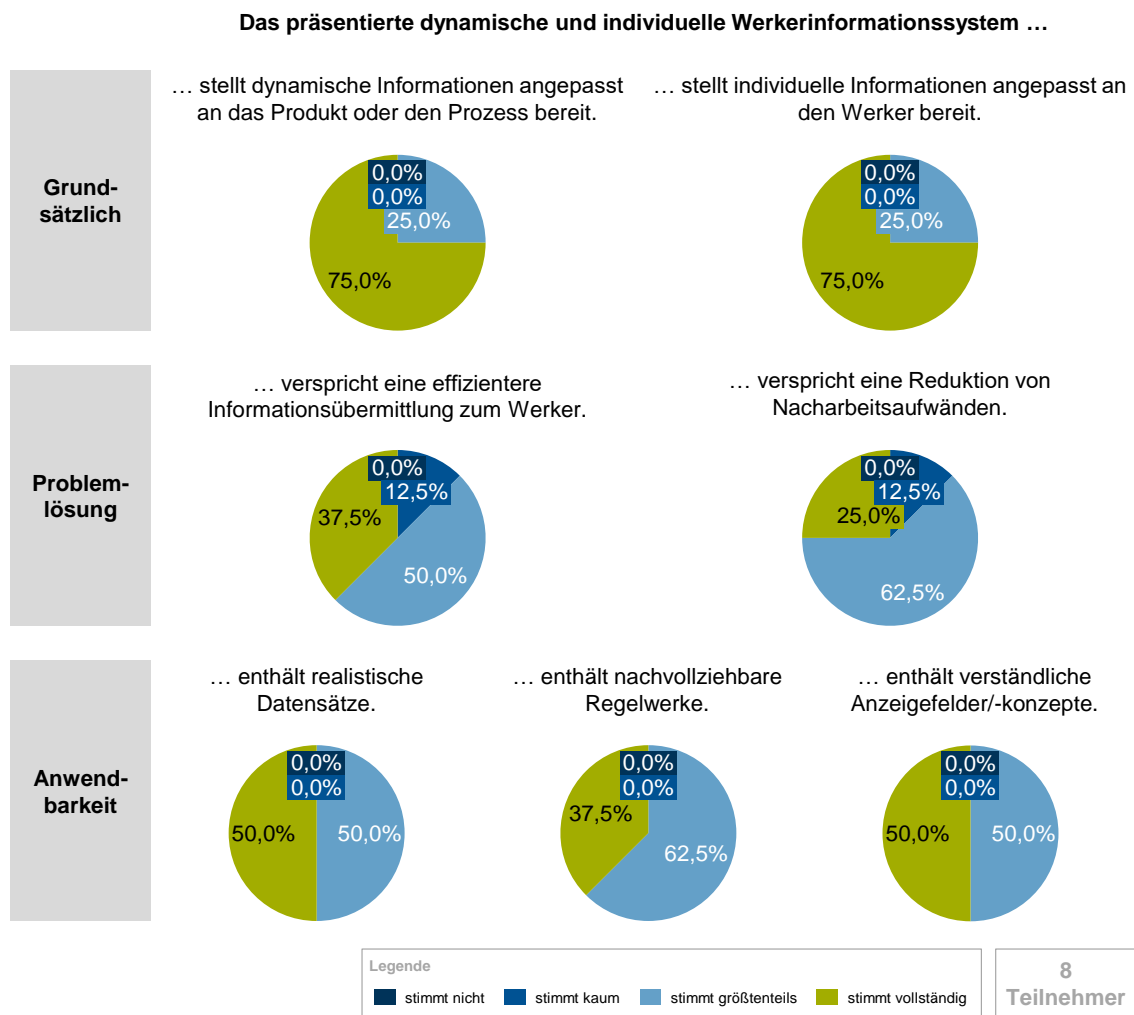


Abbildung 10-35: Befragungsergebnisse aus der Probandenstudie zur Validierung des Prototypen des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystem

10.7 Wissenschaftliche Techniken

10.7.1 Modellierung – Systemtheorie

In Abbildung 10-36 sind die drei Konzepte der Systemtheorie dargestellt, um die originäre nicht auf Werkerinformationssysteme gemünzte Theorie aufzuzeigen. Die zugehörige Beschreibung der einzelnen Konzepte kann dem Systementwurf in Abschnitt 5.1 entnommen werden.

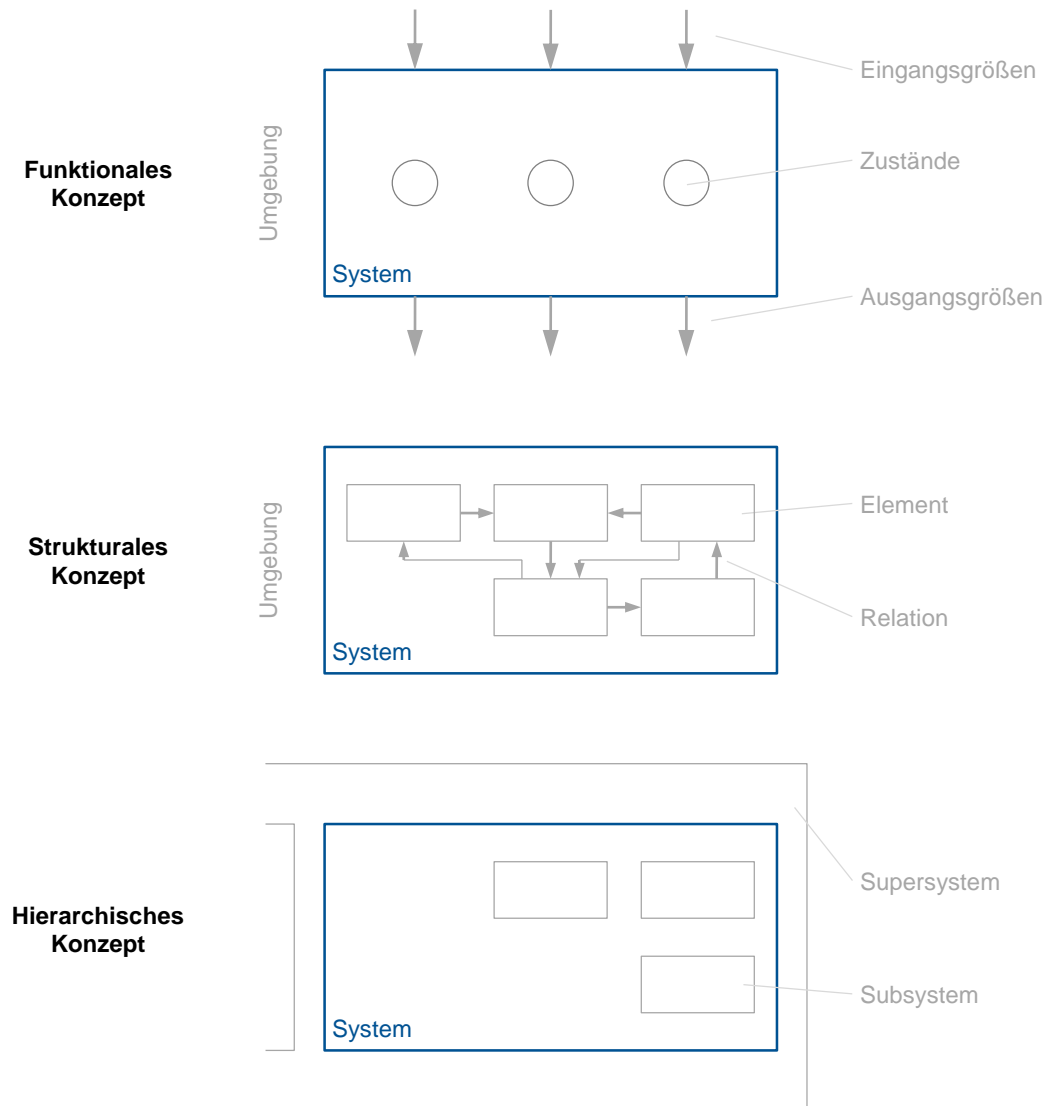


Abbildung 10-36: Drei Konzepte der Systemtheorie (ROPOHL 1999, S. 76)

10.7.2 Schlussfolgerungstypen

Tabelle 10-8 zeigt ein Beispiel für die drei Typen der Schlussfolgerung. Eine auf diese Arbeit bezogene Erläuterung der Forschungsaktivitäten ist in der nächsten Abbildung 10-37 dargestellt.

Tabelle 10-8: Beispiel zu drei Typen der Schlussfolgerung (PEIRCE 1991, S. 232)

Induktion	Deduktion	Abduktion
Fall: Diese Bohnen sind aus diesem Sack	Regel: Alle Bohnen aus diesem Sack sind weiß	Ergebnis: Diese Bohnen sind weiß
Ergebnis: Diese Bohnen sind weiß	Fall: Diese Bohnen sind aus diesem Sack	Regel: Alle Bohnen aus diesem Sack sind weiß
Regel: Alle Bohnen aus diesem Sack sind weiß	Ergebnis: Diese Bohnen sind weiß	Fall: Diese Bohnen sind aus diesem Sack
→ Schluss vom Einzelfall auf das Allgemeine	→ Schluss vom Allgemeinen auf das Einzelne	→ Schluss von Ergebnis und Regel auf einen Fall
Erläuterung: <i>Da diese Bohnen aus diesem Sack sind und alle weiß sind, schließe ich, dass alle Bohnen aus diesem Sack weiß sind.</i>	Erläuterung: <i>Da alle Bohnen aus diesem Sack weiß sind und diese Bohnen aus dem Sack sind, schließe ich, dass diese Bohnen weiß sind.</i>	Erläuterung: <i>Diese Bohnen sind weiß und ich vermute, dass alle Bohnen aus diesem Sack weiß sind. Daher schließe ich, dass diese Bohnen aus dem Sack sind. Damit erklärt sich das Ergebnis.</i>

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Einleitung	Grundlagen	Stand der Forschung	Anforderungsstudie	Dyn. & Ind. WIS	Konfigurationsmethode	Prototypeneinsatz	Evaluation	Abschluss
Forschungsaktivität	empirisch-induktiv / synthetisch-abduktiv		empirisch-induktiv		analytisch-deduktiv		empirisch-induktiv		
Erläuterung	<p>Industrieller Leidensdruck empirisch-induktiv</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fall <i>Produktionsvariabilität und statische one-fits-all Werkerinformation</i> - Ergebnis <i>Ineffizienz und Nacharbeit</i> - Regel <i>Etablierte Werkerinformationssysteme führen zu Misserfolg</i> <p>→ Schluss von Einzelfällen auf das Allgemeine</p> <p>Lösungsidee synthetisch-abduktiv</p> <ul style="list-style-type: none"> - Erhofftes Ergebnis <i>Informationseffizienzsteigerung und Nacharbeitsreduktion</i> - Hypothetische Regel <i>Dynamische und Individuelle Werkerinformationssysteme helfen dabei</i> - Fall <i>Einsatz in hochvariabler Serienmontage</i> <p>→ Schluss von Ergebnis und Regel auf einen Fall</p>	Keine Schlussfolgerung	<ul style="list-style-type: none"> - Fall <i>Durchsuchen von Literatur und Praxislösungen im Themenfeld</i> - Ergebnis <i>keine Lösung bzw. Forschungsbedarf</i> - Regel <i>Es gibt keine Lösung im Themenfeld</i> <p>→ Schluss von Einzelfällen auf das Allgemeine</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Regel <i>Wissenschaftliche Erkenntnisse für Werkerinformationssystem</i> - Fall <i>Gestaltung anforderungsgerechtes Werkerinformationssystem</i> - Ergebnis <i>Anforderungsgerechtes Werkerinformationssystem</i> <p>→ Schluss vom Allgemeinen auf das Einzelne</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fall <i>Prototypische Anwendung von dynamischem & individuellen Werkerinformationssystem</i> - Ergebnis <i>Erfolgreiche Evaluation</i> - Regel <i>Dynamische & individuelle Werkerinformationssysteme sind bei hochvariabler, manueller Serienmontage erfolgreich</i> <p>→ Schluss von Einzelfällen auf das Allgemeine</p>				

Abbildung 10-37: Erläuterung der vier Typen von Forschungsaktivitäten mit Bezug zu dieser Arbeit

10.8 Glossar

Aktivitätsinformation	stellt eine Klasse von Werkerinformationen dar, die durchzuführende Aktivitäten beschreibt und wird in dieser Arbeit auch als aktivitätsbeschreibende Information bezeichnet.
Anzeigefeld	bezeichnet die Felder auf dem Werkerinformationssystem-Bildschirm.
Anzeigeformat	unterscheidet Einzel- und Multi-Anzeige.
Anzeigekonzept	fasst Anzeigefelder, Anzeigeprinzip und Anzeigeformat zusammen.
Anzeigeprinzip	beschreibt, wie die zugehörigen Werkerinformationspakete einer ausgewählten Arbeitsvorgangsgruppe aus der AVOG-Kette dargestellt werden.
Arbeitsvorgang (AVO)	meint einen einzelnen Arbeitsschritt des Fertigungsablaufs.
Arbeitsvorgangsgruppe (AVOG)	umfasst mehrere Arbeitsvorgänge.
Arbeitsvorgangsvariante (AVOV)	meint unterschiedliche Varianten von Arbeitsvorgängen und differenziert dabei vier Arten von Arbeitsvorgängen: Standardarbeitsvorgang, obligatorische Arbeitsvorgangsvariante, optionaler Arbeitsvorgang, optionale Arbeitsvorgangsvariante.
Datensatz	meint eine Zeile in einer Datentabelle zur Erfassung von Parameterwerten und Werkerinformationspaketen.
Dreischritt	meint die drei Schritte der Funktionsweise des Werkerinformationssystems: Kontext erfassen, Informationen komponieren, Informationen bereitstellen.
Dynamisch	meint die Anpassung der Information an das Produkt oder den Prozess.
Funktionsweise	meint den einheitlichen Ablauf (Dreischritt) aus Kontext erfassen, Informationen komponieren und Informationen bereitstellen, der für alle Systemfunktionen gilt.
Individuell	meint die Anpassung der Information angepasst an den Werker.
Lösungsbaustein	ist zunächst ein begrifflicher Platzhalter bevor die drei systemtheoretischen Elemente Datensätze, Regelwerke und Anzeigefelder entworfen werden.

Montagevariante (MV)	repräsentiert Produkte, die an diesem Arbeitsplatz auf gleiche Weise montiert werden und steht damit vereinfachend für Produktgruppen oder Kombinationen von Produktmerkmalen, die mehrere Produktvarianten gruppieren.
Parameter(-wert)	sind zeitlich veränderliche Einträge in der Datentabelle.
Prozessrelational	bedeutet, dass die Werkerinformationspakete generische, variantenneutrale Prozessbeschreibungen beinhalten.
Produktrelational	bedeutet, dass die Werkerinformationspakete Produktvariantenbeschreibungen beinhalten.
Prozess- & produktrelational	bedeutet, dass die Werkerinformationspakete Arbeitsvorgangsvariantenbeschreibungen beinhalten. Dabei handelt es sich um die Vereinigung von prozessrelational und produktrelational.
Regelwerk	umfasst die Regeln, nach der die bereitzustellenden Informationen komponiert werden.
Systemelemente	des Werkerinformationssystems sind Datensätze, Regelwerke und Anzeigefelder, die synchron zur dreischrittigen Funktionsweise des Werkerinformationssystems aus dem strukturalen Konzept entworfen wurden.
Systemfunktionen	des Werkerinformationssystems sind aus den acht Anforderungen abgeleitet worden und laufen nach der gleichen Funktionsweise ab.
Werkerinformation (WI)	spezifiziert über die rekursive Begriffsdefinition anhand des Werkerinformationssystems hinaus diejenige Information, die der Werker benötigt, um das notwendige Wissen zu bilden und die notwendigen Handlungen abzuleiten, um seine Montageaufgabe zu erfüllen. Dabei wird zwischen fünf Werkerinformationsklassen unterschieden: Aktivität, Warnung, Hinweis, Änderung, Fehler, Kommentar, Erläuterung.
Werkerinformationspaket (WIP)	bündelt Datensätze zur Speicherung der Werkerinformationen.
Werkerinformationssystem (WIS)	informiert Werker über auszuführende Tätigkeiten auf explizite und regelbasierte Weise. Die bereitgestellte Information wird als Werkerinformation bezeichnet.

Studienarbeitsverzeichnis

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts entstanden am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München (TUM) unter wesentlicher wissenschaftlicher, fachlicher und inhaltlicher Anleitung des Autors die in Tabelle S-1 aufgeführten studentischen Arbeiten, die am Lehrstuhl nicht öffentlich zugänglich archiviert sind.

Die entstandenen Erkenntnisse zu Werkerinformationssystemen sind teilweise in die vorliegende Dissertation eingeflossen. Der Autor dankt allen Studierenden sehr herzlich für ihr Engagement bei der Unterstützung dieses Forschungsprojekts.

Tabelle S-1: Betreute Studienarbeiten

Name	Jahr	Typ	Titel	Mitwirkung
Maria Maier	2020	MA	Leitfaden für den arbeitsinhaltlichen und arbeitsorganisatorischen Anlernprozess in der manuellen Montage	Kap. 5.4.3
Konstalin Lehleiter	2018	MA	Konzeption mit prototypischer Umsetzung einer adaptiven Schnittstelle zur Interaktion zwischen Werker und intelligentem Montagearbeitsplatz	Kap. 10.7.2, Kap. 10.7.3, Kap. 10.7.6
Lukas Wohlschläger	2018	MA	Methode zur Individualisierung von Werkerinformationssystemen	Kap. 5.1, Kap. 5.4.2
Andreas Braunmüller	2018	MA	Modellierung von Arbeitsvorgängen zur teilprozessualen Werkerinformation für arbeitsteilige Montagestationen am Beispiel der Nutzfahrzeugindustrie	Kap. 2.1, Kap. 5.2.3, Kap. 5.4
Timo Hele	2018	MA	Werkerinformationssysteme für die Qualitätssicherung in der mechanischen Fertigung – Konzeption und prototypische Umsetzung am Beispiel eines Nutzfahrzeugherstellers	Kap. 5.1
Bianca Monzer	2017	BA	Analyse und Modellierung von Einflussfaktoren zur Individualisierung von Werkerinformationssystemen am Beispiel eines Nutzfahrzeugherstellers	Kap. 5.4
Barbara Tropschuh	2017	SA	Konzept und prototypische Umsetzung eines smartwatchbasierten Werkerinformationssystems	Kap. 2.1, Kap. 5.4.1, Kap. 7.5
Caroline Haffner	2017	MA	Modellbasierte werkerinformationsbezogene Qualitätsdatenanalyse zur Prävention von Montagefehlern	Kap. 5.4
Vincent Ross	2017	MA	Dynamische Werkerinformationssysteme in der variantenreichen Serienmontage – Methodik und prototypische Umsetzung am Beispiel eines Nutzfahrzeugherstellers	Kap. 2.3, Kap. 5.1, Kap. 8.3
Aron Röhm	2017	MA	Webbasiertes Konzept und prototypische Umsetzung eines individuellen und dynamischen Werkerinformationssystems am Beispiel eines Nutzfahrzeugherstellers	Kap. 5.2.3, Kap. 5.4.2, Kap. 10.5
Carsten Staudacher	2017	SA	Analyse und Modellierung von Informationsarten in der Montage als Basis für Werkerinformationssysteme am Beispiel eines Nutzfahrzeugherstellers	Kap. 2.1, Kap. 2.3, Kap. 10.3

Benjamin Hofmann	2017	SA	Konzeption und prototypische Umsetzung eines tabletbasierten, individuellen Werkerinformationssystems	Kap. 7.1, Kap. 7.2
Robert Blessing	2016	SA	Konzeption und prototypische Umsetzung eines tabletbasierten Werkerinformationssystems	Kap. 6.3, Kap. 7.2
Christian Marxer	2016	BA	Konzept und prototypische Umsetzung eines individuellen Werkerinformationssystems	Kap. 5.4.2
Richard Haymerle	2016	MA	Systematische Analyse und Anforderungsaufnahme als Grundlage für die Gestaltung von Werkerinformationssystemen am Beispiel eines Nutzfahrzeugherstellers	Kap. 2.3, Kap. 4.1, Kap. 10.7.2
Lukas Embacher	2016	BA	Methode zur Wirtschaftlichkeitsbewertung von Geschäftsmodellen für Dienstleistungen im Zuge der Industrie 4.0	Kap. 8.3
Nadine Haas	2016	SA	Erarbeitung und Umsetzung eines Konzepts zur Gestensteuerung in der Montage	Kap. 10.2
Lavinia Moschetti	2016	MA	Proposal of a Worker Individual Information System for Performing Assembly Operations	Kap. 2.3, Kap. 6.3, Kap. 10.2
Udo Merschbecker	2016	SA	Identifikation und Klassifizierung technologischer Potenziale für den Informationsaustausch bei Werkerinformationssystemen	Kap. 2.2
Christian Marian	2016	BA	Methode zur Wirtschaftlichkeits- und Ergonomiebewertung von Smart Devices	Kap. 8.3
Henrik Rossmann	2016	SA	Methode zur Wirtschaftlichkeitsbewertung von Werkerinformationssystemen	Kap. 8.3
Lazar Tomcic	2016	BA	Konzept und Demonstrator zur Übertragung von Arbeitsanweisungen auf eine Smartwatch	Kap. 7
Recep Poyraz	2016	BA	Erarbeitung und Umsetzung eines Konzepts zur Mitarbeiterunterstützung in der Produktion mittels einer Smartwatch	Kap. 7
Christian Poss	2015	SA	Prozess- und Potenzialanalyse bei der Einführung intelligenter Prüfsysteme am Beispiel eines Bremsenprüfstands der Nutzfahrzeugindustrie	Kap. 7.2
Robin Storm	2015	BA	Erarbeitung und Umsetzung eines Konzepts zur Mitarbeiteridentifikation an Montagearbeitsplätzen	Kap. 10.2

Legende: MA – Masterarbeit, SA – Semesterarbeit, BA – Bachelorarbeit

Vorveröffentlichungsverzeichnis

Vorläufige Inhalte dieser Arbeit wurden vorab in Buch- und Zeitschriftenbeiträgen sowie auf Konferenzen publiziert, die unterhalb aufgelistet sind.

TEUBNER ET AL. 2020

Teubner, S.; Rimpau, C.; Reinhart, G.: Approaching Dynamic and Individual Worker Information Systems. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP CMS 2020, 53rd CIRP Conference on Manufacturing Systems. Chicago, USA, 01. – 03.07.2020, S. 795-801.

TEUBNER ET AL. 2019A

Teubner, S.; Lehleiter, K.; Knubben, E.; Reinhart, G.: Mensch-Maschine-Schnittstelle am Montageplatz. Konzeption und Prototyp einer adaptiven Schnittstelle zwischen Werker und intelligentem Montageplatz. wt Werkstattstechnik online 109 (2019) 3.

TEUBNER ET AL. 2019B

Teubner, S.; Merkel, L.; Reinhart, G.; Hagemann, F.; Intra, C.: Improving Worker Information – Proposal of a Dynamic and Individual Concept. In: Dimitrov, D. et al. (Hrsg.): Proceedings of COMA 2019, International Conference on Competitive Manufacturing. Stellenbosch, South Africa, 30.01. – 01.02.2019, S. 352-358. ISBN: 978-0-7972-1779-9.

TEUBNER ET AL. 2018

Teubner, S.; Vernim, S.; Dollinger, C.; Reinhart, G.: Mitarbeiterorientiertes Produktionsmanagement. Ansätze zur flexibilitäts- und produktivitätssteigernden Einbindung von Mitarbeitern in ein zunehmend digitalisiertes und vernetztes Produktionssystem. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 113 (2018) 10, S. 647-651.

TEUBNER ET AL. 2017

Teubner, S.; Bengler, K.; Reinhart, G.; Rimpau, C.; Intra, C.: Individuelle dynamische Werkerinformationssysteme. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. 1. Auflage München: Hanser 2017, S. 66-77. ISBN: 978-3-446-44642-7.

TEUBNER ET AL. 2016

Teubner, S.; Reinhart, G.; Haymerle, R.; Merschbecker, U.: Individuelle und dynamische Werkerinformation. In: Weidner, R. (Hrsg.): Konferenzband, Zweite Transdisziplinäre Konferenz: Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Hamburg, Germany, 12. – 13.12.2016. Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität 2016, S. 349-364. ISBN: 978-3-86818-089-3.

MAIER ET AL. 2020

Maier, M.; Tropschuh, B.; Teubner, S.; Reinhart, G.: Methode zur Gestaltung des Anlernprozesses in der manuellen Montage. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 115 (2020) 10, S. 682-686.

BENGLER ET AL. 2017

Bengler, K.; Lock, C.; Teubner, S.; Reinhart, G.: Grundlegende Konzepte und Modelle. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. 1. Auflage. München: Hanser 2017, S. 54-60.

Literaturverzeichnis

ABELE & REINHART 2011

Abele, Eberhard; Reinhart, Gunther (Hrsg.): Zukunft der Produktion. Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen. München: Hanser 2011. ISBN: 978-3-446-42595-8.

ABEL ET AL. 2019

Abel, J.; Hirsch-Kreinsen, H.; Steglich, S.; Wienzek, T.: Akzeptanz von Industrie 4.0 (März 2019).

ACATECH – DEUTSCHE AKADEMIE DER TECHNIKWISSENSCHAFTEN 2011

acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften: Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion. acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften. Berlin: Springer 2011. ISBN: 978-3-642-27567-8. (acatech POSITION 11).

ADAM 1996

Adam, D.: Planung und Entscheidung. Modelle – Ziele – Methoden; mit Fallstudien und Lösungen. 4. Auflage. Wiesbaden: Gabler 1996. ISBN: 3-409-44613-3.

ADAMI ET AL. 2008

Adami, Wilfried; Lang, Christa; Pfeiffer, Sabine, Rehberg, Frank (Hrsg.): Montage braucht Erfahrung. Erfahrungsbasierte Wissensarbeit in der Montage. München: Hampp 2008. ISBN: 978-3-8618-274-5.

AEHNELT ET AL. 2012

Aehnelt, M.; Peter, C.; Müsebeck, P.: A discussion of using mental models in assistive environments. In: Makedon, F. (Hrsg.): Proceedings of PETRA 2012, 5th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments. Heraklion, Greece, 06. – 08.06.2012. New York: ACM 2012. ISBN: 9781450313001.

AEHNELT & URBAN 2014

Aehnelt, M.; Urban, B.: Follow-Me: Smartwatch Assistance on the Shop Floor. In: Hutchison, D. et al. (Hrsg.): Proceedings of HCIB 2014, 1st International Conference HCI in Business. Heraklion, Greece, 22. – 27.06.2014. Cham: Springer 2014, S. 279-287. ISBN: 978-3-319-07292-0.

AEHNELT & BADER 2014

Aehnelt, M.; Bader, S.: Mobile Informationsassistentz für die Montage. In: Weidner, R. et al. (Hrsg.): Konferenzband, Erste Transdisziplinäre Konferenz: Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Hamburg, Germany, 15. – 16.12.2014. Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität 2014. ISBN: 978-3-86818-073-2.

AEHNELT ET AL. 2014

Aehnelt, M.; Gutzeit, E.; Urban, B.: Using Activity Recognition for the Tracking of Assembly Processes Challenges and Requirements. In: Bieber, G. et al. (Hrsg.): Proceedings of WOAR 2014, Workshop on Sensor-Based Activity Recognition. Rostock, Germany, 11.03.2014. Stuttgart: Fraunhofer 2014. ISBN: 978-3-8396-0792-3.

AEHNELT & BADER 2015A

Aehnelt, M.; Bader, S.: From Information Assistance to Cognitive Automation: A Smart Assembly Use Case. In: Duval, B. et al. (Hrsg.): Proceedings of ICAART 2015, 7th International Conference Agents and artificial intelligence. Lisbon, Portugal, 10. – 12.01.2015. Cham: Springer 2015, S. 207-222. ISBN: 978-3-319-27946-6.

AEHNELT & BADER 2015B

Aehnelt, M.; Bader, S.: Information Assistance for Smart Assembly Stations. In: Duval, B. et al. (Hrsg.): Proceedings of ICAART 2015, 7th International Conference Agents and artificial intelligence. Lisbon, Portugal, 10. – 12.01.2015. Cham: Springer 2015. ISBN: 978-3-319-27946-6.

AEHNELT & URBAN 2015

Aehnelt, M.; Urban, B.: The Knowledge Gap: Providing Situation-Aware Information Assistance on the Shop Floor. In: Nah, F. F.-H. et al. (Hrsg.): Proceedings of HCIB 2015, 2nd International Conference HCI in business (HCIB). Los Angeles, USA, 02. – 07.08.2015. Cham: Springer 2015, S. 232-243. ISBN: 978-3-319-20894-7.

AEHNELT 2016A

Aehnelt, M.: Informationsassistentz zur kognitiven Automatisierung manueller Montagearbeitsplätze. (Dissertation) Universität Rostock. Rostock (2016).

AEHNELT 2016B

Aehnelt, M.: Plant@Hand – Intelligente Assistenzsysteme für Industrie 4.0. wt Werkstattstechnik online 106 (2016) 4, S. 273-274.

AEHNELT & BADER 2016

Aehnelt, M.; Bader, S.: Providing and Adapting Information Assistance for Smart Assembly Stations. In: Bi, Y. et al. (Hrsg.): Proceedings of IntelliSys 2016, SAI Intelligent Systems Conference. London, United Kingdom, 21. – 22.09.2016. Cham: Springer 2016, S. 540-562. ISBN: 978-3-319-56993-2.

AGGTELEKY 1990

Aggteleky, B.: Betriebsanalyse und Feasibility-Studie, Technisch-wirtschaftliche Optimierung von Anlagen und Bauten. 2. Auflage. München: Hanser 1990. ISBN: 3-446-15800-6. (Fabrikplanung – Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung 2).

ÅKERMAN ET AL. 2014

Åkerman, M.; Karlsson, M.; Bligård, L.-O.: Refining the needs: An exploratory study through usability testing. 2014.

ÅKERMAN ET AL. 2015

Åkerman, M.; Berglund, Å. F.; Tarrar, M.; Stahre, J.: Introducing Customized ICT for Operators in Manufacturing. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP CMS 2015, 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Neapel, Italy, 24. – 26.06.2015, S. 490-495.

ÅKERMAN & BERGLUND 2017

Åkerman, M.; Berglund, Å. F.: Interoperability for Human-Centered Manufacturing. In: Debruyne, C. et al. (Hrsg.): Proceedings of EI2N, FBM, ICSP, Meta4eS, OTMA 2017, Confederated International Workshops EI2N, FBM, ICSP, Meta4eS, OTMA and ODBASE Posters. Rhodes, Greece, 23. – 28.10.2017. Berlin: Springer 2017, S. 76-83. ISBN: 0302-9743.

ÅKERMAN 2017

Åkerman, M.: Towards interoperable information and communication systems for manufacturing operations. (Dissertation) Chalmers University of Technology. Gothenburg (2017).

ALEXOPOULOS ET AL. 2014

Alexopoulos, K.; Makris, S.; Xanthakis, V.; Sipsas, K.; Liapis, A.; Chryssolouris, G.: Towards a Role-centric and Context-aware Information Distribution System for Manufacturing. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP DET 2014, 8th CIRP International Conference on Digital Enterprise Technology. Stuttgart, Germany, 25. – 28.03.2014, S. 377-384.

ALEXOPOULOS ET AL. 2016

Alexopoulos, K.; Makris, S.; Xanthakis, V.; Sipsas, K.; Chryssolouris, G.: A concept for context-aware computing in manufacturing. The white goods case. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing* 29 (2016) 8, S. 839-849.

ALM ET AL. 2015A

Alm, R.; Aehnelt, M.; Urban, B.: Processing manufacturing knowledge with ontology-based annotations and cognitive architectures. In: Lindstaedt, S. et al. (Hrsg.): *Proceedings of I-KNOW 2015, 15th International Conference on Knowledge Technologies and Data-Driven Business*. Graz, Austria, 21. – 22.10.2015. New York: ACM 2015, S. 1-6. ISBN: 9781450337212.

ALM ET AL. 2015B

Alm, R.; Aehnelt, M.; Urban, B.: Plant@Hand. In: ACM (Hrsg.): *Proceedings of iWOAR 2015, 2nd ACM International Workshop on Sensor-based Activity Recognition and Interaction*. Rostock, Germany, 25. – 26.06.2015, S. 1-7. ISBN: 9781450334549.

AWF & REFA – VERBAND FÜR ARBEITSSTUDIEN UND BETRIEBSORGANISATION 1968

AWF; REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (REFA): *Handbuch der Arbeitsvorbereitung. Teil 1: Arbeitsplanung*. AWF; REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation. Berlin: Beuth 1968.

BÄCHLER ET AL. 2015

Bächler, A.; Bächler, L.; Autenrieth, S.; Kurtz, P.; Heidenreich, T.; Hörz, T.; Krüll, G.: Entwicklung von Assistenzsystemen für manuelle Industrieprozesse. In: Rathmayer, S. et al. (Hrsg.): *Proceedings, Pre-Conference Workshops der 13. E-Learning Fachtagung Informatik (DeLFI 2015)*. München, Germany, 01.09.2015, S. 56-63.

BÄCHLER ET AL. 2018

Bächler, A.; Bächler, L.; Autenrieth, S.; Behrendt, H.; Funk, M.; Krüll, G.; Hörz, T.; Heidenreich, T.; Misselhorn, Catrin; Schmidt, Albrecht: Systeme zur Assistenz und Effizienzsteigerung in manuellen Produktionsprozessen der Industrie auf Basis von Projektion und Tiefdatenerkennung. In: Wischmann, S. et al. (Hrsg.): *Zukunft der Arbeit – eine praxisnahe Betrachtung*. 1 Auflage. Berlin, Germany: Springer-Vieweg 2018, S. 33-49. ISBN: 978-3-662-49266-6.

BACKHAUS ET AL. 2018

Backhaus, N.; Knittel, M.; Weisner, K.; Benter, M.; Wischniewski, S.; Jaitner, T.; Deuse, J.: Förderung gesunder Arbeit durch kontextsensitive Assistenzsysteme in der industriellen Fertigung und Montage. In: GfA-Frühjahrskongress (Hrsg.): Proceedings, 64. Kongress der Gesellschaft für Arbeitswissenschaft. Dortmund, Germany, 12. – 23.02.2018 2018.

BACKHAUS 2018

Backhaus, N.: Review zur Wirkung elektronischer Überwachung am Arbeitsplatz und Gestaltung kontextsensitiver Assistenzsysteme. 2018.

BACKHAUS 2019

Backhaus, N.: Context Sensitive Technologies and Electronic Employee Monitoring: a Meta-Analytic Review. In: IEEE (Hrsg.): Proceedings of SII 2019, IEEE/SICE International Symposium on System Integration. Paris, France, 14. – 16.01.2019, S. 548-553.

ISBN: 978-1-5386-3615-2.

BADER & AEHNELT 2014

Bader, S.; Aehnelt, M.: Tracking Assembly Processes and Providing Assistance in Smart Factories. In: ESEO (Hrsg.): Proceedings of ICAART 2014, International Conference on Agents and Artificial Intelligence. Angers, France, 06. – 08.03.2014.

BANNAT ET AL. 2008

Bannat, A.; Wallhoff, F.; Rigoll, G.; Friesdorf, F.; Bubb, H.; Stork, S.; Müller, H.-J.; Schubö, A.; Wiesbeck, Mathey; Zäh, Michael F.: Towards Optimal Worker Assistance – A Framework for Adaptive Selection and Presentation of Assembly Instructions. In: CoTeSys (Hrsg.): Proceedings, 1st intern CoTeSys Workshop. München 2008.

BANNAT 2014

Bannat, A.: Ein Assistenzsystem zur digitalen Werker-Unterstützung in der industriellen Produktion. (Dissertation) Technische Universität München. München (2014).

BECKSCHULTE 2020

Beckschulte, S.; Günther, R.; Huebser, L.; Schmitt, R.: Mit Predictive Quality in die Zukunft sehen. Qualität 4.0 - Verborgene Data Analytics Potenziale in produzierenden Unternehmen. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 115 (2020) 10, S. 715-718.

BELKADI ET AL. 2019

Belkadi, F.; Dhuieb, M. A.; Aguado, J. V.; Laroche, F.; Bernard, A.; Chinesta, F.: Intelligent assistant system as a context-aware decision-making support for the workers of the future. Computers & Industrial Engineering (2019).

BENDZIOCH ET AL. 2019

Bendzioch, S.; Hinrichsen, S.; Adrian, B.; Bornewasser, M.: Method for Measuring the Application Potential of Assembly Assistance Systems. In: Nunes, I. L. (Hrsg.): Proceedings of AHFE 2019, International Conference on Human Factors and Systems Interaction. Washington, USA, 24. – 28.07.2019, S. 3-11. ISBN: 978-3-030-20039-8.

BENDZIOCH ET AL. 2020

Bendzioch, S.; Bläsing, D.; Hinrichsen, S.: Comparison of Different Assembly Assistance Systems Under Ergonomic and Economic Aspects. In: Ahram, T. Z. et al. (Hrsg.): Proceedings of IHSED 2019, 2nd International Conference on Human Systems Engineering and Design: Future Trends and Applications. München, Germany, 16. – 18.09.2019. Cham: Springer 2020, S. 20-25. ISBN: 978-3-030-27927-1.

BENGLER ET AL. 2017

Bengler, K.; Lock, C.; Teubner, S.; Reinhart, G.: Grundlegende Konzepte und Modelle. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. 1. Auflage. München: Hanser 2017, S. 54-60. ISBN: 978-3-446-44642-7.

BENNETT & LEMOINE 2014

Bennett, N.; Lemoine, G. J.: What a difference a word makes: Understanding threats to performance in a VUCA world. Business Horizons 57 (2014) 3, S. 311-317.

BERGLUND ET AL. 2014

Berglund, Å. F.; Åkerman, M.; Mattsson, S.; Johansson, P. E.C.; Malm, A.; Brenden, A. P.: Creating strategies for global assembly instructions - current state analysis. The sixth Swedish Production Symposium (2014).

BERNDT & SAUER 2012

Berndt, D.; Sauer, S.: Visuelle Assistenz – Unterstützung bei der Durchführung komplexer Montageaufgaben. wt Werkstattstechnik online 102 (2012) 3, S. 162-163.

BETRVG §87 2017

BetrVG §87: Betriebsverfassungsgesetz § 87 Mitbestimmungsrechte. Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz. 2017.

BINIÖK 2016

Biniök, P.: Soziotechnische Assistenzenensambles. In: Weidner, R. (Hrsg.): Konferenzband, Zweite Transdisziplinäre Konferenz: Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Hamburg, Germany, 12. – 13.12.2016. Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität 2016, S. 269-283. ISBN: 978-3-86818-089-3.

BLATTGERSTE ET AL. 2018

Blattgerste, J.; Renner, P.; Strenge, B.; Pfeiffer, T.: In-Situ Instructions Exceed Side-by-Side Instructions in Augmented Reality Assisted Assembly. In: ACM (Hrsg.): Proceedings of PETRA 2018, 11th ACM International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments. Corfu, Greece, 26. – 29.06.2018.

BLESSING & CHAKRABARTI 2009

Blessing, L. T.M.; Chakrabarti, A.: DRM, a Design Research Methodology. London: Springer 2009. ISBN: 978-1-84882-586-4.

BOGNER ET AL. 2014

Bogner, A.; Littig, B.; Menz, W.: Interviews mit Experten. Eine praxisorientierte Einführung. Wiesbaden: Springer VS 2014. ISBN: 978-3-531-19415-8.

BRANDL ET AL. 2014

Brandl, P.; Michalczuk, R.; Stelzer, P.; Bergles, K.; Aldrian, A.; Poggenburg, J.; Sandtner, K.: Assist 4.0 - Datenbrillen - Assistenzsysteme im Praxiseinsatz. In: Koch, M. et al. (Hrsg.): Workshopband, Mensch und Computer 2014.

BREITKOPF 2018

Breitkopf, N.: Adaptive Assistenz in der Produktion. (Dissertation) Ruhr-Universität Bochum. Bochum (2018).

BREZNITZ 2013

Breznitz, S.: Cry Wolf. The Psychology of False Alarms. Hoboken: Taylor and Francis 2013. ISBN: 978-0898592962.

BUBB ET AL. 2007

Bubb, H.; Müller, H.-J.; Schubö, A.; Rigoll, G.; Wallhoff, F.; Zäh, M. F.: ACIPE – Adaptive Cognitive Interaction in Production Environments. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CARV 2007, 2nd International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production. Toronto, Canada, 22. – 24.07.2007.

BUBB ET AL. 2008

Bubb, H.; Müller, H.-J.; Schubö, A.; Rigoll, G.; Wallhoff, F.; Zäh, M. F.: ACIPE – Adaptive Cognitive Interaction in Production Environments. (CoTeSys Progress Report) Technische Universität München (2008).

BUBB ET AL. 2016

Bubb, H.; Breuninger, J.; Popova-Dlugosch, S.: Ergonomische Produktgestaltung. In: Lindemann, U. (Hrsg.): Handbuch Produktentwicklung. München: Hanser 2016, S. 837-866. ISBN: 978-3-446-44518-5.

BUCK & WITZGALL 2012

Buck, H.; Witzgall, E.: Mitarbeiterqualifizierung in der Montage. In: Lotter, B. et al. (Hrsg.): Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis. 2. Auflage. Berlin: Springer-Vieweg 2012, S. 397-417. ISBN: 978-3-642-29060-2.

BULLINGER 1995

Bullinger, H.-J.: Arbeitsgestaltung. Personalorientierte Gestaltung marktgerechter Arbeitssysteme. Wiesbaden: Vieweg+Teubner 1995. ISBN: 978-3-663-07798-5.

CAESAR 1991

Caesar, C.: Kostenorientierte Gestaltungsmethodik für variantenreiche Serienprodukte. Variant mode and effects analysis (VMEA). Düsseldorf: VDI 1991. ISBN: 3181418021.

CLAEYS ET AL. 2015

Claeys, A.; Hoedt, S.; Soete, H.; van Landeghem, H.; Cottyn, J.: Framework for Evaluating Cognitive Support in Mixed Model Assembly Systems. IFAC-PapersOnLine 48 (2015) 3, S. 924-929.

CLAEYS ET AL. 2016

Claeys, A.; Hoedt, S.; van Landeghem, H.; Cottyn, J.: Generic Model for Managing Context-Aware Assembly Instructions. IFAC-PapersOnLine 49 (2016) 12, S. 1181-1186.

CLAEYS ET AL. 2018

Claeys, A.; Hoedt, S.; Schamp, M.; van Landeghem, H.; Cottyn, J.: Ontological Model for Managing Context-aware Assembly Instructions. IFAC-PapersOnLine 51 (2018) 11, S. 176-181.

CLAEYS ET AL. 2019

Claeys, A.; Hoedt, S.; Schamp, M.; van de Ginste, L.; Verpoorten, G.; Aghezzaf, E.-H.; Cottyn, J.: Intelligent Authoring and Management System for Assembly. In: Dagli, Cihan, H. et al. (Hrsg.): Proceedings of ICPR 2019, 25th International Conference on Production Research Manufacturing Innovation: Cyber Physical Manufacturing. Chicago, USA, 09. – 14.08.2019 2019, S. 1921-1928.

DAENZER ET AL. 1997

Daenzer, W. F.; Huber, F.; Haberfellner, R.; Nagel, P.; Becker, M.; Büchel, A.; Massow, H. von: Systems engineering. Methodik und Praxis. 9. Auflage. Zürich: Industrielle Organisation 1997. ISBN: 3-85743-986-6.

DANIELSSON ET AL. 2018

Danielsson, O.; Syberfeldt, A.; Holm, M.; Wang, L.: Operators perspective on augmented reality as a support tool in engine assembly. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP CMS 2018, 51st CIRP Conference on Manufacturing Systems. Stockholm, Sweden, 16. – 18.05.2018, S. 45-50.

DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT 2013

Deutsche Forschungsgemeinschaft: Vorschläge zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis. Deutsche Forschungsgemeinschaft. Weinheim: Wiley-VCH 2013.
ISBN: 9783527337033.

DIN 199

Deutsches Institut für Normung 199: DIN 199: 2002.

DIN 8580

Deutsches Institut für Normung 8580, 01.040.25; 25.020: Fertigungsverfahren – Begriffe, Einteilung: September 2003.

ISO 6385

Deutsches Institut für Normung 6385, 13.180: Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen. Berlin: Beuth Mai 2004.

ISO 9241-210

Deutsches Institut für Normung 9241-210, 13.180; 35.180: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion – Teil 210: Prozess zur Gestaltung gebrauchstauglicher interaktiver Systeme: Januar 2011.

ISO 6385

Deutsches Institut für Normung 6385, 13.180: Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen. Berlin: Beuth Oktober 2014.

DHUIEB ET AL. 2013

Dhuiieb, M. A.; Laroche, F.; Bernard, A.: Multi-scale structuring of enterprise's knowledge. Towards an ubiquitous virtual assistant (2013).

DHUIEB 2014

Dhuiieb, M. A.: Interoperability Framework for Supporting Information-Based Assistance in the Factory.

DHUIEB ET AL. 2015A

Dhuiieb, M. A.; Laroche, F.; Belkadi, F.; Bernard, A.: Activity theory based context model: application for enterprise intelligent assistant systems. IFAC-PapersOnLine 48 (2015) 3, S. 834-839.

DHUIEB ET AL. 2015B

Dhreib, M. A.; Laroche, F.; Bernard, A.: Context-awareness. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP CMS 2015, 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Neapel, Italy, 24. – 26.06.2015, S. 484-489.

DOMBROWSKI ET AL. 2010

Dombrowski, U.; Wesemann, S.; Korn, G. H.: Werkerinformationssystem. Effiziente Information für die mitarbeiterorientierte Produktion. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 105 (2010) 4, S. 282-287.

DREYER & KLEMM 2005

Dreyer, J.; Klemm, P.: Qualitätssicherung in der Dokumentation. Der Einsatz von Metriken in der Technischen Dokumentation. wt Werkstattstechnik online 95 (2005) 5, S. 432-436.

DREYER 2006

Dreyer, J.: Situative Informationsbereitstellung an Fertigungseinrichtungen – Informationsmodell und Erstellungssystematik. (Dissertation) Universität Stuttgart. Stuttgart (2006).

DUAN ET AL.

Duan, F.; Morioka, M.; Tan, J. T.; Zhang, Y.; Watanabe, K.; Pongthanya, N.: Multimedia based Assembly Supporting System for Cell Production. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP CMS 2008, 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems. Tokyo, Japan, 26. – 28.05.2008, S. 213-216.

DUAN ET AL. 2010

Duan, F.; Gao, Q.; Arai, T.: Assembly skill transfer system for cell production. In: IEEE (Hrsg.): Proceedings of ROBIO 2010, IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics. Tianjin, China, 14. – 18.12.2010, S. 253-258. ISBN: 978-1-4244-9319-7.

DUAN ET AL. 2011

Duan, F.; Tan, J. T.; Arai, T.: A New Human-Robot Collaboration Assembly System for Cellular Manufacturing. In: Technical Committee on Control Theory (TCCT) and Chinese Association of Automation (CAA) (Hrsg.): Proceedings, 30th Chinese Control Conference. Yantai, China, 22. – 24.07.2011, S. 5468-5473.

DUAN ET AL. 2012

Duan, F.; Tan, J. T.; Tong, J. G.; Kato, R.; Arai, T.: Application of the Assembly Skill Transfer System in an Actual Cellular Manufacturing System. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering publication information 9 (2012) 1, S. 31-41.

DUDEN 2019

Duden: Wörterbuch. <<http://www.duden.de>> – 20.07.2019.

DWORSCHAK & WITZGALL 2008

Dworschak, B.; Witzgall, E.: Lernformen und betriebliche Kompetenzentwicklung von Werkerinnen und Werkern. In: Wende, R. et al. (Hrsg.): Qualifikationstrends. Erkennen, Aufbereiten, Transferieren. 1. Auflage: Bertelsmann W. 2008, S. 137-148. ISBN: 978-3-7639-3456-0. (47).

EGBERS 2013

Egbers, J.: Identifikation und Adaption von Arbeitsplätzen für leistungsgewandelte Mitarbeiter entlang des Montageplanungsprozesses. (Dissertation) Technische Universität München. München (2013).

EU 2020

EU: Datenschutz-Grundverordnung. DSGVO. Europäische Union. 2020.

EUROSTAT 2019

EUROSTAT: Europäische Datenbank zu Bevölkerung und Arbeitsmarkt. <<https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/lfs/data/database>> – 11.03.2019.

EURSCH 2010

Eursch, A.: Konzept eines immersiven Assistenzsystems mit Augmented Reality zur Unterstützung manueller Aktivitäten in radioaktiven Produktionsumgebungen. (Dissertation) Technische Universität München. München (2010).

FAST-BERGLUND ET AL. 2014

Fast-Berglund, Å.; Åkerman, M.; Karlsson, M.; Hernández, V. G.; Stahre, J.: Cognitive Automation Strategies – Improving Use-efficiency of Carrier and Content of Information. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP CMS 2014, 47th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Windsor, United Kingdom, 28. – 30.2014, S. 67-70.

FAST-BERGLUND ET AL. 2018

Fast-Berglund, Å.; Li, D.; Åkerman, M.: Creating Strategies to Improve the Use of IT- and IS-systems in Final Assembly. In: Thorvald, P. et al. (Hrsg.): Proceedings, 16th International Conference on Manufacturing Research. Skovde, Sweden, 11. – 13.09.2016 2018, S. 177-182.

FAVRE-BULLE 2004

Favre-Bulle, B.: Automatisierung komplexer Industrieprozesse. Systeme Verfahren und Informationsmanagement. Wien: Springer 2004. ISBN: 978-3-211-21194-6.

FELDMANN & SLAMA 2001

Feldmann, K.; Slama, S.: Effizienzsteigerung in der Montage durch markt orientierte Strukturen und erweiterte Mitarbeiterkompetenz. wt Werkstattstechnik online 91 (2001) 8, S. 483-488.

FELDMANN ET AL. 2002

Feldmann, K.; Slama, S.; Lang, S.: Mitarbeiterkompetenz und Selbstorganisation in der Montage mit multimedialen Informationssystemen steigern. wt Werkstattstechnik online 92 (2002) 9, S. 404-410.

FELDMANN ET AL. 2004

Feldmann, K.; Slama, S.; Gergs, H.-J.; Wirth, U.: Multimediale Informationssysteme für Kleinserienmontagearbeitsplätze. In: Feldmann, K. et al. (Hrsg.): Montage strategisch ausrichten – Praxisbeispiele marktorientierter Prozesse und Strukturen. 1. Auflage. Berlin: Springer 2004, S. 233-247. ISBN: 978-3-642-62273-1.

FELDMANN & LANG 2005

Feldmann, K.; Lang, S.: Multimediale Informationssysteme an manuellen Arbeitsplätzen. Prozesssicherheit und Effizienzsteigerung durch Bereitstellung und Rückmeldung richtiger sowie aktueller Informationen. Industrie Management 21 (2005) 1, S. 25-28.

FELDMANN & LANG 2007

Feldmann, K.; Lang, S.: Effiziente Mitarbeiterinformation als Rationalisierungsansatz in der Produktion. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 102 (2007) 11, S. 723-729.

FERSTL & SINZ 2013

Ferstl, O. K.; Sinz, E. J.: Grundlagen der Wirtschaftsinformatik. München: Oldenbourg 2013. ISBN: 978-3-486-71353-4.

FISCHER ET AL. 2014

Fischer, C.; Lušić, M.; Bönig, J.; Hornfeck, R.; Franke, J.: Webbasierte Werkerinformationssysteme. Datenaufbereitung und -darstellung für die Werkerführung im Global Cross Enterprise Engineering. wt Werkstattstechnik online 104 (2014) 9, S. 581-585.

FISCHER ET AL. 2015A

Fischer, C.; Bönig, J.; Franke, J.; Lušić, M.; Hornfeck, R.: Worker information system to support during complex and exhausting assembly of high-voltage harness. In: IEEE (Hrsg.): Proceedings of EDPC 2015, 5th International Electric Drives Production Conference. Nürnberg, 15. – 16.09.2015, S. 1-7. ISBN: 978-1-4673-7511-5.

FISCHER ET AL. 2015B

Fischer, C.; Lušić, M.; Bönig, J.; Hornfeck, R.; Franke, J.: Shortening Innovation Cycles by Employee Training Based on the Integration of Virtual Validation into Worker Information Systems. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRPe, 4th CIRPe Global Web Conference. 29.09. – 01.10.2015, S. 65-70.

FISCHER ET AL. 2016A

Fischer, C.; Lušić, M.; Faltus, F.; Hornfeck, R.; Franke, J.: Integrating Workers' Feedback into Continuous Information Flows. In: Wulfsberg, J. P. et al. (Hrsg.): Proceedings, 6. WGP-Jahreskongress. Hamburg, Germany, 05. – 06.09.2016. Zurich: Trans Tech 2016, S. 435-442. (1140).

FISCHER ET AL. 2016B

Fischer, C.; Lušić, M.; Faltus, F.; Hornfeck, R.; Franke, J.: Enabling Live Data Controlled Manual Assembly Processes by Worker Information System and Nearfield Localization System. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRPe, 5th CIRPe Global Web Conference. Patras, Greece, 04. – 06.10.2016, S. 242-247.

FRANKE & FIRCHAU 2001

Franke, H.-J.; Firchau, N. L.: Variantenvielfalt in Produktion und Prozessen – Erfahrungen, Methoden und Instrumente zur erfolgreichen Beherrschung. In: VDI – Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen, Tagung der VDI-Gesellschaft Entwicklung, Konstruktion Vertrieb, Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen, Erfahrungen, Methoden und Instrumente. Kassel, 07. – 08.11.2001, S. 1-21. ISBN: 3180916451.

FRANKE & RISCH 2009

Franke, J.; Risch, F.: Effiziente Erstellung, Distribution und Rückmeldung von Werkerinformation in der Montage. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 104 (2009) 10, S. 822-826.

FRAUNHOFER IML 2019

Fraunhofer IML: Smart Devices. <https://www.iml.fraunhofer.de/de/themengebiete/informationslogistik_und_assistenzsysteme/smart_devices.html> – 26.07.2019.

FUNK ET AL. 2015A

Funk, M.; Bächler, A.; Bächler, L.; Korn, O.; Krieger, C.; Heidenreich, T.; Schmidt, A.: Comparing projected in-situ feedback at the manual assembly workplace with impaired workers. In: ACM (Hrsg.): Proceedings of PETRA 2015, 8th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments. Corfu, Greece, 01. – 03.07.2015, S. 1-8. ISBN: 9781450334525. (ICPS).

FUNK ET AL. 2015B

Funk, M.; Dingler, T.; Cooper, J.; Schmidt, A.: Stop helping me – I'm bored! In: ACM (Hrsg.): Proceedings of UbiComp 2015, ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing and ACM International Symposium on Wearable Computers. Osaka, Japan, 07. – 11.09.2015, S. 1269-1273. ISBN: 978-1-4503-3575-1.

FUNK ET AL. 2015C

Funk, M.; Kosch, T.; Greenwald, S. W.; Schmidt, A.: A benchmark for interactive augmented reality instructions for assembly tasks. In: ACM (Hrsg.): Proceedings of MUM 2015, 14th ACM International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia. Linz, Austria, 30.11. – 02.12.2015, S. 253-257. ISBN: 9781450336055.

FUNK ET AL. 2016A

Funk, M.; Kosch, T.; Kettner, R.; Korn, O.; Schmidt, A.: motionEAP: An Overview of 4 Years of Combining Industrial Assembly with Augmented Reality for Industry 4.0. 2016.

FUNK ET AL. 2016B

Funk, M.; Heusler, J.; Akcay, E.; Weiland, K.; Schmidt, A.: Haptic, Auditory, or Visual? In: ACM (Hrsg.): Proceedings of PETRA 2016, 9th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments. Corfu, Greece, 29.06. – 01.07.2016, S. 1-6. ISBN: 978-1-4503-4337-4.

FUNK ET AL. 2016C

Funk, M.; Kosch, T.; Schmidt, A.: Interactive worker assistance. In: ACM (Hrsg.): Proceedings of UbiComp 2016, ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing. Heidelberg, Germany, 12. – 16.09.2016, S. 934-939. ISBN: 9781450344616.

FUNK ET AL. 2018

Funk, M.; Hartwig, M.; Backhaus, N.; Knittel, M.; Deuse, J.: Nutzerevaluation von Assistenzsystemen für die industrielle Montage. In: Weidner, R. et al. (Hrsg.): Konferenzband, Dritte Transdisziplinäre Konferenz: Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Hamburg, Germany, 11. – 12.12.2018. Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität 2018, S. 213-221. ISBN: 978-3-86818-246-0.

FUNK ET AL. 2019

Funk, M.; Hartwig, M.; Wischniewski, S.: Evaluation of Assistance Systems for Manual Assembly Work. In: IEEE (Hrsg.): Proceedings of SII 2019, IEEE/SICE International Symposium on System Integration. Paris, France, 14. – 16.01.2019, S. 794-798. ISBN: 978-1-5386-3615-2.

GERKE 2015

Gerke, W.: Technische Assistenzsysteme. Vom Industrieroboter zum Roboterassistenten. Berlin: de Gruyter Oldenbourg 2015. ISBN: 978-3-11-034371-7.

GERLACH 2009

Gerlach, S.: IuK-Portal. In: Reinhart, G. et al. (Hrsg.): Auftragsprozesse in der kundenintegrierten Montage. MUSKIM. Stuttgart: Fraunhofer IRB 2009, S. 161-179. ISBN: 9783816778820.

GERLACH 2010

Gerlach, S.: Aufbau von produktionsnahen Teaminformationsportalen bei kundenindividueller Produktion mittels Entwurfsmustersprachen. (Dissertation) Universität Stuttgart. Stuttgart (2010).

GIBBS 2018

Gibbs, S.: Elon Musk drafts in humans after robots slow down Tesla Model 3 production. <<https://www.theguardian.com/technology/2018/apr/16/elon-musk-humans-robots-slow-down-tesla-model-3-production>> – 07.03.2019.

GOLDSTEIN 2011

Goldstein, E. B.: Wahrnehmungspsychologie. Der Grundkurs. 7. Auflage. Berlin: Spektrum Akademie 2011. ISBN: 978-3-8274-1766-4.

GONG ET AL. 2017

Gong, L.; Li, D.; Mattsson, S.; Åkerman, M.; Berglund, Å. F.: The Comparison Study of Different Operator Support Tools for Assembly Task in the Era of Global Production. Procedia Manufacturing 11 (2017), S. 1271-1278.

GORECKY ET AL. 2011

Gorecky, D.; Worgan, S. F.; Meixner, G.: COGNITO – A Cognitive Assistance and Training System for Manual Tasks in Industry. In: IEEE (Hrsg.): Proceedings of ECCE 2011, Energy Conversion Congress and Expo. Rostock, 24. – 26.08.2011, S. 53-56.

GOTO ET AL. 2010

Goto, M.; Uematsu, Y.; Saito, H.; Senda, S.; Iketani, A.: Task support system by displaying instructional video onto AR workspace. In: IEEE (Hrsg.): Proceedings of ISMAR 2010, 9th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality. Seoul, South Korea, 13. – 16.10.2010, S. 83-90. ISBN: 978-1-4244-9343-2.

GÖTZE 2014

Götze, U.: Investitionsrechnung. Modelle und Analysen zur Beurteilung von Investitionsvorhaben. 7. Auflage. Berlin: Gabler 2014. ISBN: 978-3-642-54621-1.

GROßE-HEITMEYER & WIENDAHL 2004

Große-Heitmeyer, V.; Wiendahl, H.-P.: Einführung. In: Wiendahl, H.-P. et al. (Hrsg.): Variantenbeherrschung in der Montage. Konzept und Praxis der flexiblen Produktionsendstufe. Berlin: Springer 2004, S. 3-21. ISBN: 978-3-642-62372-1.

HÄMMERLE 2015

Hämmerle, M.: Methode zur strategischen Dimensionierung der Personalflexibilität in der Produktion. (Dissertation) Universität Stuttgart. 2015. ISBN: 978-3-8396-0899-9.

HANNOLA ET AL. 2015

Hannola, L.; Kutvonen, A.; Papinniemi, J.; Lampela, H.: A conceptual framework for linking worker and organizational needs to data and information requirements. In: International Foundation for Production Research (Hrsg.): Proceedings of ICPR 2015, 23rd International Conference on Production Research. Manila, Philippines, 02. – 05.08.2015.

HANNOLA ET AL. 2017

Hannola, L.; Lacueva-Pérez, F. J.; Steinhüser, M.; Kokkonen, K.; Ojanen, V.; Schafler, M.: An Evaluation Framework for Worker-Centric Solutions in Production Environments. In: International Foundation for Production Research (Hrsg.): Proceedings of ICPR 2017, 24th International Conference on Production Research. Poznan, Poland, 30.07. – 03.08.2017. ISBN: 2475-885X.

HAUG 2015

Haug, A.: Work instruction quality in industrial management. International Journal of Industrial Ergonomics 50 (2015), S. 170-177.

HELFRICH 2016

Helfrich, H.: Wissenschaftstheorie für Betriebswissenschaftler. 2016. ISBN: 978-3-658-07035-9.

HINRICHSSEN ET AL. 2016

Hinrichsen, S.; Riediger, D.; Unrau, A.: Assistance Systems in Manual Assembly. In: Hinrichsen, S. (Hrsg.): Proceedings, 6th International Conference on Production Engineering and Management. Lemgo, Germany, 29. – 30.09.2016.

HINRICHSSEN & BENDZIOCH 2018

Hinrichsen, S.; Bendzioch, S.: How Digital Assistance Systems Improve Work Productivity in Assembly. In: Nazir, S. et al. (Hrsg.): Proceedings of AHFE 2018, International Conference on Human Factors in Training, Education, and Learning Sciences. Orlando, USA, 21. – 25.07.2018, S. 332-342. ISBN: 978-3-319-94333-6.

HIRAI ET AL. 2011

Hirai, S.; Seto, F.; Yokoi, K.: Special Issue on Strategic Development of Advanced Robotics Elemental Technologies. Journal of Robotics and Mechatronics 23 (2011) 6, S. 906.

HOEDT ET AL. 2018

Hoedt, S.; Claeys, A.; Schamp, M.; van Landeghem, H.; Cottyn, J.: Countering the forgetting effect in mixed-model manual assembly. IFAC-PapersOnLine 51 (2018) 11, S. 856-861.

HOLD ET AL. 2017

Hold, P.; Erol, S.; Reisinger, G.; Sihm, W.: Planning and Evaluation of Digital Assistance Systems. In: Metternich, J. (Hrsg.): Proceedings of CLF 2017, 7th Conference on Learning Factories. Darmstadt, Germany, 04. – 05.04.2017, S. 143-150.

HOLLNAGEL 1987

Hollnagel, E.: Information and reasoning in intelligent decision support systems. International Journal of Man-Machine Studies 27 (1987) 5-6, S. 665-678.

HOLM ET AL. 2015

Holm, M.; Adamson, G.; Moore, P.; Wang, L.: Why I want to be a Future Swedish Shop-floor Operator. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP CMS 2015, 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Neapel, Italy, 24. – 26.06.2015, S. 1101-1106.

HOLM ET AL. 2017

Holm, M.; Danielsson, O.; Syberfeldt, A.; Moore, P.; Wang, L.: Adaptive instructions to novice shop-floor operators using Augmented Reality. Journal of Industrial and Production Engineering 34 (2017) 5, S. 362-374.

HOLM 2018

Holm, M.: The future shop-floor operators, demands, requirements and interpretations. Journal of Manufacturing Systems 47 (2018), S. 35-42.

HOŘEJŠÍ 2014

Hořejší, P.: Augmented Reality System for Virtual Training of Parts Assembly. In: DAAAM (Hrsg.): Proceedings, 25th International Symposium on Intelligent Manufacturing and Automation. Wien, Austria, 26. – 29.11.2014, S. 699-706.

HORNUNG & HOFMANN 2017

Hornung, G.; Hofmann, K.: Rechtsfragen bei Industrie 4.0: Rahmenbedingungen, Herausforderungen und Lösungsansätze. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. 1. Auflage. München: Hanser 2017, S. 191-212. ISBN: 978-3-446-44642-7.

JOHANSSON ET AL. 2016A

Johansson, P. E.C.; Delin, F.; Jansson, S.; Moestam, L.; Fast-Berglund, Å.: Global Truck Production – The importance of Having a Robust Manufacturing Preparation Process. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP CMS 2016, 49th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Stuttgart, Germany, 25. – 27.05.2016, S. 631-636.

JOHANSSON ET AL. 2016B

Johansson, P. E.C.; Mattsson, S.; Moestam, L.; Fast-Berglund, Å.: Multi-variant Truck Production – Product Variety and its Impact on Production Quality in Manual Assembly. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings, 6th CIRP Conference on Learning Factories. Gjøvik, Norway, 29. – 30.06.2016, S. 245-250.

JOHANSSON ET AL. 2017A

Johansson, P. E.C.; Enofe, M. O.; Schwarzkopf, M.; Malmsköld, L.; Berglund, Å. F.; Moestam, L.: Data and Information Handling in Assembly Information Systems – A Current State Analysis. Procedia Manufacturing 11 (2017), S. 2099-2106.

JOHANSSON ET AL. 2017B

Johansson, P. E.C.; Eriksson, G.; Johansson, P.; Malmsköld, L.; Berglund, Å. F.; Moestam, L.: Assessment Based Information Needs in Manual Assembly. In: International Foundation for Production Research (Hrsg.): Proceedings of ICPR 2017, 24th International Conference on Production Research. Poznan, Poland, 30.07. – 03.08.2017, S. 366-371. ISBN: 2475-885X.

JOHANSSON ET AL. 2018

Johansson, P. E.C.; Malmsköld, L.; Fast-Berglund, Å.; Moestam, L.: Enhancing Future Assembly Information Systems – Putting Theory into Practice. Procedia Manufacturing 17 (2018), S. 491-498.

JOHANSSON ET AL. 2019

Johansson, P. E.C.; Malmsköld, L.; Fast-Berglund, Å.; Moestam, L.: Challenges of handling assembly information in global manufacturing companies. *Journal of Manufacturing Technology Management* (2019).

JOST ET AL. 2015

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. et al. (Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0. Produktion, Automatisierung und Logistik*. Berlin: Springer 2015, S. 153-173.

KARAFILLIDIS & WEIDNER 2016

Karafillidis, A.; Weidner, R.: Taxonomische Kriterien technischer Unterstützung. In: Weidner, R. (Hrsg.): *Konferenzband, Zweite Transdisziplinäre Konferenz: Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen*. Hamburg, Germany, 12. – 13.12.2016. Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität 2016, S. 233-247. ISBN: 978-3-86818-089-3.

KARLSSON ET AL. 2013

Karlsson, M.; Mattsson, S.; Fast-Berglund, Å.; Stahre, J.: Could the use of ICT tools be the way to increase competitiveness in Swedish industry? *IFAC Proceedings Volumes* 46 (2013) 15, S. 179-186.

KERBER & LESSEL 2015

Kerber, F.; Lessel, P.: Adaptive und gamifizierte Werkerassistenz in der (semi-)manuellen Industrie 4.0-Montage. In: Rathmayer, S. et al. (Hrsg.): *Proceedings, Pre-Conference Workshops der 13. E-Learning Fachtagung Informatik (DeLFI 2015)*. München, Germany, 01.09.2015, S. 28-35.

KETTNER ET AL. 1984

Kettner, H.; Schmidt, J.; Greim, H.-R.: *Leitfaden der systematischen Fabrikplanung*. München: Hanser 1984. ISBN: 978-3-446-13825-4.

KLEINEBERG ET AL. 2017

Kleineberg, T.; Hinrichsen, S.; Eichelberg, M.; Busch, F.; Brockmann, D.; Vierfuß, R.: *Leitfaden: Einführung von Assistenzsystemen in der Montage*. 2017. ISBN: 978-3-946856-02-3.

KLEMM ET AL. 2003

Klemm, P.; Dreyer, J.; Zühlke, D.; Reuther, A.: Situationsadaptive Informationsbereitstellung an Maschinen. *wt Werkstattstechnik online* 93 (2003) 5, S. 389-395.

KLETTI 2007

Kletti, J.: Konzeption und Einführung von MES-Systemen. 1. Auflage. Berlin: Springer 2007. ISBN: 3-540-34309-1.

KOLLATSCH ET AL. 2014

Kollatsch, C.; Schumann, M.; Klimant, P.; Wittstock, V.; Putz, M.: Mobile Augmented Reality Based Monitoring of Assembly Lines. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP CATS 2014, 5th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems. Dresden, Germany, 13. – 14.11.2014, S. 246-251.

KORN ET AL. 2012

Korn, O.; Brach, M.; Schmidt, A.; Hörz, T.; Konrad, R.: Context-Sensitive User-Centered Scalability: An Introduction Focusing on Exergames and Assistive Systems in Work Contexts. In: Göbel, S. et al. (Hrsg.): Proceedings of Edutainment and GameDays 2012, 7th International Conference on E-Learning and Games for Training, Education, Health and Sports and International Conference on Serious Games for Sports and Health. Darmstadt, Germany, 18. – 20.09.2012, S. 164-176. ISBN: 978-3-642-33465-8.

KORN ET AL. 2013

Korn, O.; Abele, S.; Schmidt, A.; Hörz, T.: Augmentierte Produktion. Assistenzsysteme mit Projektion und Gamification für leistungsgeminderte und leistungsgewandelte Menschen. In: Boll, S. v. et al. (Hrsg.): Mensch & Computer 2013.

KORN ET AL. 2014

Korn, O.; Funk, M.; Abele, S.; Hörz, T.; Schmidt, A.: Context-aware assistive systems at the workplace. In: Makedon, F. et al. (Hrsg.): Proceedings of PETRA 2014, 7th ACM International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA). Rhodes, Greece. New York: ACM 2014, S. 1-8. ISBN: 9781450327466.

KORN 2014

Korn, O.: Context-Aware Assistive Systems for Augmented Work. A Framework Using Gamification and Projection. (Dissertation) Universität Stuttgart. Stuttgart (2014).

KORNWACHS 2018

Kornwachs, K.: Philosophie für Ingenieure. 3. Auflage. München: Hanser 2018. ISBN: 978-3-446-45471-2.

KOSCH ET AL. 2016

Kosch, T.; Kettner, R.; Funk, M.; Schmidt, A.: Comparing Tactile, Auditory, and Visual Assembly Error-Feedback for Workers with Cognitive Impairments. In: ACM (Hrsg.): Proceedings of ASSETS 2016, ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility. Reno, USA, 23. – 26.10.2016, S. 53-60. ISBN: 9781450341240.

KRAISS 1998

Kraiss, K.-F.: Benutzergerechte Automatisierung – Grundlagen und Realisierungskonzepte. at – Automatisierungstechnik 46 (1998) 10, S. 457-467.

KRCMAR 2015

Krcmar, H.: Informationsmanagement. Berlin: Springer Gabler 2015. ISBN: 978-3-662-45862-4.

KREGGENFELD ET AL. 2016

Kreggenfeld, N.; Prinz, C.; Kuhlenkötter, B.: Mitarbeiterbefähigung in der Industrie 4.0. Ganzheitlicher Ansatz zur Erfassung sowie zum Management von Mitarbeiter- und Prozesswissen. Industrie 4.0 Management 32 (2016) 3, S. 31-34.

KREGGENFELD & KUHLENKÖTTER 2016

Kreggenfeld, N.; Kuhlenkötter, B.: Situative Mitarbeiterbefähigung in der Industrie 4.0. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 111 (2016) 10, S. 658-661.

KREGGENFELD ET AL. 2017

Kreggenfeld, N.; Prinz, C.; Ullrich, C.; Kuhlenkötter, B.: Vorgehensmodell zur Identifikation, Aufnahme und Aufbereitung von Assistenzprozessen in der Industrie 4.0. In: Igel, C. et al. (Hrsg.): Proceedings, DeLFI Conference. Chemnitz, Germany, 05. – 08.09.2017, S. 137-142.

KREUELS 2014

Kreuels, S.: Modellbasierte Multi-Kriterien-Analyse von Fabrikssystemen als Grundlage für die Ableitung von Änderungsmaßnahmen. (nichtveröffentlichte Masterarbeit). iwB - Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften, Technische Universität München. München (11.07.2014).

KRÖGER & VIERFUß 2016

Kröger, A.; Vierfuß, R.: Echtzeitfähiges Werkerassistenzsystem für die manuelle Montage 4.0. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 111 (2016) 05, S. 299-301.

KUBICEK 1977

Kubicek, H.: Heuristische Bezugsrahmen und heuristisch angelegte Forschungsdesigns als Element einer Konstruktionsstrategie empirischer Forschung. In: Köhler, R. (Hrsg.): Empirische und handlungstheoretische Forschungskonzeptionen in der Betriebswirtschaftslehre. Bericht über die Tagung in Aachen, März 1976. Stuttgart: Poeschel 1977, S. 3-36. ISBN: 3791002147.

LALLY ET AL. 2010

Lally, P.; Van Jaarsveld, Cornelia H. M.; Potts, H. W.; Wardle, J.: How are habits formed: Modelling habit formation in the real world. *European Journal of Social Psychology* 40 (2010), S. 998-1009.

LAMPELA ET AL. 2015

Lampela, H.; Heilmann, P.; Hurmelinna-Laukkanen, P.; Lämsä, T.; Hyrkäs, E.; Hannola, L.: Identifying worker needs and organizational responses in implementing knowledge work tools in manufacturing. In: International Labour and Employment Relations Association (Hrsg.): Proceedings of ILERA 2015, 17th World Congress International Labour and Employment Relations Association. Cape Town, South Africa, 07. – 11.09.2015.

LAMPEN ET AL. 2019

Lampen, E.; Teuber, J.; Gaisbauer, F.; Bär, T.; Pfeiffer, T.; Wachsmuth, S.: Combining Simulation and Augmented Reality Methods for Enhanced Worker Assistance in Manual Assembly. *Procedia CIRP* 81 (2019), S. 588-593.

LANG 2007

Lang, S.: Durchgängige Mitarbeiterinformation zur Steigerung von Effizienz und Prozesssicherheit in der Produktion. 1. Auflage. Bamberg: Meisenbach 2007. ISBN: 978-3-87525-257-6.

LAROCHE ET AL. 2012

Laroche, F.; Bernard, A.; Bordeu, F.; Chinesta, F.: Towards the factory of future. In: Richir, S. (Hrsg.): Proceedings of VRIC 2012, ACM Virtual Reality International Conference. Laval, France, 28. – 30.03.2012. ISBN: 978-1-4503-1243-1.

LAROCHE ET AL. 2016

Laroche, F.; Dhuieb, M. A.; Belkadi, F.; Bernard, A.: Accessing enterprise knowledge. In: *CIRP Annals* (Hrsg.): Manufacturing Technology 2016, S. 189-192.

LEE & BOLING 1999

Lee, S. H.; Boling, E.: Screen Design Guidelines for Motivation in Interactive Multimedia Instruction: A Survey and Framework for Designers. *Educational Technology* (1999) 39, S. 19-26.

LI ET AL. 2016

Li, D.; Mattsson, S.; Fast-Berglund, Å.; Åkerman, M.: Testing Operator Support Tools for a Global Production Strategy. *Procedia CIRP* 44 (2016), S. 120-125.

LI ET AL. 2018

Li, D.; Mattsson, S.; Salunkhe, O.; Fast-Berglund, Å.; Skoogh, A.; Broberg, J.: Effects of Information Content in Work Instructions for Operator Performance. *Procedia Manufacturing* 25 (2018), S. 628-635.

LI ET AL. 2019

Li, D.; Fast-Berglund, Å.; Paulin, D.: Current and future Industry 4.0 capabilities for information and knowledge sharing. *International Journal Advanced Manufacturing Technology* 61 (2019) 2, S. 793.

LINDEMANN 2009

Lindemann, U.: *Methodische Entwicklung technischer Produkte. Methoden flexibel und situationsgerecht anwenden.* 3. Auflage. Berlin: Springer 2009. ISBN: 978-3-642-01422-2.

LINGNAU 1994

Lingnau, V.: *Variantenmanagement. Produktionsplanung im Rahmen einer Produktdifferenzierungsstrategie.* Berlin: Schmidt 1994. ISBN: 3-503-03619-9.

LOTTER & WIENDAHL 2012

Lotter, Bruno; Wiendahl, Hans-Peter (Hrsg.): *Montage in der industriellen Produktion. Ein Handbuch für die Praxis.* 2. Auflage. Berlin: Springer-Vieweg 2012. ISBN: 978-3-642-29060-2.

LUCZAK 1993

Luczak, H.: *Arbeitswissenschaft.* Berlin: Springer 1993. ISBN: 978-3-540-54636-8.

LUŠIĆ ET AL. 2013

Lušić, M.; Hornfeck, R.; Fischer, C.; Franke, J.: Lean Information Management of Manual Assembly Processes. Creating IT-Based Information Systems for Assembly Staff Simultaneous to the Product Engineering Process. *Applied Mechanics and Materials* 421 (2013), S. 546-553.

LUŠIĆ ET AL. 2014

Lušić, M.; Schmutzer Braz, K.; Wittmann, S.; Fischer, C.; Hornfeck, R.; Franke, J.: Worker Information Systems Including Dynamic Visualisation. A Perspective for Minimising the Conflict of Objectives between a Resource-Efficient Use of Inspection Equipment and the Cognitive Load of the Worker. *Advanced Materials Research* 1018 (2014), S. 23-30.

LUŠIĆ ET AL. 2015

Lušić, M.; Fischer, C.; Böinig, J.; Hornfeck, R.; Franke, J.: Worker information systems: state of the art and guideline for selection under consideration of company specific boundary conditions. In: CIRP (Hrsg.): *Proceedings of CIRP CMS 2015, 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems*. Neapel, Italy, 24. – 26.06.2015, S. 1113-1118.

LUŠIĆ ET AL. 2016

Lušić, M.; Fischer, C.; Braz, K. S.; Alam, M.; Hornfeck, R.; Franke, J.: Static Versus Dynamic Provision of Worker Information in Manual Assembly. In: CIRP (Hrsg.): *Proceedings of CIRP CMS 2016, 49th CIRP Conference on Manufacturing Systems*. Stuttgart, Germany, 25. – 27.05.2016, S. 504-509.

LUŠIĆ 2017

Lušić, M.: *Ein Vorgehensmodell zur Erstellung montageführender Werkerinformationssysteme simultan zum Produktentstehungsprozess*. 1. Auflage. Bamberg: Meisenbach 2017. ISBN: 978-3-87525-426-6.

MAIER ET AL. 2020

Maier, M.; Tropschuh, B.; Teubner, S.; Reinhart, G.: Methode zur Gestaltung des Anlernprozesses in der manuellen Montage. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 115 (2020) 10, S. 682-686.

MAKRIS ET AL. 2016

Makris, S.; Karagiannis, P.; Koukas, S.; Matthaiakis, A.-S.: Augmented reality system for operator support in human–robot collaborative assembly. In: *CIRP Annals (Hrsg.): Manufacturing Technology 2016*, S. 61-64.

MALTZ 1977

Maltz, M.: *Psycho-cybernetics*. New York: Pocket Books 1977, 1960. ISBN: 0-671-80628-9.

MATTSSON ET AL. 2012

Mattsson, S.; Gullander, P.; Harlin, U.; Bäckstrand, G.: Testing Complexity Index - a Method for Measuring Perceived Production Complexity. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP CMS 2012, 45th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Patras, Greece, 16. – 18.05.2012.

MATTSSON ET AL. 2016

Mattsson, S.; Fast-Berglund, Å.; Li, D.: Evaluation of Guidelines for Assembly Instructions. IFAC-PapersOnLine 49 (2016) 12, S. 209-214.

MAYER 2008

Mayer, R. E.: Applying the Science of Learning: Evidence-Based Principles for the Design of Multimedia Instructions. American Psychologist (2008), S. 760-769.

MEIER & NEUSCHWINGER 2000

Meier, H.; Neuschwinger, A.: M-AIS – ein multimediales Arbeitsplatz-Informationssystem. wt Werkstattstechnik online 90 (2000) 1/2, S. 13-16.

MEINBERG & TOPOLEWSKI 1995

Meinberg, U.; Topolewski, F.: Lexikon der Fertigungsleittechnik. Begriffe, Erläuterungen, Beispiele. Berlin: Springer 1995. ISBN: 978-3-642-79326-4.

MERKEL ET AL. 2017A

Merkel, L.; Starz, Janek, Schultz, Cedric, Braunreuther, Stefan; Reinhart, G.: Digitale Assistenzsysteme in der Produktion. Fähigkeitenmodell zur Auswahl digitaler Assistenzsysteme in der Produktion. wt Werkstattstechnik online 107 (2017) 3, S. 124-128.

MERKEL ET AL. 2017B

Merkel, L.; Berger, C.; Schultz, C.; Braunreuther, S.; Reinhart, G.: Application-Specific Design of Assistance Systems for Manual Work in Production. In: IEEE (Hrsg.): Proceedings of IEEM 2017, International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. Singapur, 10. – 13.12.2017, S. 1189-1193.

MERKEL ET AL. 2019

Merkel, L.; Weth, J.; Sochor, R.; Berger, C.; Braunreuther, S.; Reinhart, G.: A Modular Framework for Cognitive Assistance Systems in Manual Assembly. In: Dimitrov, D. et al. (Hrsg.): Proceedings of COMA 2019, International Conference on Competitive Manufacturing. Stellenbosch, South Africa, 30.01. – 01.02.2019, S. 346-351. ISBN: 978-0-7972-1779-9.

MERKEL 2020

Merkel, L.: Kognitive Assistenzsysteme in der manuellen Montage. (Dissertation) Technische Universität München. München (2021).

MILFELNER ET AL. 2017

Milfelner, M.; Schafler, M.; Spitzer, M.; Wilfing, M.: Smart oriented Workplaces in tool production. (Hrsg.): Proceedings of IN-TECH 2017, International Conference on Innovative Technologies. Ljubljana, Slovenia, 13. – 15.09.2017.

MILLER 1956

Miller, G. A.: The magical number seven, plus or minus two. Some limits on our capacity for processing information. Psychological Review 63 (1956) 2, S. 81-97.

MOMMERTZ 1981

Mommertz, K.-H.: Bohren, drehen und fräsen. Geschichte der Werkzeugmaschinen. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt 1981. ISBN: 3-499-17704-8.

MÜLLER ET AL. 2014

Müller, R.; Vette, M.; Hörauf, L.; Speicher, C.: Cyber-physisch geprägte Montageplanungsmethoden. Auf dem Weg zu intelligenten Montageplanungsmethoden mithilfe von IT-Tools im Bereich Industrie 4.0. wt Werkstattstechnik online 104 (2014) 3, S. 124-128.

MURA ET AL. 2015

Mura, M. D.; Dini, G.; Failli, F.: An Integrated Environment Based on Augmented Reality and Sensing Device for Manual Assembly Workstations. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP CMS 2015, 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Neapel, Italy, 24. – 26.06.2015, S. 340-345.

NEUSCHWINGER 2003

Neuschwinger, A.: Multimediales, informationsmodellbasiertes Arbeitsplatz-Kommunikationssystem. (Dissertation). Aachen: Shaker 2003. ISBN: 3-83221-898-X. (Schriftenreihe des Lehrstuhls für Produktionssysteme 2).

NIKOLENKO ET AL. 2019

Nikolenko, A.; Sehr, P.; Hinrichsen, S.; Bendzioch, S.: Digital Assembly Assistance Systems – A Case Study. In: Nunes, I. L. (Hrsg.): Proceedings of AHFE 2019, International Conference on Human Factors and Systems Interaction. Washington, USA, 24. – 28.07.2019, S. 24-33. ISBN: 978-3-030-20039-8.

NONAKA ET AL. 1997

Nonaka, I.; Takeuchi, H.; Mader, F.: Die Organisation des Wissens. Frankfurt/Main: Campus 1997. ISBN: 3-59335-643-0.

NORMAN 2013

Norman, D. A.: The design of everyday things. New York, NY: Basic Books 2013.
ISBN: 978-0-465-05065-9.

NORTH 2011

North, K.: Wissensorientierte Unternehmensführung. Wertschöpfung durch Wissen. Wiesbaden: Gabler 2011. ISBN: 978-3-8349-2538-1.

OGLODIN ET AL. 2008A

Oglodin, V.; Kircher, C.; Klemm, P.: Mediengerechte Informationsbereitstellung. Modellierung von Informationen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Publikationsmedien. wt Werkstattstechnik online 98 (2008) 5, S. 352-356.

OGLODIN ET AL. 2008B

Oglodin, V.; Kircher, C.; Klemm, P.: Situative Bereitstellung von Handlungsanweisungen. Informationsmodell für die Abbildung des Handlungsablaufs an Maschinen. wt Werkstattstechnik online 98 (2008) 5, S. 345-351.

OGLODIN ET AL. 2009

Oglodin, V.; Kircher, C.; Klemm, P.: The stemadi concept. Situation-oriented and user-friendly provision of guidelines at the machine. Production Engineering 3 (2009) 4-5, S. 329-338.

OGLODIN 2010

Oglodin, V.: Maschinenübergreifender agentenbasierter Informationsaustausch für die Störungsbeseitigung. (Dissertation) Universität Stuttgart. Stuttgart (2010).

PAELKE 2014

Paelke, V.: Augmented reality in the smart factory: Supporting workers in an industry 4.0 environment. In: IEEE (Hrsg.): Proceedings of ETFA 2014, 2014 IEEE Emerging Technology and Factory Automation. Barcelona, Spain, 16. – 19.09.2014, S. 1-4. ISBN: 978-1-4799-4845-1.

PATZAK 1982

Patzak, G.: Systemtechnik, Planung komplexer innovativer Systeme. Grundlagen, Methoden, Techniken. 1. Auflage. Berlin: Springer 1982. ISBN: 3-540-11783-0.

PEIRCE 1991

Peirce, Charles S. (Hrsg.): Schriften zum Pragmatismus und Pragmatizismus. 1. Auflage. Frankfurt am Main: Suhrkamp 1991. ISBN: 3518285459.

PERNICE ET AL. 2014

Pernice, K.; Whitenon, K.; Nielsen, J.: How People Read Online: The Eyetracking Evidence. Fremont, USA: Nielsen Norman Group 2014.

PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 2015

Plattform Industrie 4.0: Umsetzungsstrategie Industrie 4.0. April 2015.

PLATTFORM INDUSTRIE 4.0 2019

Plattform Industrie 4.0: Was ist Industrie 4.0. <<https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html>> – 11.03.2019.

PLEHN 2016

Plehn, C.: A Method for Analyzing the Impact of Changes and their Propagation in Manufacturing Systems. (Dissertation) Technische Universität München. München (2016).

PONN & LINDEMANN 2011

Ponn, J. C.; Lindemann, U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. Systematisch von Anforderungen zu Konzepten und Gestaltlösungen. Berlin: Springer 2011. ISBN: 978-3-642-20579-8.

POPPER 2005

Popper, K. R.: Logik der Forschung. 11. Auflage. Tübingen: Mohr Siebeck 2005. ISBN: 316148410X.

POSLAD 2009

Poslad, S.: Ubiquitous Computing. Smart Devices, Environments and Interactions. 2. Auflage. Hoboken: John Wiley & Sons Ltd 2009. ISBN: 978-0-470-03560-3.

PÖTTER 1994

Pötter, G.: Die Anleitung zur Anleitung. 1. Auflage. Würzburg: Vogel 1994. ISBN: 3-80231-534-0.

POTTHOF 1998

Potthof, I.: Kosten und Nutzen der Informationsverarbeitung. Analyse und Beurteilung von Investitionsentscheidungen. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag 1998. ISBN: 978-3-8244-6818-8.

PRÖPSTER 2015

Pröpster, M.: Methodik zur kurzfristigen Austaktung variantenreicher Montagelinien am Beispiel des Nutzfahrzeugbaus. (Dissertation) Technische Universität München. München (2015).

RADOW 1999

Radow, W. R.: Informationsmanagement in der manuellen Montage. Düsseldorf: VDI 1999. ISBN: 3-18-351402-8.

REENSKAUG 1979

Reenskaug, T.: The original MVC reports. <https://folk.uio.no/tryg-ver/2007/MVC_Originals.pdf> – 16.11.2019.

REFA – VERBAND FÜR ARBEITSSTUDIEN UND BETRIEBSORGANISATION 1985

REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation (REFA): Methodenlehre der Planung und Steuerung. Grundlagen. REFA – Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation. 4. Auflage. München: Hanser 1985. ISBN: 3-446-14245-2.

REINHART ET AL. 2009

Reinhart, G.; Zäh, M. F.; Wiesbeck, M.; Egbers, J.: Digitale Assistenzsysteme zur alterungsgerechten Integration von Werkern in die variantenreiche Montage. ATZproduktion 2 (2009) 03-04, S. 18-21.

REINHART ET AL. 2013

Reinhart, G.; Engelhardt, P.; Geiger, F.; Philipp, T. R.; Wahlster, W.; Zühlke, D.; Schlick, J.; Becker, T.; Löckelt, Markus; Pirvu, Bogdan; Stephan, Peter; Hodek, Stefan; Scholz-Reiter, Bernd; Thoben, Klaus-Dieter; Gorld, Christian; Hribernik, Karl; Lappe, Dennis; Veigt, Marius: Cyber-Physische Produktionssysteme. Produktivitäts- und Flexibilitätssteigerung durch die Vernetzung intelligenter Systeme in der Fabrik. wt Werkstattstechnik online 103 (2013) 2, S. 84-89.

REINHART & ZÄH 2014

Reinhart, G.; Zäh, M. F.: Assistenzsysteme in der Produktion. wt Werkstattstechnik online 104 (2014) 9, S. 516.

REINHART & ZÜHLKE 2017

Reinhart, G.; Zühlke, D.: Von CIM zu Industrie 4.0. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. 1. Auflage. München: Hanser 2017, S. XXXI-XL. ISBN: 978-3-446-44642-7.

RICHTER ET AL. 2017

Richter, A.; Vodanovich, S.; Steinhüser, M.; Hannola, L.: IT on the Shop Floor – Challenges of the Digitalization of manufacturing companies. (Hrsg.): Proceedings, 30th Bled eConference. Bled, Slovenia, 18. – 21.06.2017.

RONIS ET AL. 2014

Ronis, D. L.; Yates, J. F.; Kirscht, J. P.: Attitudes, Decisions, and Habits as Determinants of Repeated Behavior. In: Pratkanis, A. R. et al. (Hrsg.): Attitude Structure and Function: Psychology Press 2014, S. 213-239. ISBN: 9781315801780.

ROPOHL 1999

Ropohl, G.: Allgemeine Technologie. Eine Systemtheorie der Technik. 2. Auflage. München: Hanser 1999. ISBN: 3-446-19606-4.

SCHAFLER ET AL. 2018

Schafler, M.; Lacueva-Pérez, F. J.; Hannola, L.; Damalas, S.; Nierhoff, J.; Herrmann, T.: Insights into the Introduction of Digital Interventions at the shop floor. In: ACM (Hrsg.): Proceedings of PETRA 2018, 11th ACM International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments. Corfu, Greece, 26. – 29.06.2018, S. 331-338.

SCHEER ET AL. 2002

Scheer, A.-W.; Thomas, O.; Wagner, D.: Verfahren und Werkzeuge zur Unternehmensmodellierung. In: Bullinger, H.-J. (Hrsg.): Neue Organisationsformen im Unternehmen. Ein Handbuch für das moderne Management. 2. Auflage. Berlin: Springer 2002, S. 740-760. ISBN: 3-540-67610-4.

SCHLICK ET AL. 2010

Schlick, C. M.; Bruder, R.; Luczak, H.: Arbeitswissenschaft. 3. Auflage: Springer 2010.

SCHLIEßMANN 2014

Schließmann, A.: iProduction, die Mensch-Maschine-Kommunikation in der Smart Factory. In: Bauernhansl, T. et al. (Hrsg.): Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik. Anwendung, Technologien, Migration. Wiesbaden: Springer-Vieweg 2014, S. 451-480. ISBN: 978-3-658-04682-8.

SHANNON & WEAVER 1949

Shannon, C. E.; Weaver, W.: The mathematical theory of communication. 14. Auflage. Urbana Ill: Univ. of Illinois 1949. ISBN: 0-252-72548-4.

SHANNON & WEAVER 1976

Shannon, C. E.; Weaver, W.: Mathematische Grundlagen der Informationstheorie. München: Oldenbourg 1976. ISBN: 3-48639-851-2.

SHERIDAN 1992

Sheridan: Telerobotics automation and human supervisory control. 1992.

SKINNER 2007

Skinner, W.: Manufacturing strategy: The story of its evolution. *Journal of Operations Management* 25 (2007), S. 328-335.

SLAMA 2004

Slama, S.: Effizienzsteigerung in der Montage durch marktorientierte Montagestrukturen und erweiterte Mitarbeiterkompetenz. (Dissertation) Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Nürnberg (2004).

SOCHOR ET AL. 2019A

Sochor, R.; Kraus, L.; Merkel, L.; Braunreuther, S.; Reinhart, G.: Approach to Increase Worker Acceptance of Cognitive Assistance Systems in Manual Assembly. *Procedia CIRP* 81 (2019), S. 926-931.

SOCHOR ET AL. 2019B

Sochor, R.; Riegel, A.; Merhar, L.; Rusch, T.; Kerber, F.; Braunreuther, S.; Reinhart, G.: Kognitive und physische Assistenz in der Montage. Einsatzmöglichkeiten kombinierter Assistenz an Montagearbeitsplätzen. *wt Werkstattstechnik online* 109 (2019) 3, S. 122-127.

SPATH & GERLACH 2003

Spath, D.; Gerlach, S.: Informationen für Teams in Montage und Produktion. Visualisierung – Kommunikation – Know-how-Dokumentation. *wt Werkstattstechnik online* 93 (2003) 9, S. 624-626.

SPATH & GERLACH 2009

Spath, D.; Gerlach, S.: Kundenindividuelle Auftragsinformationen in der Montage. *wt Werkstattstechnik online* 99 (2009) 4, S. 226-231.

SPATH 2013

Spath, Dieter (Hrsg.): *Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0*. Stuttgart: Fraunhofer 2013. ISBN: 978-3-8396-0570-7.

SPUR 2009

Spur, G.: Über die Zukunft der Fabrik. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 104 (2009) 12, S. 1063-1067.

STICKEL ET AL. 1997

Stickel, E.; Groffmann, H.-D.; Rau, K.-H.: *Gabler Wirtschaftsinformatik Lexikon*. Wiesbaden: Gabler 1997. ISBN: 978-3-663-12126-8.

STOCKER ET AL. 2014

Stocker, A.; Brandl, P.; Michalczuk, R.; Rosenberger, M.: Mensch-zentrierte IKT-Lösungen in einer Smart Factory. e & i Elektrotechnik und Informationstechnik 131 (2014) 7, S. 207-211.

STOESSEL 2002

Stoessel, S.: Methoden des Testings im Usability-Engineering. In: Beier, M. et al. (Hrsg.): Usability. Nutzerfreundliches Web-Design. Berlin: Springer 2002, S. 75-96. ISBN: 978-3-642-62622-7.

STORK ET AL. 2007

Stork, S.; Stößel, C.; Müller, H.-J.; Wiesbeck, M.; Zäh, M. F.; Schubö, A.: A Neuroergonomic Approach for the Investigation of Cognitive Processes in Interactive Assembly Environments. In: IEEE (Hrsg.): Proceedings, 16th International Symposium on Robot and Human Interactive Communication. Jeju, Korea, 26. – 29.08.2007, S. 750-755.

STORK & SCHUBÖ 2010

Stork, S.; Schubö, A.: Human cognition in manual assembly: Theories and applications. Advanced Engineering Informatics 24 (2010) 3, S. 320-328.

STORR ET AL. 2001

Storr, A.; Angermüller, S.; Dreyer, J.: Informationsmodellierung für die technische Dokumentation. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 96 (2001) 10, S. 559-565.

STÖßEL ET AL. 2008

Stößel, C.; Wiesbeck, M.; Stork, S.; Zäh, M. F.; Schubö, A.: Towards Optimal Worker Assistance: Investigating Cognitive Processes in Manual Assembly. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP CMS 2008, 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems. Tokyo, Japan, 26. – 28.05.2008, S. 245-250.

STRICKER ET AL. 2013

Stricker, D.; Kirchner, F.; Dengel, A.; Uszkoreit, H.; Wahlster, W.: Cognitive Workflow Capturing and Rendering with On-Body Sensor Networks (COGNITO). DFKI GmbH (2013).

SYBERFELDT ET AL. 2015A

Syberfeldt, A.; Danielsson, O.; Holm, M.; Wang, L.: Visual Assembling Guidance Using Augmented Reality. Procedia Manufacturing 1 (2015), S. 98-109.

SYBERFELDT ET AL. 2015B

Syberfeldt, A.; Danielsson, O.; Holm, M.; Wang, L.: Dynamic operator instructions based on augmented reality and rule-based expert systems. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP CMS 2015, 48th CIRP Conference on Manufacturing Systems. Neapel, Italy, 24. – 26.06.2015, S. 346-351.

SYBERFELDT ET AL. 2016

Syberfeldt, A.; Holm, M.; Danielsson, O.; Wang, L.; Brewster, R. L.: Support Systems on the Industrial Shop-floors of the Future – Operators' Perspective on Augmented Reality. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP CATS 2016, 6th CIRP Conference on Assembly Technologies and Systems. Gothenburg, Sweden, 16. – 18.05.2016, S. 108-113.

TAN ET AL.

Tan, J. T.; Duan, F.; Zhang, Y.; Watanabe, K.; Pongthanya, N.; Sugi, M.; Yokoi, H.; Arai, T.: Assembly Information System for Operational Support in Cell Production. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP CMS 2008, 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems. Tokyo, Japan, 26. – 28.05.2008, S. 209-212.

TAN ET AL. 2009A

Tan, J. T.; Zhang, Y.; Duan, F.; Watanabe, K.; Kato, R.; Arai, T.: Human Factors Studies in Information Support Development for Human-Robot Collaborative Cellular Manufacturing System. In: IEEE (Hrsg.): International Symposium on Robot and Human Interactive Communication 2009, S. 334-339.

TAN ET AL. 2009B

Tan, J. T.; Duan, F.; Zhang, Y.; Kato, R.; Arai, T.: Task Modeling Approach to Enhance Man-Machine Collaboration in Cell Production. In: IEEE (Hrsg.): Proceedings of ICRA, International Conference on Robotics and Automation. Kobe, Japan, 12. – 17.05.2009, S. 152-157.

TAN ET AL. 2010

Tan, J. T.; Duan, F.; Kato, R.; Arai, T.: Collaboration Planning by Task Analysis in Human-Robot Collaborative Manufacturing System. In: Hall, E. (Hrsg.): Programming-by-Demonstration of Reaching Motions using a Next-State-Planner: InTech 2010. ISBN: 978-953-307-070-4.

TAN & ARAI 2010

Tan, J. T.; Arai, T.: Information Support Development with Human-Centered Approach for Human-Robot Collaboration in Cellular Manufacturing. In: IEEE (Hrsg.): Proceedings, 19th International Symposium on Robot and Human Interactive Communication. Viareggio, Italy, 12. – 15.09.2010, S. 767-772. ISBN: 978-1-4244-7990-0.

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN 2015

Technische Universität München: Richtlinien zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis und für den Umgang mit wissenschaftlichem Fehlverhalten an der Technischen Universität München. (Richtlinie) Technische Universität München. München (2015).

TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN 2019

Technische Universität München: Recherchestrategien für Seminar- und Abschlussarbeiten. (Richtlinie) Technische Universität München. München (2019). <<https://mediatum.ub.tum.de/doc/1096720/1096720.pdf>> – 26.07.2019.

TEUBNER ET AL. 2016

Teubner, S.; Reinhart, G.; Haymerle, R.; Merschbecker, U.: Individuelle und dynamische Werkerinformation. In: Weidner, R. (Hrsg.): Konferenzband, Zweite Transdisziplinäre Konferenz: Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen. Hamburg, Germany, 12. – 13.12.2016. Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität 2016, S. 349-364. ISBN: 978-3-86818-089-3.

TEUBNER ET AL. 2017

Teubner, S.; Bengler, K.; Reinhart, G.; Rimpau, C.; Intra, C.: Individuelle dynamische Werkerinformationssysteme. In: Reinhart, G. (Hrsg.): Handbuch Industrie 4.0. 1. Auflage. München: Hanser 2017, S. 66-77. ISBN: 978-3-446-44642-7.

TEUBNER ET AL. 2018

Teubner, S.; Vernim, S.; Dollinger, C.; Reinhart, G.: Mitarbeiterorientiertes Produktionsmanagement. Ansätze zur flexibilitäts- und produktivitätssteigernden Einbindung von Mitarbeitern in ein zunehmend digitalisiertes und vernetztes Produktionssystem. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 113 (2018) 10, S. 647-651.

TEUBNER ET AL. 2019A

Teubner, S.; Lehleiter, K.; Knubben, E.; Reinhart, G.: Mensch-Maschine-Schnittstelle am Montageplatz. Konzeption und Prototyp einer adaptiven Schnittstelle zwischen Werker und intelligentem Montageplatz. wt Werkstattstechnik online 109 (2019) 3, S. 128-133.

TEUBNER ET AL. 2019B

Teubner, S.; Merkel, L.; Reinhart, G.; Hagemann, F.; Intra, C.: Improving Worker Information – Proposal of a Dynamic and Individual Concept. In: Dimitrov, D. et al. (Hrsg.): Proceedings of COMA 2019, International Conference on Competitive Manufacturing. Stellenbosch, South Africa, 30.01. – 01.02.2019, S. 352-358. ISBN: 978-0-7972-1779-9.

TEUBNER ET AL. 2020

Teubner, S.; Rimpau, C.; Reinhart, G.: Approaching Dynamic and Individual Worker Information Systems. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP CMS 2020, 53rd CIRP Conference on Manufacturing Systems. Chicago, USA, 01. – 03.07.2020, S. 795-801.

THE AGILE ALLIANCE 2001

The Agile Alliance: Manifesto for Agile Software Development. <<https://agilemanifesto.org/>> – 11.06.2020.

THORVALD & LINDBLOM 2016

Thorvald, P.; Lindblom, J.: The CLAM Handbook. Cognitive Load Assessment for Manufacturing (CLAM) Handbook. <<http://www.clam.se/img/handbook.pdf>> – 26.01.2016.

TJAHJONO 2009

Tjahjono, B.: Supporting shop floor workers with a multimedia task-oriented information system. Computers in Industry 60 (2009) 4, S. 257-265.

TROPSCHUH & REINHART 2020

Tropschuh, B.; Reinhart, G.: Concept for an employee-specific resource planning in manual assembly. In: AHFE (Hrsg.): Proceedings of AHFE 2020, 11th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics. Virtual Conference, USA, 16. – 20.07.2020, S. 409-416.

ULICH & WÜLSER 2010

Ulich, E.; Wülser, M.: Gesundheitsmanagement in Unternehmen. Arbeitspsychologische Perspektiven. 4. Auflage. Wiesbaden: Springer 2010. ISBN: 978-3-8349-2545-9.

ULLRICH ET AL. 2015A

Ullrich, C.; Aust, M.; Blach, R.; Dietrich, M.; Igel, C.; Kreggenfeld, N.; Kahl, D.; Prinz, C.; Schwantzer, Simon: Eine Architektur für intelligent-adaptive Assistenz- und Wissensdienste in der Industrie 4.0. In: Pinnow, C. et al. (Hrsg.): Industrie 4.0. Grundlagen und Anwendungen ; Branchentreff der Berliner Wissenschaft und Industrie. 1. Auflage: Beuth 2015, S. 111-118. ISBN: 3410257802. (Beuth Innovation).

ULLRICH ET AL. 2015B

Ullrich, C.; Aust, M.; Blach, R.; Dietrich, M.; Igel, C.; Kreggenfeld, N.; Kahl, D.; Prinz, C.; Schwantzer, Simon: Assistenz- und Wissensdienste für den Shopfloor. In: Rathmayer, S. et al. (Hrsg.): Proceedings, Pre-Conference Workshops der 13. E-Learning Fachtagung Informatik (DeLFI 2015). München, Germany, 01.09.2015, S. 47-55.

ULLRICH ET AL. 2016

Ullrich, C.; Aust, M.; Dietrich, M.; Herbig, N.; Igel, C.; Kreggenfeld, N.; Prinz, C.; Raber, F.; Schwantzer, Simon; Sulzmann, Frank: APPSist Statusbericht. In: Zender, R. (Hrsg.): Proceedings, Pre-DeLFI Workshops 2016. Potsdam, 11.09.2016. Aachen, Germany: CEUR-WS 2016, S. 174-180.

ULRICH 1982

Ulrich, H.: Anwendungsorientierte Wissenschaft. Die Unternehmung 36 (1982) 1, S. 1-10.

ULRICH 1984

Ulrich, H.: Management. Bern: Haupt 1984. ISBN: 325803446X.

ULRICH & HILL 1976A

Ulrich, P.; Hill, W.: Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (Teil 1). WiSt – Wirtschaftswissenschaftliches Studium 5 (1976) 7, S. 304-309.

ULRICH & HILL 1976B

Ulrich, P.; Hill, W.: Wissenschaftstheoretische Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre (Teil 2). WiSt – Wirtschaftswissenschaftliches Studium 5 (1976) 8, S. 345-350.

UNIVERSITY OF SKÖVDE 2019

University of Skövde: You2. <<http://www.his.se/en/Research/Virtual-Engineering/Production-and-Automation-Engineering/YOU21/>> – 12.08.2019.

UNZEITIG ET AL. 2015

Unzeitig, W.; Wilfing, M.; Stocker, A.; Rosenberger, M.: Industrial challenges in human-centered production. (Hrsg.): Proceedings of MOTSP 2015, International Conference Management of Technology – Step to sustainable production. Dubrovnik, Croatia, 10. – 12.06.2015.

VDI 2815

VDI – Verein Deutscher Ingenieure 2815: Richtlinie 2815 Blatt 1 – Begriffe für die Produktionsplanung und -steuerung – Einführung, Grundlagen: Mai 1978.

VDI 2860

VDI – Verein Deutscher Ingenieure 2860: Richtlinie 2860 – Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole: Mai 1990.

VDI 4500

VDI – Verein Deutscher Ingenieure 4500, 01.110: Richtlinie 4500 Blatt 1 – Technische Dokumentation; Begriffsdefinitionen und rechtliche Grundlage: Juni 2006.

VDI 4500

VDI – Verein Deutscher Ingenieure 4500, 01.110: Richtlinie 4500, Blatt 4 – Technische Dokumentation; Dokumentationsprozess, Planen, Gestalten, Erstellen: Dezember 2011.

VDI 5600

VDI – Verein Deutscher Ingenieure 5600, 35.240.50: Richtlinie 5600, Blatt 1 – Fertigungsmanagementsystems (Manufacturing Execution Systems – MES): Oktober 2016.

VERNIM 2020

Vernim, S.: Anforderungsermittlung für das Montagepersonal in der digitalen Transformation. (Dissertation) Technische Universität München. München (2020).

WALLHOFF ET AL. 2007

Wallhoff, F.; Ablaßmeier, M.; Bannat, A.; Buchta, S.; Rauschert, A.; Rigoll, G.; Wiesbeck, M.: Adaptive Human-Maschine Interfaces in Cognitive Production Environments. In: IEEE (Hrsg.): Proceedings of ICME 2007, International Conference on Multimedia and Expo. Beijing, China, 02. – 05.07.2007.

WEIDNER ET AL. 2015

Weidner, R.; Redlich, T.; Wulfsberg, J. P.: Technik, die die Menschen wollen – Unterstützungssysteme für Beruf und Alltag – Definition, Konzept und Einordnung. In: Weidner, R. et al. (Hrsg.): Technische Unterstützungssysteme. Berlin: Springer 2015, S. 12-18. ISBN: 978-3-662-48382-4.

WEISNER ET AL. 2016

Weisner, K.; Knittel, M.; Enderlein, H.; Wischniewski, S.; Jaitner, T.; Kuhlang, P.; Deuse, J.: Assistenzsystem zur Individualisierung der Arbeitsgestaltung. Einsatz von Smart Devices zur kontextsensitiven Arbeitsunterstützung. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 111 (2016) 11, S. 598-601.

WEISNER ET AL. 2018

Weisner, K.; Knittel, M.; Jaitner, T.; Deuse, J.: Increasing Flexibility of Employees in Production Processes Using the Differential Learning Approach – Adaptation and Validation of Motor Learning Theories. In: Nazir, S. et al. (Hrsg.): Proceedings of AHFE 2018, International Conference on Human Factors in Training, Education, and Learning Sciences. Orlando, USA, 21. – 25.07.2018, S. 216-225. ISBN: 978-3-319-93881-3.

WENZEL ET AL. 2017

Wenzel, K.; Singer, A.; Struwe, S.; Lutze, T.: Modulare Assistenzsysteme für heterogene Produktionsumgebungen – CyProAssist. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 112 (2017) 3, S. 177-181.

WENZEL & PFAB 2018

Wenzel, K.; Pfab, D.: CyProAssist Projektposter. 2018.

WICKENS ET AL. 2016

Wickens, C. D.; Hollands, J. G.; Banbury, S.; Parasuraman, R.: Engineering psychology and human performance. London: Routledge Taylor & Francis Group 2016.
ISBN: 9780205021987.

WIENDAHL ET AL. 2009

Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P.: Handbuch Fabrikplanung. Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. München: Hanser 2009.
ISBN: 978-3-446-22477-3.

WIESBECK 2014

Wiesbeck, M.: Struktur zur Repräsentation von Montagesequenzen für die situationsorientierte Werkerführung. (Dissertation) Technische Universität München. 1. Auflage. München: Utz 2014. ISBN: 978-3-8316-4369-1.

ZACHMANN 2011

Zachmann, J. P.: The Zachman Framework Evolution. <<https://www.zachman.com/ea-articlesreference/54-the-zachman-framework-evolution>>.

ZÄH ET AL. 2007A

Zäh, M. F.; Wiesbeck, M.; Engstler, F.; Friesdorf, F.; Schub, A.; Stork, S.; Bannat, A.; Wallhoff, F.: Kognitive Assistenzsysteme in der manuellen Montage. Adaptive Montageführung mittels zustandsbasierter, umgebungsabhängiger Anweisungsgenerierung. wt Werkstattstechnik online 97 (2007) 9, S. 644-650.

ZÄH ET AL. 2007B

Zäh, M. F.; Lau, C.; Wiesbeck, M.; Ostgathe, M.; Vogl, W.: Towards the Cognitive Factory. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CARV 2007, 2nd International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production. Toronto, Canada, 22. – 24.07.2007, S. 2-16.

ZÄH & WIESBECK 2008

Zäh, M. F.; Wiesbeck, M.: A Model for Adaptively Generating Assembly Instructions Using State-based Graphs. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP CMS 2008, 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems. Tokyo, Japan, 26. – 28.05.2008, S. 195-198.

ZÄH ET AL. 2009A

Zäh, M. F.; Beetz, M.; Shea, K.; Reinhart, G.; Bender, K.; Lau, C.; Ostgathe, M.: The Cognitive Factory. In: ElMaraghy, H. A. (Hrsg.): Changeable and reconfigurable manufacturing systems. New York: Springer 2009, S. 355-372. ISBN: 978-1-84882-067-8.

ZÄH ET AL. 2009B

Zäh, M. F.; Wiesbeck, M.; Stork, S.; Schubö, A.: A multi-dimensional measure for determining the complexity of manual assembly operations. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CARV 2009, 3rd International Conference on Changeable, Agile, Reconfigurable and Virtual Production. München, Germany, 05. – 07.10.2009, S. 489-496. ISBN: 978-3-83160-933-8.

ZÄH ET AL. 2010

Zäh, M. F.; Ostgathe, M.; Wiesbeck, M.: Ganzheitliches Datenmodell für kognitive Produktionssysteme. ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb 105 (2010) 4, S. 309-315.

ZENNER 2006

Zenner, C.: Durchgängiges Variantenmanagement in der Technischen Produktionsplanung. Universität des Saarlandes: 2006. ISBN: 978-3-930429-66-0.

ZHANG ET AL.

Zhang, Y.; Duan, F.; Tan, J. T.; Watanabe, K.; Pongthanya, N.; Sugi, M.; Yokoi, H.; Arai, T.: A Study of Design Factors for Information Supporting System in Cell Production. In: CIRP (Hrsg.): Proceedings of CIRP CMS 2008, 41st CIRP Conference on Manufacturing Systems. Tokyo, Japan, 26. – 28.05.2008, S. 319-322.

ZOHM 2004




























Zohm, F.: Management von Diskontinuitäten. Das Beispiel der Mechatronik in der Automobilzulieferindustrie. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag 2004. ISBN: 978-3-8244-0785-9.

ZÜHLKE 2012

Zühlke, D.: Nutzergerechte Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen. 2 Auflage. Dordrecht: Springer 2012. ISBN: 978-3-642-22074-6. (VDI-Buch).

Iconverzeichnis

Tabelle I-1: Quellennachweise verwendeter (modifizierter) Icons

(modifiziertes) Icon	Abbildung	Urheber	Weblink (Quelle)	geprüft am
	 Abb. 1-1	Freepik	https://www.freepik.com/free-icon/repair-tools_767674.htm	24.07.2019
	 Abb. 1-1	Freepik	https://www.freepik.com/free-icon/clipboard_914408.htm	24.07.2019
	 Abb. 1-1	Freepik	https://www.flaticon.com/free-icon/trend_1328554#term=worldwide&page=3&position=71	24.07.2019
	 Abb. 1-1	Freepik	https://www.flaticon.com/free-icon/workers_944039#term=workers&page=1&position=17	24.07.2019
	 Abb. 1-1	Eucalyp	https://www.flaticon.com/free-icon/computer_1122364	24.07.2019
	 Abb. 1-2	Freepik	http://www.flaticon.com/free-icon/newspaper_31866	01.12.2016
	 Abb. 1-2	DLpng	https://dlpng.com/png/6660948	20.02.2020
	 Abb. 1-2	Freepik	https://www.flaticon.com/free-icon/group_115889#term=workers&page=1&position=71	24.07.2019
	 Abb. 2-8	Freepik	http://www.flaticon.com/free-icon/newspaper_31866	01.12.2016
	 Abb. 2-8	Freepik	http://www.flaticon.com/free-icon/business-person-silhouetwearing-tie_33750	01.12.2016
	 Abb. 2-8	Icomon	http://www.flaticon.com/free-icon/library_23715	01.12.2016
	 Abb. 2-8	Simplelcon	http://www.flaticon.com/free-icon/target-of-audience_33626	01.12.2016
	 Abb. 2-8	Freepik	http://www.flaticon.com/free-icon/three-servers_70921	01.12.2016
	 Abb. 2-8	Freepik	http://www.flaticon.com/free-icon/column-with-rows-contentlayout_43468	01.12.2016
	 Abb. 2-8	Freepik	http://www.flaticon.com/free-icon/placeholder-on-map-paper-inperspective_45944	01.12.2016
	 Abb. 2-8	Freepik	http://www.flaticon.com/free-icon/speedometer_53128	01.12.2016
	 Abb. 2-8	Freepik	http://www.flaticon.com/free-icon/multiple-device-support_71576	01.12.2016
	 Abb. 2-8	Simplelcon	http://www.flaticon.com/free-icon/website-design-symbol_33592	01.12.2016
	 Abb. 4-1	Freepik	https://www.freepik.com/free-icon/clipboard_914408.htm	24.07.2019
	 Abb. 4-1	Freepik	https://www.flaticon.com/free-icon/success_727712	26.05.2020
	 Abb. 4-1	Freepik	https://www.flaticon.com/free-icon/customer_686317?term=support&page=1&position=58	26.05.2020

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Übersicht der Einflussfelder und wesentlicher Einflussgrößen mit prägender Wirkung auf die manuelle Montage.....	2
Abbildung 1-2: Argumentationskette zur Entstehung der Lösungsidee dynamischer und individueller Werkerinformation zur Adressierung der Problemstellung.....	7
Abbildung 1-3: Kaskadische Subsystembetrachtung zur Fokussierung des Betrachtungsbereiches einer bildschirmbasierten Werkerinformation für manuell geprägte, hochvariable Serienmontage	9
Abbildung 1-4: Aufbau der Arbeit mit Abschnitten, zentralen inhaltlichen Komponenten und gekennzeichneten Forschungsartefakten.....	11
Abbildung 1-5: Systematik zur Klassifikation von Wissenschaften (ULRICH & HILL 1976A, S. 305).....	12
Abbildung 1-6: Forschungsvorgehen als Kombination von Forschungsprogramm und Forschungsprozess	15
Abbildung 1-7: Forschungsbaukasten zur Unterstützung eines objektiven Forschungsvorgehens	16
Abbildung 1-8: Drei Schlussfolgerungstypen (i.A.a. PEIRCE 1991, S. 395-403)	17
Abbildung 2-1: Hierarchie aus Arbeitsplatz, Arbeitsvorganggruppen und Arbeitsvorgängen	20
Abbildung 2-2: Vier Arten von Arbeitsvorgängen für die Unterscheidung der Varianz bei Arbeitsvorgängen.....	22
Abbildung 2-3: Sequenzielles Ablaufmuster menschlicher Informationsverarbeitung zur Verrichtung manueller Montagearbeit (i.A.a. GERKE 2015, S. 68; ZÜHLKE 2012, S. 6 basierend auf LUCZAK 1993, S. 13)	23
Abbildung 2-4: Interaktion zwischen Mensch und Assistenzsystem bei der Durchführung von Arbeitsvorgängen (TEUBNER ET AL. 2016, S. 352 aufbauend auf GERKE 2015, S. 64; i.A.a. AEHNELT 2016A, S. 60-63).....	25
Abbildung 2-5: Vier grundsätzliche Informationsquellen der Werkerinformation	28
Abbildung 2-6: Wissenstreppe, Semiotik und Informationsverarbeitung (aufbauend auf (NORTH 2011, S. 37; LANG 2007, S. 8) sowie Abbildung 2-3)	30

Abbildung 2-7: Erläuterung der Problemstellung: Eine nicht anforderungsgerechte Werkerinformation führt zu Informationsineffizienz und Nacharbeitsaufwänden bei falscher Wissensbildung und -anwendung	31
Abbildung 2-8: Klassifikationsmodell Werkerinformationssystem (i.A.a. TEUBNER ET AL. 2016, S. 357-359)	32
Abbildung 3-1: Recherchierte und rezensierte forschungsprojekt- oder autorenbasierte Veröffentlichungscluster (Priorität-A-Cluster in fetter, Priorität-B-Cluster in normaler Schriftstärke).....	36
Abbildung 3-2: Bewertung des Zielbeitrags der Veröffentlichungscluster mit Priorität A.....	37
Abbildung 3-3: Gesamtmethodik (links) und Kompetenzmodell (rechts); Fertigkeiten werden komponentenhaften oder örtlichen Bezugsobjekten zugeordnet, Kompetenzen und Qualifikationen werden davon losgelöst betrachtet (i.A.a. BREITKOPF 2018, S. 76 & 83)	38
Abbildung 3-4: Kontext-Modell mit den drei Dimensionen Nutzer, Organisation und Arbeitsvorgang (DHUIEB ET AL. 2015A, S. 837-838; BELKADI ET AL. 2019, S. 5)	40
Abbildung 3-5: Arbeitsplatzspezifisches Informationsangebot in einem Montageinformationsportal für die Endmontage von Schaltschränken (SPATH & GERLACH 2009, S. 230; siehe auch GERLACH 2010, S. 126)	41
Abbildung 3-6: Adaptives und gamifiziertes Werkerassistenzsystem – Webanwendung des Forschungsprojekts (KERBER & LESSEL 2015, S. 32).....	43
Abbildung 3-7: Beispielhafte Informationsunterstützung durch MAISER (TAN ET AL. 2009A, S. 338).....	44
Abbildung 3-8: Konzept des Assistenzsystems (links – SYBERFELDT ET AL. 2015B, S. 348) und beispielhafte Augmented-Reality-Anzeige (rechts – DANIELSSON ET AL. 2018, S. 49).....	45
Abbildung 3-9: Kontext-Ontologie für die Montage mit acht in Relation gesetzten Domänen (CLAEYS ET AL. 2018, S. 178-179).....	47
Abbildung 4-1: Inhaltliche Anforderungen für dynamische und individuelle Werkerinformationssysteme (TEUBNER ET AL. 2019B, S. 354-355).....	63
Abbildung 5-1: Hierarchisches Konzept des Werkerinformationssystems.....	66

Abbildung 5-2: Systemfunktionen des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems.....	67
Abbildung 5-3: Funktionales Konzept des Werkerinformationssystems	67
Abbildung 5-4: Strukturales Konzept des Werkerinformationssystems	68
Abbildung 5-5: Beispielhafte Darstellung der Funktionsweise des Werkerinformationssystems	69
Abbildung 5-6: Drei Systemelementarten werden aus der Funktionsweise abgeleitet und ermöglichen die aus den Anforderungen übersetzten Systemfunktionen (Funktionsumfang).....	69
Abbildung 5-7: Datensätze für die Modellierung der Arbeitsplatzstruktur	72
Abbildung 5-8: Datensätze für die Verknüpfung von Montagetätigkeiten und Werkerinformationspaketen unterschieden nach Arbeitsplanungsebenen	73
Abbildung 5-9: Gegenüberstellung möglicher Relationen aktivitätsbeschreibender Werkerinformationspakete untereinander und korrespondierende Beispiele für Werkerinformationssysteme.....	75
Abbildung 5-10: Datensätze für die Modellierung der Werkerinformationspakete	77
Abbildung 5-11: Regelwerke im Ablaufdiagramm des Basis-Werkerinformationssystems	79
Abbildung 5-12: Anzeigefelder des Basis-Werkerinformationssystems.....	81
Abbildung 5-13: Anzeigeprinzipien für die Unterordnung von Werkerinformationspaketen zu Arbeitsvorgangsgruppen.....	82
Abbildung 5-14: Datensätze für die auftragsspezifische Informationsselektion	85
Abbildung 5-15: Regelwerke für die auftragsspezifische Informationsselektion	86
Abbildung 5-16: Anzeigefelder für die auftragsspezifische Informationsselektion	87
Abbildung 5-17: Datensätze für die Änderungsmarkierung.....	89
Abbildung 5-18: Regelwerke für die Änderungsmarkierung	91
Abbildung 5-19: Anzeigefelder für die Änderungsmarkierung	92
Abbildung 5-20: Datensätze für die Montagefehlermeldung	94
Abbildung 5-21: Regelwerke für die Montagefehlermeldung.....	95
Abbildung 5-22: Anzeigefelder für die Montagefehlermeldung.....	96
Abbildung 5-23: Datensätze für die Produkt-/Prozesskommentierung	97

Abbildung 5-24: Regelwerke für die Produkt-/Prozesskommentierung	98
Abbildung 5-25: Anzeigefelder für die Produkt/-Prozesskommentierung	98
Abbildung 5-26: Datensätze für die rollenspezifische Informationsaufteilung	100
Abbildung 5-27: Regelwerke für die rollenspezifische Informationsaufteilung	101
Abbildung 5-28: Anzeigefelder für die rollenspezifische Informationsaufteilung	102
Abbildung 5-29: Datensätze für die qualifikationsspezifische Informationsauswahl	104
Abbildung 5-30: Regelwerke für die qualifikationsspezifische Informationsauswahl.....	108
Abbildung 5-31: Anzeigefelder für die qualifikationsspezifische Informationsauswahl.....	109
Abbildung 5-32: Datensätze für die Anlernprozessförderung	111
Abbildung 5-33: Regelwerke für die Anlernprozessförderung	112
Abbildung 5-34: Anzeigefelder für die Anlernprozessförderung	113
Abbildung 5-35: Datensätze für die Variantentransparenzunterstützung	114
Abbildung 5-36: Regelwerke für die Variantentransparenzunterstützung.....	115
Abbildung 5-37: Anzeigefelder für die Variantentransparenzunterstützung.....	115
Abbildung 5-38: Datensätze für vollständiges dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem (Teil 1/3: Basis-Werkerinformationssystem)	118
Abbildung 5-39: Datensätze für vollständiges dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem (Teil 2/3: Dynamische Systemfunktionen)	119
Abbildung 5-40: Datensätze für vollständiges dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem (Teil 3/3: Individuelle Systemfunktionen)	120
Abbildung 5-41: Regelwerke für vollständiges dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem	122
Abbildung 5-42: Anzeigefelder für vollständiges dynamisches und individuelles Werkerinformationssystem	123
Abbildung 6-1: Schritte der Konfigurationsmethode mit Kerninhalten	125
Abbildung 6-2: Übersicht der Normreihe ISO 9241 zur Gebrauchstauglichkeit technischer Systeme	132
Abbildung 7-1: Datenbank für das dynamische und individuelle Werkerinformationssystem	137

Abbildung 7-2: Anzeige des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems zur Anbauteilmontage mit Montagefehlerinformation für einen Werker der Qualifikationsstufe O.....	139
Abbildung 7-3: Anzeige des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystems zur Anbauteilmontage mit Kommentarinformation für einen Lerner der Qualifikationsstufe I	140
Abbildung 7-4: Anzeigekonzept der Tablet-App für die Prüflinien	143
Abbildung 7-5: Erstellung handschriftlicher Erläuterungsinformationen (links) und Cockpit zum Lernfortschritt (rechts) bei der Tablet-App für die Prüflinien.....	144
Abbildung 7-6: Anzeige Bremskreisprüfung mit interaktiven Videos	146
Abbildung 7-7: Typenliste Bremskreisprüfung für Variantentransparenzunterstützung	147
Abbildung 7-8: Webbasierte, MAN-spezifische Werkerinfo-Software für die Luftkesselvormontage zum Vergleich der umgestellten Werkerinformationsbilder (oben: vorher; unten: nachher)	149
Abbildung 7-9: Beispielhafte Werkerinformationen für die Seitenschutzstützenmontage (oben: vorher, unten: nachher mit rollenspezifischer Informationsaufteilung)	151
Abbildung 7-10: Beispielhafte Werkerinformationen für die Kotflügelstützenmontage (oben: vorher, unten: nachher mit rollenspezifischer Informationsaufteilung)	152
Abbildung 8-1: Werkerinformationsbezogene Produktionsfehlerdatenauswertung mit Betrachtung des Umstellungszeitpunkts auf ein verbessertes Werkerinformationssystem	158
Abbildung 10-1: Morphologischer Kasten (Ersteller-Seite) mit Gestaltungsfeldern, Gestaltungsvariablen und möglichen Ausprägungen sowie Einordnungsvorschlag für geläufige Werkerinformationssysteme	170
Abbildung 10-2: Morphologischer Kasten (Werker-Seite) mit Gestaltungsfeldern, Gestaltungsvariablen und möglichen Ausprägungen sowie Einordnungsvorschlag für geläufige Werkerinformationssysteme	171
Abbildung 10-3: Beispiel für prozessrelationale Werkerinformationspakete: Auszug aus einer generischen, variantenneutralen Prozessbeschreibung	173
Abbildung 10-4: Beispiel für produktrelationale Werkerinformationspakete: Auszug aus einem Werkerinformationsheft zur Darstellung unterschiedlicher Komponentenvarianten.....	173

Abbildung 10-5: Beispiel für prozess- & produktrelationale (= arbeitsvorgangsvarianten-spezifische) Werkerinformationspakete: Auszug aus einer komponentenabhängigen Prozessbeschreibung (rechts im Bild; Komponentenauswahl links im Bild).....	173
Abbildung 10-6: Werkerinformationsklassen und -(unter)aspekte für Werkerinformationen mit Anbindung des Unternehmensdatenmanagements	176
Abbildung 10-7: Konstellationen aus Zuordnungsebene, WIP-Relation und Zuordnungsverhältnis zur Ableitung von drei Anzeigeprinzipien (Teil 1/2)...	178
Abbildung 10-8: Konstellationen aus Zuordnungsebene, WIP-Relation und Zuordnungsverhältnis zur Ableitung von drei Anzeigeprinzipien (Teil 2/2)...	179
Abbildung 10-9: Beispielhafte Werkerinformationsbereitstellung für drei Anzeigeprinzipien	180
Abbildung 10-10: AVOG-Ketten für unterschiedliche Montagesituationen bei der rollenspezifischen Informationsaufteilung.....	181
Abbildung 10-11: MAN Leitfaden Werkerinformation – Vorstellung Vorlagen	182
Abbildung 10-12: MAN Leitfaden Werkerinformation – Erklärung Vorlagen	183
Abbildung 10-13: MAN Leitfaden Werkerinformation – Vorstellung Grundelemente	184
Abbildung 10-14: Übersicht der rollenspezifischen und qualifikationsspezifischen AVOG-Ketten für jeweils zwei Aufträge (Montagevarianten) mit Änderungs-, Montagefehler-, und Kommentarinformationen	185
Abbildung 10-15: Datensätze (Teil 1/5)	186
Abbildung 10-16: Datensätze (Teil 2/5)	187
Abbildung 10-17: Datensätze (Teil 3/5)	188
Abbildung 10-18: Datensätze (Teil 4/5)	189
Abbildung 10-19: Datensätze (Teil 5/5)	190
Abbildung 10-20: Anzeige für Werker der Qualifikationsstufe O	191
Abbildung 10-21: Anzeige für Springer der Qualifikationsstufe O mit Änderungsinformation	191
Abbildung 10-22: Anzeige für Lerner der Qualifikationsstufe I mit Warnungs- und Hinweisinformationen.....	191
Abbildung 10-23: Anzeige für Lehrer mit Qualifikationsstufe O	192

Abbildung 10-24: Einstellungsfeld für die rollenspezifische Informationsselektion und Erläuterungsinformationen im Hintergrund.....	192
Abbildung 10-25: Einstellungsfeld für die qualifikationsspezifische Informationsauswahl....	193
Abbildung 10-26: Einstellungsfeld für die Anlernprozessförderung	193
Abbildung 10-27: Einstellungsfeld für die Variantentransparenzunterstützung.....	194
Abbildung 10-28: Methodische Literaturrecherche für diese Arbeit.....	197
Abbildung 10-29: Potenzialcluster für verbesserte, anforderungsgerechte Werkerinformationssysteme.....	208
Abbildung 10-30: Anforderungsstudie: Ergebnis der Expertenworkshops mit MAN	210
Abbildung 10-31: Anforderungsstudie: Ergebnis des Expertenworkshops mit IGH Automation	211
Abbildung 10-32: Anforderungsstudie: Ergebnis des Expertenworkshops mit Kramer Werken	212
Abbildung 10-33: Anforderungsstudie: Ergebnis des Expertenworkshops mit Rohde & Schwarz.....	213
Abbildung 10-34: Anforderungsstudie: Ergebnisse aus Fokusgruppenbefragung	215
Abbildung 10-35: Befragungsergebnisse aus der Probandenstudie zur Validierung des Prototypen des dynamischen und individuellen Werkerinformationssystem	217
Abbildung 10-36: Drei Konzepte der Systemtheorie (ROPOHL 1999, S. 76)	218
Abbildung 10-37: Erläuterung der vier Typen von Forschungsaktivitäten mit Bezug zu dieser Arbeit	220

Tabellenverzeichnis

Tabelle 6-1: Prinzipien für die Gestaltung von bildlichen Werkerinformationen	133
Tabelle 7-1: Prinzipien für die Gestaltung von bildlichen Werkerinformationen	135
Tabelle 8-1: Wirkketten für die Übersetzung des Nutzens in monetäre Größen.....	160
Tabelle 8-2: Aufwand-Nutzen-Analyse für Werkerinformationssysteme am Beispiel der auftragsspezifischen Informationsselektion.....	161
Tabelle 10-1: Übersicht gängiger Identifikationsverfahren für die individuelle Anmeldung bei Werkerinformationssystemen.....	172
Tabelle 10-2: Literaturrecherche: Suchbegriffe (Suchaspekte und Synonyme) sowie AND- und OR-Verknüpfung der Suchaspekte	198
Tabelle 10-3: Literaturrecherche – Informationsquellen der suchbegriffbasierten Durchsicht	199
Tabelle 10-4: Literaturrecherche – Informationsquelle Zeitschrift für vollständige Durchsicht	199
Tabelle 10-5: Literaturrecherche – Informationsquelle Konferenz für vollständige Durchsicht	200
Tabelle 10-6: Literaturrecherche – Informationsquelle Förderer & Projekte für vollständige Durchsicht mit A-, B-, C-Priorität der VÖ-Cluster.....	201
Tabelle 10-7: Literaturrecherche – Informationsquelle Autor für vollständige Durchsicht mit A- und B-Priorität der VÖ-Cluster	206
Tabelle 10-8: Beispiel zu drei Typen der Schlussfolgerung (PEIRCE 1991, S. 232)	219
Tabelle S-1: Betreute Studienarbeiten.....	223
Tabelle I-1: Quellennachweise verwendeter (modifizierter) Icons	267