



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

BMW
GROUP



ROLLS-ROYCE
MOTOR CARS LTD

DIPLOMARBEIT

Entwicklung einer Methodik zur Auswahl von Wissensvermittlungsformen für Nicht-Routineprozesse am Beispiel einer Produktionslinie für elektrische Antriebe

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur (Dipl.-Ing.)

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Sebastian Schlund

(Technische Universität Wien, Institut für Managementwissenschaften,
Bereich: Human Centered Cyber Physical Production and Assembly Systems)

und

Dr.-Ing. Christian Boekels M.Sc.

(BMW Group, TA-146, Technische Planung Elektrische Antriebssysteme)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Gregor Weixlbaumer

11711289 (UE 066 482)

Wien, im September 2022

Gregor Weixlbaumer



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

BMW
GROUP



ROLLS-ROYCE
MOTOR CARS LTD

Ich habe zur Kenntnis genommen, dass ich zur Drucklegung meiner Arbeit unter der Bezeichnung

DIPLOMARBEIT

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre an Eides statt, dass die vorliegende Arbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen von mir selbstständig erstellt wurde. Alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, sind in dieser Arbeit genannt und aufgelistet. Die aus den Quellen wörtlich entnommenen Stellen sind als solche kenntlich gemacht.

Das Thema dieser Arbeit wurde von mir bisher weder im In- noch Ausland einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt. Diese Arbeit stimmt mit der von den Begutachterinnen/Begutachtern beurteilten Arbeit überein.

Ich nehme zur Kenntnis, dass die vorgelegte Arbeit mit geeigneten und dem derzeitigen Stand der Technik entsprechenden Mitteln (Plagiat-Erkennungssoftware) elektronisch-technisch überprüft wird. Dies stellt einerseits sicher, dass bei der Erstellung der vorgelegten Arbeit die hohen Qualitätsvorgaben im Rahmen der geltenden Regeln zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis „Code of Conduct“ an der TU Wien eingehalten wurden. Zum anderen werden durch einen Abgleich mit anderen studentischen Abschlussarbeiten Verletzungen meines persönlichen Urheberrechts vermieden.

Wien, im September 2022

Gregor Weixlbaumer

Danksagung

Ich möchte an dieser Stelle zahlreichen Menschen danken, die mich während meines Studiums und im Speziellen während dieser Diplomarbeit unterstützt haben.

Zunächst danke ich Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.-Ing. Sebastian Schlund dafür, diese Diplomarbeit in Kooperation mit der BMW Group ermöglicht zu haben. Die hervorragende Betreuung und das stets konstruktive und wertschätzende Feedback haben mir maßgeblich bei der Anfertigung dieser Arbeit geholfen.

Besonders danken möchte ich Herrn Dr.-Ing. Christian Boekels M.Sc., der mich als unternehmensseitiger Betreuer immer unterstützt und mir mit guten Ratschlägen zur Seite gestanden ist. Seine Offenheit und Wertschätzung werden mir in Erinnerung bleiben und sind mir ein Vorbild.

Ich bedanke mich bei Herrn Dipl.-Wirtsch.-Ing. Franz Heydner dafür, dass ich meine Diplomarbeit in seiner Gruppe schreiben durfte und dadurch Einblicke in den hochspannenden Bereich der Elektromobilität bekommen habe. Mein Dank gilt auch allen Produktionsplaner_innen, die sich trotz der stressigen Projektphase für ein der Validierung dienendes Interview Zeit genommen haben. Darüber hinaus danke ich Frau Milena Lücke M.Sc. für das Korrekturlesen dieser Arbeit.

Mein größter Dank gilt schließlich meiner Familie, insbesondere meinen Eltern Erika und Josef, sowie meiner Freundin Linda und ihrer Familie. Durch ihre bedingungslose Unterstützung haben sie entscheidend dazu beigetragen, mein anspruchsvolles Studium an der Technischen Universität Wien erfolgreich abschließen zu können.

Kurzfassung

Der zügige Wandel der Automobilindustrie hin zu elektrischen Antrieben stellt OEMs vor große Herausforderungen. Neue Produktionslinien für E-Antriebskomponenten sollen in kürzester Zeit geplant und realisiert werden. Um eine möglichst rasche Realisierung sicherzustellen, gilt es auch, den Übergabeprozess vom Anlagenlieferanten an den späteren Betreiber der Anlage weiter zu optimieren. Insbesondere geht es darum, möglichst bald nach der Anlageneinbringung ins Werk einen stabilen Produktionsprozess sicherzustellen und die geforderten Soll-Stückzahlen zu erreichen. Gut geschulte Anlagenführer_innen, die neben den Standardprozessen auch sämtliche definierten Nicht-Routineprozesse beherrschen, sind dafür essenziell. Für die hierfür notwendigen Schulungsmaßnahmen müssen unter Berücksichtigung des Kostenaspektes geeignete Formen der Wissensvermittlung ausgewählt werden.

Es ist daher das Ziel der vorliegenden Arbeit, eine Methodik zu entwickeln, die verschiedenen Nicht-Routineprozessen geeignete Formen der Wissensvermittlung zuordnet. Um eine breite Anwendung sicherzustellen, wird auf eine praxistaugliche Anwendbarkeit geachtet. Die Erarbeitung des Ziels erfolgt systematisch anhand mehrerer Schritte. Im Zuge einer systematischen Literaturrecherche werden acht Vermittlungsformen identifiziert, die sich für den Einsatz im Produktionsumfeld eignen. In einem nächsten Schritt werden Kriterien festgelegt, auf deren Basis eine Zuordnung geeigneter Vermittlungsformen erfolgen kann. Für die identifizierten Vermittlungsformen wird ein Kosten- und Nutzenvergleich durchgeführt, wobei hierfür zahlreiche Studien berücksichtigt werden. Die Erarbeitung der Methodik erfolgt schließlich unter Einbeziehung der definierten Kriterien, des Kosten- und Nutzenvergleichs sowie mehrerer Prämissen, die ein effizientes Kosten-Nutzen-Verhältnis sicherstellen sollen.

Die Validierung der entwickelten Methodik findet in Form einer Befragung der Prozessplaner_innen statt. Sie soll die Methodik bei der Entscheidungsfindung unterstützen. Die Ergebnisse der Befragung zeigen, dass die Methodik als hilfreiches Tool empfunden wird. Insbesondere jüngeren Entscheidungsträger_innen, die noch weniger Erfahrung aufweisen, kann dadurch die Entscheidungsfindung erleichtert werden. Doch auch erfahrenere Entscheidungsträger_innen können profitieren, indem die Subjektivität im Entscheidungsprozess reduziert wird und Vermittlungsformen abseits von Unterweisung und Papierunterlage ins Bewusstsein rücken.

Abstract

The rapid change in the automotive industry towards electric drives poses major challenges for OEMs. New production lines for e-drive components are to be planned and realised in the shortest possible time. In order to ensure a fast realisation, it is also necessary to further optimise the handover process from the plant supplier to the plant operator. In particular, it is crucial to ensure a stable production process as soon as possible after the system has been brought into the factory and to achieve the required target quantities. Well-trained machine operators who are proficient in all defined non-routine processes in addition to the standard processes are essential for this. For the necessary training measures, suitable forms of knowledge transfer must be selected, taking into account the cost aspect.

Therefore, the aim of this thesis is to develop a methodology that assigns appropriate forms of knowledge transfer to different non-routine processes. In order to ensure a broad application, attention is paid to practical applicability. The development of the objective is carried out systematically in several steps. In the course of a systematic literature research, eight forms of knowledge transfer are identified which are suitable for use in the production environment. In the next step, classification criteria are defined based on which an allocation of appropriate forms of knowledge transfer can be made. A comparison of costs and benefits is carried out for the identified forms, whereby numerous studies are considered for this purpose. Finally, the methodology is developed by taking into account the defined criteria, the comparison of costs and benefits, and several premises that should ensure an efficient cost-benefit ratio.

The developed methodology is validated in the form of a survey of the process planners. They are the individuals whom the methodology is intended to support in decision-making. The survey results show that the methodology is perceived as a helpful tool. Especially for younger decision-makers, who have less experience, the decision-making process can thus be facilitated. However, more experienced decision-makers can also benefit by reducing subjectivity in the decision-making process and raising awareness of knowledge transfer forms beyond instruction and paper documentation.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Ausgangssituation und Problemstellung	1
1.2	Zielsetzung und Forschungsfragen	2
1.3	Aufbau der Arbeit	3
2	Theoretische Grundlagen	5
2.1	Nicht-Routineprozesse.....	5
2.1.1	NiO-Prozesse	6
2.1.2	Reparaturprozesse	7
2.1.3	Sonderprozesse	8
2.2	Informations- und Wissensvermittlung	8
2.2.1	Begriffsdefinitionen	8
2.2.2	Anforderungen an die Vermittlungsmethode	12
2.2.3	Unterscheidung nach dem Vermittlungsmodus.....	13
2.2.4	Unterscheidung nach der Darstellungsform	14
2.2.5	Unterscheidung nach dem Vermittlungsmedium.....	19
2.2.6	Unterscheidung nach der örtlichen und zeitlichen Bindung	21
2.2.7	Überblick der Unterscheidungsmöglichkeiten	23
2.3	Personal im Produktionsumfeld	24
2.4	Elektromotoren in der Automobilindustrie	26
2.4.1	Aufbau.....	27
2.4.2	Fertigung von Hairpin-Statoren	28
2.5	Technische Planung.....	31
2.5.1	Planungsprozess	33
2.5.2	Projektablauf.....	35
3	Stand-der-Technik.....	37
3.1	Existierende Ansätze zur Wissensvermittlung an Anlagenführer_innen	37
3.1.1	Systematische Literaturrecherche	37
3.1.2	Ergebnisse der Literaturrecherche.....	41
3.1.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	48
3.2	Bedarfsableitung	52

4	Erarbeitung der Methodik	54
4.1	Klassifikationskriterien.....	54
4.1.1	Notwendigkeit manueller Eingriffe	55
4.1.2	Zutrittsmöglichkeit für Schulungszwecke.....	55
4.1.3	Unabhängiger Abruf	55
4.1.4	Komplexität von Nicht-Routineprozessen.....	55
4.1.5	Erfahrung von bestehenden Produktionsanlagen	58
4.1.6	Größe der Zielgruppe	58
4.1.7	Synergieeffekte.....	58
4.2	Kosten-Nutzen-Bewertung der Vermittlungsformen	58
4.2.1	Nutzenvergleich.....	58
4.2.2	Kostenvergleich	63
4.3	Prämissen.....	66
4.4	Methodik	67
5	Anwendung der Methodik	70
5.1	Ausgewählte Beispielprozesse	70
5.1.1	NiO-Prozess „Papierstau“	70
5.1.2	NiO-Prozess „Weiten“	73
5.1.3	Sonderprozess „Blechpakete auflegen“.....	75
5.2	Validierung.....	76
5.2.1	Ablauf.....	77
5.2.2	Ergebnisse	77
5.2.3	Diskussion der Ergebnisse.....	80
6	Zusammenfassung und Ausblick.....	81
6.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	81
6.2	Einschränkungen der Ergebnisse	82
6.3	Mögliche nächste Schritte	83
7	Verzeichnisse	84
7.1	Literaturverzeichnis	84
7.2	Abbildungsverzeichnis	93
7.3	Tabellenverzeichnis.....	94
7.4	Abkürzungsverzeichnis	95

Anhang A: Kostenbewertung.....	96
Anhang B: Interview-Fragebogen.....	99

1 Einleitung

1.1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die Motivation dieser Arbeit beruht darin, den Übergabeprozess einer neuen Produktionslinie vom Anlagenlieferanten an den späteren Betreiber so reibungslos wie möglich zu gestalten. Eine Sicherstellung dessen ist nicht nur essenziell für eine fristgerechte Übergabe, sondern stellt auch eine wesentliche Voraussetzung für einen robusten Serienanlauf dar.

In den der Übergabe vorgelagerten Vorabnahmen, die üblicherweise von der technischen Planung beim Anlagenlieferanten vor Ort durchgeführt werden, wird allerdings meist dem Standardprozess die größte Aufmerksamkeit geschenkt. Jenen Prozessen, die nicht unter Standardprozesse fallen, kommt hingegen meist zu wenig Aufmerksamkeit zu. Die Erfahrung zeigt, dass dies gerade beim Serienanlauf oft zu Problemen führt, da Nicht-Routineprozesse noch nicht ausreichend beherrscht werden und Ereignisse abseits des Standardprozesses häufig zu Störungen und Anlagenstillständen führen.

Dazu kommt, dass das spätere Betriebspersonal der Anlagen aufgrund ihres Tagesgeschäfts bei den Vorabnahmen oft nicht anwesend sein kann. Dies erschwert den Informationsfluss über definierte Nicht-Routineprozesse vom Lieferanten an den Betreiber maßgeblich, da diese vor Ort weder durchbesprochen noch simuliert werden können. Das Betriebspersonal ist somit erst nach Einbringung der neuen Anlagen ins Werk mit den Nicht-Routineprozessen konfrontiert und kann somit nicht von Beginn an optimal handeln.

Um den Anlaufprozess neuer Produktionslinien zu verbessern, gilt es, speziell jenen Abläufen besonderes Augenmerk zu schenken, die nicht unter Standardprozesse fallen. Dies sind neben Nicht-in-Ordnung (NiO)-Prozessen und Reparaturprozessen auch Sonderprozesse, die gelegentlich während des Produktionsprozesses durchzuführen sind.

Die Herausforderung ist nun, geeignete Formen der Wissensvermittlung zu finden, um den Bediener_innen der Anlagen die notwendigen Informationen asynchron bereitstellen zu können. Dabei soll darauf geachtet werden, dass die jeweilige Vermittlungsform einerseits dem betrachteten Prozess angemessen, also der Aufwand nicht verhältnismäßig zu hoch oder zu gering ist. Andererseits sollen die Vermittlungsformen eine hohe Akzeptanz bei den Nutzer_innen genießen, sodass die Informationen auch angenommen und nachhaltig verstanden werden.

Nachdem erst die betriebsbereite Übernahme (BBÜ) den Zeitpunkt darstellt, ab dem der Betreiber formal Mitverantwortung für die Produktionsline trägt, ist dessen Verantwortungsbewusstsein umso stärker ausgeprägt, je näher dieser wichtige Meilenstein im Projektverlauf kommt. Eine verstärkte Einbringung in den vorgelagerten Planungsprozess wäre allerdings von hoher Wertigkeit, da gerade das Betriebspersonal praktische Erfahrung von ähnlichen bestehenden Anlagen einbringen kann und oft über potenzielle Schwachstellen Bescheid weiß. Gelingt es nun, dem Betriebspersonal die definierten Nicht-Routineprozesse möglichst frühzeitig zu kommunizieren, könnte dieses ihre Erfahrung eher einfließen lassen und noch besser zu einer Optimierung der Prozesse beitragen.

1.2 Zielsetzung und Forschungsfragen

Produktionsanlagen werden zunehmend komplexer und die Anforderungen an die Anlagenbetreiber_innen steigen stetig. Für den getakteten Betrieb an Handarbeitsplätzen werden in der Literatur bereits viele Möglichkeiten aufgezeigt, dem Produktionspersonal zielgerichtet Informationen zum auszuführenden Arbeitsschritt bereitzustellen bzw. dieses vorab auf die jeweiligen Montageprozesse einzuschulen. Die Produktion von Elektroantrieben erfolgt allerdings hochautomatisiert und erfordert im Regelablauf nur wenige manuelle Arbeitsschritte, die von Produktionsmitarbeiter_innen ausgeführt werden müssen. Hingegen bedarf es Anlagenführer_innen an den einzelnen Stationen, welche die Komplexität der Anlagen beherrschen, die Prozesse verstehen und im Störfall eingreifen können.

Für jene höher qualifizierten Anlagenführer_innen sind Schulungskonzepte in der Literatur noch wenig verbreitet. Des Weiteren mangelt es an Methodiken, die bei der Auswahl von Wissensvermittlungsformen für unterschiedlich komplexe Nicht-Routineprozesse einer Produktionsanlage unterstützen.

Ziel dieser Diplomarbeit ist daher die Entwicklung einer Methodik, die verschiedene Nicht-Routineprozesse auf Grundlage mehrerer zu definierender Kriterien klassifiziert und ihnen basierend auf diesen Kriterien und unter Berücksichtigung des Kostenaspektes geeignete Formen der Wissensvermittlung zuordnet. Es werden daher drei Forschungsfragen formuliert, die dazu dienen sollen, das Ziel dieser Arbeit systematisch zu erarbeiten.

I. Welche Vermittlungsformen sind geeignet, um Wissen an Anlagenführer_innen zu vermitteln?

Zur Beantwortung der ersten Forschungsfrage wird zunächst eine systematische Literaturrecherche durchgeführt. Es sollen gängige Formen der Wissensvermittlung identifiziert werden, die bereits erfolgreich für die Schulung von Anlagenführer_innen Anwendung finden, oder die für andere Berufsgruppen im Kontext der Produktion

eingesetzt werden und sich für die Wissensvermittlung an Anlagenführer_innen ebenso eignen würden.

II. Anhand welcher Kriterien können Nicht-Routineprozesse klassifiziert werden?

Um die zweite Forschungsfrage zu beantworten, sollen Kriterien definiert werden, auf deren Basis Nicht-Routineprozessen geeignete Vermittlungsformen zugeordnet werden können. Berücksichtigung sollen besonders jene Kriterien finden, die einen großen Einfluss auf die Wahl der Vermittlungsform haben könnten. Diese Forschungsfrage II dient gemeinsam mit Forschungsfrage I als Grundlage zur Beantwortung der dritten Forschungsfrage.

III. Wie können die klassifizierten Nicht-Routineprozesse (II) mit geeigneten Schulungsformen (I) unter Berücksichtigung eines effizienten Kosten-Nutzen-Verhältnisses zusammengeführt werden?

Die Beantwortung der dritten Forschungsfrage soll durch die zu entwickelnde Methodik geleistet werden. Dabei gilt es, einerseits beim Betreiberpersonal der Anlage ein gutes Verständnis über die Prozesse sicherzustellen und andererseits den Aufwand des Vermittlungsprozesses auf einem angemessenen Level zu halten. Um diese Forderung zu erfüllen, werden Kosten und Nutzen der Vermittlungsformen bewertet und Prämissen definiert, die je nach vorliegendem Nicht-Routineprozess eine Priorisierung einer der beiden Dimensionen erlauben.

Die Methodik soll Mitarbeiter_innen der technischen Planung dabei unterstützen, für verschiedene Nicht-Routineprozesse neuer Produktionslinien geeignete Vermittlungsformen auszuwählen. Sie soll im Anschluss beispielhaft an den Nicht-Routineprozessen einer neuen Produktionslinie für die Statorfertigung im BMW Group Werk Dingolfing erprobt werden. Auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse sollen schließlich Schlussfolgerungen gezogen und Empfehlungen abgeleitet werden.

1.3 Aufbau der Arbeit

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in sechs Kapitel (siehe Abbildung 1). Der Einleitung folgt in Kapitel 2 zunächst eine Darlegung der theoretischen Grundlagen. Neben den drei in dieser Arbeit betrachteten Arten von Nicht-Routineprozessen werden verschiedene Begriffe aus dem Kontext der Informations- und Wissensvermittlung definiert und die Tätigkeit der Anlagenführer_innen von jener des verbleibenden Produktionspersonals abgegrenzt. Darüber hinaus erfolgt ein kompakter Überblick über E-Antriebe und deren Produktion und über den Aufgabenbereich der technischen Planung. Kapitel 3 legt existierende Ansätze zur Wissensvermittlung an Anlagenführer_innen dar und leitet den Bedarf an einer Methodik ab, die eine

Zuordnung geeigneter Ansätze zu unterschiedlich komplexen Nicht-Routineprozessen durchführt. Kapitel 4 dokumentiert die Entwicklung der Methodik, indem zunächst verschiedene Klassifikationskriterien definiert werden und anschließend über eine Kosten- und Nutzenbewertung der identifizierten Vermittlungsformen und die Berücksichtigung mehrerer Prämissen die finale Methodik abgeleitet wird. Kapitel 5 demonstriert die Anwendung der entwickelten Methodik auf ausgewählte Beispielprozesse und fasst die Ergebnisse der Validierung zusammen. In Kapitel 6 werden schließlich die Ergebnisse dieser Arbeit diskutiert und mögliche nächste Schritte aufgezeigt.

#	Kapitel	Inhalt				Forschungsfragen	
1	Einleitung	Ausgangssituation und Problemstellung	Zielsetzung und Forschungsfragen	Aufbau der Arbeit			
2	Theoretische Grundlagen	Nicht-Routineprozesse	Informations- und Wissensvermittlung	Personal im Produktionsumfeld	Elektromotoren in der Automobilindustrie	Technische Planung	
3	Stand-der-Technik	Existierende Ansätze zur Wissensvermittlung an Anlagenführer_innen		Bedarfsableitung	Frage I	✓	
4	Erarbeitung der Methodik	Klassifikationskriterien	Kosten-Nutzen-Bewertung der Vermittlungsformen	Prämissen	Methodik	Frage II & III	✓
5	Anwendung der Methodik	Ausgewählte Beispielprozesse		Validierung			
6	Zusammenfassung und Ausblick	Zusammenfassung der Ergebnisse	Einschränkungen der Ergebnisse	Mögliche nächste Schritte			

Abbildung 1 | Aufbau der Arbeit

Quelle: in Anlehnung an Werrlich, 2019, S. 5

2 Theoretische Grundlagen

Dieses Kapitel dient dazu, einen Überblick über die in dieser Arbeit relevanten Inhalte zu geben. Darüber hinaus soll ein einheitliches Verständnis für verwendete Terminologien geschaffen werden, indem eine Definition jener Begriffe erfolgt, welche für die vorliegende Arbeit von besonderer Bedeutung sind.

2.1 Nicht-Routineprozesse

Nicht-Routineprozesse unterscheiden sich von Routineprozessen durch den Grad der Wiederholung, dem Ausmaß an Variation, der Vielfalt und der Unsicherheit (vgl. Lillrank & Liukko, 2004, S. 39). Während Routineprozesse bekannten Abläufen zugrunde liegen, die im Voraus auf der Grundlage früherer Erfahrungen festgelegt wurden, werden Nicht-Routineprozesse an die bei der Durchführung gewonnenen Erkenntnisse angepasst (vgl. Cheng & Miller, 1985, S. 25).

Routineprozesse stellen in einer laufenden Produktion den Regelablauf dar. Dabei können währenddessen gewollt oder ungewollt Situationen eintreten, die Nicht-Routineprozesse bedürfen. Solche Situationen können durch verschiedenste Trigger ausgelöst werden. Beispielsweise kann dies die automatische Erkennung eines potenziellen oder bereits aufgetretenen Fehlers sein. Genauso können Mitarbeiter_innen an der Anlage über eine entsprechende Anwahl am Human-Machine-Interface (HMI) eine solche Situation herbeiführen.

Die Grenze zwischen Routine- und Nicht-Routineprozessen kann allerdings nicht immer klar gezogen werden (vgl. Lillrank, 2003, S. 218). Denn Nicht-Routineprozesse können durchaus ein hohes Maß an Regelmäßigkeit aufweisen (vgl. Pentland et al., 1994, S. 504).

In dieser Arbeit dient der Begriff des Nicht-Routineprozesses als Überbegriff für drei Prozessarten, die nachfolgend im Detail erläutert werden: NiO-Prozesse, Reparaturprozesse und Sonderprozesse. Sie alle haben gemein, dass sie im Allgemeinen eher selten auftreten und sich in ihrer Komplexität vom Regelablauf abheben. Sie werden bereits vor Inbetriebnahme einer neuen Produktionslinie definiert, um diese in der Anlagensteuerung berücksichtigen und Bedienerpersonal darauf einschulen zu können. Abhängig von der Größe der Produktionslinie kann sich die Anzahl auf mehrere Dutzend Prozesse je Prozessart belaufen. Die Beherrschung dieser Prozesse erfordert häufig die Fähigkeit der Interpretation und der iterativen Problemlösung nach dem Trial-and-Error-Prinzip (vgl. Lillrank & Liukko, 2004, S. 42).

2.1.1 NiO-Prozesse

Um eine hohe Robustheit der Produktionsprozesse sicherzustellen, gilt es, bereits im Vorhinein mögliche Stör- bzw. Fehlerfälle zu definieren und festzulegen, wie das Auftreten von Fehlerfällen im Prozess verhindert und bereits aufgetretene Fehler angezeigt und behoben werden können. Kropik bezeichnet diese Maßnahmen als Prozessabsicherung (vgl. Kropik, 2009, S. 211).

Die Detektion eines Fehlers erfolgt an hochautomatisierten Anlagen häufig automatisch über Kamerasysteme, Kontursensoren oder Lichtschranken (vgl. Hagedorn et al., 2016, S. 288). Für die Reaktion auf einen detektierten Fehler definiert Kropik drei Möglichkeiten: Ausregeln, Warnen oder Abschalten (vgl. Kropik, 2009, S. 215).

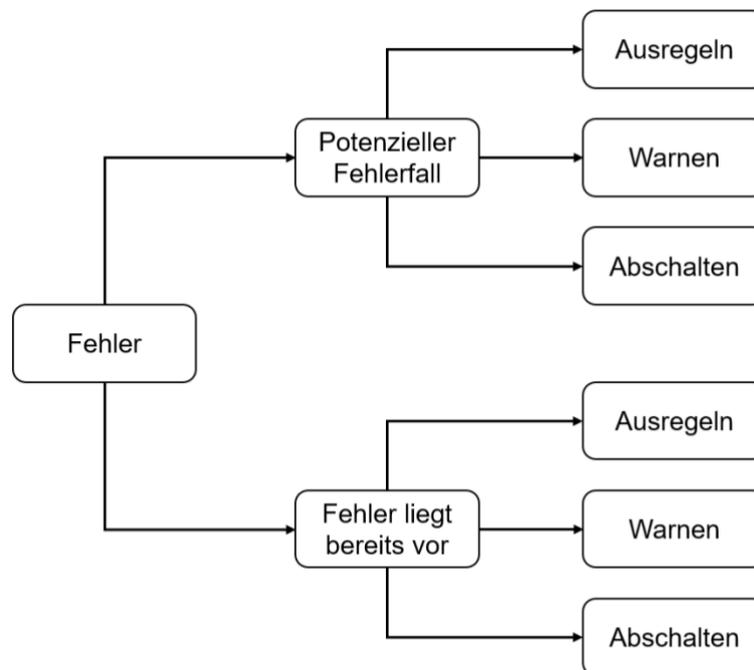


Abbildung 2 | Reaktionsmöglichkeiten auf (potenzielle) Fehler

Quelle: in Anlehnung an Kropik, 2009, S. 214

Abbildung 2 zufolge kann zwischen einem potenziellen Fehlerfall und einem bereits vorliegenden Fehlerfall unterschieden werden. Wird ein potenzieller Fehler erkannt, kann die Anlage im Optimalfall das Auftreten des Fehlers durch eine entsprechende Gegenmaßnahme verhindern. Wird ein potenzieller Fehler bei mehreren Bauteilen in Folge detektiert, kann es Sinn machen, Anlagenführer_innen mittels einer Betriebsmeldung zu warnen. Ein Grund hierfür könnte beispielsweise eine systematische Nichtkonformität sein, worüber die Werker_innen in Kenntnis gesetzt werden sollten. Diese Warnung erfolgt häufig mittels einer Betriebsmeldung am HMI, welche die Betriebsart der Anlage nicht unmittelbar beeinflusst, allerdings einen Hinweis für einen möglicherweise notwendigen Werkereingriff in nächster Zukunft

darstellt (vgl. Kropik, 2021, S. 346). Kann die Ursache des potenziellen Fehlerfalls durch die Anlage allein nicht behoben werden, wird der Automatikbetrieb gestoppt und eine Störungsmeldung ausgegeben. Der Automatikbetrieb wird erst fortgesetzt, wenn ein manueller Eingriff erfolgt ist und die Ursache beseitigt wurde (vgl. Kropik, 2009, S. 215).

Liegt bereits ein Fehlerfall vor, welcher von der Anlage detektiert wurde, kann je nach Situation noch eine automatische Korrektur durch die Anlage möglich sein. Beispielsweise kann eine mangelhafte Schweißnaht erkannt und das Bauteil infolgedessen automatisch ausgeschleust werden, ohne dass eine Anlagenstörung verursacht und ein Anhalten der Anlage erzwungen wird. Tritt ein Fehlerfall, den die Anlage selbstständig korrigieren kann, bei mehreren Bauteilen in Folge auf, ist eine Warnung an die Werker_innen aufgrund der Möglichkeit des Vorliegens eines systematischen Fehlers oftmals sinnvoll. Liegt eine Situation vor, wo ein aufgetretener Fehlerfall von der Anlage nicht selbstständig korrigiert werden kann, muss der Prozess unterbrochen werden, bis der Fehler manuell beseitigt wurde (vgl. Kropik, 2009, S. 215).

Die Notwendigkeit eines Werkereingriffs geht meist mit einem Anlagenstillstand einher. In der Prozessplanung muss daher stets abgewogen werden, ob ein Eingriff tatsächlich notwendig ist oder ein Produktionsstillstand mittels anderer Maßnahmen vermieden werden kann.

Maßnahmen der Prozessabsicherung werden umgangssprachlich auch als NiO-Prozesse bezeichnet, da diese Prozesse NiO-Fälle verhindern bzw. bereits vorhandene NiO-Fälle korrigieren sollen. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird daher auf diesen Begriff zurückgegriffen. Gemeint sind dabei stets Maßnahmen, welche der Prozessabsicherung dienen.

2.1.2 Reparaturprozesse

Reparatur wird laut DIN 9000 allgemein definiert als eine "Maßnahme an einem nichtkonformen Produkt oder einer nichtkonformen Dienstleistung, um diese(s) für den beabsichtigten Gebrauch annehmbar zu machen" (Deutsches Institut für Normung e.V., 2015, S. 58). Eine Reparatur ist demnach dann erforderlich, wenn ein Produkt oder eine Dienstleistung fehlerhaft ist, man jedoch einen gebrauchsfähigen Zustand herstellen möchte.

Im Vergleich dazu wird der Begriff der Nacharbeit in selbiger Norm definiert als "Maßnahme an einem nichtkonformen Produkt oder einer nichtkonformen Dienstleistung, damit es/sie die Anforderungen erfüllt" (Deutsches Institut für Normung e.V., 2015, S. 58). Auch Kropik fasst unter Nacharbeit alle Prozesse zusammen, die

dazu dienen, Mängel bei den in der Fertigung entstandenen Produkten zu beheben und ein fehlerfreies Produkt ausliefern zu können (vgl. Kropik, 2009, S. 327).

Nacharbeit führt demnach zu einem spezifikationskonformen Produkt, während Reparatur bloß einen gebrauchsfähigen Zustand herstellt, der nicht zwingend den ursprünglichen Anforderungen entsprechen muss. Trotz dieses kleinen Unterschieds in der Definition werden die Begriffe im betrieblichen Kontext häufig synonym verwendet.

Da der Begriff des Reparaturprozesses in der Branche verbreitet ist, wird im weiteren Verlauf der Arbeit dieser Terminus verwendet, wenngleich im Allgemeinen Prozesse gemeint sind, welche der Nacharbeit dienen.

2.1.3 Sonderprozesse

Aus verschiedenen Gründen kann es erforderlich sein, an hochautomatisierten Anlagen Sonderprozesse zu definieren, die in regelmäßigen oder unregelmäßigen Abständen durchgeführt werden. Als Beispiel kann hier das Ausschleusen eines intakten Bauteils für nachfolgende Messungen genannt werden. Automatische Messprozesse, die direkt in der Anlage ablaufen, aber nicht zum Standardprozess der Anlage gehören, können auch unter dem Begriff Sonderprozess zusammengefasst werden.

Für bestimmte Stationen einer Produktionslinie kann es zudem sinnvoll sein, Notfahrweisen zu planen. "Notfahrweisen sind Verfahren, die temporär zur Anwendung kommen, wenn Ressourcen in der Fertigungsanlage ausfallen. Meist sind Notfahrweisen mit erhöhtem Aufwand an Personal oder Ressourcen verbunden, ermöglichen es aber, den Fertigungsbetrieb aufrecht zu erhalten" (Kropik, 2009, S. 199). Die Erarbeitung dieser Notfahrweisen zählt zu den Aufgaben der technischen Planung (vgl. Kropik, 2021, S. 328). Sie werden in dieser Arbeit ebenso dem Begriff Sonderprozess untergeordnet.

2.2 Informations- und Wissensvermittlung

2.2.1 Begriffsdefinitionen

Bevor näher auf die Informations- und Wissensvermittlung eingegangen wird, sollen zunächst die Begriffe Information und Wissen erläutert werden. Für den Wissensbegriff gibt es zahlreiche Definitionen, die stets vom gegebenen Kontext und der zugrundeliegenden Fragestellung abhängig sind. Eine einheitliche Begriffsauffassung liegt allerdings nicht vor (vgl. Doetsch, 2016, S. 20). Auch die Unterscheidung von Wissen, Daten und Information ist in der Literatur nicht klar definiert. Es gibt Ansätze, diese in einer hierarchischen Beziehung anzuordnen. Rehäuser und Krcmar (1996)

beschreiben dies mit einer Begriffspyramide (siehe Abbildung 3). Die Grundlage wird von Daten gebildet. Werden diese um einen Kontext ergänzt, entsteht Information. Erst durch Vernetzung und Interpretation der Information durch eine Person findet eine Aufwertung zu Wissen statt. Wissen entsteht also erst in den Köpfen von Individuen und ist von persönlichen Erfahrungen geprägt. Das Wissen einer Person unterscheidet sich demnach von dem einer anderen Person, auch wenn beiden Personen die gleichen Informationen zur Verfügung stehen (vgl. Doetsch, 2016, S. 21).

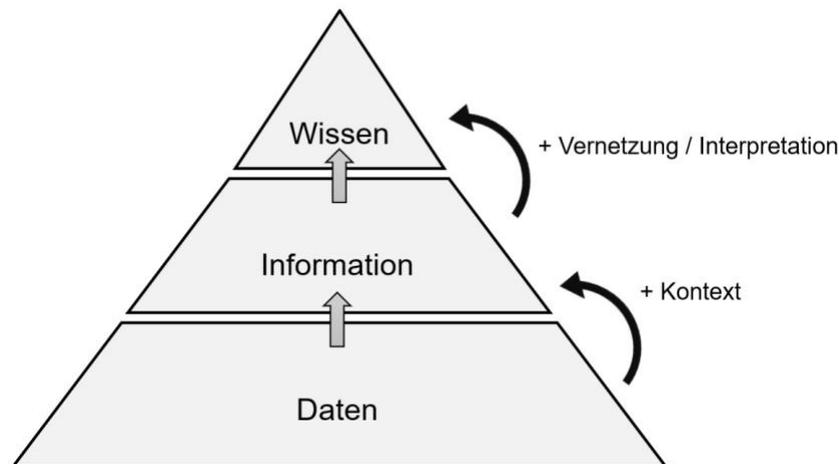


Abbildung 3 | Begriffshierarchie Daten, Information und Wissen

Quelle: in Anlehnung an Rehäuser & Krcmar, 1996, S. 3

Auch North ordnet die Begriffe hierarchisch an, allerdings in Form einer Wissenstreppe (vgl. North, 2005, S. 32). Ob eine klare Abgrenzung zwischen den Begriffen möglich ist, ist jedoch umstritten. Lucko und Trauner erachten die Grenzen zwischen Daten, Information und Wissen als fließend und eine klare Abgrenzung voneinander als schwierig (vgl. Lucko & Trauner, 2002, S. 7). Auch Bodendorf (2006) hält es für fraglich, ob die in Abbildung 3 suggerierte trennscharfe Unterscheidung möglich ist. Stattdessen hält er eine Vorstellung als das in Abbildung 4 dargestellte Kontinuum zwischen den Polen Daten und Wissen für tragfähiger (vgl. Bodendorf, 2006, S. 2).

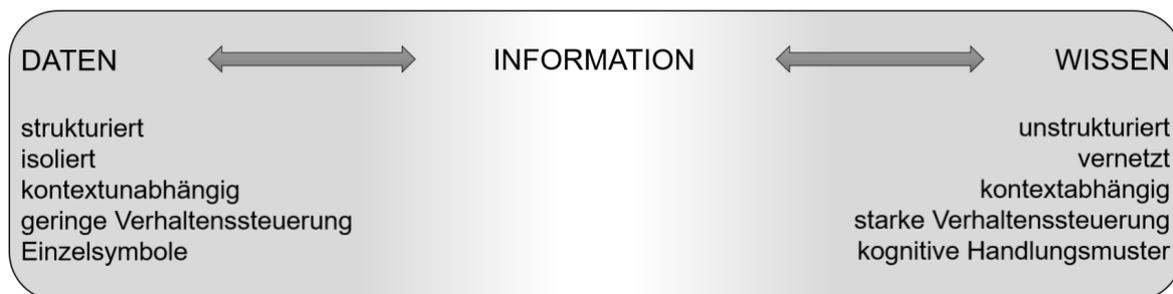


Abbildung 4 | Kontinuum zwischen Daten und Wissen

Quelle: in Anlehnung an Bodendorf, 2006, S. 2

Wissen kann in explizites und implizites Wissen unterschieden werden. Diese Unterscheidung geht bereits auf den Philosophen Michael Polanyi zurück. Doetsch (2016) zufolge ist implizites Wissen kaum direkt kodifizierbar, da es in hohem Maße durch persönliche Erfahrungen bestimmt und daher stark personengebunden ist. Implizites Wissen wird von seinen Träger_innen teilweise nicht einmal bewusst wahrgenommen. Dies führt zu erheblichen Schwierigkeiten bei der Artikulier- und Kommunizierbarkeit dieses Wissens (vgl. Doetsch, 2016, S. 26–27). Implizites Wissen von Mitarbeiter_innen ist also Unternehmen nicht direkt zugänglich (vgl. Lucko & Trauner, 2002, S. 8). Explizites Wissen hingegen lässt sich mithilfe von Symbolen, Zahlen oder Worten ausdrücken und kann gespeichert werden. Seine Personengebundenheit geht dadurch verloren, was zu einer guten Reproduzierbarkeit führt (vgl. Doetsch, 2016, S. 26–27).

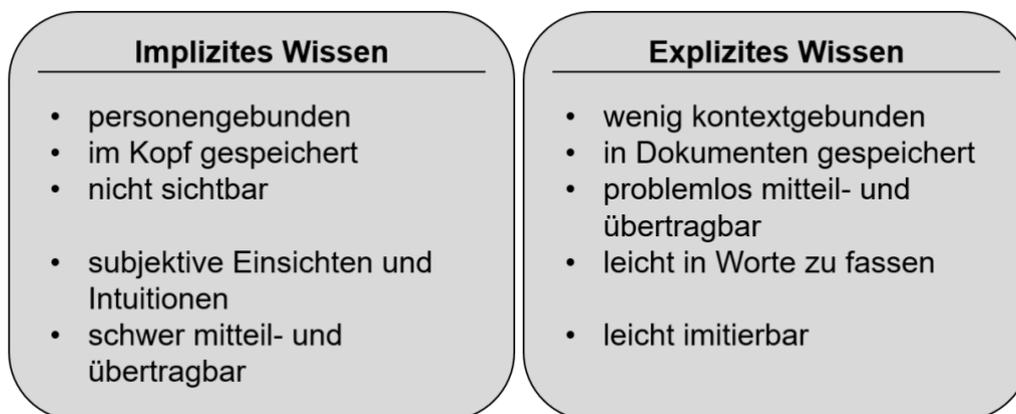


Abbildung 5 | Implizites und explizites Wissen

Quelle: in Anlehnung an Lucko & Trauner, 2002, S. 8

Teubner et al. (2016) unterscheiden in explizite und implizite Informationsquellen (siehe Abbildung 6). Als explizite Informationsquellen nennen sie beispielsweise papiergebundene Unterlagen, Anweisungen auf einem Monitor oder Gespräche mit Kolleg_innen oder Vorgesetzten. Die Beobachtung einer Person, die eine bestimmte Tätigkeit ausführt, fassen sie als impliziten Wissenstransfer auf. Auch die Vorkommissionierung von Bauteilen durch die Logistik stellt einen impliziten Informationstransfer dar. Denn dadurch wird implizit die Reihenfolge der Verbauung kommuniziert (vgl. Teubner et al., 2016, S. 354). Während explizite Informationsquellen nur explizites Wissen transportieren können, können implizite Informationsquellen bis zu einem gewissen Grad auch implizites Wissen vermitteln. Man denke hier an Vorarbeit durch Kolleg_innen, wodurch Handgriffe vermittelt werden können, welche die Vorarbeitenden aufgrund der subjektiv als nicht wesentlich erachteten Bedeutung dem Gegenüber gar nicht kommuniziert hätten.

Außerdem unterscheiden Teubner et al. in systematische und unsystematische Quellen. Während mittels papiergebundener Unterlagen etwa systematisch Wissen

vermittelt wird, kann über informelle Gespräche mit Kolleg_innen Wissen auch unsystematisch weitergegeben werden.

Die Formen der Wissensvermittlung, die in dieser Arbeit vor allem in Kapitel 3.1 thematisiert werden, sind vorwiegend den systematisch-expliziten Informationsquellen zuzuordnen.

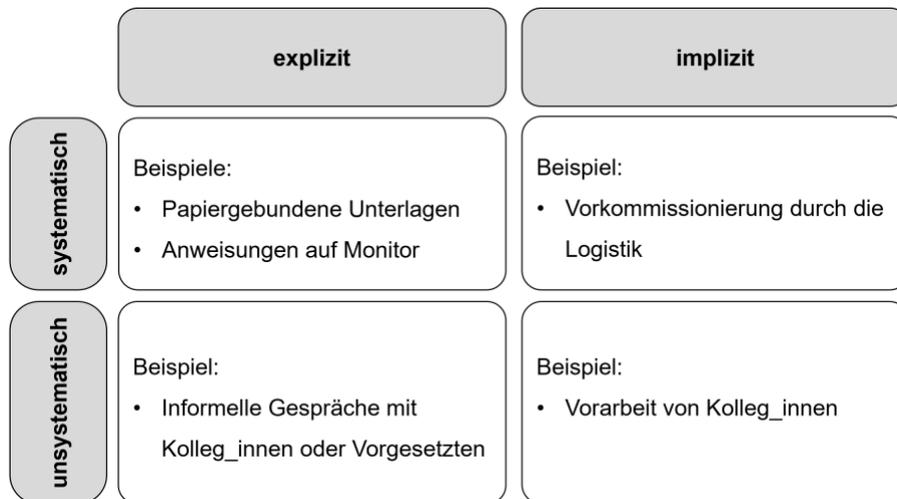


Abbildung 6 | Arten der Informationsvermittlung

Quelle: in Anlehnung an Teubner et al., 2016, S. 354

Geht es nun um die Vermittlung von Information und Wissen, kann man nach Nink (1991) zwischen den Begriffen Informationsvermittlung und Wissensvermittlung unterscheiden. Laut Nink dient Informationsvermittlung der problem- und benutzeradäquaten Bereitstellung von Informationen, welche für die Empfänger_innen von Relevanz sind und bei der Beantwortung konkreter Fragestellungen sowie bei Entscheidungsprozessen unterstützen. Ziel ist eine effektive Informationsversorgung im Problemlösungsprozess durch eine qualifizierte Bereitstellung eines dem Benutzerproblem dienlichen allgemeinen Wissensstandes (vgl. Nink, 1991, S. 3). Demnach bedeutet Informationsvermittlung „Wissenstransfer von Informationsressourcen zu Abnehmern in Kommunikationsprozessen“ (Nink, 1991, S. 3).

Nink zufolge ist Informationsvermittlung und Wissensvermittlung nur bedingt gleichzusetzen. Der Gegenstandsbereich des Wissenstransfers kann entsprechend Abbildung 7 als Schnittmenge von Informationsvermittlung, Aus- bzw. Weiterbildung und Beratung beschrieben werden. Wissensvermittlung ist demnach eine Teilmenge der Informationsvermittlung.

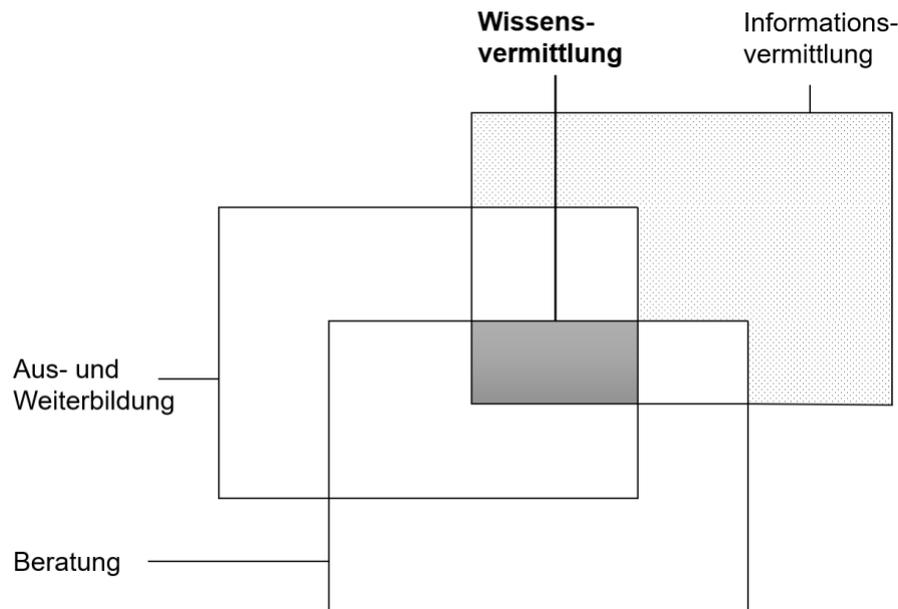


Abbildung 7 | Wissensvermittlung als Schnittmenge

Quelle: in Anlehnung an Nink, 1991, S. 4

2.2.2 Anforderungen an die Vermittlungsmethode

Nyhuis et al. (2015) folgen der Annahme, dass Mitarbeiter_innen am besten lernen, wenn nicht bloß theoretisches Wissen vermittelt wird, sondern dieses Wissen zusätzlich durch die Einbettung in einen situationsbezogenen Kontext aktiviert wird. Dieser Handlungsbezug soll Lernende befähigen, reale Probleme zu lösen und das Wissen situationsgerecht anzuwenden. Die Befähigung soll also nicht nur dem Zweck der Vermittlung konkreten Fachwissens zur Lösung spezifischer Probleme dienen, sondern Mitarbeiter_innen zur selbstständigen Analyse und Lösung von Problemstellungen befähigen (vgl. Nyhuis et al., 2015, S. 175).

Bei der Vermittlung von Faktenwissen, prozeduralem Wissen und Instruktionen zur Problemlösung sollten u.a. folgende Punkte berücksichtigt werden (vgl. Smith & Ragan, 2005, zitiert nach Niegemann et al., 2008, S. 157–165):

- Aufmerksamkeit, Interesse und Motivation der Lernenden wecken
- Lehrziele nennen und Relevanz erläutern
- Vorwissen aktivieren
- Information liefern und Verständnis fördern
- Aufmerksamkeit fokussieren

Speziell auch an die Medien, die der Wissensvermittlung dienen, werden hohe Anforderungen gestellt. Eine Befragung von Marxer et al. mit über 900 Teilnehmer_innen zeigt auf, dass es einen großen Bedarf gibt, folgende Merkmale in Medien zum Zwecke des Wissenstransfers zu integrieren (vgl. Marxer et al., 2018, S. 321):

- Interaktivität des Lernmaterials durch den Einsatz von Videos, Animationen, Quizfragen etc.
- Einbindung von Verständnisfragen in das Lernmaterial mit sofortigem Feedback
- Schnelle Updates des Lernmaterials bei Änderungen, die den Lehrinhalt betreffen
- Möglichkeit, einen effizienten Lernpfad zu wählen (unter Berücksichtigung von Vorkenntnissen)
- Möglichkeit, einen effektiven Lernpfad zu wählen (nur die Themen zu lernen, die für die eigene Tätigkeit relevant sind)

Unternehmen fordern zudem eine gute Vereinbarkeit mit den betrieblichen Abläufen. Denn die Teilnahme an Schulungsmaßnahmen bedeutet in der Regel häufig, dass Mitarbeiter_innen vom Tagesgeschäft freizustellen sind (vgl. Nyhuis et al., 2015, S. 176).

2.2.3 Unterscheidung nach dem Vermittlungsmodus

2.2.3.1 Schulung

Lang (2007) zufolge dienen Schulungen dazu, Personen durch die Bereitstellung relevanter Informationen auf eine Tätigkeit oder eine Situation vorzubereiten. Sie dienen zur Erhöhung des Wissens und schaffen zusätzliche Qualifikationen (vgl. Lang, 2007, S. 23). Schulungen sind demnach dann sinnvoll, wenn Mitarbeiter_innen mit neuen Herausforderungen konfrontiert werden, neue Tätigkeiten zu ihrem bisherigen Tätigkeitsfeld hinzukommen oder bereits vorhandenes Wissen erneuert werden soll. Gerth und Kruse verstehen unter Schulung das „Vermitteln von (deklarativem) Fakten- und (prozeduralem) Handlungswissen unter Einsatz spezifischer Lehrmittel durch mindestens einen Lehrenden und die kognitive Auseinandersetzung mit den vermittelten Inhalten durch einen oder mehrere Lernende mit dem Ziel der langfristigen Gedächtnisverankerung sowie dem Transfer und der Anwendung auf andere Sinnzusammenhänge und Situationen“ (Gerth & Kruse, 2020, S. 148). Demnach ist eine Schulung dadurch gekennzeichnet, dass die Teilnehmer_innen zumindest mit einer Lehrperson, in vielen Fällen aber auch mit anderen Schulungsteilnehmer_innen, interagieren.

2.2.3.2 Selbststudium

Böhner und Mersch sprechen bei einer Lernform, wo Wissen weitgehend selbstständig erarbeitet wird, von Selbststudium (vgl. Böhner & Mersch, 2010, S. 229). Während bei Schulungen die Interaktion mit Lehrenden bzw. anderen Schulungsteilnehmer_innen essentieller Bestandteil ist, ist hier die Präsenz von bzw. die Interaktion mit Lehrenden zwar möglich, aber kein zentrales Element (vgl. Paul et al., 2021, S. 7–8). Demnach ist eine autonome Wissensaneignung durch selbstständiges Durcharbeiten von Lehrmaterial, sei es papiergebunden oder IT-basiert, als eine Form des

Selbststudiums einzuordnen. Paul et al. zufolge unterscheidet sich Selbststudium von klassischer Schulung außerdem darin, dass die Lernenden den äußeren Rahmen (Zeitpunkt, Dauer, Ort etc.) selbst bestimmen und die detaillierte Verlaufsstruktur des Lernprozesses selber festlegen (vgl. Paul et al., 2021, S. 7–8).

2.2.3.3 Lernassistenzsystem

Assistenzsysteme werden im Bereich der Produktion häufig dafür eingesetzt, um Mitarbeiter_innen bei ihren Tätigkeiten zu unterstützen. Die Art der Unterstützung kann von physischer, kognitiver, organisatorischer oder kommunikativer Natur sein (vgl. Schlund et al., 2018, S. 283). Assistenzsysteme, die das Teilen und Verbreiten von Wissen unterstützen, können den organisatorischen Assistenzsystemen zugeordnet werden (vgl. Schlund et al., 2018, S. 280). In der Literatur ist hierfür auch der Begriff Lernassistenzsystem üblich. Während etwa bei Schulungen die Teilnehmer_innen mit Lehrenden interagieren, findet hier die Interaktion direkt mit dem meist IT-basierten Lernassistenzsystem statt.

2.2.4 Unterscheidung nach der Darstellungsform

2.2.4.1 Textbasierte Darstellung

Textbasierte Beschreibungen sind ein alltägliches Mittel der Informationsvermittlung. Um jedoch Aspekte mit hohem Detailgrad zu vermitteln, ist dafür meist eine große Menge an Text erforderlich. Durch die Verwendung von Fachvokabular ist es zwar möglich, Umschreibungen zu vermeiden und die Sätze möglichst kurz zu halten. Die informatorische Reichhaltigkeit ist allerdings trotzdem vergleichsweise gering (vgl. Jeske et al., 2014, S. 3).

Um die Informationsdichte zu erhöhen, ist es Lang (2007) zufolge im Bereich der Montage üblich, Informationen über auszuführende Arbeitsschritte in Form von Arbeitsfolgen-Kurztexten zu transportieren. Ziel hierbei ist es, ausführliche Beschreibungen im Sinne einer schnellen Erfassbarkeit stark zu reduzieren. Aufgrund der hohen Informationsverdichtung und der Verwendung von Abkürzungen fehlt ungeübten Mitarbeiter_innen allerdings häufig der Kontext. Arbeitsfolgen-Kurztexte sind daher nur für langjährig geübtes Personal eine mögliche Option (vgl. Lang, 2007, S. 43).

Laut Lemke (2005) stellt die Transformation eines gelesenen Textes in eine Handlung eine mentale Operation dar, die fehleranfällig ist, auch wenn auf eine exakte Formulierung geachtet wurde. Vor allem bei komplexen auszuführenden Handlungen sind textgebundene Beschreibungen daher eher ungeeignet (vgl. Lemke, 2005, S. 11). Allerdings können textgebundene Beschreibungen mit einigen der nachfolgend aufgeführten Darstellungsformen sehr vorteilhaft kombiniert werden.

2.2.4.2 Auditive Darstellung

Eine häufige Form der auditiven bzw. akustischen Darstellung ist die gesprochene Sprache. Beispielsweise dient sie im Zuge von Vorträgen oder als Ergänzung in einem Video zur Vermittlung von Lerninhalten. Sprache transportiert ihre Informationen über Sprachinhalt, Betonung, Sprechgeschwindigkeit und Tonfall, wobei vor allem durch Betonung und Tonfall bestimmte Inhalte des gesprochenen Textes besonders hervorgehoben werden können (vgl. Niegemann et al., 2008, S. 192). Neben der Funktion der Informationsvermittlung kann auch der Akzeptanzgrad von Lernmedien erhöht werden (vgl. Barron & Kysilka, 1993). Auch Geräusche oder Töne können die auditive Beschreibung eines Sachverhalts unterstützen (vgl. Benkert, 2001, S. 69–70). Beispielsweise können diese auditiven Formen in digitalen Lehrmedien eingesetzt werden, um die Aufmerksamkeit und Motivation zu steigern (vgl. Niegemann et al., 2008, S. 203).

2.2.4.3 Grafische Darstellung (2D)

Zur Vermittlung von Prozessen oder Arbeitsabläufen werden häufig grafische Darstellungen verwendet. Beispiele hierfür sind technische Zeichnungen oder Fotos von zu produzierenden Bauteilen oder von auszuführenden Prozessen bzw. Arbeitsabläufen. In vielen Fällen erfolgt eine Ergänzung der grafischen Darstellung um textbasierte Beschreibungen (vgl. Lang, 2007, S. 44).

Mittels technischer Zeichnungen können viele detailhafte Informationen transportiert werden. Sie bergen allerdings die Gefahr, dass diese falsch interpretiert werden, da sie die Realität nicht als solche abbilden (vgl. Lang, 2007, S. 44). Lemke (2005) zufolge funktionieren sie im Sinne einer Fachsprache, wobei bestimmte Zeichen einer exakt definierten Bedeutung zugeordnet sind. Diese entspricht nicht immer der Bedeutung des gleichen Zeichens im allgemeinen Sprach- bzw. Zeichengebrauchs. Sind die Werker_innen also nicht mit dem Lesen technischer Zeichnungen vertraut, kann es zu Schwierigkeiten bei der Erfassung der zu vermittelnden Botschaft kommen (vgl. Lemke, 2005, S. 12). Durch die Verwendung von Explosionsdarstellungen, 3D-Renderings oder isometrischen Darstellungen kann die Gefahr der Fehlinterpretation allerdings reduziert werden.

Lang (2007) zufolge sorgen Fotos im Allgemeinen für eine deutlich bessere Verständlichkeit als technische Zeichnungen. Für eine gute Erkennbarkeit aller Details sollen diese in guter Qualität vorliegen. Um damit Prozessinformation zu vermitteln, finden oft Bauteilfotos Verwendung, die häufig um textuelle Hinweise ergänzt werden. Alternativ können Fotos vom auszuführenden Prozessschritt selbst verwendet werden. Die Aufnahme des Fotos erfolgt hier während des realen Arbeitsvorganges. Wie bei den Bauteilfotos können auch hier Textbausteine hinzugefügt werden. Bei der letzteren Variante ist meist nur die Darstellung einer geringen Anzahl an Prozessschritten in einem Bild möglich. Um textuelle Ergänzungen kurz zu halten oder

weglassen zu können, kommen auch Piktogramme zum Einsatz. Es gilt dabei allerdings zu berücksichtigen, dass diese möglicherweise nicht allgemeingültig oder eindeutig sind (vgl. Lang, 2007, S. 44–45).

2.2.4.4 Videodarstellung

Videos ermöglichen laut Lang (2007) eine realitätsgetreue Darstellung von Arbeitsfolgen, da hier der Faktor Zeit Berücksichtigung findet. Die visuell aufgenommenen Handlungsanweisungen können verhältnismäßig einfach kopiert werden (vgl. Lang, 2007, S. 46). Man spricht hier auch von Modelllernen, wenn das Verhalten von im Video dargestellten Personen nachgeahmt werden soll (vgl. Niegemann et al., 2008, S. 266–267). Allerdings besteht wenig Möglichkeit der Interaktion. Es wird bloß ein Arbeitsgesamtablauf präsentiert, einzelne Prozessschritte können nicht gezielt angewählt werden (vgl. Lang, 2007, S. 46). Die Lernenden müssen aus einer Vielzahl an dargestellten Details die lernzielrelevanten Aspekte herausfiltern (vgl. Niegemann et al., 2008, S. 265). Dies kann bei unerfahrenen Mitarbeiter_innen zu Problemen führen, wesentliche von unwesentlichen Aspekten zu unterscheiden (vgl. Lang, 2007, S. 46). Um Unklarheiten zu vermeiden, können Videos mit verbalen Erklärungen in Form von Text- oder Audioinformationen angereichert werden (vgl. Lemke, 2005, S. 16–17).

2.2.4.5 Animation / Simulation

Während Videos Abbilder der Realität sind, entsprechen Animationen computergenerierten Eindrücken eines Bewegungsablaufes. Der Detailierungsgrad kann dabei von abstrakt über konkret bis hin zu fotorealistisch reichen (vgl. Niegemann et al., 2008, S. 265). Animationen ermöglichen es, durch Rotationen Objekte aus verschiedenen Perspektiven darzustellen und zu betrachten und den Aufbau komplexer Objekte aus ihren Bestandteilen aufzuzeigen, indem sie zerlegt oder schrittweise zusammengebaut werden (vgl. Niegemann et al., 2008, S. 253). Zusätzlich kann es sinnvoll sein, die Animation durch gesprochenen Text zu ergänzen. Niegemann et al. zufolge können Animationen auch Interaktion ermöglichen, beispielsweise mittels Steuertasten wie „Play“, „Pause“, „Fast Forward“ oder „Rewind“. Haben Nutzer_innen auch die Möglichkeit, durch Eingabe von Parametern die Animation zu beeinflussen, wird in der Literatur auch von Simulation gesprochen. Der Übergang zwischen Animation und Simulation ist fließend. Je höher der Grad an Interaktion, desto eher spricht man von Simulation. Möglichkeiten des Hinein- und Herauszoomens, der Wahl unterschiedlicher Perspektiven oder das Verändern der Abspielgeschwindigkeit liegen in diesem Kontinuum irgendwo dazwischen (vgl. Niegemann et al., 2008, S. 258–260).

2.2.4.6 Reale und immersive Umgebungen

Immersion bedeutet das „Eintauchen und für real empfinden einer künstlichen Welt“ (Frank, 2020, S. 264). Möglich wird dies durch Einsatz der VR- und AR-Technologie. Im Hinblick auf die Unterscheidung von VR und AR sind die Begrifflichkeiten nicht eindeutig. Die geringe terminologische Trennschärfe ist darauf zurückzuführen, dass die Unterschiede beider Technologien schwer voneinander abgrenzbar sind. Beide Technologien haben jedoch gemein, dass es sich zumindest um teilweise computergenerierte Eindrücke handelt (vgl. Gerth & Kruse, 2020, S. 145). Nach Milgram und Kishino (1994) kann der fließende Übergang durch das Virtuality Continuum (VC) grafisch dargestellt werden (siehe Abbildung 8). Das Gesamtspektrum reicht dabei von einer rein realen bis hin zu einer rein virtuellen Umgebung, bei der die reale Umgebung überhaupt nicht mehr wahrgenommen wird. Dazwischen liegen die erweiterte Realität („augmented“ engl. für „erweitert“), wobei hier die reale Umgebung um virtuelle Inhalte angereichert wird, sowie die erweiterte Virtualität, bei der reale Elemente in eine virtuelle Umgebung eingeblendet werden.

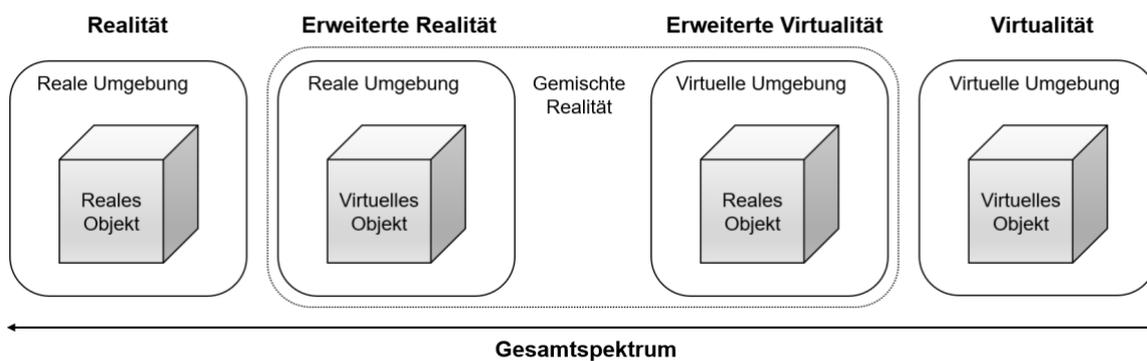


Abbildung 8 | Virtuality Continuum

Quelle: in Anlehnung an Milgram & Kishino, 1994, S. 3 bzw. Werrlich, 2019, S. 15

Gerth und Kruse (2020) zufolge wird unter dem Begriff AR also die gleichzeitige (Co-) Wahrnehmung von realer und virtueller Umgebung verstanden. Möglich ist dies einerseits durch die Überlagerung eines digitalen Layers mit einem durch eine Kamera aufgenommenen Abbild der realen Umgebung. Man spricht von „video-see-through“. Andererseits gibt es die Möglichkeit, die digitalen Inhalte auf einer transparenten Projektionsfläche einzublenden. Der Nutzer nimmt hier die reale Umgebung also direkt wahr. Man spricht von „optical-see-through“ (vgl. Gerth & Kruse, 2020, S. 146).

Der VR-Begriff ist hingegen dadurch geprägt, dass die physische Außenwelt gar nicht mehr wahrnehmbar ist und der Betrachtende eine vollständig computergenerierte, dreidimensionale synthetische Umgebung wahrnimmt (vgl. Gerth & Kruse, 2020, S. 147). VR-Applikationen ermöglichen eine realitätsgetreue Abbildung einer Situation, mit der User_innen interagieren können. Buehler und Kohne (2020) zufolge können diese nicht nur visuelles Feedback, sondern durch Verwendung weiterer

Peripheriegeräte auch gezieltes Feedback über taktile und auditive Stimuli erhalten. VR-Objekte können in ihrer wirklichen Größe und ihrer Detailtreue dargestellt werden, womit den User_innen auch Inhalte zur Verfügung stehen, die mittels anderer Medien nicht transportiert werden könnten. Zudem ist es möglich, auch kostenintensive Situationen virtuell zu simulieren (vgl. Buehler & Kohne, 2020, S. 76–77).

AR- und VR Anwendungen werden immer öfter auch für die Wissensvermittlung an Mitarbeiter_innen eingesetzt, als Ersatz für traditionelle Schulungen, aber oft auch als sinnvolle Ergänzung (vgl. Adelman, 2020, S. 15). VR-basierte Methoden können nicht nur zur theoretischen Wissensvermittlung eingesetzt werden, sondern eignen sich auch für die praktische Vermittlung von Fähigkeiten, Prozessen oder Anwendungen (vgl. Buehler & Kohne, 2020, S. 82). Vor allem für die Erarbeitung von prozeduralem Wissen und die Vermittlung von Sachverhalten, die dreidimensionale Merkmale besitzen, sind diese Methoden geeignet (vgl. Gerth & Kruse, 2020, S. 153).

Für die Umsetzung einer VR- oder AR-basierten Schulung führen Gerth und Kruse zahlreiche Möglichkeiten an. Neben der Option, dass Instruktor_innen physisch im gleichen Raum anwesend sind, können Lehrende auch von einem anderen Ort per 2D-Videobild oder als Avatar in der virtuellen Umgebung eingebunden werden. Die Ausgestaltung der Lehranwendungen reicht von einfachen virtuellen Darstellungen, welche die instruierende Person kommentiert, bis hin zu aufwändigen Anwendungen, wo über automatisch ablaufende oder aktiv abrufbare Annotationen in Form von Text, Bild, Audio oder Video die virtuellen Darstellungen um Erläuterungen ergänzt werden (vgl. Gerth & Kruse, 2020, S. 156).

2.2.4.7 Mischformen

Es gibt viele Möglichkeiten, unterschiedliche Darstellungsformen zu kombinieren. Für Arbeitsanweisungen im Montagekontext beispielsweise werden Lang (2007) zufolge häufig Arbeitsfolgen-Kurztexte mit grafischen Darstellungen kombiniert. Man schafft dadurch einen Kompromiss aus hoher Informationsdichte und gewisser Eindeutigkeit (vgl. Lang, 2007, S. 46–47).

Lotter und Wiendahl (2012) nennen mit dem Lernalbum ein weiteres Beispiel für die Kombination von grafischen Darstellungen und textuellen Beschreibungen. Es kombiniert visuell-bildliche mit verbal-begrifflichen Darstellungsformen der Information. Dabei wird eine Arbeitsaufgabe in ihre Arbeitsschritte zergliedert. Jede dieser Arbeitsschritte wird durch eine Abbildung (Foto, Skizze, Diagramm etc.) und einen Textteil dargestellt. Ein Lernalbum kann leicht an unterschiedliche Zielgruppen und Veränderungen im Arbeitsablauf angepasst werden (vgl. Lotter & Wiendahl, 2012, S. 400).

Üblich ist auch eine Mischform aus textbasierten Beschreibungen, grafischen Darstellungen und Videodarstellungen (vgl. Lemke, 2005, S. 17).

2.2.5 Unterscheidung nach dem Vermittlungsmedium

2.2.5.1 Mündlich

Eine gängige Möglichkeit der Informationsvermittlung ist die mündliche Weitergabe von Informationen. Als Adressat_in hat man die Gelegenheit, bei Missverständnissen oder Unklarheiten beim Gegenüber nachzufragen. Dieses wiederum kann sich durch das Stellen von Zwischenfragen vergewissern, dass die Information auch angekommen und verstanden wurde.

Lang (2007) sieht den geringen Aufwand für die Informationserzeugung als klaren Vorteil der mündlichen Informationsvermittlung. Allerdings sind mündliche Informationen sehr flüchtig und können vergessen werden. Zudem sind sie nicht frei bzw. wiederholt abrufbar (vgl. Lang, 2007, S. 23). Denn mündliche Informationen sind nicht dokumentiert und damit nicht rekonstruierbar. Es können nur jene Personen direkt erreicht werden, die zum Zeitpunkt der Informationsdistribution anwesend sind (vgl. Lang, 2007, S. 43).

2.2.5.2 Kopfhörer, Lautsprecher

Erfolgt die Vermittlung auditiver Informationen nicht von Person zu Person, sondern IT-basiert, erfordert es geeignete Geräte zur Tonausgabe. Dies können beispielsweise Kopfhörer, Headsets oder Lautsprecher sein. Viele Endgeräte wie Laptops, Smartphones, Tablets, und zum Teil auch VR-Brillen, haben Lautsprecher bereits integriert. Vor allem VR-Anwendungen zielen oftmals darauf ab, den Nutzer_innen einen möglichst hohen Immersionsgrad zu bieten. Die Integration von 3D-Audio kann diese Wahrnehmung weiter unterstützen (vgl. Stöttner, 2020, S. 285).

2.2.5.3 Papier

Nach wie vor gängig ist die Informationsverteilung über papiergebundene Unterlagen. Beispiele hierfür sind Handbücher, technische Dokumentation oder gedruckte Schulungsunterlagen zum Selbststudium. Inhalte werden auch auf Begleitkarten aufgedruckt oder in Ordnern bzw. Heftern gesammelt und an den Arbeitsplätzen zur Verfügung gestellt (vgl. Lang, 2007, S. 24).

Als Vorteile können die geringen Kosten genannt werden, die für den Informationsträger Papier anfallen, sowie die einfache Handhabbarkeit und der gewohnte Umgang damit (vgl. Lang, 2007, S. 24).

2.2.5.4 Plantafeln, Poster, Boards

Am Shopfloor ist es üblich, über Plantafeln und Whiteboards Informationen bereitzustellen. Da die Informationen leicht zugänglich sind, bietet sich diese Form der Informationsbereitstellung vor allem dann an, wenn diese für mehrere oder alle Personen eines Bereichs relevant sind. Verwendung findet diese Form daher häufig für Produktivitätszahlen, Ausschusszahlen oder betriebsspezifische Informationen,

und weniger für auftrags- oder tätigkeitsspezifische Informationen (vgl. Lang, 2007, S. 24). Durch fortschreitende Digitalisierung kommen anstatt analoger Plakate immer häufiger auch digitale, zum Teil berührungssensitive Bildschirme zur Anwendung. Auf diese Art des Vermittlungsmediums wird weiter unten näher eingegangen.

2.2.5.5 Physikalische Anschauungsobjekte

Anschauungsobjekte heben sich dadurch ab, dass sie nicht nur visuell, sondern auch haptisch erfassbar sind. Die Inhalte können dadurch nachhaltig behalten werden (vgl. Lang, 2007, S. 23). Anschauungsobjekte können vor allem in Schulungen vorteilhaft verwendet werden. Beispiele hierfür sind (3D-gedruckte) Modelle, Produktbeispiele oder auch die reale Produktionslinie.

2.2.5.6 Bildschirme / Displays

Informationsvermittlung über IT-basierte Systeme hat im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung einen neuen Stellenwert eingenommen. Inhalte werden auf Bildschirmen oder Anzeigetafeln dargestellt, die an den Arbeitsplätzen oder entlang einer Produktionslinie angebracht sind (vgl. Lang, 2007, S. 24). Die neben Produktionsanlagen angebrachten, meist berührungssensitiven Bedienpanels bieten sich ebenso für diesen Zweck an. In diesem Zusammenhang wird oft auch von Mitarbeiterinformationssystemen (MIS) oder Werkerinformationssystemen (WIS) gesprochen. Diese dienen dazu, Mitarbeiter_innen zum richtigen Zeitpunkt und in der richtigen Form jene Informationen bereitzustellen, die gerade für die aktuelle Tätigkeit benötigt werden (vgl. Lang, 2007, S. 19).

Aufgrund der häufig vorliegenden IT-Anbindung wird eine hohe Aktualität der Inhalte erreicht. Denn die Informationsverteilung erfordert meist nur geringen Aufwand. Die Informationen sind außerdem jederzeit abrufbar (vgl. Lang, 2007, S. 24).

2.2.5.7 Smartphones und Tablets

Auch Tablets und Smartphones können als Medium für Wissenstransfer dienen. Beispielsweise kommen diese bei Handheld-basierten AR-Anwendungen als Endgeräte zum Einsatz (vgl. Gerth & Kruse, 2020, S. 149).

2.2.5.8 Datenbrillen

Als Endgeräte in AR- und VR-Anwendungen kommen neben Smartphones und Tablets vor allem auch Datenbrillen zum Einsatz. Head-Mounted-Display (HMD) ist dabei der Überbegriff für AR- bzw. VR-Brillen. Diese sind sehr vielversprechend, da sie der Vision der erweiterten bzw. virtuellen Realität am nächsten kommen (vgl. Adelsmann, 2020, S. 18).

Für AR-Anwendungen können auch Smartglasses zum Einsatz kommen. Diese bezeichnet Adelsmann (2020) als eingeschränkte HMDs. Sie entsprechen nicht der

vollen Vision von AR im Sinne von Einbettung virtueller Elemente in die reale Umgebung. Allerdings können sie über ein im Sichtfeld platziertes kleines Display Informationen einblenden (vgl. Adelman, 2020, S. 20).

2.2.5.9 Projektoren

Mittels Projektoren werden Informationen üblicherweise auf Leinwände projiziert. Allerdings können Mitarbeiter_innen Informationen auch am Arbeitsplatz zur Verfügung gestellt werden, indem ein Projektor direkt auf die Arbeitsfläche ausgerichtet wird (vgl. Marks, 2019, S. 148).

2.2.6 Unterscheidung nach der örtlichen und zeitlichen Bindung

In Anlehnung an Myrach und Montandon (2007) kann nach der zeitlichen und örtlichen Bindung der Teilnehmer_innen differenziert werden. Die erste grundlegende Unterscheidung wird nach der örtlichen Bindung getroffen. Wissensvermittlung kann so gestaltet sein, dass physische Präsenz der Teilnehmenden erforderlich und somit die Bindung an einen bestimmten Ort gegeben ist. Ist physische Präsenz nicht notwendig, spricht man von einer ortsunabhängigen Wissensvermittlung. Michalakoudis et al. unterscheiden hier auch zwischen On-the-Job (OTJ)-Training und Off-the-Job (OfTJ)-Training (vgl. Michalakoudis et al., 2018, S. 688). Findet die Wissensvermittlung direkt am Arbeitsplatz statt, wird häufig auch von Work-based Learning gesprochen. Work-based Learning verbindet per Definition Theorie und Praxis sowie Wissen und Erfahrung (vgl. Raelin, 2008, S. 2). Industrie 4.0 und damit einhergehende Technologien wie Künstliche Intelligenz (KI) oder kollaborative Robotik eröffnen gerade in diesem Bereich neue Wege des Lernens (vgl. Nixdorf et al., 2021, S. 2).

Die zweite Unterscheidung nehmen Myrach und Montandon nach der zeitlichen Bindung vor. Die Wissensvermittlung kann synchron oder asynchron erfolgen. Erfolgt sie für alle Teilnehmenden zur selben Zeit, liegt eine synchrone Vermittlung vor. Sind die Teilnehmer_innen nicht an einen konkreten Zeitpunkt gebunden und können diesen frei wählen, liegt eine asynchrone Wissensvermittlung vor.

Bei Auftragung der beiden Dimensionen entsprechend Abbildung 9 ergeben sich vier Quadranten. Der Quadrant oben links repräsentiert das klassische Präsenzformat. Dabei treffen Lernende und Lehrende zur gleichen Zeit am gleichen Ort zusammen. Es wird eine Interaktion von Angesicht zu Angesicht möglich (vgl. Myrach & Montandon, 2007, S. 193). Der Quadrant unten links hingegen vereint zeitliche und örtliche Unabhängigkeit. Man spricht vom Distanzformat oder von Distance Learning. Die Teilnehmenden können selbst entscheiden, wann sie den Lehrinhalt konsumieren und wo sie dies tun. Denn Trainingspersonal und Teilnehmende befinden sich nicht am selben Ort (vgl. Myrach & Montandon, 2007, S. 193). Es erfolgt wenig bis gar keine Interaktion zwischen Lernenden und Lehrenden (vgl. Nyhuis et al., 2015, S. 172).

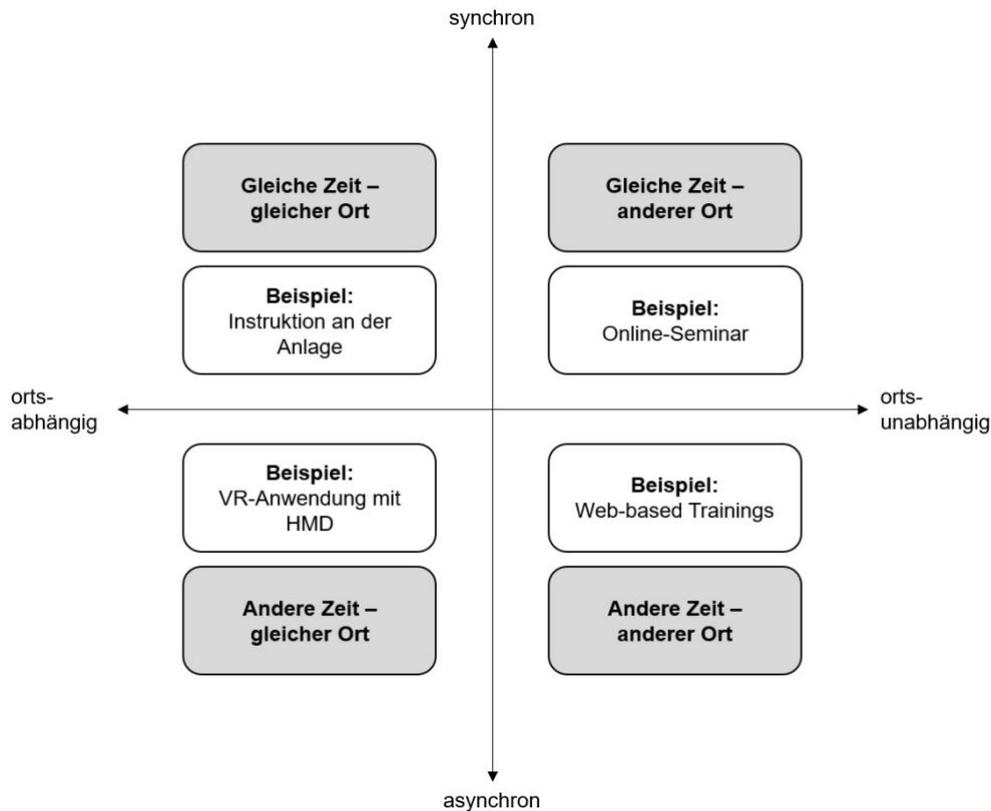


Abbildung 9 | Einteilung nach der zeitlichen und örtlichen Bindung

Quelle: in Anlehnung an Myrach & Montandon, 2007, S. 192

Lernprozesse können vollkommen autonom ohne Mitwirkung anderer Personen stattfinden (vgl. Myrach & Montandon, 2007, S. 192). Für solche Lernprozesse bietet sich die Fernlehre gut an. Teilnehmer_innen können sich auf diese Weise Wissen selbstbestimmt aneignen, ohne an eine bestimmte Zeit oder einen bestimmten Ort gebunden zu sein. Diese Möglichkeit des zeit- und ortsunabhängigen Lernens kann als großer Vorteil genannt werden (vgl. Nyhuis et al., 2015, S. 173). Denn dies führt zu einer höheren Flexibilität im Lernprozess (vgl. Myrach & Montandon, 2007, S. 193).

Häufig ist man aber auf die Unterstützung von Trainingspersonal angewiesen. Dieses fungiert als Vermittler von Wissen und soll bei der Wissensakquisition unterstützen (vgl. Myrach & Montandon, 2007, S. 192). Auch wird vielfach unterstellt, dass eine weitestgehende Wissenserarbeitung und Anwendung dessen am besten in Face-to-Face-Situationen erfolgt (vgl. Myrach & Montandon, 2007, S. 200).

Blended Learning versucht daher, die Vorteile von Präsenz- und Fernlehre zu vereinen, sowie die Nachteile zu kompensieren. Die wichtigsten Vor- und Nachteile sind in Abbildung 10 kompakt zusammengefasst. Möglich wird dies durch die Kombination von direkten und indirekten Lernformen. Bei Blended Learning kommt als indirekte Lernform häufig E-Learning zum Einsatz. Myrach und Montandon führen verschiedene Möglichkeiten an, Präsenzlehre und E-Learning zu kombinieren. Beim parallelen Blended Learning finden Präsenz- und Fernlehre über einen bestimmten

Zeitraum hinweg simultan Anwendung. Beim sequenziellen Blended Learning kann der Präsenzteil chronologisch vor oder nach dem E-Learning-Teil stattfinden. Auch verschiedene andere Optionen sind möglich (vgl. Myrach & Montandon, 2007, S. 197–202).

	Präsenzformat	Distanzformat
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> Lerngegenstand kann in einen praktischen Handlungskontext eingebettet werden Interaktion mit Trainer_in und anderen Schulungsteilnehmer_innen 	<ul style="list-style-type: none"> Orts- und zeitunabhängiges Lernen möglich Mehr Freiheiten in der Gestaltung eines individuellen Lernprozesses
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> Örtliche und zeitliche Bindung Gestaltung eines individuellen Lernprozesses nur bedingt möglich 	<ul style="list-style-type: none"> Fehlende Möglichkeiten, bei Unklarheiten direkt Rückfragen stellen zu können Transfer des Wissens in die Praxis erschwert

Abbildung 10 | Vor- und Nachteile von Präsenz- und Distanzformat

Quelle: in Anlehnung an Nyhuis et al., 2015, S. 173 bzw. de Witt & Czerwionka, 2007

2.2.7 Überblick der Unterscheidungsmöglichkeiten

Abbildung 11 fasst die oberhalb beschriebenen Unterscheidungsmöglichkeiten übersichtlich zusammen. Für Schulungsmaßnahmen finden sowohl verschiedene Kombinationen innerhalb einer Zeile als auch zeilenübergreifende Kombinationen Anwendung.

Vermittlungsmedium	Mündlich	Kopfhörer, Lautsprecher	Papier	Tafel, Poster, Board	Phys. Anschauungsobjekte	Bildschirm, Monitor	Smartphone, Tablet	Datenbrille	Projektor
Darstellungsform	Textbasierte Darstellung	Auditive Darstellung	Grafische Darstellung (2D)		Video	Animation, Simulation	Immersive Umgebung	Reale Umgebung	
Vermittlungsmodus	Schulung			Selbststudium			Lernassistenzsystem		
Vermittlungsort	Arbeitsplatz		Seminarraum		Präsentationsraum (für AR- und VR-Anwendungen)			Beliebiger Ort	

Abbildung 11 | Übersicht über die Unterscheidungsmöglichkeiten

Quelle: in Anlehnung an Marks, 2019, S. 102

2.3 Personal im Produktionsumfeld

Mit steigender Anlagenkomplexität nehmen auch die Anforderungen an den Betreiber und dessen Mitarbeiter_innen immer mehr zu. Gerade hochautomatisierte Produktionsanlagen erfordern Personal, das nicht nur mit den Prozessabläufen, sondern auch mit der Anlagensteuerung vertraut ist.

Nach Hagedorn et al. (2016) kann Produktionspersonal entsprechend seiner Kenntnisse und Aufgaben in die Gruppen Anlagenbediener_innen, Anlagenführer_innen, Servicetechniker_innen und Materiallogistiker_innen eingeteilt werden. Die unterschiedlichen Aufgaben erfordern auch unterschiedliche Zugriffsrechte auf die Maschinensteuerung (siehe Abbildung 12). Während Anlagenbediener_innen nur für den Produktionsablauf verantwortlich sind und neben dem Bestücken und Rüsten der Anlage keine großen Einstellmöglichkeiten in der Anlagensteuerung haben, können Anlagenführer_innen den Prozess und seine Regelung detailliert verändern und neue Produktionsprozesse einfahren. Materiallogistiker_innen hingegen besitzen im Allgemeinen wenig Zugriffsrechte auf die Anlagensteuerung, und zwar nur jene, welche für die Materialbereitstellung erforderlich sind. Grundlegende Änderungen an der Anlage, die den vollen Zugriff auf die Anlagensteuerungen bedürfen, sind oft nur den Servicetechniker_innen des Anlagenherstellers vorbehalten (vgl. Hagedorn et al., 2016, S. 302). Instandhaltungsfacharbeiter_innen, welche für die Wartung und Behebung größerer Störungen verantwortlich sind und wie Anlagenbediener_innen, Anlagenführer_innen und Materiallogistiker_innen dem Betreiber zugeordnet werden, bedürfen jedoch meist ebenso weitreichende Zugriffsrechte auf die Steuerung wie die dem Anlagenlieferanten zugeordneten Servicetechniker_innen.

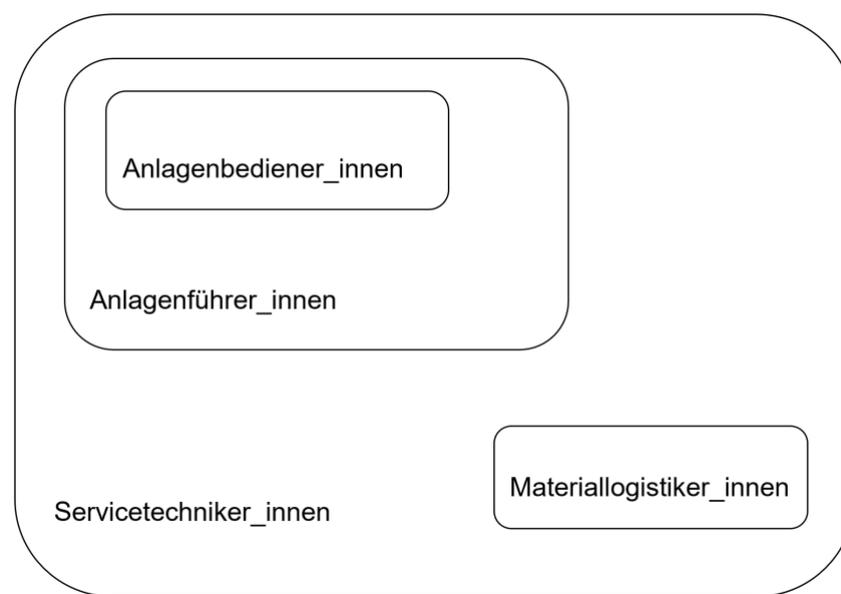


Abbildung 12 | Unterschiedliche Zugriffsrechte je nach Aufgabenbereich

Quelle: Hagedorn et al., 2016, S. 303

Endres und Wehner (1993) zufolge hatten Anlagenbediener_innen früher vor allem Beschickungs- und Einlegeaufgaben auszuführen. Die komplexe Anlagentechnologie stellt allerdings immer höhere Qualifikationsanforderungen an die teils ungelerten Anlagenbediener_innen, die oft nur für einen bestimmten Prozessschritt angeleitet werden (vgl. Endres & Wehner, 1993, S. 637). Sie sind mit Tätigkeiten, die über die Bedienung von Maschinen und Anlagen hinausgehen, zunehmend überfordert (vgl. Gruber & Weber, 2007, S. 19).

Personen aus mehrjährigen Metallausbildungsberufen wiederum verfügen über Kenntnisse und Fertigkeiten, welche die für die Anlagenbedienung notwendigen Anforderungen übersteigen. Mitarbeiter_innen mit längerer Ausbildung sind daher in diesen Einsatzfeldern nicht selten unzufrieden (vgl. Gruber & Weber, 2007, S. 19). Vielfach arbeiten sie stattdessen als Instandhaltungsfacharbeiter_innen, wo eine fundierte Ausbildung aufgrund der anspruchsvollen Tätigkeiten essenziell ist.

Gruber und Weber weisen auf das sich ergebende Tätigkeitssegment zwischen Angelerntenniveau und mehrjähriger Facharbeiter_innenausbildung hin. Die Mehrheit der Unternehmen erwartet in diesem Feld Beschäftigungszuwächse und sieht darin die Antwort auf neue Qualifikationsprofile im einfacheren Bereich von Facharbeit. Während in diesem Bereich der Bedarf wächst, werden einfache manuelle Hilfstätigkeiten in Zukunft weniger gefragt sein (vgl. Gruber & Weber, 2007, S. 19).

In Deutschland gibt es seit 2004 eine zweijährige Lehre zur Ausbildung von Maschinen- und Anlagenführer_innen, die über das Niveau einer Anlerntätigkeit hinausgeht, jedoch weniger anspruchsvoll ist wie eine drei- bzw. dreieinhalbjährige Berufsausbildung (vgl. Gruber & Weber, 2007, S. 19). Sie soll künftige Anlagenführer_innen auf ihre Tätigkeiten vorbereiten, die laut Muster (1990) in der Überwachung des Maschinenparks, der präventiven Instandhaltung, der Störungsbehebung sowie der Steuerung des Materialflusses liegen (vgl. Muster, 1990, zitiert nach Kandaouroff, 1998, S. 37).

Demzufolge liegt es auch im Tätigkeitsbereich von Anlagenführer_innen, jene Nicht-Routineprozesse durchzuführen, wie sie in Kapitel 2.1 definiert und in Kapitel 5.1 anhand dreier exemplarischer Beispiele beschrieben werden. Folglich werden Anlagenführer_innen als Zielgruppe angesehen, für die in Kapitel 3.1 geeignete Formen der Wissensvermittlung identifiziert werden sollen.

2.4 Elektromotoren in der Automobilindustrie

Sämtliche im Zuge dieser Arbeit betrachteten Nicht-Routineprozesse betreffen Produktionsanlagen zur Herstellung von Elektroantrieben. Daher soll in diesem Abschnitt ein kompakter Überblick über Elektromotoren in der Automobilindustrie gegeben werden.

In der Automobilbranche haben sich drei Arten von Elektromotoren etabliert, die für Antriebszwecke Anwendung finden. Neben permanenterregten Synchronmotoren (PSM) und fremderregten Synchronmaschinen (FSM) setzen OEMs aufgrund ihres einfachen technischen Aufbaus auch auf Asynchronmotoren (ASM) (vgl. Füßel, 2017, S. 64). Während manche Hersteller in ihren Fahrzeugen nur einen Typ verbauen, werden bei anderen Herstellern verschiedene Typen in einem Fahrzeug kombiniert. Beispielsweise findet die Kombination von permanenterregter Synchronmaschine auf der Vorderachse und Asynchronmaschine auf der Hinterachse Anwendung.

Diese Möglichkeit der Kombination wird laut Kampker (2014) durch die hohe Zahl an Freiheitsgraden zur Gestaltung des elektrifizierten Antriebsstranges ermöglicht. Der Elektromotor kann zentral im Fahrzeug positioniert werden, so wie es auch bei den Verbrennungsmotoren üblich ist. Alternativ ist eine Positionierung nahe am Rad möglich, bei der je nach Ausführung ein Motor je Achse oder sogar ein Motor je Rad zum Einsatz kommt. Auch eine Ausführung als Radnabenantrieb ist möglich (vgl. Kampker, 2014, S. 121–122).

Je nach Ausführung wird eine andere Ausgestaltung des Getriebes benötigt oder kann dieses gänzlich entfallen. Kampker zufolge wird durch die konstante Leistungsbereitstellung von Elektromotoren über einen großen Drehzahlbereich sowie die Lieferung eines ausreichenden Drehmoments für das Anfahren weder ein Schaltgetriebe noch eine Anfahrkupplung benötigt. Um die hohe Drehzahl des Elektromotors an die Bedürfnisse des Straßenverkehrs anzupassen, kommt meist eine Festübersetzung zum Einsatz (vgl. Kampker, 2014, S. 212). Es ist durchaus üblich, die Hauptkomponenten eines elektrischen Antriebsstranges Elektromotor, Leistungselektronik und Getriebe in einer Einheit zusammenzufassen (siehe Abbildung 13).

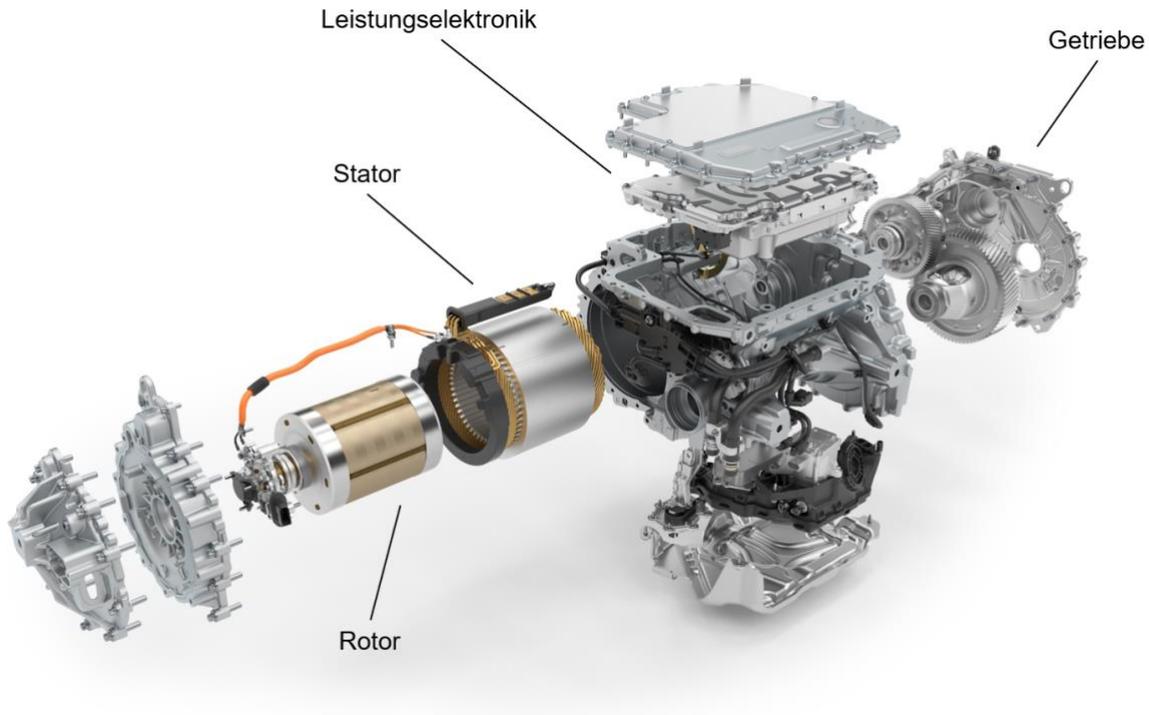


Abbildung 13 | Highly Integrated Electric Drive Train (HEAT)

Quelle: BMW Group, 2020

Im nachfolgenden Kapitel 2.4.1 wird kurz auf den Aufbau von elektrischen Traktionsantrieben eingegangen. Kapitel 2.4.2 beschreibt anschließend die Fertigung von Hairpin-Statoren. Nachdem diese Arbeit im Umfeld der Statorfertigung geschrieben wurde und auch die zu entwickelnde Methodik der Auswahl von Wissensvermittlungsformen für Nicht-Routineprozesse der Statorlinie dienen soll, wird in dieser Arbeit auf eine Beschreibung der Rotorfertigung verzichtet und hierfür auf weiterführende Literatur verwiesen.

2.4.1 Aufbau

Alle oberhalb genannten Motortypen haben gemeinsam, dass der magnetische Kreis jeweils aus einem stationären Ständerteil (Stator), einem rotierenden Läuferteil (Rotor) sowie dem dazwischenliegenden Luftspalt gebildet wird. Während der Aufbau des Rotors je nach Motortyp variiert, besteht der Stator stets aus einem Blechpaket, welches in seinen Nuten die Erregerwicklung aus elektrisch isolierten Kupferspulen trägt (vgl. Hagedorn et al., 2016, S. 72).

Das Blechpaket setzt sich aus einer Vielzahl voneinander isolierten Blechen zusammen. Grund hierfür ist die Reduzierung von Wirbelstromverlusten (vgl. Kampker et al., 2013, S. 273). Bei der Erregerwicklung kann in verteilte und konzentrierte Wicklungen unterschieden werden (vgl. Kampker et al., 2013, S. 276). Aufgrund höherer Laufruhe kommen bei vollelektrischen Fahrzeugen fast ausschließlich verteilte Statorwicklungen zum Einsatz (vgl. Fleischer et al., 2020).

Die Erregerwicklung kann durch klassische Wickelverfahren wie das Nadelwickeln, das Flyerwickeln oder die Einziehtechnik hergestellt werden. Alternativ zur Drahtwickeltechnik hat sich allerdings die Hairpin-Technologie etabliert, wobei hier stattdessen massive Kupferdrähte in die Statornuten des Blechpakets eingebracht werden (vgl. Kampker et al., 2020, S. 2).

Gerade in der Automobilindustrie geht Kampker et al. (2020) zufolge der Trend in Richtung Hairpin-Technologie. Viele OEMs setzen bereits auf diese Technologie, die sich sowohl für Synchron- als auch Asynchronmaschinen mit verteilter Wicklung eignet. Vorteile gegenüber klassischen Wickelverfahren sind unter anderem der höhere elektrische Nutzfüllfaktor oder der größere Leiterquerschnitt, der höhere Stromstärken und somit höhere Drehmomente ermöglicht (vgl. Kampker et al., 2020, S. 2).

2.4.2 Fertigung von Hairpin-Statoren

Die Fertigung von Hairpin-Statoren in hohen Stückzahlen erfordert hochautomatisierte Anlagen. Mit der heutzutage verfügbaren Technologie ist es möglich, nahezu alle Fertigungsschritte zu automatisieren. Die Fertigungsschritte werden der Reihe nach in verschiedenen Fertigungszellen ausgeführt. Die einzelnen Zellen sind über Transfersysteme oder Linearportale miteinander verbunden. Entsprechend dem Pull-Prinzip ist es üblich, dass vorgelagerte Stationen erst dann nachproduzieren, wenn nachgelagerte Stationen einen Bedarf an Bauteilen melden. So ist es möglich, unnötige Bestände zu reduzieren und damit Verschwendung zu vermeiden (vgl. Becker, 2018, S. 46).

Nachfolgend werden alle Prozessschritte, welche es für die Fertigung eines Hairpin-Stators bedarf, in kompakter Form beschrieben. Die Beschreibung orientiert sich vorwiegend an den Publikationen von Kampker et al. (2020) und Fleischer et al. (2020). In Abbildung 14 sind die wichtigsten Schritte schematisch dargestellt.

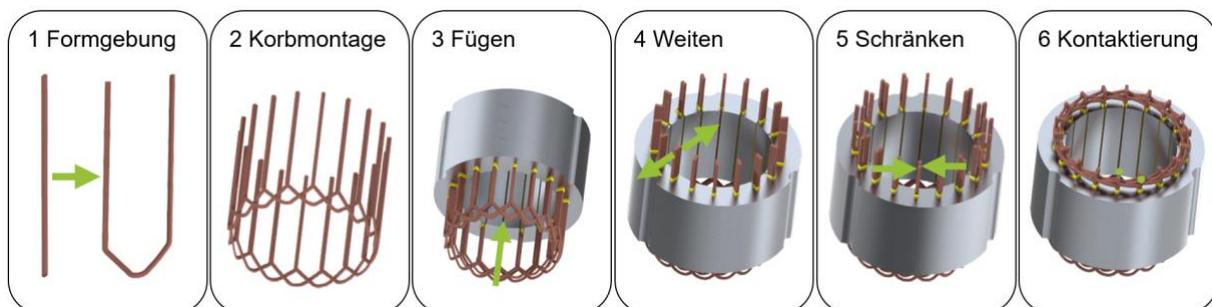


Abbildung 14 | Wesentliche Fertigungsschritte eines Hairpin-Stators

Quelle: Gläsel, 2020, S. 18

Die **Herstellung der Hairpins** stellt den ersten Prozessschritt dar. Es wird hierfür in der Regel Flachkupferdraht verwendet. Dieser ist mit einer isolierenden Lackschicht überzogen und liegt in Form von Kupferdrahtrollen vor. Zunächst wird durch einen Richtvorgang die Restkrümmung entfernt. Die Kupferdrahtenden werden für die spätere Verschaltung abisoliert. Neben mechanischen Verfahren wie beispielsweise Schleifen findet hierfür häufig eine Laser-Anwendung (vgl. Kampker et al., 2020, S. 4). Mithilfe einer Scherschneidvorrichtung wird der Kupferdraht schließlich entsprechend der geforderten Hairpin-Geometrie abgelängt. Anschließend erfolgt über einen 3D-Biegeprozess die Formgebung auf die in Abbildung 14-1 symbolhaft dargestellte gewünschte Endkontur. Die dreidimensionale Biegekontur ist in Abbildung 15 gut erkennbar.

Die **Nutisolation** stellt den ersten Bearbeitungsschritt am Blechpaket dar. Trotz der isolierenden Lackbeschichtung der Hairpins erfolgt eine zusätzliche elektrische Isolation zum Blechpaket des Stators. Realisiert wird dies vielfach durch Isolationspapiere, welche in die Statornuten eingebracht werden. Das Isolationspapier liegt als Papierrolle vor und wird mittels eines Rill- und Falzvorganges in Form gebracht, bevor es in die Nuten eingeschoben und auf Maß abgetrennt wird. Neben der Isolationswirkung dient das Papier auch dazu, die Hairpins beim Fügevorgang vor den scharfen Kanten des Blechpakets zu schützen und eine Beschädigung der isolierenden Lackbeschichtung zu vermeiden (vgl. Fleischer et al., 2020, S. 11).

Vor dem **Fügen** werden die Hairpins zu einem oder mehreren Hairpin-Körben vormontiert (siehe Abbildung 14-2). Nachdem je nach Ausführung des Stators bis zu 16 verschiedene Hairpin-Geometrien benötigt werden, muss dabei die richtige Sortierung der Hairpins beachtet werden (vgl. Kampker et al., 2020, S. 10). Beim eigentlichen Fügeprozess (siehe Abbildung 14-3) werden die vormontierten Hairpin-Körbe axial in die mit Nutisolationpapier bestückten Blechpakete gefügt.

Beim anschließenden **Weit- und Schränkprozess** entsteht die charakteristische S-förmige Schränkgeometrie. Zunächst wird beim Weiten durch ein radiales Freistellen der Kupferenden die axiale Zugänglichkeit des Schränkwerkzeuges gewährleistet (vgl. Abbildung 14-4). Beim Schränken (siehe Abbildung 14-5) werden die Kupferenden schließlich so gegeneinander verdreht, sodass die zu kontaktierenden Hairpins parallel zueinander ausgerichtet sind (vgl. Kampker et al., 2020, S. 12–13).

Die **Kontaktierung der Hairpins** (vgl. Abbildung 14-6) erfolgt häufig über Laser- oder Elektronenstrahlschweißen, nachdem die Kupferenden im Zuge eines Schneidvorgangs auf gleiche Höhe gebracht wurden. Die zu kontaktierenden Pins werden hierfür mithilfe einer Schweißschablone in Position gehalten. Durch den Schweißprozess werden die Kupferenden aufgeschmolzen und stoffschlüssig miteinander verbunden (vgl. Fleischer et al., 2020, S. 14).

Es folgt die **Kontaktierung der Verschaltelemente**. Diese Verschaltelemente, die auch als Statoranschlussbaugruppe (SABG) bezeichnet werden, bestehen neben einem Kontaktring auch aus Anschlussklemmen für die spätere Endmontage des Elektromotors. Die Statoranschlussbaugruppe wird auf dem Stator für den nachfolgenden Schweißprozess in Position gehalten. Dies erfolgt häufig wieder mit Zuhilfenahme einer Schweißschablone. Für die Schweißung kann, wie auch bereits bei der Kontaktierung der Hairpins, ein Laser eingesetzt werden. Es entsteht eine stoffschlüssige Verbindung (vgl. Kampker et al., 2020, S. 16).

Nachdem die Funktion des Stators damit bereits gegeben ist, erfolgt an dieser Stelle des Fertigungsprozesses häufig eine **elektrische Prüfung** zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit. Gemessen werden unter anderem der ohmsche Widerstand der Erregerspule und der Isolationswiderstand zwischen Spule und Blechpaket. Auch Stoßspannungsprüfungen können durchgeführt werden, um Kurzschlüsse und Isolationsfehler zu detektieren (vgl. Fleischer et al., 2020, S. 15).

Die **Isolation der Kupferenden** dient dazu, Kurzschlüsse und elektrischen Durchschlag bei den noch blanken Schweißstellen zu vermeiden. Möglichkeiten hierfür sind das Wirbelsinterverfahren oder der Vollverguss, bei dem die blanken Kupferenden vollständig in Harz eingegossen werden (vgl. Kampker et al., 2020, S. 17). Für den Vollverguss kommt üblicherweise eine Vergusskappe zum Einsatz. Nachdem diese mit Harz gefüllt wurde, wird der Stator mit den blanken Kupferenden so platziert, dass diese vollständig von Harz umschlossen sind.

Das **Imprägnieren** stellt den letzten Prozessschritt der Statorfertigung dar. Neben der Tauchimprägnierung, bei der Blechpaket und Wickelkopf in Harz getaucht werden, nennen Kampker et al. die Möglichkeit der Träufelprägnierung. Hier wird der Wickelkopf über Düsen mit Harz beträufelt. Ständiges Rotieren des Stators während der Harzapplikation führt zu einer gleichmäßigen Harzverteilung. Über Kapillareffekte gelangt das Harz auch in die Statornuten. Vor dem Imprägniervorgang werden Harz und Stator erwärmt. Durch ein anschließendes Abfahren eines Temperaturprofils erfolgt die Gelierung und Aushärtung des Harzes (vgl. Kampker et al., 2020, S. 18).

Abbildung 15 zeigt einen fertigen Hairpin-Stator. Dieser wird im nachfolgenden Montageprozess üblicherweise durch Einschrumpfen ins Gehäuse montiert (vgl. Abbildung 13).

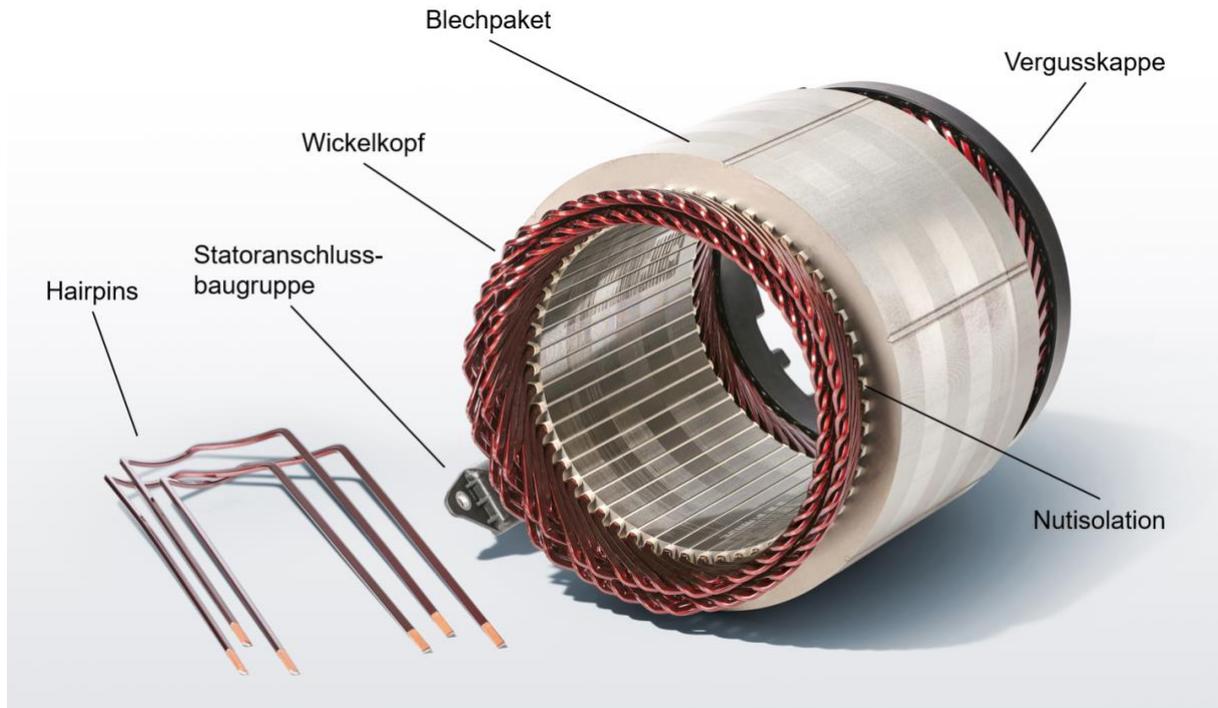


Abbildung 15 | Hairpin-Stator und Hairpins

Quelle: BMW Group, 2020

2.5 Technische Planung

Nachdem die in dieser Arbeit entwickelte Methodik Mitarbeiter_innen der technischen Planung dabei unterstützen soll, geeignete Wissensvermittlungsformen für Nicht-Routineprozesse auszuwählen, wird in diesem Abschnitt kurz auf den Aufgabenbereich der technischen Planung, den Planungsprozess sowie den Projektablauf eines typischen Anlagenprojektes im Automobilbereich eingegangen.

Zunächst soll der Aufgabenbereich der technischen Planung in der Prozesslandschaft des Gesamtunternehmens veranschaulicht werden. Unternehmen sind danach bestrebt, sich stark an deren Kunden zu orientieren. „Kundenorientierung ist die Berücksichtigung der Kundenperspektive und Erfüllung der Kundenerwartungen in allen unternehmerischen Aktivitäten, also die durchgängige Verinnerlichung der Kundenperspektive in sämtlichen Leistungs- und Wertschöpfungsprozessen“ (Meyer et al., 2017, S. 57). Dementsprechend beschreibt auch die BMW Group ihre Tätigkeit anhand von vier Kundenprozessen (siehe Abbildung 16).



Abbildung 16 | Die vier Kundenprozesse der BMW Group

Quelle: eigene Darstellung

Der ItO-Prozess charakterisiert alle Tätigkeiten, die für die Realisierung eines attraktiven Marktangebots erforderlich sind. Dazu zählt neben sämtlichen Entwicklungstätigkeiten auch der Tätigkeitsbereich der technischen Planung, wie nachfolgend noch näher ausgeführt wird. Der OtO-Prozess sorgt dafür, dass Interessenten gewonnen und diese zu Kunden gemacht werden. Dazu zählen unter anderem der Vertrieb und das Marketing. Der OtD-Prozess stellt sicher, dass Produkte für den Kunden bereitgestellt werden. Zu diesem Prozess zugehörig sind unter anderem die Betreiber der Produktionsanlagen, welche für die Produktherstellung sorgen, das Qualitätsmanagement und die Logistik. Der DtCC-Prozess soll schließlich sicherstellen, dass Kunden betreut und loyalisiert werden.

Die vier Kundenprozesse werden durch die beiden Enabling-Prozesse Business Management und Resource Management unterstützt. Unter Business Management werden Tätigkeiten wie beispielsweise die strategische Planung und Steuerung, das Management interner und externer Beziehungen oder das Management von rechtlichen Belangen und Compliance zusammengefasst. Resource Management beinhaltet unter anderem die Entwicklung und das Management von Humankapital, Controlling, Buchhaltung sowie Einkauf und Lieferantenmanagement.

Jeder der vier Kundenprozesse kann entsprechend Abbildung 17 in seine einzelnen Teilprozesse untergliedert werden. So ergibt sich schließlich das Tätigkeitsfeld der technischen Planung, welches im folgenden Kapitel 2.5.1 im Detail beschrieben wird.

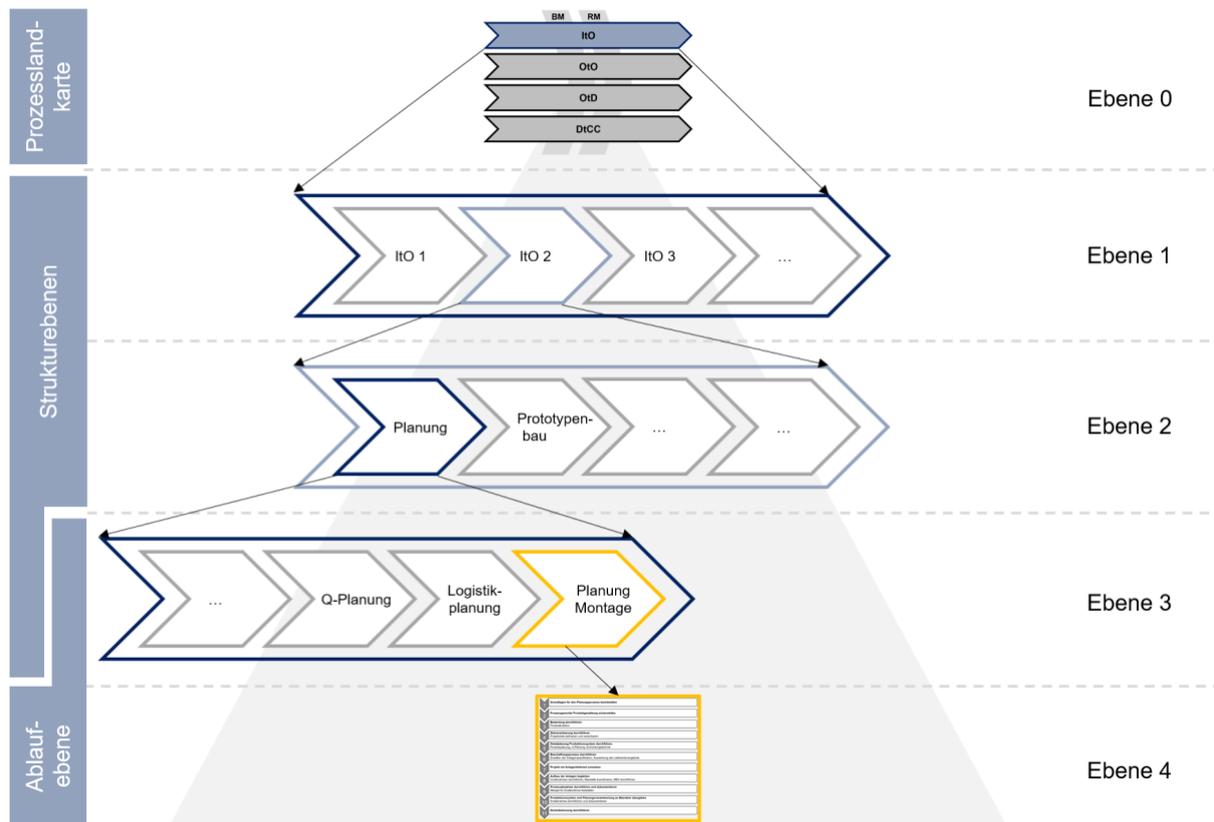


Abbildung 17 | Ebenenmodell der BMW Group

Quelle: eigene Darstellung

2.5.1 Planungsprozess

Die kosteneffiziente Produktion elektrischer Traktionsantriebe in Hochlohnländern erfordert hochautomatisierte Produktionssysteme. Die Anforderungen an solche Systeme sind vielfältig. Die steigende Nachfrage nach Battery Electric Vehicles (BEVs) und Hybrid Electric Vehicles (HEVs) erfordert möglichst geringe Taktzeiten und eine hohe Anlagenverfügbarkeit. Anders als bei Produktionssystemen für Verbrennungsmotoren, die über Jahrzehnte stetig optimiert wurden, kann hier auf vergleichsweise wenig Erfahrung zurückgegriffen werden. Die Planungsabteilungen, welche sich für die Planung der erforderlichen Produktionsprozesse verantwortlich zeichnen, sind daher stark gefordert.

Der Planungsprozess gliedert sich im Wesentlichen in elf Prozessschritte (siehe Abbildung 18). Zu Beginn gilt es, die Grundlagen für den Planungsprozess bereitzustellen. Dazu zählt etwa die Bereitstellung der Lessons Learned aus Vorgängerprojekten. In Zusammenarbeit mit der Produktentwicklung soll im nächsten Schritt eine prozessgerechte Produktgestaltung sichergestellt werden. Dies erfolgt unter Berücksichtigung der verfügbaren Produktkonzepte und eines Referenzproduktionssystems. Es folgt eine Bewertung und die Durchführung der Zielvereinbarung, worin die Projektziele definiert werden.

Im fünften Schritt erfolgt die Detailplanung des Produktionssystems, welche die Prozessplanung, die Qualitätsplanung sowie die Planung der Einrichtungstechnik umfasst. Die Prozessplanung beinhaltet die Planung des Produktionsprozesses, die Anlagenplanung sowie die Durchführung einer Prozess-FMEA. Die Qualitätsplanung dient vor allem der Prozessabsicherung. Im Zuge der Planung der Einrichtungstechnik wird etwa auch das Layout erstellt.

Es folgt die Durchführung des Beschaffungsprozesses. Dazu zählt die Erstellung der Anlagenspezifikation, worin sämtliche Sollvorgaben des neuen Produktionssystems festgelegt sind. Ebenso gilt es, die Lieferantenangebote auszuwerten sowie technische Vergabeempfehlungen an den Einkauf auszusprechen.

Der siebte Prozessschritt beschreibt die Umsetzung des Projektes mit dem Anlagenlieferanten. Die Anlagen werden dabei beim Lieferanten vollständig aufgebaut und in Betrieb genommen. Im Zuge von Baustandskontrollen wird der Projektfortschritt kontrolliert. Bei Terminverzug oder Abweichungen von den geforderten Spezifikationen werden gegebenenfalls Maßnahmen eingeleitet. Bei den Vorabnahmen wird schließlich die Anlage anhand standardisierter Checklisten geprüft. Fehlende oder fehlerhafte Merkmale werden als Mängelpunkte aufgenommen und zu einem späteren Zeitpunkt erneut begutachtet. Mit der Lieferfreigabe sind die Anlagen bereit für den Versand.

Es folgt die Anlageneinbringung in das Werk. Die Planung betreut neben der Einbringung auch den Anlagenaufbau, koordiniert die Baustelle und überwacht die Einhaltung aller Arbeitssicherheitsvorgaben. Es wird die Wiederinbetriebnahme beaufsichtigt und die Überprüfung der Maschinen- und Prozessfähigkeit beauftragt. Notwendige Schulungsmaßnahmen werden festgelegt und die Durchführung veranlasst. Schließlich wird die betriebsbereite Übernahme (BBÜ) durchgeführt.

Der neunte Prozessschritt stellt die Durchführung der Prozessabnahme dar. Es werden Leistungstests beauftragt und Mängel für die Endabnahme festgestellt. Im Zuge des zehnten Prozessschritts erfolgt die finale Übergabe des Produktionssystems von der Planung an den Betreiber. Es wird eine Endabnahme durchgeführt und dokumentiert. Der elfte Schritt stellt die Serienbetreuung dar. Änderungen am Produkt bedürfen meist auch Änderungen am Produktionssystem. Diese fallen in den Verantwortungsbereich der Planung, ebenso wie Umbauten für den Kapazitätsaus- oder -abbau. Modifizierungen an der Produktionslinie, die etwa der Optimierung der Anlagenverfügbarkeit, gemessen an der Overall Equipment Effectiveness (OEE), oder der Reduzierung der Taktzeit dienen, sind üblicherweise vom Betreiber zu verantworten.



Abbildung 18 | Prozessschritte des Planungsprozesses

Quelle: eigene Darstellung

2.5.2 Projektablauf

Üblicherweise wickelt die technische Planung mehrere Projekte parallel ab. Während sich das eine Projekt in der Serienentwicklung befindet, sind neue Projekte bereits wieder in der Strategie- oder Initialphase. Abbildung 19 stellt die wichtigsten Meilensteine dar, die es im Ablauf des Planungsprojektes einer neuen Produktionslinie zu berücksichtigen gilt. Besonders hervorzuheben sind einerseits die betriebsbereite Übernahme (BBÜ), welche die formelle Übergabe der Anlage vom Anlagelieferanten an den OEM darstellt, und andererseits der Start of Production (SOP), welcher den Zeitpunkt darstellt, ab dem es die laut Hochlaufkurve geforderte Stückzahl an Kundenteilen zu produzieren gilt.

Für die Durchführung von Schulungsmaßnahmen eignet sich üblicherweise der Zeitraum zwischen dem Beginn des Anlagenaufbaus und der BBÜ am besten, da hier die Anlagen für Schulungszwecke noch leichter zugänglich sind. Spätestens zum SOP sollten allerdings sämtliche Schulungsmaßnahmen abgeschlossen sein, um einen reibungslosen Serienanlauf nicht zu gefährden.

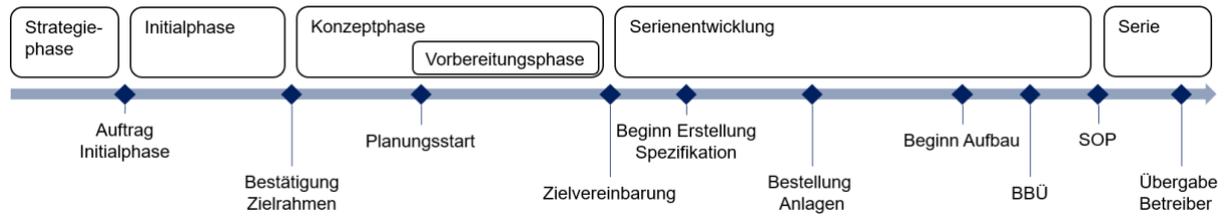


Abbildung 19 | Meilensteine im Projektablauf

Quelle: eigene Darstellung

3 Stand-der-Technik

3.1 Existierende Ansätze zur Wissensvermittlung an Anlagenführer_innen

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über jene Schulungskonzepte und -methoden, welche erfolgreich für die Wissensvermittlung an Anlagenführer_innen eingesetzt werden, oder bereits in anderen Bereichen Anwendung gefunden haben und für den Einsatz für Anlagenführer_innen vielversprechend sind. Es soll damit die erste Forschungsfrage dieser Arbeit beantwortet werden:

„Welche Vermittlungsformen sind geeignet, um Wissen an Anlagenführer_innen zu vermitteln?“

3.1.1 Systematische Literaturrecherche

Ziel einer Literaturrecherche ist es, einen umfassenden Überblick zu einem bestimmten Thema zu geben, den derzeitigen Wissensstand darzulegen und Forschungslücken zu identifizieren (vgl. Cronin et al., 2008, S. 38). Die erarbeitete Literatur soll dabei „keine Zusammenstellung von Zufallsfunden sein, sondern das Ergebnis einer zielgerichteten Suche“ (Döring & Bortz, 2016, S. 158). Die Ergebnisse sollen für andere Personen sowohl nachvollziehbar als auch reproduzierbar sein (vgl. Fink, 2014, S. 14).

Es wird deshalb ein Systematic Literature Review (SLR) ähnlich des von Barbosa-Póvoa et al. verwendeten Ansatzes durchgeführt, um relevante Publikationen zur Thematik zu finden (vgl. Barbosa-Póvoa et al., 2018, S. 399). Zusätzlich wird eine Forward-Backward-Research (FBR) nach Webster und Watson (2002) durchgeführt. Dabei werden im Zuge der Backward-Research zunächst die Literaturverzeichnisse jener Publikationen, die anhand des SLR als relevant eingestuft wurden, nach weiteren relevanten Quellen analysiert. Danach wird im Zuge der Forward-Research untersucht, welche Publikationen wiederum auf die im SLR als relevant eingestuften Paper verweisen (vgl. Webster & Watson, 2002). Diese Kombination von SLR und FBR wurde bereits von Mark et al. durchgeführt, um jene Paper, die nur aufgrund geringfügiger Abweichungen in der Begriffswahl durch den SLR nicht identifiziert werden konnten, trotzdem zu berücksichtigen (vgl. Mark et al., 2021, S. 230). Das Ergebnis der Literaturrecherche stellt schließlich den Stand-der-Technik dar und dient als Basis für die Entwicklung der Methodik. In Anlehnung an Mark et al. erfolgt die Literaturrecherche anhand mehrerer Schritte (siehe Abbildung 20).

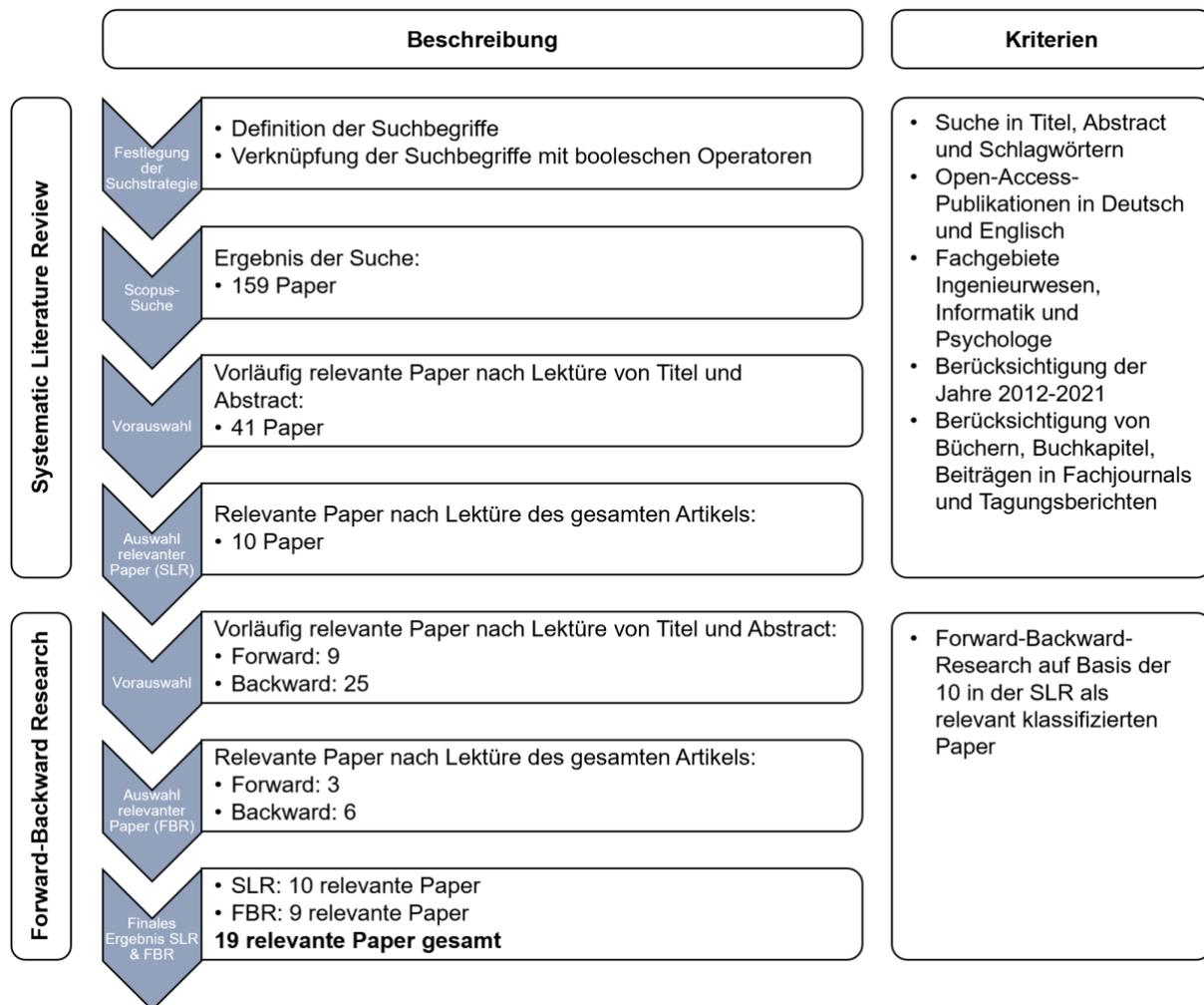


Abbildung 20 | Kombination von SLR und FBR

Quelle: in Anlehnung an Mark et al., 2021, S. 230

Zu Beginn erfolgt die Festlegung einer Suchstrategie. Mit dem Ziel, möglichst nur Publikationen zu finden, welche für die Beantwortung der ersten Forschungsfrage dienlich sind, werden folgende Suchbegriffe definiert:

- Knowledge Transfer
- Employee Training
- Worker Instruction
- Training Concept
- Learning Assistance

Um die Resultate auf die Branche der Produktion einzuschränken, werden zusätzlich die folgenden Suchbegriffe festgelegt:

- Production
- Assembly
- Manufacturing

Die Suchbegriffe werden in weiterer Folge mit booleschen Operatoren zu einer logischen Suchanfrage kombiniert. Es wird folgende Kombination von Suchbegriffen und booleschen Operatoren gewählt:

Knowledge Transfer **ODER** Employee Training **ODER** Worker Instruction **ODER**
Training Concept **ODER** Learning Assistance

UND

Production **ODER** Assembly **ODER** Manufacturing

Für die Suche kommt die Datenbank Scopus¹ zur Anwendung, eine anerkannte und weit verbreitete Datenbank für wissenschaftliche Publikationen. Berücksichtigt werden deutsch- und englischsprachige Bücher und Buchkapitel, Beiträge in Fachjournals sowie Tagungsberichte aus den Jahren 2012 bis 2021. Stichtag der Suche ist der 3. September 2021. Gesucht wird in Artikelbezeichnung, Abstract und Schlagwörtern. Die Suche wird auf die Fachgebiete Ingenieurwesen, Informatik und Psychologie eingegrenzt.

Das Ergebnis der Literaturrecherche erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Vielmehr ist es das Ziel, einen Überblick über jene Schulungskonzepte und -methoden zu geben, welche sich für die Wissensvermittlung an Anlagenführer_innen eignen.

Die Suche führt auf 159 Dokumente. In einem nächsten Schritt werden diese auf Basis der Artikelüberschrift und des Abstracts in relevant und nicht-relevant kategorisiert. Daraus ergeben sich 41 Dokumente, die zunächst als relevant eingestuft werden, und 118 Dokumente, die auf Basis der Artikelüberschrift und des Abstracts als nicht-relevant klassifiziert werden. Ein Grund, warum alleine durch die Durchsicht von Artikelüberschrift und Abstract bereits eine große Anzahl an Publikationen als für diese Arbeit nicht-relevant eingestuft werden kann, liegt darin, dass der Suchterminus „Knowledge Transfer“ häufig in Zusammenhang mit anderen Themen wie Datenverarbeitung und Machine Learning auftaucht. Außerdem beschäftigen sich einige der 159 Publikationen mit dem Wissenstransfer zwischen Universitäten und der Industrie (vgl. z.B. Mourtzis et al., 2018) oder auch der Wissensvermittlung an Studierende. Anders als beim Wissenstransfer an Anlagenführer_innen, wo vorwiegend ein starker Praxisbezug vorherrschend ist, wird hier der Fokus auf die Vermittlung rein theoretischer Inhalte gelegt. Diese Publikationen werden daher in weiterer Folge als nicht-relevant betrachtet.

In einem weiteren Schritt werden die 41 als zunächst relevant eingestuften Publikationen vollständig gelesen. Es wird erneut in relevant und nicht-relevant eingeteilt, diesmal jedoch auf Basis des gesamten Artikels. Daraus resultieren

¹ <https://www.scopus.com/>

schließlich zehn Paper, die eine hohe Relevanz im Hinblick auf die vorliegende Arbeit aufweisen. Diese sind in Tabelle 1 übersichtlich dargestellt und dienen in weiterer Folge als Grundlage für die Forward-Backward-Research.

Tabelle 1 | Übersicht über relevante Publikationen (SLR)

Quelle: eigene Darstellung

Dokumententitel	Autoren	Quelle	Inhalt
vIS: An Immersive Virtual Storytelling System for Vocational Training	Doolani et al., 2020	Applied Sciences 10(22), 8143	VR-Schulung: Animation der Verwendung einer mechanischen Messschraube
Shortening Innovation Cycles by Employee Training Based on the Integration of Virtual Validation into Worker Information Systems	Fischer et al., 2015	Procedia CIRP 37, pp. 64-70	Verwendung eines Web-based WIS zu Schulungszwecken
Holistic Approach of Lean Thinking in Learning Factories	Goerke et al., 2015	Procedia CIRP 32, pp. 138-143	Planspiele im Rahmen von Seminaren und Workshops
Employee Qualification by Digital Learning Games	Goerke et al., 2017	Procedia Manufacturing 9, pp. 229-237	Kombination von Präsenzs Schulung und digitalem Lernspiel
Geometrical Product Specifications (GPS): A Review of Teaching Approaches	Gust & Sersch, 2020	Procedia CIRP 92, pp. 123-128	u. a. Seminare zur Vermittlung von geometrischen Produktspezifikationen
Learning process planning for special machinery assembly	Menn et al., 2018	Procedia Manufacturing 23, pp. 75-80	u. a. praktisches Training für Montagetätigkeiten von Kompressoren
An Adaptive Framework for Augmented Reality Instructions Considering Workforce Skill	Mourtzis et al., 2019	Procedia CIRP 81, pp. 363-368	AR-Instruktionen für die Bedienung einer CNC-Abkantpresse
e-Learning Application for Machine Maintenance Process using Iterative Method in XYZ Company	Nurunisa et al., 2016	IOP Conference on Materials Science and Engineering 114, 2016	Web-based Training zur Einschulung von Instandhaltungstätigkeiten an einer CNC-Maschine
A Method for Improving Production Management Training by Integrating an Industry 4.0 Innovation Center in China	Yang et al., 2018	Procedia Manufacturing 23, pp. 213-218	Web-based Training zur Vermittlung von Inhalten des Produktionsmanagements
Employee Training in an Intelligent Factory Using Virtual Reality	Zawadzki et al., 2020	IEEE Access 8, pp. 135110-135117	VR-Schulung für manuelle Montageschritte an einer Produktionslinie

Die Forward-Research führt zunächst auf neun, die Backward-Research auf 25 vorläufig relevante Paper. Nach Lektüre der gesamten Artikel resultieren schließlich drei relevante Publikationen aus der Forward- und sechs relevante Paper aus der Backward-Research (siehe Tabelle 2). Durch die Kombination von SLR und FBR können in Summe also 19 relevante Paper identifiziert werden.

Tabelle 2 | Übersicht über relevante Publikationen (FBR)

Quelle: eigene Darstellung

Dokumententitel	Autoren	Quelle	Inhalt
Nutzung von Virtual Reality zur Personalqualifizierung in der Produktions- und Logistikplanung	Abel et al., 2011	ZWF 106 (10), pp. 721-725	Virtuelle Lernumgebung zur Einschulung auf Bearbeitungszentren
Mitarbeiterqualifikation für moderne Produktionsorganisationen	Adami & Houben, 2008	Werkstatttechnik online 98 (5), pp. 428-433	Qualifikationsvermittlung an Produktionspersonal mittels Arbeitsanweisungen u. a.
Using Immersive Virtual Reality in Field Service Telecom Engineers Training	Bahceci et al., 2021	7 th International Conference of the Immersive Learning Research Network, pp. 1-3	Immersive VR-Schulung zum Anlernen von Telekom-Servicetechniker_innen
Designing a Vocational Immersive Storytelling Training and Support System to Evaluate Impact on Working and Episodic Memory	Doolani et al., 2021	The 14 th Pervasive Technologies Related to Assistive Environments Conference, pp. 268-269	AR-Smartphone-Applikation zur Schulung von Montagetätigkeiten und Maschinenbedienung
Establishing the Usability of a Virtual Training System for Assembly Operations within the Automotive Industry	Langley et al., 2016	Hum. Factors Man. 26 (6), pp. 667-679	Virtuelles Trainingssystem zur Vermittlung prozeduraler Tätigkeiten für die Montage einer Autotür
Increasing Knowledge and Skills for Assembly Processes through Interactive 3D-PDFs	Menn & Seliger, 2016	Procedia CIRP 48, pp. 454-459	3D-PDFs zur Schulung von Montageschritten eines Rad-Nabenmotors
Augmented learning for industrial education	Menn et al., 2020	Int. J. Sustainable Manufacturing 4 (2/3/4), pp. 396-412	Verwendung von AR-App und 3D-gedruckten Bauteilen zur Montageschulung von Getriebekompressoren
Augmented reality in a serious game for manual assembly processes	Woll et al., 2011	IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 37-39	AR-Smartphone-Applikation zur Einschulung von Montageschritten eines KFZ-Generators
Virtual Reality Production Training System in the Scope of Intelligent Factory	Żywicki et al., 2018	Advances in Intelligent Systems and Computing 637, pp. 450-458	VR-Schulung für manuelle Montageschritte an einer Produktionslinie

3.1.2 Ergebnisse der Literaturrecherche

Bei keiner der 159 Publikationen ist als Zielgruppe explizit die Berufsgruppe der Anlagenführer_innen definiert. Es werden daher jene Publikationen näher betrachtet, welche die Wissensvermittlung zwar für andere Berufsgruppen oder Branchen zum Ziel haben, wo deren Ansatz aber für die Wissensvermittlung an Anlagenführer_innen vielversprechend ist. Es können acht Vermittlungsformen identifiziert werden.

3.1.2.1 VR-Anwendungen

Doolani et al. (2020) präsentieren in ihrer Arbeit „vIS“, ein immersives virtuelles Storytelling-System für die betriebliche Aus- und Weiterbildung. Dabei kombinieren sie Storytelling, eine nachweislich effektive Methode des Wissenstransfers, mit der VR-Technologie. Ihre Anwendung dient der Einschulung zur Benutzung eines mechanischen Mikrometers. Die Einzuschulenden werden dabei mit einer fiktionalen Story konfrontiert, die in einem virtuellen Arbeitsplatz eines Produktionswerkes

eingebettet ist. Interaktion ist keine möglich, die Story kann also nicht durch die Nutzer_innen beeinflusst werden. Diese dient vor allem dazu, die Aufmerksamkeit des Einzuschulenden auf die Aufgabe zu lenken und Emotionen zu erzeugen, welche die Speicherung des Trainingsinhalts im Langzeitgedächtnis begünstigen sollen. Das Blickfeld der Nutzer_innen in der virtuellen Umgebung, welches der Perspektive einer außenstehenden dritten Person entspricht, wird grundsätzlich durch das System vorgegeben. Allerdings können die Nutzer_innen diese durch Kopfbewegung geringfügig ändern. Die Implementierung erfolgte mithilfe der Software Unity3D² und mittels der Programmiersprache C#. Animationen wurden in Cinema4D³ erstellt und dann in die virtuelle Umgebung in Unity3D importiert. Als Endgerät kommt ein Head-mounted Display des Typs HTC Vive in Kombination mit Kopfhörern zum Einsatz (vgl. Doolani et al., 2020).

Żywicki et al. (2018) und Zawadzki et al. (2020) nutzen eine virtuelle Lernumgebung, um Produktionspersonal für verschiedene manuelle Montagetätigkeiten an einer Produktionslinie anzulernen. Die Produktionslinie besteht aus mehreren Handarbeitsplätzen, die durch eine Verkettung miteinander verbunden sind. Für die Erstellung der virtuellen Umgebung wird Unity3D verwendet. Die CAD-Daten werden in diese importiert und anschließend verschiedenste logische Zusammenhänge programmiert. Die Programmierung erfolgt mit der Programmiersprache C#. In die virtuelle dreidimensionale Umgebung werden grafische Benutzerelemente in Form von Buttons und Pfeilen eingeblendet, die den Nutzer_innen eine Navigation durch die verschiedenen zur Verfügung stehenden Instruktionen ermöglichen. Auch textbasierte Instruktionen werden in die 3D-Umgebung integriert. Als Endgerät kommt eine VR-Brille vom Typ Oculus Rift CV1 mit Positions- und Orientierungserkennung zum Einsatz. Alternativ kann die Anwendung auch über einen Computer-Monitor genutzt werden. Interaktion erfolgt über die Verwendung eines gewöhnlichen Joysticks (vgl. Żywicki et al., 2018 bzw. Zawadzki et al., 2020).

Abel et al. (2011) beschreiben einen Ansatz, wie VR kostengünstig zur Einschulung für Bedientätigkeiten von CNC-Bearbeitungszentren eingesetzt werden kann. Die Anwendung soll direkt am Arbeitsplatzrechner der Teilnehmer_innen genutzt werden können, anstatt hierfür speziell eingerichtete Präsentationsräume zu benötigen. Das der Anwendung zugrundeliegende 3D-Modell wurde bereits für Planungszwecke der Anlage erstellt und ist also schon vorhanden. Dieses wird um weitere Informationen angereichert, entweder visuell in Form von statischen Abbildungen, dynamischen Filmen oder Kamerafahrten, oder auditiv als eigenständige Komponente oder als Ergänzung zur visuellen Komponente. Unter Kamerafahrt wird dabei das Anfahren bestimmter Positionen im virtuellen Modell der Anlage verstanden, wobei die Nutzer_innen eine „First-Person-Perspektive“ einnehmen. Durch beliebige

² <https://unity.com/de>

³ <https://www.maxon.net/de/cinema-4d>

Kombination mit den anderen Darstellungsformen können beispielsweise beim Erreichen einer bestimmten Position über die Einblendung von Videos und Audioerläuterungen detaillierte Handgriffe beschrieben werden. Es wird dabei in die beiden Detaillierungsgrade „kompakt“ und „ausführlich“ unterschieden, die sich in der Ausführlichkeit der Erläuterungen voneinander abheben. So sollen Unterschiede in der Erfahrung hinsichtlich der Anlagenbedienung berücksichtigt und neuen Anlagenbediener_innen zusätzliche Informationen bereitgestellt werden, die erfahrene Bediener_innen nicht mehr benötigen. Als Werkzeug für die Anwendungserstellung kommt Unity3D zum Einsatz. Darin werden vorhandene 3D-Modelle importiert und zweidimensionale Bedienelemente für Interaktionszwecke über einfache Skripte implementiert. Über eine Exportmöglichkeit kann die Anwendung exportiert und über einen kostenlosen Web Player direkt am Arbeitsplatz-Rechner gestartet werden (vgl. Abel et al., 2011).

Bahceci et al. (2021) nutzen eine immersive VR-Umgebung, um Telekom-Servicetechniker_innen mit den Bestandteilen verschiedener 5G-Funkmodule vertraut zu machen. Für die Erstellung der virtuellen Umgebung verwenden sie ebenso Unity3D. Als Endgerät kommt eine VR-Brille des Typs Oculus Quest zum Einsatz. Neben einer Positionserkennung unterstützt dieses Gerät auch Hand-Tracking. Eine eingebaute Kamera erkennt die ausgeführten Gesten und erlaubt dadurch eine Interaktion mit der virtuellen Umgebung (vgl. Bahceci et al., 2021).

Langley et al. (2016) entwickeln ein virtuelles Trainingssystem (VTS) zur Vermittlung einer prozeduralen Tätigkeit für die Montage einer Autotür. Das Hardware-Setup besteht aus einem Laptop, einem Projektor samt Leinwand, über den die virtuelle Trainingsumgebung visualisiert wird, einer Microsoft Kinect zur Bewegungs- und Gestenerkennung sowie einer Wii Mote⁴ für die Interaktion mit dem Trainingssystem. Die virtuelle Umgebung beinhaltet die entsprechende Station der Produktionslinie sowie alle notwendigen Bauteile und Werkzeuge. Das für den nächsten Schritt benötigte Werkzeug bzw. Bauteil wird in der Simulation mit einem gelben Kreis markiert, die Zielposition mit einem blauen Kreis. Ziel ist es, die beiden Kreise zur Deckung zu bringen. Die Nutzer_innen können dazu über die Änderung ihrer physischen Standposition oder über die Wii Mote die Perspektive verändern (vgl. Langley et al., 2016).

3.1.2.2 AR-Anwendungen

Mourtzis et al. (2019) nutzen Augmented Reality, um Bediener_innen von CNC-Abkantpressen zu unterstützen, indem Arbeitsanweisungen für auszuführende Arbeitsschritte auf ihre Fähigkeiten zugeschnitten werden. Auch im Falle von Maschinenausfällen können zielgerichtet Hinweise zur Wiederinstandsetzung eingeblendet werden. Je nach Erfahrung der Bediener_innen werden ihnen

⁴ Fernbedienung der Spielkonsole Wii

Informationen in Textform, Hilfspfeile oder andere Symbole eingeblendet. Als Endgerät kommt entweder ein Mobilgerät oder eine Datenbrille, beispielsweise in Form der Microsoft HoloLens, zum Einsatz. Durch die Flexibilität, welche durch die AR-Anwendungen gegeben ist, können Werker_innen nur mit jenen Informationen versorgt werden, die ihnen wirklich nützlich sind. Dies soll den Lernprozess beschleunigen und die Zufriedenheit der Nutzer_innen steigern (vgl. Mourtzis et al., 2019).

Woll et al. (2011) nutzen eine AR-Anwendung, um Auszubildenden in Form eines Serious Games die einzelnen Bauteile eines Automobil-Generators zu erklären, sowie ihnen die notwendigen Montageschritte und die für die Montage nötige Ausrichtung der Bauteile aufzuzeigen. Die Umsetzung erfolgt als Android-basierte Smartphone-Applikation. Es wurden zwei Anwendungsfälle umgesetzt. Der erste Anwendungsfall soll die Auszubildenden dabei unterstützen, ein besseres Verständnis zu bekommen, wie die Bauteile relativ zueinander angeordnet sind und in welcher Reihenfolge diese montiert werden müssen. Die Bauteile werden am Smartphone als virtuelle Objekte angezeigt. Beginnend mit dem ersten Bauteil werden diese nacheinander eingeblendet. Durch die Bewegung des Smartphones mit der Hand können diese dann bewegt werden, bis sie sich in der korrekten Position zueinander befinden. Die Nutzer_innen bewegen dabei ihre Hand auf ähnliche Weise, wie es auch am realen Objekt notwendig wäre. Im zweiten Anwendungsfall hantieren die Auszubildenden im Gegensatz zum ersten Fall mit den realen Bauteilen des Generators. Die App erkennt die aktuelle Position der Bauteile und leitet die Nutzer_innen an, wie sie diese ordnungsgemäß positionieren, um sie anschließend zusammenfügen zu können. Es wird außerdem erkannt, sobald ein Montageschritt korrekt erfolgt ist, worauf die benötigten Informationen für das nächste zu montierende Bauteil eingeblendet werden. Während der erste Anwendungsfall eher der Definition von erweiterter Virtualität (vgl. hierzu Abbildung 8) entspricht, handelt es sich beim zweiten Anwendungsfall um klassische erweiterte Realität (vgl. Woll et al., 2011).

Doolani et al. (2021) präsentieren eine AR-Applikation, die über gewöhnliche Smartphones genutzt werden kann. Ziel der Anwendung ist es, die Benutzer_innen sowohl auf bestimmte Montageschritte als auch auf die Benutzung von Maschinen einzuschulen. Die User_innen werden mit einer interaktiven Story mit verschiedenen 3D-Objekten sowie Soundelementen konfrontiert. Wie auch Doolani et al. (2020) setzen die Autoren also auf Storytelling, was die Verankerung des Gelernten im Langzeitgedächtnis begünstigen soll. Dies soll vor allem für prozedurale Tätigkeiten gelten. Anders als bei Doolani et al. (2020) dient hier als Endgerät ein Smartphone anstatt eines Head-mounted Displays (vgl. Doolani et al., 2021).

Menn et al. (2020) kombinieren reale 3D-gedruckte Bauteile mit virtuellen Bauteilen, die über eine AR-Applikation eingeblendet werden, um Servicetechniker_innen auf die

Montage von Getriebekompressoren einzuschulen. Die für das Verständnis wesentlichen Bauteile liegen dabei als 3D-Druck-Teile vor und können haptisch erfasst und zusammengebaut werden. Bauteile, die für das Verständnis nicht unmittelbar notwendig sind, werden als virtuelle Objekte eingeblendet. Die Nutzer_innen können über sichtbare Pfeile durch die einzelnen Montageschritte navigieren und sich bei Bedarf zusätzliche Informationen in textueller Form einblenden lassen. Für die Entwicklung der AR-App kommt Unity3D zum Einsatz. AR-Marker und die Software Vuforia⁵ stellen sicher, dass eine passende Anordnung der virtuellen Objekte relativ zu den realen Objekten erfolgt (vgl. Menn et al., 2020).

3.1.2.3 Desktop-based Training

Fischer et al. (2015) nutzen bereits aus Entwicklungsprozessen vorhandene 3D-CAD-Daten und stellen diese dem Produktionspersonal über ein webbasiertes Werkerinformationssystem (WIS) am Arbeitsplatz für Trainingszwecke bereit. Dadurch wollen sie einen praxisnahen Lernprozess sicherstellen, der für eine schnelle Umsetzung des gelernten Inhalts in die Praxis sorgen soll. Durch die Nutzung bereits vorhandener 3D-CAD-Daten, welche schon zu einem frühen Zeitpunkt des Produktlebenszyklus abgreifbar sind, kann die Erstellung der Schulungsunterlagen beschleunigt werden. Auf diese Weise kann auf die immer kürzer werdenden Innovationszyklen reagiert werden. Die typischen Inhalte, die dem Personal produktionsbegleitend über das WIS bereitgestellt werden, können bei Bedarf um zusätzliche trainingspezifische Informationen in Form von Text und Piktogrammen ergänzt werden. Komplexe Schritte werden über mehrere Screenshots oder Animationen erklärt. Die Werker_innen nutzen für die Schulung also das gleiche System wie für die spätere Produktion. Die zusätzlichen schulungsspezifischen Inhalte dienen vor allem weniger erfahrenen Nutzer_innen und können im Produktionsbetrieb wieder ausgeblendet werden. Planer_innen und Schulungsverantwortliche haben den Vorteil, dass sie nur noch ein System haben, das es zu pflegen gilt (vgl. Fischer et al., 2015).

Nurunisa et al. (2016) sehen Web-based Trainings als geeignetes Mittel, um Mitarbeitende für Instandhaltungstätigkeiten an einem CNC-Bearbeitungszentrum zu trainieren. Sie nutzen dazu die Plattform „Moodle“, um Videos, Text, Bilder und Animationen interaktiv in einer webbasierten E-Learning-Anwendung zu kombinieren. Als Vorteil sehen sie die einfache Möglichkeit der Verteilung bzw. den unkomplizierten Zugriff über Internet oder Intranet, der zu jedem Zeitpunkt und von jedem beliebigen Ort gewährleistet ist. Die über verschiedenste Bedienelemente ermöglichte Interaktion sowie die Möglichkeit, über Quizfragen das Verständnis des vermittelten Inhalts zu überprüfen, werden als weitere Vorteile genannt (vgl. Nurunisa et al., 2016).

⁵<https://www.ptc.com/de/products/vuforia>

Auch Yang et al. (2018) nutzen die Lernplattform „Moodle“ für die Erstellung eines Web-based Trainings zur Schulung von Inhalten aus dem Bereich Produktionsmanagement. Sie kombinieren E-Learning mit anschließendem Offline-Training, wobei ein Web-based Training als Vorbereitung dienen und Grundwissen vermitteln soll. Das Web-based Training wird deswegen als sinnvoll erachtet, da didaktische Elemente wie Videos, Quizfragen oder Cartoons sehr einfach integriert werden können und den Teilnehmenden ein zeit- und ortsunabhängiger Zugriff ermöglicht wird. Zudem kann das webbasierte Training einfach an die entsprechenden Zielgruppen angepasst werden (vgl. Yang et al., 2018).

3.1.2.4 Präsenzs Schulung / Seminar / Workshop

Goerke et al. (2015) vermitteln komplexes Wissen zum Thema Lean Management in Form eines Planspiels, welches im Rahmen von Seminaren oder Workshops durchgeführt werden kann. In interaktiven Trainingseinheiten werden die Teilnehmenden mit verschiedenen Situationen konfrontiert, beispielsweise mit Montageprozessen. Dieser Learning-by-Doing-Ansatz von Planspielen ermöglicht es, Wissen direkt anzuwenden. Durch die Wissensanwendung nach dem Trial-and-Error-Prinzip wird ein tiefes Verständnis weiter begünstigt. Das entwickelte Planspiel besteht aus mehreren Spielrunden. Es wechselt sich stets eine Runde, die zunächst Verständnis für eine bestimmte Problemstellung schaffen soll, mit einer Runde ab, in welcher der Fokus auf der Vermittlung von geeigneten Methoden zur Lösung der Problemstellung liegt. Nach einer Sensibilisierung für die Thematik in der einen Runde soll also in der folgenden Runde die nötige Methodenkompetenz vermittelt werden (vgl. Goerke et al., 2015).

Gust und Sersch (2020) untersuchen in ihrer Arbeit, welche Möglichkeiten es zur Wissensvermittlung geometrischer Produktspezifikationen gibt. Auch wenn es sich dabei, anders als bei der Wissensvermittlung von Nicht-Routineprozessen, eher um die Vermittlung theoretischer Inhalte handelt, so ist auch hier ein hoher Komplexitätsgrad gegeben. Für Mitarbeiter_innen von Industrieunternehmen sehen sie Seminare als adäquates Mittel. Die Seminare sollten von branchenerfahrenen Personen durchgeführt werden, da dadurch bei den Teilnehmenden auftretende Fragen direkt beantwortet werden können. Die Wissensvermittlung kann auch durch praktische Beispiele unterstützt werden. Durch verschiedene Ansätze können sich Teilnehmer_innen interaktiv einbringen und das vermittelte Wissen direkt anwenden (vgl. Gust & Sersch, 2020).

3.1.2.5 Persönliche Unterweisung / Instruktion

Menn et al. (2018) zufolge ist es üblich, für Fehlerbehebung zuständige Servicetechniker_innen durch theoretisches Training, das von Produktfachleuten gehalten wird, und anschließendes praktisches Training für die notwendigen Arbeitsschritte vorzubereiten. Das praktische Training erfolgt häufig während des

laufenden Produktionsprozesses. Aufgrund der Tatsache, dass dadurch häufig Verzögerungen im Produktionsablauf ausgelöst werden, wird das praktische Training, vor allem für weniger komplexe Prozesse, auf die Beobachtung erfahrener Mitarbeiter_innen beim Ausführen der notwendigen Arbeitsschritte reduziert (vgl. Menn et al., 2018, S. 76).

3.1.2.6 Digitale Schulungsunterlagen

Menn und Seliger (2016) verwenden 3D-PDFs für die Vermittlung von Montageschritten im Sondermaschinenbau. Anstatt der bloßen Verwendung statischer zweidimensionaler technischer Zeichnungen bzw. Abbildungen ist hiermit die Integration interaktiver dreidimensionaler CAD-Modelle in die Lehrunterlagen möglich. Die Inhalte können mit kostenlosen PDF-Readern, wie beispielsweise dem Adobe Reader, geöffnet werden. Die Nutzer_innen werden über Piktogramme und Text zur Interaktion mit dem CAD-Inhalt angeleitet. Wissen über die Bedienung von CAD-Programmen ist nicht erforderlich. Die meist bereits aus der Entwicklungsphase vorliegenden CAD-Inhalte werden zunächst mithilfe des Tetra4D-Converters⁶ in ein Universal-3D (U3D)-Format konvertiert. Dieser Vorgang ist für die Darstellung von CAD-Daten mittels PDF-Readern notwendig. Durch die Verwendung des Tetra4D-Reviewers⁷ werden die verschiedenen Montageschritte animiert. Die einzelnen Bauteile des CAD-Modells können ein- bzw. ausgeblendet und beliebig bewegt werden. Die Abläufe der Animation werden in Form eines JavaScript-Codes festgelegt, der im Hintergrund des PDFs implementiert ist. Durch die Verwendung eines PDF-Editors können schließlich Buttons und andere Bedienelemente eingefügt werden, mit denen die Nutzer_innen interagieren können. Den Bedienelementen ist wiederum JavaScript-Code hinterlegt, um den Elementen die jeweilige Aktion zuzuweisen, die durch Betätigung des Elementes eintreten soll. Die Umsetzung erfolgt exemplarisch für die Montage eines Elektro-Nabenmotors für Fahrräder. Das 3D-PDF wird direkt im Vollbildmodus geöffnet. Die Bedienung erfolgt, wenn vorhanden, per Touchscreen oder ansonsten per Maus. Auf der ersten Seite ist eine 3D-Explosionsdarstellung dargestellt. Durch Klicken auf die einzelnen Bauteile werden den Nutzer_innen zusätzliche Information eingeblendet oder erfolgt eine Navigation auf die nachfolgenden Seiten. Auf Knopfdruck können dort 3D-Animationen der verschiedenen Montageschritte abgespielt und einzelne Baugruppen herangezoomt, rotiert oder bewegt werden (vgl. Menn & Seliger, 2016).

Für Menn et al. (2018) sind 3D-PDFs auch dann geeignet, wenn praktisches Training direkt an der Produktionslinie aufgrund von dadurch ausgelösten Produktionsunterbrechungen nicht gewünscht bzw. nicht möglich ist (vgl. Menn et al., 2018, S. 79).

⁶ <https://tetra4d.com/tetra-4d-converter/>

⁷ <https://tetra4d.com/tetra-4d-reviewer/>

3.1.2.7 Papiergebundene Schulungsunterlagen

Adami und Houben (2008) nennen papiergebundene Arbeitsanweisungen neben persönlichen Unterweisungen, Schulungen und Ausbildungen als gängige Form der Qualifikationsvermittlung in modernen Produktionsorganisationen. Sie weisen darauf hin, dass längere Texte und kleine Buchstaben abschreckend wirken und den Informationsfluss dadurch verringern können. Ein geeigneter Grad an Visualisierung in Form von technischen Zeichnungen, Grafiken, Piktogrammen oder Fotografien soll die Akzeptanz verbessern. Prozedurale Tätigkeiten etwa können über schrittweise aufeinander folgende Zeichnungen nach dem Vorbild grafischer intuitiver Packanweisungen vermittelt werden (vgl. Adami & Houben, 2008).

3.1.2.8 Blended Learning

Goerke et al. (2017) kombinieren Präsenzs Schulungen durch Komponenten des digitalen Lernens, um manchen Nachteilen der Präsenzlehre entgegenzuwirken. Die Schulung dient der Vermittlung von Methodenkompetenz zur Prozessverbesserung. Als digitale Komponente wird entsprechend der Idee des „Serious Gaming“ ein digitales Lernspiel gewählt. Im konkreten Anwendungsfall erfolgt eine Kombination einer Lernfabrik mit ihrer digitalen Variante, welche die virtuelle Umgebung für das Lernspiel darstellt. In dieser virtuellen Umgebung werden die Nutzer_innen durch die Einbindung verschiedener Gamification-Elemente vor Herausforderungen gestellt und beispielsweise über Punktesysteme belohnt. Wird eine Aufgabe nicht ordnungsgemäß ausgeführt, entsteht allerdings im Gegensatz zu realen Umgebungen kein Schaden. Dies ermöglicht es, nach dem Trial-and-Error-Prinzip von eigenen Fehlern zu lernen (vgl. Goerke et al., 2017).

3.1.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im vorigen Kapitel 3.1.2 wurden gängige Möglichkeiten der Wissensvermittlung vorgestellt, welche für die Einschulung von Anlagenführer_innen als sinnvoll erachtet werden. Die Ergebnisse werden nachfolgend diskutiert und übersichtlich zusammengefasst.

VR-Anwendungen (siehe Abschnitt 3.1.2.1) sind eine geeignete Möglichkeit, um prozedurales Wissen zu vermitteln, abstrakte Konzepte greifbarer zu machen und Sachverhalte mit dreidimensionalen Merkmalen verständlich abzubilden (vgl. Gerth & Kruse, 2020, S. 153). Die Verwendung von VR-Brillen ermöglicht es den Nutzer_innen, sich aufgrund des höheren Immersionsgrades in der virtuellen Umgebung besser orientieren zu können, als es bei Darstellung über einen 2D-Monitor der Fall ist (vgl. Bahceci et al., 2021). Allerdings ist es in beiden Fällen möglich, Handlungen und deren Auswirkungen erlebbar zu machen, ohne dass man dafür an der realen Anlage steht (vgl. Abel et al., 2011, S. 721). Produktionsunterbrechungen können somit vermieden werden (vgl. Zawadzki et al., 2020). Auch Gefahrensituationen können auf diese

Weise realitätsnah simuliert werden, ohne dabei Personen tatsächlich in Gefahr zu bringen. VR-Anwendungen ermöglichen es zudem, verschiedene Informationen aus anderen Darstellungsformen, beispielsweise Zeichnungen, Filmen oder Audiokommentaren, in einer virtuellen Umgebung zu verknüpfen (vgl. Abel et al., 2011, S. 721). Durch Gamification kann das Engagement der Lernenden weiter erhöht werden (vgl. Bahceci et al., 2021, S. 1). Die Erstellung einer VR-Anwendung verursacht meist hohe Kosten (vgl. z.B. Doolani et al., 2020). Wird diese allerdings von vielen Personen genutzt, können sich diese Kosten wieder relativieren. Denn wird dadurch weniger Ausbildungspersonal benötigt, ergeben sich potenzielle Kostenvorteile (vgl. Abel et al., 2011, S. 722).

AR-Anwendungen (siehe Abschnitt 3.1.2.2) ermöglichen es Benutzer_innen, räumliche Aspekte erlebbar zu machen und fördern dadurch die praktische Anwendung theoretischen Wissens (vgl. Woll et al., 2011, S. 38). Räumliche Aspekte können aufgrund des höheren Immersionsgrades vor allem durch die Nutzung von HMDs effektiv vermittelt werden. Vorteil von Mobilgeräten wie Smartphones und Tablets hingegen ist die bessere Verfügbarkeit und die einfachere Handhabung. Woll et al. (2011) und Doolani et al. (2021) setzen in ihren AR-Anwendungen auf Gamification und Storytelling. Denn durch die Kombination mit spielerischen Elementen kann die intrinsische Motivation zusätzlich gefördert werden (vgl. Woll et al., 2011, S. 39). AR-Anwendungen werden üblicherweise direkt dort für Schulungszwecke eingesetzt, wo die Schulungsinhalte später auch angewendet werden sollen. Die betreffenden Stationen einer Produktionslinie müssen folglich für die Schulung auch zugänglich sein.

Desktop-based Training (siehe Abschnitt 3.1.2.3) ermöglicht eine Konsumation der Lerninhalte über gewöhnliche PCs, die häufig bereits zur Verfügung stehen und nicht eigens angeschafft werden müssen. Je nach Anbindung an das Intra- oder Internet wird entweder von Web-based Training oder von Computer-based Training gesprochen. Web-based Training etwa ermöglicht eine Wissensvermittlung überall dort, wo eine Verbindung zum Intra- oder Internet besteht (vgl. Nurunisa et al., 2016, S. 3). Es kann also von verschiedenen Orten auf die Lerninhalte zugegriffen werden, was sowohl Zeit als auch Kosten einspart (vgl. Yang et al., 2018, S. 215). Im Zuge eines Desktop-based Trainings können auf interaktive Weise Text, grafische Darstellungen, Videos und Animationen kombiniert werden (vgl. Nurunisa et al., 2016, S. 4). Beispielsweise ist durch die Einbindung von Hyperlinks die Verlinkung unterschiedlicher Darstellungsformen miteinander möglich (vgl. Niegemann et al., 2008, S. 268). Videos können vor allem dafür vorteilhaft eingesetzt werden, um prozedurales Wissen zu vermitteln (vgl. Niegemann et al., 2008, S. 267).

Seminare und Workshops (siehe Abschnitt 3.1.2.4) sind speziell für jenes Personal ideal, das im betreffenden Thema bereits Vorkenntnisse besitzt (vgl. Gust & Sersch,

2020, S. 127). Seminare finden meist im Präsenzformat statt und bedienen sich der mündlichen Wissensvermittlung von Fachleuten. Häufig werden unterstützend PowerPoint-Folien oder andere Anschauungsobjekte verwendet. Neben dem Präsenzformat ist auch eine Abhaltung als Online- bzw. Teleseminar möglich (vgl. Niegemann et al., 2008, S. 649). In Präsenzformaten besteht die Option, interaktive Planspiele in das Seminar bzw. in den Workshop einzubinden. Dadurch wird ein Bewusstsein für die Folgen des eigenen Handelns geschaffen (vgl. Goerke et al., 2015, S. 139).

Unterweisungen (siehe Abschnitt 3.1.2.5) erfordern Fachpersonal, das die zu vermittelnde Thematik gut beherrscht. Da Unterweisungen meist in Kleingruppen oder nur mit einzelnen Teilnehmenden stattfinden, sind diese in der Durchführung relativ personalintensiv (vgl. Abel et al., 2011, S. 722). Der Vorteil dabei ist allerdings, dass die Auszubildenden viel besser auf Vorkenntnisse und Erfahrungen der Unterwiesenen eingehen können. Außerdem ist es möglich, individuelle Fragen umgehend zu beantworten. Unterweisungen können direkt an der Produktionslinie stattfinden. Ihre Anwendung ist also insbesondere dann sinnvoll, wenn bei der Wissensvermittlung Details relevant sind, die nur anhand der realen Anlage beschrieben werden können. Allerdings müssen dann mitunter Produktionsunterbrechungen in Kauf genommen werden (vgl. Zawadzki et al., 2020, S. 135112).

Digitale Schulungsunterlagen (siehe Abschnitt 3.1.2.6) erlauben es, visuelle, auditive und bei Verwendung von Touchscreens auch haptische Komponenten effizient zu kombinieren (vgl. Menn & Seliger, 2016, S. 454). Textgebundenes Schulungsmaterial hat den Vorteil, dass der Wissenserwerb zeit- und ortsunabhängig erfolgen kann (vgl. Gust & Sersch, 2020, S. 127). Digitale Schulungsunterlagen eignen sich also sehr gut zum Selbststudium, lassen sich über gewöhnliche PCs öffnen und können einfach vervielfältigt werden. Ihr Einsatz ist also nicht auf einen einzelnen Ort beschränkt. Bei Verwendung in unterschiedlich-sprachigen Ländern ist es ratsam, eher Bilder und Piktogramme anstatt von großen Textmengen einzusetzen, um so den Übersetzungsaufwand zu reduzieren (vgl. Menn & Seliger, 2016, S. 455).

Papiergebundene Schulungsunterlagen (siehe Abschnitt 3.1.2.7) sind nur dann zielführend, wenn sie von den Mitarbeiter_innen zur Kenntnis genommen, verstanden und die Inhalte umgesetzt werden (vgl. Adami & Houben, 2008, S. 431). Für eine breite Anwendung in Form eines Selbststudiums ist eine hohe Akzeptanz essenziell. Die Verwendung einer lesbaren und verständlichen Sprache ist hierfür Voraussetzung (vgl. Adami & Houben, 2008, S. 431).

Blended Learning (siehe Abschnitt 3.1.2.8), also die Kombination von Präsenzschulung und Elementen des Selbststudiums, wird mehrfach als geeignet angesehen. Denn auf diese Weise können die Nachteile der reinen Präsenzschulung

kompensiert werden, etwa die fehlende Möglichkeit, den Lehrinhalt zu einem späteren Zeitpunkt erneut abzurufen (vgl. Goerke et al., 2017, S. 229). Lehrinhalte können dadurch zum Teil auch zeit- und ortsunabhängig konsumiert werden und Schulungsteilnehmer_innen das Tempo der Vermittlung selbst wählen (vgl. Goerke et al., 2017). Auch die Kombination verschiedener Vermittlungsformen ist durchaus vielversprechend (vgl. Gust & Sersch, 2020, S. 127).

Die als relevant klassifizierten Publikationen werden anhand der in Abbildung 11 dargestellten Merkmale analysiert. Tabelle 3 stellt das Ergebnis dieser Analyse übersichtlich dar.

Tabelle 3 | Analyse der Literatur anhand unterschiedlicher Merkmale

Quelle: eigene Darstellung

Literaturquelle	Vermittlungsmedium								Darstellungsform							Vermittlungsmodus			Vermittlungsort			
	Mündlich	Kopfhörer, Lautsprecher	Papier	Tafel, Poster, Board	Physische Anschauungsobjekte	Bildschirm, Monitor	Smartphone, Tablet	Datenbrille	Projektor	Textbasierte Darstellung	Auditive Darstellung	Grafische Darstellung (2D)	Video	Animation, Simulation	Immersive Umgebung	Reale Umgebung	Schulung	Selbststudium	Lernassistenzsystem	Arbeitsplatz	Seminar- / Präsentationsraum	Beliebiger Ort
Abel et al., 2011	○	●	○	○	○	●	○	○	○	●	●	●	●	●	○	○	○	●	●	○	○	○
Adami & Houben, 2008	○	○	●	○	○	○	○	○	○	●	○	●	○	○	○	○	○	●	○	○	○	●
Bahceci et al., 2021	○	○	○	○	○	○	○	●	○	●	○	○	○	●	●	○	○	○	●	○	●	○
Doolani et al., 2020	○	●	○	○	○	○	○	●	○	○	●	○	○	●	●	○	○	○	●	○	●	○
Doolani et al., 2021	○	○	○	○	○	○	●	○	○	●	●	○	○	●	●	○	○	○	●	●	○	○
Fischer et al., 2015	○	○	○	○	○	●	○	○	○	●	○	○	○	●	○	○	○	○	○	●	○	○
Goerke et al., 2015	●	○	○	○	●	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	●	○	○	○	○	●	○
Goerke et al., 2017	●	○	○	○	●	●	○	○	○	●	●	○	○	●	●	●	○	○	●	●	○	○
Gust & Sersch, 2020	●	○	○	○	●	○	○	○	●	●	●	○	○	○	○	●	○	○	○	○	●	○
Langley et al., 2016	○	○	○	○	○	○	○	○	●	●	○	○	○	●	●	○	○	○	○	○	●	○
Menn & Seliger, 2016	○	○	○	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Menn et al., 2018	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Menn et al., 2020	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Mourtzis et al., 2019	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Nurunisa et al., 2016	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

Woll et al., 2011	○	○	○	○	●	○	●	○	○	●	○	●	○	●	●	○	○	●	○	●	○	
Yang et al., 2018	○	●	○	○	○	●	○	○	○	●	●	●	●	○	○	○	○	●	○	○	○	●
Zawadzki et al., 2020	○	○	○	○	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	●	○	○	○	○	●	○	○
Żywicki et al., 2018	○	○	○	○	○	●	○	●	○	●	○	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○
Legende				● Zutreffend				◐ Teilweise zutreffend				○ Nicht zutreffend										

Auffällig ist, dass keine der angeführten Publikationen die Vermittlungsmedien Tafel, Poster oder Board nutzt. Ein Grund hierfür besteht mit hoher Wahrscheinlichkeit darin, dass in der Literaturrecherche nur Publikationen aus den Jahren 2012 bis 2021 berücksichtigt wurden. Nachdem diese Medien bereits seit Jahrzehnten bewährt und akzeptiert sind, war nicht zu erwarten, dass diese Gegenstand aktueller Forschungsarbeiten sind. Projektoren kommen als Medium der Wissensvermittlung bloß zweimal zum Einsatz. Bildschirme hingegen sind in acht Publikationen das Vermittlungsmedium der Wahl. Als Darstellungsform kommt die textbasierte Darstellung in 16 Fällen zur Anwendung. Allerdings wird diese Form der Darstellung immer mit anderen Formen kombiniert. Generell werden in jeder Publikation zumindest zwei Darstellungsformen kombiniert eingesetzt. In den überwiegenden Fällen werden Lernassistenzsysteme als Vermittlungsmodus gewählt, meist gepaart mit immersiven Umgebungen als Darstellungsform. Schulungen hingegen sind in den angeführten Publikationen vergleichsweise selten Fokus der Arbeit. Auch hier kann dies wieder damit begründet werden, dass Lernassistenzsysteme aufgrund der guten Einsetzbarkeit der relativ neuen VR- und AR-Technologie eher Forschungsgegenstand aktueller Publikationen sind.

3.2 Bedarfsableitung

Im Zuge der systematischen Literaturrecherche wurden mehrere Vermittlungsformen abgeleitet, welche für die Wissensvermittlung an Anlagenführer_innen als geeignet angesehen werden. Allerdings konnte keine Methodik identifiziert werden, die eine Zuordnung dieser Vermittlungsformen zu verschiedenen Nicht-Routineprozessen unterschiedlicher Komplexität bewerkstelligt.

Zwar definieren Bullinger und Witzgall (2002) mehrere Qualifizierungsmethoden in Abhängigkeit der Aufgabenkomplexität (siehe Abbildung 21). Jedoch bezieht sich ihre Arbeit speziell auf manuelle Montagetätigkeiten von Montagepersonal und weniger auf Nicht-Routineprozesse, die von höher qualifizierten Anlagenführer_innen abzuwickeln sind. Auch wird nicht weiter auf die Logik eingegangen, die der Zuordnung zugrunde liegt. In Kapitel 4 wird daher eine Methodik entwickelt, welche diese Zuordnung nachvollziehbar durchführt.

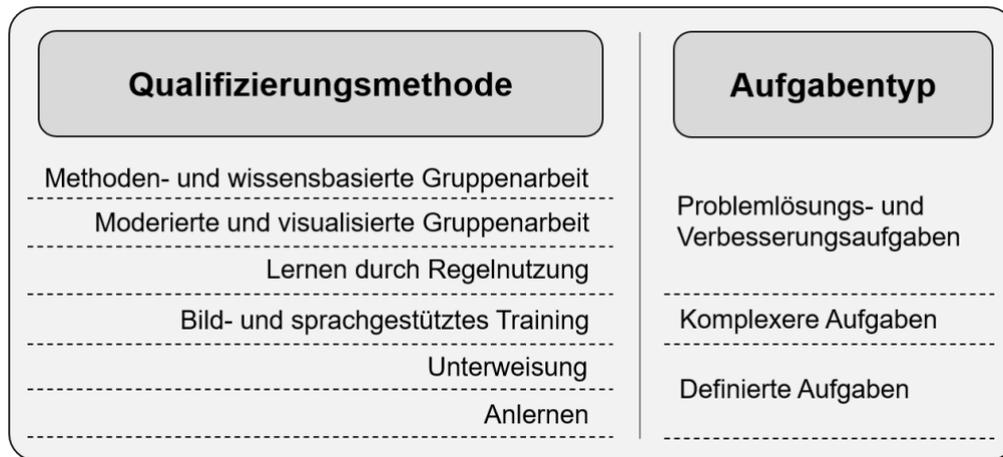


Abbildung 21 | Qualifizierungsmethoden in Abhängigkeit der Aufgabenkomplexität

Quelle: in Anlehnung an Bullinger & Witzgall, 2002, zitiert nach Lotter & Wiendahl, 2012, S. 402

4 Erarbeitung der Methodik

Das vorliegende Kapitel dokumentiert die Entwicklung der Methodik. Diese soll Mitarbeiter_innen der technischen Planung dabei unterstützen, für einen vorliegenden Nicht-Routineprozess eine geeignete Form der Wissensvermittlung auszuwählen. Abbildung 22 stellt diese Funktion schematisch dar. Die Methodik soll auf nachvollziehbaren Kriterien beruhen, ein effizientes Kosten-Nutzen-Verhältnisses sicherstellen und ein hohes Maß an Praxistauglichkeit aufweisen.

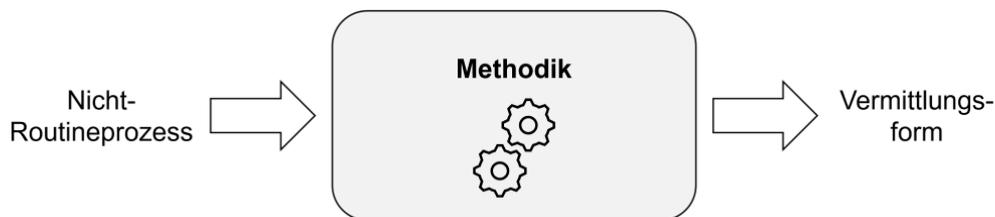


Abbildung 22 | Funktion der Methodik

Quelle: eigene Darstellung

In Kapitel 4.1 werden zunächst Kriterien definiert, anhand derer Nicht-Routineprozesse klassifiziert werden können. In Kapitel 4.2 folgt eine Kosten-Nutzen-Bewertung. Von den acht Formen der Wissensvermittlung, die in Abschnitt 3.1.3 als geeignet identifiziert wurden, werden hierfür jene sieben berücksichtigt, die als eigenständige Vermittlungsformen gelten. Die achte Vermittlungsform, Blended Learning, wird als Kombination zweier oder mehrerer eigenständiger Formen angesehen. Sie wird in den nachfolgenden Überlegungen zunächst nicht berücksichtigt. Sollte diese Vermittlungsform allerdings für einen Nicht-Routineprozess herangezogen werden wollen, kann die Methodik angewendet werden, um eine Vermittlungsform für das Selbststudium auszuwählen, die mit einer für Blended Learning typischen Präsenzform kombiniert werden kann. In Kapitel 4.3 werden für die Sicherstellung eines effizienten Kosten-Nutzen-Verhältnisses mehrere Prämissen definiert. In Kapitel 4.4 erfolgt schließlich die Zusammensetzung der einzelnen Bestandteile zur finalen Methodik sowie eine Beschreibung dieser in Form eines Ablaufdiagramms.

4.1 Klassifikationskriterien

Ziel dieses Abschnitts ist es, Kriterien zu erarbeiten, auf deren Basis Nicht-Routineprozessen in weiterer Folge geeignete Vermittlungsformen zugeordnet werden können. Es soll damit die zweite Forschungsfrage der vorliegenden Arbeit beantwortet werden:

„Anhand welcher Kriterien können Nicht-Routineprozesse klassifiziert werden?“

Bei der Auswahl der Kriterien soll berücksichtigt werden, ob diese Einfluss auf die Wahl der Vermittlungsmethode haben könnten. Es sollen vor allem jene Kriterien berücksichtigt werden, bei denen ein großer Einfluss anzunehmen ist.

4.1.1 Notwendigkeit manueller Eingriffe

Während manche Nicht-Routineprozesse bloß einer Interaktion auf dem Human-Machine-Interface (HMI) bedürfen (bspw. Ausschleusen eines Bauteils auf Knopfdruck), ist es bei anderen wiederum notwendig, die Anlage zu betreten und darin manuelle Tätigkeiten, etwa zur Fehlerbehebung, durchzuführen. Dies sollte auch in der Wahl der Vermittlungsmethode Berücksichtigung finden, denn nicht jede Vermittlungsmethode eignet sich dafür, Wissen über komplexe manuelle Handgriffe zu vermitteln. Ob ein Nicht-Routineprozess eines manuellen Eingriffs bedarf, ist im Vorhinein nicht immer einfach zu beurteilen. Als Mitarbeiter_in der technischen Planung sollte man hier daher nach Möglichkeit auf Erfahrungswerte von anderen, bereits bestehenden Produktionslinien zurückgreifen.

4.1.2 Zutrittsmöglichkeit für Schulungszwecke

Ist der Zutritt zur Anlage nicht möglich, weil diese etwa zum geplanten Zeitpunkt der Schulung noch nicht vor Ort aufgebaut ist oder andere Gründe vorliegen, kommen die Vermittlungsformen Unterweisung/Instruktion bzw. AR-Training nicht infrage, auch wenn sich diese für einen vorliegenden Nicht-Routineprozess als optimal erweisen würden. Insofern soll auch dieses Kriterium in der Methodik Berücksichtigung finden.

4.1.3 Unabhängiger Abruf

Je nach Art des Nicht-Routineprozesses, der zu erwartenden Auftretenshäufigkeit oder der potenziellen Schadensschwere bei unzureichender Einschulung kann es Sinn machen, eine Vermittlungsform zu wählen, die bei Bedarf einen Abruf der Schulungsinhalte auch zu einem späteren Zeitpunkt zeit- und ortsunabhängig ermöglicht. Anlagenführer_innen können so eventuell auftretende Unsicherheiten hinsichtlich des Prozessablaufes durch einen erneuten Abruf der Inhalte unkompliziert und selbstständig ausräumen. Vorarbeiter_innen oder Meister_innen brauchen folglich nicht sofort um Rat gefragt werden, sondern nur dann, wenn trotz erneuter Durchsicht des Schulungsmaterials die Unklarheiten nicht restlos beseitigt werden können.

4.1.4 Komplexität von Nicht-Routineprozessen

Schleicher (2012) bewertet in seiner Arbeit verschiedene Ansätze zur Komplexitätsmessung von Prozessen. Einer dieser Ansätze verfolgt eine Vorgehensweise, die erstmals im vom deutschen Bundesministerium für Bildung und

Forschung (BMBF) unterstützen PESOA-Projekt⁸ vorgestellt wurde (vgl. Franczyk et al., 2004, zitiert nach Schleicher, 2012, S. 140). Für die Komplexitätsbestimmung werden dabei ereignisgesteuerte Prozessketten (EPK) genutzt. Die Komplexitätsbestimmung dient in diesem Fall zur Aufwands- und Kostenprognose von Projekten und Produkten für prozessorientierte Softwareproduktfamilien. Die betrachteten Teilprozesse werden allesamt als EPK modelliert. Die beiden Grundelemente einer EPK, Funktion und Ereignis, werden als Knoten aufgefasst. Diese Knoten bilden zusammen mit einem weiteren Grundelement der EPK, den Konnektoren, die Grundlage der Komplexitätsbewertung. Auf Basis der Häufigkeit der in einem Prozessmodell auftretenden Knoten und Konnektoren werden Prozesse schließlich entsprechend Tabelle 4 in gering-, mittel- und hochkomplexe Prozesse eingeteilt.

Tabelle 4 | Komplexitätsbewertung über Anzahl an Knoten und Konnektoren

Quelle: Franczyk et al., 2004, zitiert nach Schleicher, 2012, S. 141

		Knoten		
		$2 \geq 9$	$10 \geq 19$	> 20
Konnektoren	0	gering	gering	mittel
	$1 \geq 5$	gering	mittel	hoch
	> 5	mittel	hoch	hoch

Schleicher sieht die Komplexitätsmessung mittels EPK als geeignete Methode und überträgt diese aufgrund der einfachen Vorgehensweise und der guten Verständlichkeit auf seine Aufgabenstellung der Baupreisermittlung im Schlüsselfertig-Bau (vgl. Schleicher, 2012, S. 144–148).

Die Komplexitätsbewertung mittels EPK bietet folgende Vorteile (vgl. Schleicher, 2012, S. 144):

- Anschauliche, übersichtliche und nachvollziehbare Prozessmodellierung
- Einfache Messung durch Abzählen der Elemente
- Verständliche Ergebnisdarstellung

Die Komplexitätsmessung auf diese Weise ist auch auf andere Prozesse übertragbar, welche als EPK modelliert sind (vgl. Schleicher, 2012, S. 154). Aus diesem Grund soll diese Art der Komplexitätsmessung auch in der Kategorisierung der Nicht-Routineprozesse Anwendung finden. Insbesondere wenn Nicht-Routineprozesse bereits als EPK modelliert wurden oder als anderweitige Flussdiagramme vorliegen, ist der mit der Komplexitätsermittlung verbundene Arbeitsaufwand sehr überschaubar.

⁸ PESOA...Process Family Engineering in Service-Oriented Applications

Da es sich bei Nicht-Routineprozessen vorwiegend um prozedurales Wissen handelt, ist eine Darstellbarkeit dieser in Form von Flussdiagrammen auch gewährleistet (vgl. Niegemann et al., 2008, S. 159).

Häufig wird als Modellierungssprache für Flussdiagramme allerdings die Business Process Model and Notation (BPMN) verwendet. Obwohl diese Notation erst später eingeführt wurde, hat sie sich schnell etabliert und stellt heute den De-facto-Standard in der grafischen Prozessmodellierung dar (vgl. Recker, 2010, S. 182). Aus diesem Grund wird auch in der vorliegenden Arbeit mit dieser Notation gearbeitet. Die Komplexitätsmessung erfolgt analog der oberhalb beschriebenen Vorgehensweise. Aktivitäten werden als Knoten aufgefasst, Gateways als Konnektoren. Die Klassifizierung in die Komplexitätsklassen gering, mittel und hoch erfolgt wieder anhand Tabelle 4. Für die Modellierungsregeln der BPMN wird an dieser Stelle auf White und Miers (2008) verwiesen.

Exemplarisch wird für den in Abbildung 23 dargestellten Beispielprozess die Komplexität bestimmt. Durch einfaches Abzählen erhält man zehn Knoten und zwei Konnektoren. Tabelle 4 zufolge ergibt sich ein mittlerer Komplexitätsgrad. Die Bedeutung dieses soeben ermittelten Komplexitätsgrads im Hinblick auf die Zuordnung einer geeigneten Vermittlungsform wird in Abschnitt 4.3 näher erläutert.

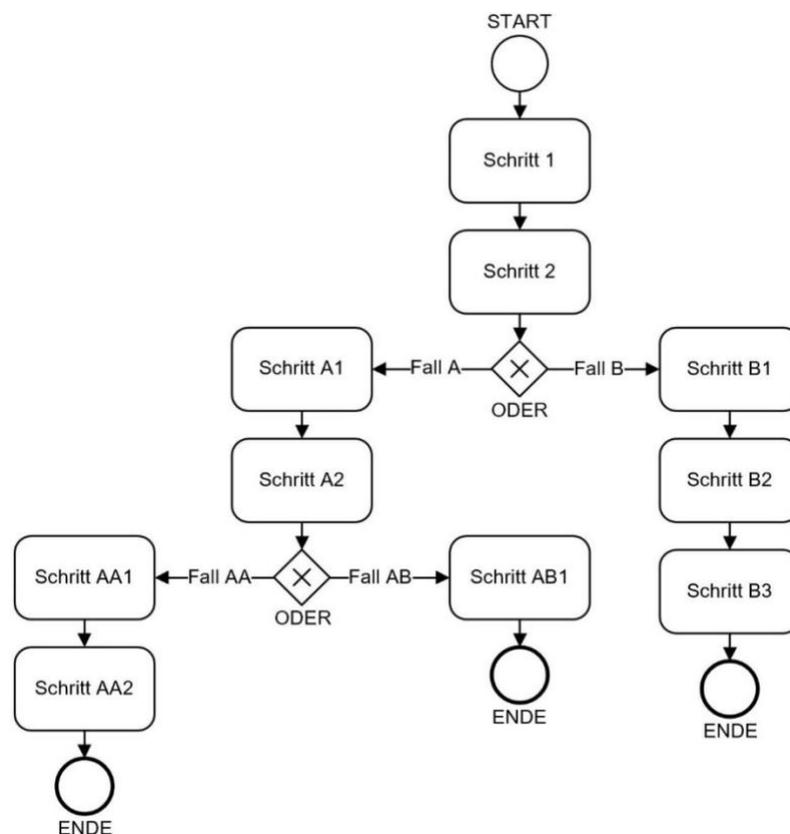


Abbildung 23 | Beispielprozess mit zwei Fallunterscheidungen

Quelle: eigene Darstellung

4.1.5 Erfahrung von bestehenden Produktionsanlagen

Gibt es bereits bestehende Produktionslinien, die eine große Ähnlichkeit zu jener Linie aufweisen, auf welche die Anlagenführer_innen eingeschult werden sollen, können diese bereits von ihren Erfahrungen profitieren. Bei den Schulungsmethoden kann der Fokus auf jene Details gerichtet werden, die sich von den bestehenden Linien unterscheiden. Grundlegendes Verständnis kann bereits vorausgesetzt und muss nicht erneut geschaffen werden. Der Schulungsbedarf kann dadurch maßgeblich geringer ausfallen.

4.1.6 Größe der Zielgruppe

Je nach Größe der Zielgruppe bieten sich aus Effizienzgründen bestimmte Vermittlungsformen entweder besonders an oder kommen aufgrund eines verhältnismäßig großen Aufwandes eher nicht infrage. Ist die Gruppe an einzuschulenden Anlagenführer_innen sehr klein, wird eine persönliche Instruktion beispielsweise kosteneffizienter sein als die Erarbeitung papiergebundener Schulungsunterlagen. Bei einer großen Zielgruppe hingegen können Schulungsmaßnahmen sinnvoll sein, die sich einfach und kostengünstig vervielfältigen lassen.

4.1.7 Synergieeffekte

Für eine neue Produktionslinie wird meist eine Vielzahl an Nicht-Routineprozessen definiert. Folglich macht es Sinn, bei der Planung der Schulungsmaßnahmen darauf zu achten, allfällige Skaleneffekte möglichst effizient auszunützen. Wird etwa für eine Station eine VR-Anwendung erarbeitet, da ein Nicht-Routineprozess dieser Station dieser Vermittlungsform bedarf, können andere Nicht-Routineprozesse derselben Station mit überschaubarem Aufwand in die bestehende VR-Anwendung integriert werden. Der Aufwand dafür ist deswegen geringer, da für die VR-Anwendung benötigte 3D-Modelle der Station nicht eigens erstellt bzw. aufbereitet werden müssen.

4.2 Kosten-Nutzen-Bewertung der Vermittlungsformen

4.2.1 Nutzenvergleich

In diesem Abschnitt werden die sieben eigenständigen Vermittlungsformen hinsichtlich ihres Nutzens untereinander verglichen. Blended Learning wird im Nutzenvergleich nicht explizit berücksichtigt. Der Nutzen dieser Vermittlungsform ergibt sich jedoch in Abhängigkeit jener eigenständigen Vermittlungsformen, die hierfür kombiniert werden. Für den Nutzenvergleich werden verschiedene Studien einbezogen, die jeweils zwei oder mehrere Vermittlungsformen gegenübergestellt haben. Die berücksichtigten Studien sind nachfolgend angeführt und in Tabelle 5 übersichtlich zusammengefasst.

Der Vergleich findet je nach Publikation anhand unterschiedlicher Merkmale statt, beispielsweise anhand der Fehlerquote, der Ausführungszeit oder der Reproduzierbarkeit der Inhalte nach mehreren Tagen. Welche Merkmale für die einzelnen Vergleiche herangezogen werden, ist in Tabelle 5 ersichtlich.

1. Doolani et al. (2020) zeigen in ihrer Publikation auf, dass die Fähigkeit der Nutzer_innen, das Gelernte nach sieben Tagen reproduzieren zu können, bei ihrer immersiven VR-Anwendung etwas stärker ausgeprägt ist wie bei 2D-Videos, und deutlich höher als bei textbasierten Handbüchern. Nachdem 2D-Videos oft Bestandteil von Web-based Trainings sind, werden diese daher als mindestens gleichwertig betrachtet.
2. Singh et al. (2019) vergleichen in ihrer Studie AR-Training mit Desktop-based Training anhand der benötigten Trainingszeit, Ausführungszeit und der Anzahl an Arbeitsschritten, die nach Absolvierung des Trainings korrekt ausgeführt werden. Das AR-Training war dem Desktop-basierten Training in allen Fällen signifikant überlegen.
3. Al-Ahmari et al. (2018) kommen zum Schluss, dass das Training manueller Montagetätigkeiten mithilfe von 3D-gedruckten Modellen zu besseren Ergebnissen hinsichtlich Ausführungszeit, Fehlerquote und Erfüllungsquote führt als VR-Anwendungen und papiergebundene Zeichnungen. Instruktionen bzw. Unterweisungen finden allerdings häufig an der realen Anlage statt, anstatt 3D-gedruckte Bauteile zu verwenden. Allerdings können sowohl die reale Anlage wie auch die gedruckten Modelle haptisch erfasst werden. Instruktionen an der realen Anlage werden also mindestens als gleichwertig erachtet.
4. Chao et al. (2017) legen dar, dass bei einfachen Aufgaben Videos und VR-Anwendungen zu einer signifikant geringeren Fehlerrate im Vergleich zu technischen Handbüchern führen. Bei komplexeren Tätigkeiten konnte zudem eine signifikante Überlegenheit von VR-Anwendungen gegenüber Videos beobachtet werden. Auch die für die Tätigkeiten benötigte Ausführungszeit war, unabhängig von der Aufgabenkomplexität, bei VR-Anwendungen am geringsten, gefolgt von Videos und technischen Handbüchern.
5. Langley et al. (2016) zeigen mit ihren Ergebnissen auf, dass Trainingssysteme, die auf virtuellen Umgebungen basieren, zu signifikant geringeren Fehlerquoten führen als papierbasierte Unterlagen. Virtuelle Trainingssysteme haben demnach das Potenzial, prozedurales Wissen besser in den Köpfen der Teilnehmer_innen zu verankern.
6. Menn et al. (2018) zeigen, dass sie die Dauer, welche für zuvor definierte Arbeitsschritte benötigt wurde, durch den Einsatz von 3D-PDFs um 15%

gegenüber Gebrauchsfilmen und um 18% gegenüber papiergebundenen Bildanleitungen reduzieren konnten.

7. Hou et al. (2013) vergleichen ein AR-System mit einer Papieranleitung hinsichtlich der für Montagevorgänge benötigten Ausführungszeit und dabei entstandener Montagefehler. Sie zeigen, dass Nutzer_innen des AR-Systems sowohl weniger Zeit benötigten als auch weniger Fehler machten.
8. Valimont et al. (2002) demonstrieren, dass mittels einer AR-Anwendung vermitteltes Wissen von Teilnehmer_innen besser abgerufen werden kann als Wissen, das durch Videos bereitgestellt wird, und deutlich besser als über Papieranleitungen bereitgestelltes Wissen. Die Überlegenheit der AR-Anwendung zeigt sich noch deutlicher, wenn das Wissen nicht direkt nach der Schulungsmaßnahme, sondern sieben Tage danach abgerufen wird. Augmented Reality soll demnach die Aufnahme und Speicherung von Wissen im Langzeitgedächtnis begünstigen.
9. Gonzalez-Franco et al. (2017) weisen nach, mit AR-Anwendungen annähernd gute Ergebnisse hinsichtlich Erkenntnisgewinnung und Wissenserhalt zu erzielen als mit Face-to-Face-Instruktionen. Während beide Vermittlungsformen einen nahezu äquivalenten Wissenserhalt bewirken, scheint die Face-to-Face-Instruktion jedoch Vorteile hinsichtlich der Erkenntnisgewinnung während des Schulungsprozesses aufweisen zu können.
10. Sim et al. (2019) stellen ihre VR-Anwendung mit einem klassischen Präsenzseminar, bei dem PowerPoint-Folien Verwendung finden, gegenüber. Ihre Ergebnisse zeigen, dass ihr VR-System effektiver ist und dabei mehr Wissen von den Teilnehmer_innen aufgenommen wird.
11. Edrich et al. (2016) zeigen, mit Web-based Trainings bessere Ergebnisse zu erzielen als mit Klassenraum-basierten Seminaren, bei denen PowerPoint-Präsentationen zum Einsatz kommen. Verglichen werden dabei die Ergebnisse von Multiple-Choice (MC)-Tests und praktischen Tests, welche sowohl einen Tag als auch vier Wochen nach der Schulung durchgeführt wurden.
12. Boud et al. (1999) vergleichen die Ausführungszeiten einer Montageaufgabe, nachdem sie die Teilnehmer_innen mittels verschiedener Vermittlungsformen auf die auszuführende Aufgabe eingeschult haben. Dabei beobachten sie eine signifikant geringere Ausführungszeit bei der AR-Anwendung im Vergleich zur VR-Anwendung.
13. Gavish et al. (2015) stellen in ihrer Publikation eine VR- mit einer AR-Anwendung gegenüber. Dabei kommen sie zum Ergebnis, dass die AR-

Anwendung die VR-Anwendung sowohl hinsichtlich der Anwenderzufriedenheit als auch der Usability übertrifft.

14. Werrlich et al. (2018) kommen zum Schluss, dass AR-Anwendungen durchaus als Alternative zu Face-to-Face-Trainings in Betracht gezogen werden können, allerdings noch gewisse Schwächen bestehen. Etwa war die Qualität der ausgeführten Montageschritte signifikant besser, wenn eine trainergeführte Instruktion als Vermittlungsform zum Einsatz kam.
15. Kim (2012) vergleichen in ihrer Studie Instructor-based Training (IBT) mit Computer-based Training (CBT). Ihre Ergebnisse zeigen, dass mit IBT signifikant mehr Wissen vermittelt werden kann als mit CBT. Teilnehmer_innen des CBTs konnten hingegen nach 60 Tagen einen höheren Wissenserhalt aufweisen. Nach 90 Tagen war der Wissenserhalt allerdings wieder auf gleichem Niveau.
16. Danziger (2000) stellt in seiner Studie die Effektivität verschiedener Vermittlungsformen gegenüber. Verglichen wird dabei die von den Nutzer_innen empfundene Effektivität, die mittels einer vierstufigen Ratingskala abgefragt wurde. Instruktor-basiertes Training war unabhängig davon, ob dieses mit einem oder mehreren Schulungsteilnehmer_innen durchgeführt wurde, Computer-basiertem Training überlegen. Dies gilt sowohl für erstmalige als auch für fortlaufende Schulungen.

Tabelle 5 | Berücksichtigte Studien beim Nutzenvergleich

Quelle: eigene Darstellung

#	Autoren	Vergleich von	Vergleichsgröße	n	Ergebnis
(1)	Doolani et al., 2020	VR-Anwendung mit HMD, Video, Handbücher	Trainingsdauer, Ausführungszeit, Ausführungszeit nach 7 Tagen, Fehlerrate, Fehlerrate nach 7 Tagen	30	VR > Video > Handbuch
(2)	Singh et al., 2019	AR-Anwendung mit Bildschirm, Desktop-based Training	Trainingsdauer, Ausführungszeit, Anzahl korrekt durchgeführter Arbeitsschritte nach Training	12	AR > DBT
(3)	Al-Ahmari et al., 2018	Phys. 3D-Modelle, VR-Anwendung mit Bildschirm, papiergebundene Zeichnungen	Ausführungszeit, Fehlerrate, Erfüllungsquote	25	3D-Modelle > VR > Papier
(4)	Chao et al., 2017	VR-Anwendung mit Bildschirm, Video, Handbuch	Fehlerrate, Ausführungszeit	48	VR > Video > Handbuch
(5)	Langley et al., 2016	VR-Anwendung mit Projektor, papierbasierte Unterlagen	Ausführungszeit, Fehlerrate	30	VR > Papier
(6)	Menn et al., 2018	3D-PDF, Video, papiergebundene Bildanleitung	Ausführungszeit	k.A.	3D-PDF > Video > Papier
(7)	Hou et al., 2013	AR-Anwendung mit Projektor, Papieranleitung	Ausführungszeit, Fehlerrate	50	AR > Papier
(8)	Valimont et al., 2002	AR-Anwendung mit Bildschirm, Video, papierbasierte Unterlagen	Abrufzeit, Abrufzeit nach 7 Tagen	64	AR > Video > Papier
(9)	Gonzalez-Franco et al., 2017	Face-to-Face-Instruktion, AR-Anwendung mit HMD	Erkenntnisgewinn, Wissenserhalt	20	Instruktion > AR
(10)	Sim et al., 2019	VR-Anwendung mit HMD, Seminar	Erkenntnisgewinn	10	VR > Seminar
(11)	Edrich et al., 2016	Web-based Training, Seminar	MC-Test und praktischer Test einen Tag sowie 4 Wochen nach Schulung	180	WBT > Seminar
(12)	Boud et al., 1999	AR-Anwendung mit HMD, VR-Anwendungen mit HMD und Bildschirm	Ausführungszeit	25	AR > VR
(13)	Gavish et al., 2015	AR-Anwendung mit Tablet, VR-Anwendung mit Bildschirm	Anwenderzufriedenheit, Usability	40	AR > VR
(14)	Werrlich et al., 2018	Face-to-Face-Training, AR-Anwendung mit HMD	Qualität	36	Face-to-Face > AR
(15)	Kim, 2012	Instruktor-basiertes Training, Computer-based Training	Erkenntnisgewinn, Wissenserhalt	212	Instruktion > CBT
(16)	Danziger, 2000	Instruktor-basiertes Training, Computer-based Training	Empfundene Effektivität	324	Instruktion > CBT

Abbildung 24 stellt das Ergebnis des Nutzenvergleichs anschaulich dar. Die Ziffern neben den vertikalen Pfeilen verweisen auf obige Belege. Es zeigt sich, dass auf Basis der berücksichtigten Studien die Vermittlungsform Unterweisung den höchsten Nutzen aufweist.

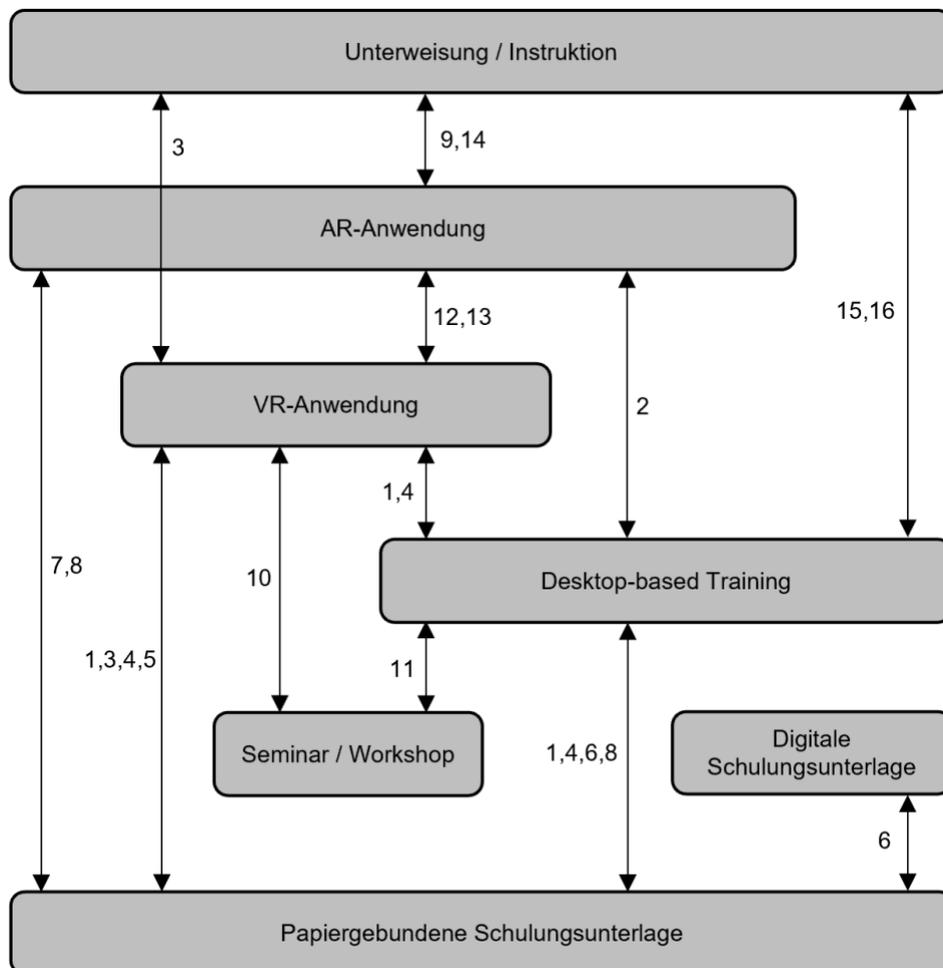


Abbildung 24 | Nutzenvergleich

Quelle: eigene Darstellung

4.2.2 Kostenvergleich

Nachdem in Kapitel 4.2.1 der Nutzen der sieben eigenständigen Vermittlungsformen verglichen wurde, wird in diesem Abschnitt nun ein Vergleich hinsichtlich der anfallenden Kosten durchgeführt. Kosten fallen einerseits für die Erstellung der Anwendung bzw. Schulungsunterlage an. Je größer der dabei gewünschte Immersionsgrad, desto größer ist im Allgemeinen auch der Erstellungsaufwand (vgl. Menn, 2019, S. 66). Andererseits fallen je nach Vermittlungsform auch variable Kosten in Abhängigkeit der Nutzer_innenzahl und Schulungsdauer an.

In der Berechnung wird daher zwischen den einmalig anfallenden Investitionskosten und den variablen Kosten unterschieden. Die variablen Kosten stellen jene Kosten dar, die für Schulungspersonal anfallen. Sie ergeben sich in Abhängigkeit von der

Nutzer_innenanzahl und der Schulungsdauer. Personalkosten der Teilnehmer_innen selbst werden in der Rechnung nicht berücksichtigt, da diese bei allen Vermittlungsformen gleichermaßen anfallen. Eventuelle Unterschiede bei der Dauer der Schulungsmaßnahmen werden ebenso nicht beachtet, da mit Ausnahme von Menn (2019) und Doolani et al. (2020) alle Studien aus Tabelle 5 diesen Faktor nicht berücksichtigen. Der Kostenvergleich wird daher auf Basis einer einstündigen Schulungsmaßnahme durchgeführt.

Bei den Vermittlungsformen Desktop-based Training, digitale Schulungsunterlage und papiergebundene Schulungsunterlage wird angenommen, dass die Wissensvermittlung in Form eines Selbststudiums stattfindet. Folglich fallen für diese Vermittlungsformen keine variablen Kosten an. Auch Investitionen in eigens dafür benötigte Hardware sind bei diesen Vermittlungsformen nicht erforderlich. Bei der Unterweisung / Instruktion hingegen wird angenommen, dass diese von erfahrenen Expert_innen durchgeführt wird. Es fallen hierfür folglich nur variable Kosten an, jedoch keine Investitionskosten. Bei den verbleibenden Vermittlungsformen setzen sich die anfallenden Gesamtkosten sowohl aus den Investitionskosten als auch aus den variablen Kosten zusammen. Für die Formen AR- und VR-Anwendung gehen nachfolgende Überlegungen von einer Umsetzung mittels HMD aus, bei der die Wissensvermittlung ausschließlich durch die Anwendung erfolgt. Bei der digitalen Schulungsunterlage wird von einer Ausgestaltung als 3D-PDF ausgegangen.

Menn (2019) hat im Zuge einer Amortisationsrechnung bereits eine wirtschaftliche Bewertung verschiedener Vermittlungsformen durchgeführt. Berücksichtigt wurden dabei jene Kosten je Vermittlungsform, welche für die Wissensvermittlung mehrerer Montageschritte eines Kompressors anfallen. Die Kostenbewertung in der vorliegenden Arbeit erfolgt auf ähnliche Weise. Insbesondere die Annahmen hinsichtlich der Anschaffungskosten von Hard- und Software sowie die angenommenen Kosten für die Konzepterstellung und -umsetzung orientieren sich an dessen Daten (vgl. Menn, 2019, S. 170–175). Die Kompressormontage dient in der vorliegenden Arbeit als Referenzprozess. Es wird angenommen, dass sich die Kosten bei Prozessen, die hinsichtlich der Erstellung der Schulungsmaßnahme aufwändiger oder weniger aufwändig als der Referenzprozess sind, bei allen Vermittlungsformen in gleichem Verhältnis ändern.

Bei allen Vermittlungsformen mit Ausnahme der Instruktion werden Instandhaltungskosten berücksichtigt. Darunter werden sämtliche Kosten zusammengefasst, die für nachträgliche Anpassungen und Ergänzungen sowie für die Fehlerbehebung anfallen. Die Instandhaltungskosten wurden näherungsweise mit rund 20% der für die Umsetzung anfallenden Kosten angenommen und pauschal den Investitionskosten aufgeschlagen.

Bei jenen Vermittlungsformen, wo Bedarf an Trainingspersonal besteht, wird außerdem ein Betreuungsverhältnis berücksichtigt. Dieses legt fest, wie groß die Anzahl an Teilnehmer_innen ist, die pro Lehrperson an der Schulungsmaßnahme teilnehmen können. Die Festlegung dieses Verhältnisses erfolgt durch Abschätzung unter Berücksichtigung von Erfahrungen aus der Praxis. Beim Lehrpersonal wird zwischen zwei unterschiedlichen Qualifikationen unterschieden. Während bei der Instruktion / Unterweisung und bei Seminaren erfahrene Fachleute benötigt werden, welche alle Nicht-Routineprozesse kennen und die Schulungsinhalte vermitteln, benötigt man bei AR- und VR-Anwendungen das Personal bloß für die Erklärung der Handhabung der für die Schulung benötigten Hardware. Die Wissensvermittlung selbst findet in diesen beiden Fällen jedoch nicht durch das Schulungspersonal statt, es sind hierfür folglich keine Expert_innen notwendig. In der Rechnung wird dies durch unterschiedliche Stundensätze des Lehrpersonals berücksichtigt.

In Abbildung 25 ist das Ergebnis des Kostenvergleichs abgebildet. Dargestellt sind die für eine einstündige Schulungsmaßnahme anfallenden Kosten je Vermittlungsform in Abhängigkeit von der Nutzer_innenanzahl. Die ausführlichen Ergebnisse der Rechnung sind Anhang A zu entnehmen.

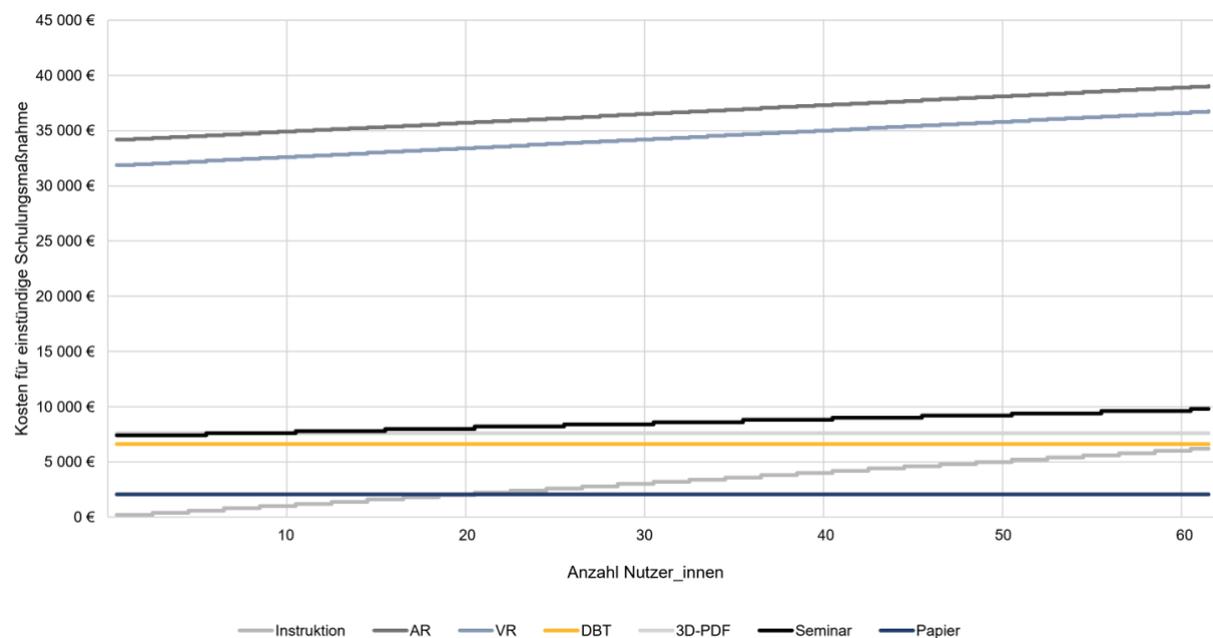


Abbildung 25 | Kostenvergleich

Quelle: eigene Darstellung

Auffällig ist, dass sich die Kosten für AR- und VR-Anwendungen deutlich von jenen der restlichen Vermittlungsformen abheben. Außerdem ergibt sich für den betrachteten Referenzprozess ein Grenzwert von etwa 20 Nutzer_innen, ab dem papiergebundene Schulungsunterlagen kostengünstiger sind als Instruktionen. Dieser Grenzwert lässt sich auch berechnen, indem die für papiergebundene Schulungsunterlagen anfallenden Investitionskosten durch die variablen Kosten einer Instruktion dividiert

werden. Bei Prozessen, die hinsichtlich der Erstellung der Schulungsmaßnahme aufwändiger (weniger aufwändig) als der Referenzprozess sind, werden die sich ergebenden höheren (niedrigeren) Investitionskosten eine Verschiebung dieses Grenzwertes nach oben (unten) verursachen. Aus Gründen der Einfachheit wird dieser Grenzwert allerdings im weiteren Verlauf dieser Arbeit näherungsweise mit 20 Nutzer_innen angenommen.

Die Kosten der Vermittlungsform Blended Learning, für die zwei oder mehrere eigenständige Vermittlungsformen kombiniert werden, ergeben sich aus der Summation jener Kosten, welche für die gewählten eigenständigen Formen anfallen.

4.3 Prämissen

Um der Forderung eines effizienten Kosten-Nutzen-Verhältnisses gerecht zu werden, wurden vier Prämissen formuliert. Diese bilden die Grundlage der Logik, die der entwickelten Methodik zugrunde liegt.

1. Ist im Zuge eines Nicht-Routineprozesses keine Manipulation bzw. kein Betreten der Anlage notwendig, sollen besonders jene Vermittlungsformen in Betracht gezogen werden, welche die geringsten Kosten verursachen.
2. Ist ein Zutritt der Anlage erforderlich und liegt gleichzeitig hohe Komplexität vor, sollen besonders jene Vermittlungsformen in Betracht gezogen werden, welche den höchsten Nutzen aufweisen.
3. Ist ein Zutritt der Anlage erforderlich und liegt gleichzeitig geringe Komplexität vor, sollen besonders jene Vermittlungsformen in Betracht gezogen werden, welche die geringsten Kosten verursachen.
4. Ist ein Zutritt der Anlage erforderlich und liegt gleichzeitig mittlere Komplexität vor, soll darauf geachtet werden, dass Synergieeffekte mit anderen Nicht-Routineprozessen hinsichtlich der Erstellung der Schulungsmaßnahme realisiert werden können.

Als Schlussfolgerung der vierten Prämisse werden zunächst für jene Nicht-Routineprozesse geeignete Vermittlungsformen ausgewählt, die eine hohe oder geringe Komplexität aufweisen. Erst im Anschluss erfolgt die Auswahl für Prozesse mittlerer Komplexität.

4.4 Methodik

Die bisher gewonnenen Erkenntnisse der vorangegangenen Kapitel werden nun zu einer Methodik zusammengeführt. Berücksichtigt werden die als geeignet identifizierten Vermittlungsformen aus Kapitel 3.1, die definierten Klassifikationskriterien aus Kapitel 4.1, die Erkenntnisse aus den Kosten- und Nutzenvergleichen aus Kapitel 4.2 sowie die in Kapitel 4.3 definierten Prämissen. Es soll damit die dritte Forschungsfrage beantwortet werden:

„Wie können die klassifizierten Nicht-Routineprozesse (II) mit geeigneten Schulungsformen (I) unter Berücksichtigung eines effizienten Kosten-Nutzen-Verhältnisses zusammengeführt werden?“

In einem ersten Schritt ist zu beurteilen, ob für den vorliegenden Nicht-Routineprozess eine manuelle Manipulation an der Anlage durch die Anlagenführer_innen erforderlich ist (siehe Abbildung 26 links oben). Ist ein Eingriff notwendig, gilt es als Nächstes zu prüfen, ob die betreffende Station zum geplanten Zeitpunkt der Schulungsmaßnahme für Schulungszwecke zugänglich ist. Sollte dies nicht der Fall sein, können die Vermittlungsformen Unterweisung und AR-Anwendung bereits ausgeschlossen werden, da diese üblicherweise an der realen Anlage durchzuführen sind. Es gilt nun, die Komplexität des vorliegenden Prozesses anhand der Vorgehensweise in Kapitel 4.1.4 zu bestimmen.

Bei hoher Komplexität werden entsprechend der zweiten Prämisse jene Vermittlungsformen in Betracht gezogen, die anhand des in Kapitel 4.2.1 durchgeführten Nutzenvergleichs den höchsten Nutzen aufweisen. Dies sind die Optionen VR-Anwendung und Desktop-based Training, da die Optionen Unterweisung und AR-Anwendung bereits ausgeschlossen wurden. Im nächsten Schritt ist zu beurteilen, ob Erfahrungen von bestehenden Produktionsanlagen vorhanden sind. Liegen diese nicht vor, wird eine VR-Anwendung als geeignete Vermittlungsform empfohlen. Ist Erfahrung vorhanden, wird ein Desktop-based Training angeraten.

Bei geringer Komplexität werden entsprechend der dritten Prämisse jene Vermittlungsformen in Betracht gezogen, die anhand des in Kapitel 4.2.2 durchgeführten Kostenvergleichs die geringsten Kosten aufweisen. Nachdem die Unterweisung bereits ausgeschlossen wurde, sind dies, unabhängig von der Nutzer_innenanzahl, die Optionen papiergebundene Unterlage und Desktop-based Training. Es ist zu prüfen, ob Erfahrung über die betreffende Station vorliegt. Ist dies der Fall, wird eine papiergebundene Schulungsunterlage als geeignete Vermittlungsform empfohlen. Andernfalls wird zu einem Desktop-based Training geraten.

Bei mittlerer Komplexität ist zunächst zu prüfen, ob Erfahrung über die betreffende Station vorliegt. Ist dies der Fall, wird eine papiergebundene Schulungsunterlage

empfohlen. Liegt keine Erfahrung vor, ist entsprechend der vierten Prämisse zu überprüfen, ob bereits eine VR-Anwendung für einen anderen Nicht-Routineprozess der gleichen Station als geeignete Vermittlungsform ausgewählt wurde. Trifft dies zu, wird auch für den vorliegenden Nicht-Routineprozess eine VR-Anwendung empfohlen, da hier der Aufwand aufgrund der Synergiepotenziale überschaubar bleibt. Ist für die betreffende Station bisher noch keine VR-Anwendung vorgesehen, wird für den vorliegenden Nicht-Routineprozess stattdessen ein Desktop-based Training empfohlen.

Ist der Zutritt zur Anlage zum geplanten Zeitpunkt der Schulungsmaßnahme möglich, gleichzeitig aber ein unabhängiger Abruf gewünscht, ist so fortzufahren, als wäre kein Anlagenzutritt möglich. Vermittlungsformen, die nicht zeit- und ortsunabhängig abgerufen werden können, werden so ausgeschlossen. Auch VR-Anwendungen, die vor der erstmaligen Nutzung noch einer Erklärung durch Trainingspersonal hinsichtlich der Handhabung bedürfen, können bei erneuter Nutzung zu einem späteren Zeitpunkt selbstständig durch die Mitarbeitenden abgerufen werden.

Ist ein Zutritt zur Anlage möglich, aber ein unabhängiger Abruf nicht gewünscht, wird eine Unterweisung als geeignete Vermittlungsform empfohlen. Diese weist in diesem Fall den höchsten Nutzen bei gleichzeitig geringen Kosten auf.

Wenn keine manuelle Manipulation an der Anlage notwendig ist, werden entsprechend der ersten Prämisse jene Vermittlungsformen mit den geringsten Kosten in Betracht gezogen. Dies sind die Optionen Unterweisung und papiergebundene Schulungsunterlage. Im nächsten Schritt ist zu prüfen, ob die voraussichtliche Nutzer_innenzahl der Schulungsmaßnahme die Zahl 20 übersteigt. Bei mehr als 20 Nutzer_innen wird eine papiergebundene Schulungsunterlage als geeignete Vermittlungsform empfohlen. Andernfalls wird zu einer Unterweisung geraten, da sich die Erarbeitung einer papiergebundenen Unterlage finanziell noch nicht rentiert (vgl. Abbildung 25).

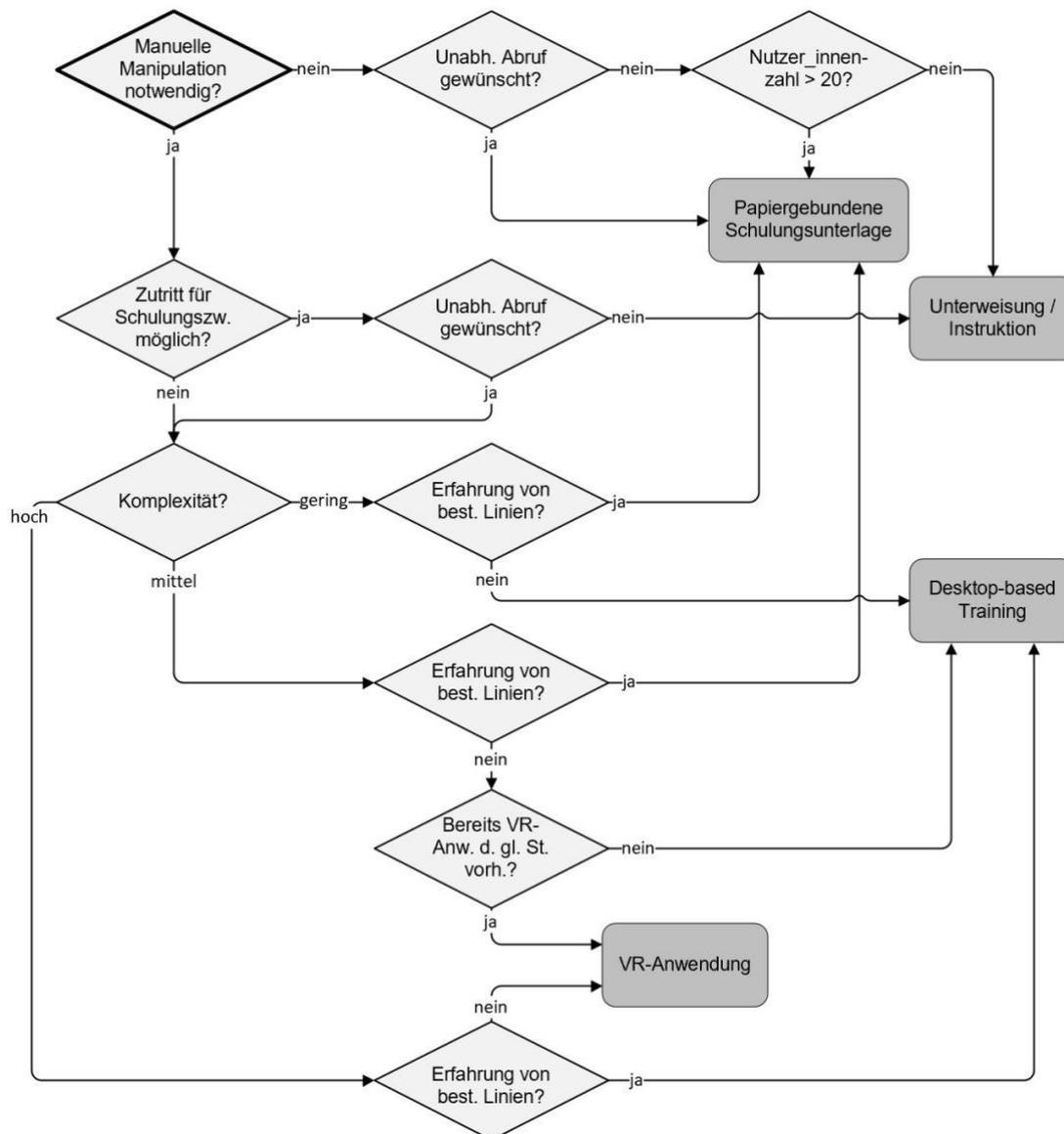


Abbildung 26 | Ablaufdiagramm der entwickelten Methodik

Quelle: eigene Darstellung

Das in Abbildung 26 dargestellte Ablaufdiagramm bildet gemeinsam mit Tabelle 4 ein Tool, das Mitarbeiter_innen der technischen Planung bei der Auswahl geeigneter Vermittlungsformen unterstützen soll. Wird für einen Nicht-Routineprozess die Vermittlungsform Blended Learning als notwendig erachtet, kann die Methodik auch dabei unterstützen, eine geeignete Vermittlungsform für das Selbststudium auszuwählen, die mit einer Präsenzschiung kombiniert werden kann. Hierfür geht man einfach davon aus, als ob kein Zutritt zur Anlage für Schulungszwecke möglich wäre, und folgt anschließend der weiteren Vorgehensweise in Abbildung 26.

5 Anwendung der Methodik

Die entwickelte Methodik wird auf die vorliegenden Nicht-Routineprozesse der neuen Statorlinie im BMW Group Werk Dingolfing angewendet und nachfolgend im Zuge einer Befragung validiert. Kapitel 5.1 beschreibt die Anwendung der Methodik auf drei exemplarische Nicht-Routineprozesse. Kapitel 5.2 dokumentiert die anschließende Validierung.

5.1 Ausgewählte Beispielprozesse

5.1.1 NiO-Prozess „Papierstau“

Der erste im Detail betrachtete Nicht-Routineprozess ist ein NiO-Prozess, der für den Bearbeitungsschritt Nutisolation (siehe Kapitel 2.4.2) definiert wurde. Isolationspapier wird dabei vollautomatisch über einen Rill- und Falzvorgang in Form gebracht und anschließend von oben in die Statornuten eingeschoben. Faktoren wie Verschmutzung, Fremdkörper oder nicht spezifikationskonforme Nutabmessungen am Blechpaket können allerdings dazu führen, dass das Isolationspapier nicht ordnungsgemäß eingeschoben werden kann und ein Papierstau entsteht. Der Papierstau kann dabei nur in der Statornut entstehen, meist reicht dieser aber zurück bis in die Falzeinheit. Die Detektion des Fehlerfalles erfolgt über eine Laserwegmessung. Im Regelfall erkennt ein Laser, wenn das Isolationspapier das untere Ende einer Statornut erreicht hat. Durch einen Papierstau wird das untere Ende der Nut allerdings nie erreicht. Die Anlage wird in diesem Fall automatisch angehalten und eine Störungsmeldung am HMI ausgegeben. Für die Anlagenführer_innen an der Station gilt es nun, die in Abbildung 27 dargestellten Prozessschritte abzarbeiten. Nach der Entfernung des Papierstaus ist zu klären, ob bereits bei mehr als 75% der Nuten Isolationspapier eingeschoben wurde. Ist dies der Fall, muss das Blechpaket ausgeschleust werden, da eine automatische Nutsuche und damit eine Fortsetzung des Einschubvorganges beim betreffenden Blechpaket nicht mehr möglich ist. Ist dies nicht der Fall, können die Werker_innen nach Begutachtung des Blechpakets dieses trotzdem ausschleusen. Grund hierfür könnte sein, dass das Blechpaket als Ursache für den Papierstau vermutet wird. Andernfalls kann die Nutsuche erneut gestartet und mit dem Regelprozess fortgefahren werden.

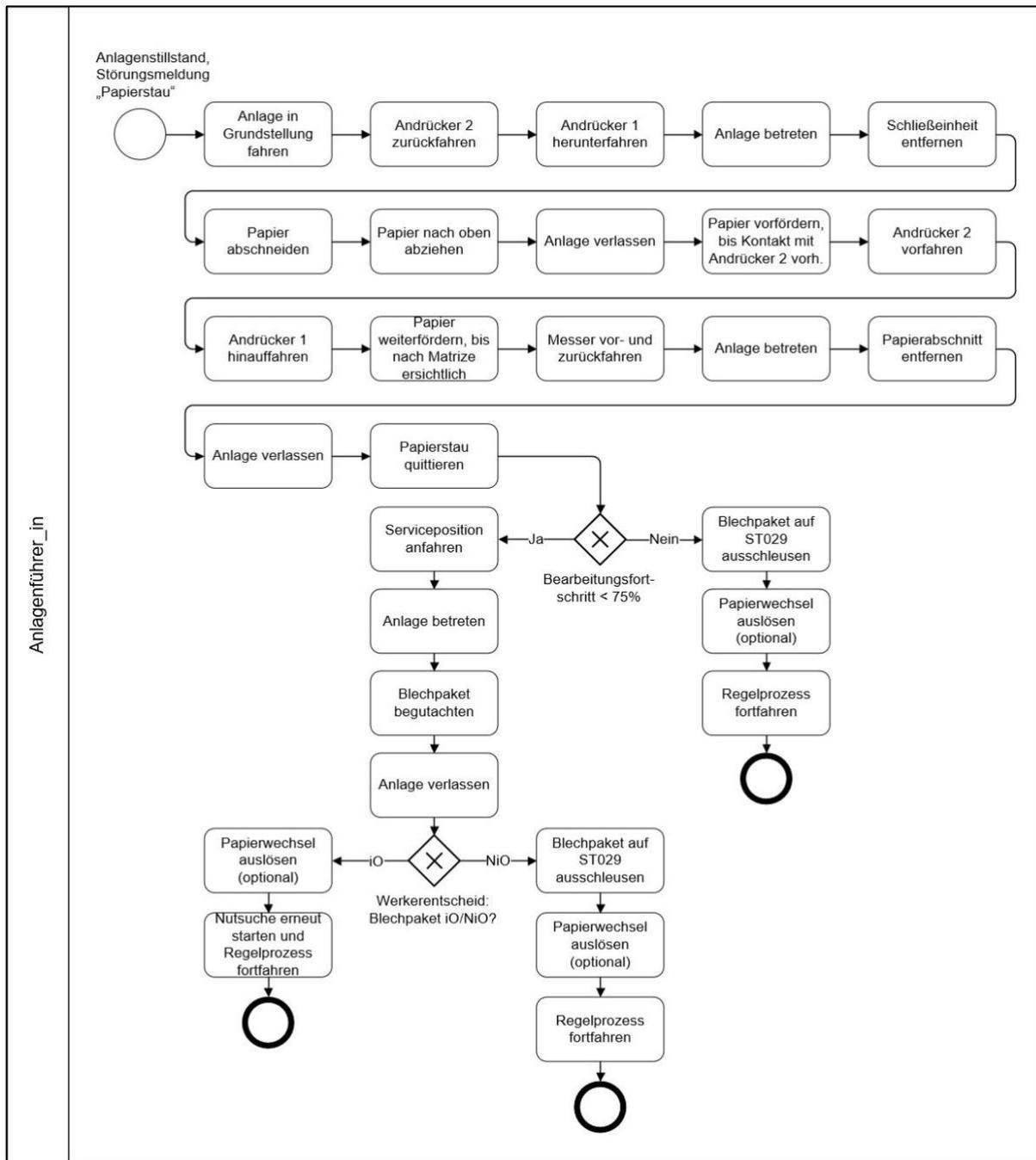


Abbildung 27 | Prozessmodellierung des NiO-Prozesses „Papierstau“

Quelle: eigene Darstellung

Um nun eine für diesen Nicht-Routineprozess geeignete Vermittlungsform zu wählen, wird entsprechend der entwickelten Methodik (siehe Abbildung 26) vorgegangen. Die abgefragten Kriterien sind in Tabelle 6 übersichtlich zusammengefasst.

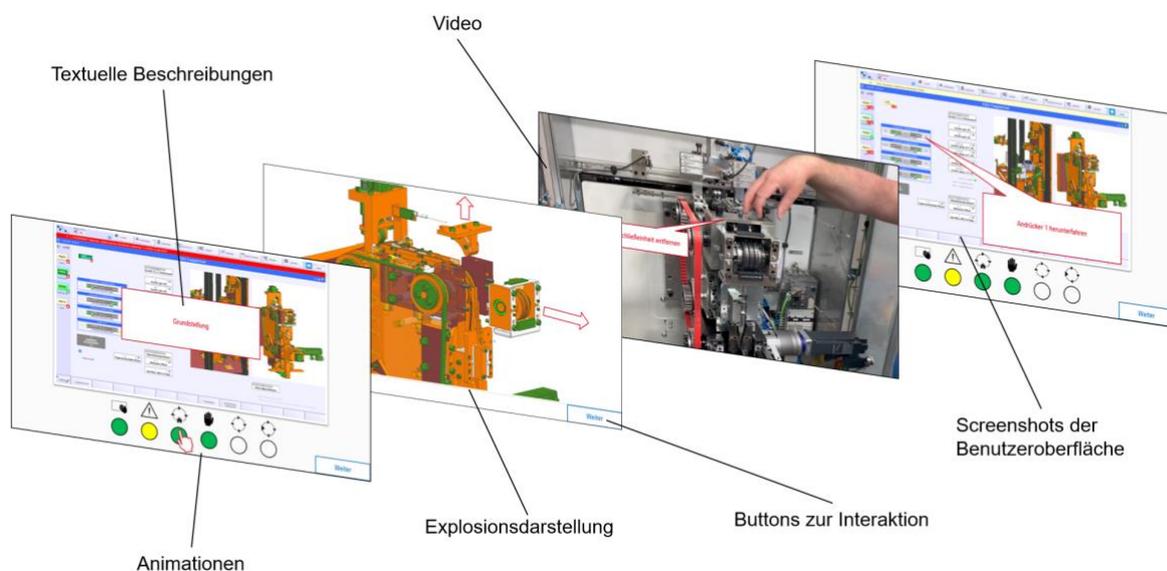
Tabelle 6 | Abgefragte Kriterien des NiO-Prozesses „Papierstau“

Quelle: eigene Darstellung

Abgefragte Kriterien	
Manuelle Manipulation notwendig?	ja
Zutritt für Schulungszwecke möglich?	ja
Unabhängiger Abruf gewünscht?	ja
Komplexität?	hoch
Erfahrung von bestehenden Linien vorhanden?	ja

Eine manuelle Manipulation an der Anlage ist jedenfalls notwendig, da diese den Papierstau nicht automatisch beseitigen kann. Zutritt zur Anlage für Schulungszwecke ist möglich, beispielsweise während der Wiederinbetriebnahme im Werk kurz vor BBÜ (vgl. hierzu Abbildung 19). In Absprache mit den Betreibern ist bei diesem NiO-Prozess ein unabhängiger Abruf gewünscht. Es soll möglich sein, die Information über die Durchführung des Prozesses auch zu einem späteren Zeitpunkt bei Bedarf nochmals abrufen zu können. Zur Beurteilung der Komplexität werden die Knoten und Konnektoren in Abbildung 27 abgezählt. Die sich ergebenden 29 Knoten und zwei Konnektoren bedeuten entsprechend Tabelle 4 eine hohe Komplexität. Erfahrung von bestehenden Linien ist vorhanden. Im Werk Dingolfing wird bereits eine Statorlinie betrieben, die zwar nicht ident, jedoch hinsichtlich vieler Merkmale ähnlich ist. Der Methodik zufolge ergibt sich als empfohlene Vermittlungsform schließlich ein Desktop-based Training.

Auf Basis dieser Empfehlung wurde exemplarisch ein Desktop-based Training für den betrachteten NiO-Prozess entworfen. Ausschnitte davon sind in Abbildung 28 ersichtlich.

**Abbildung 28 | Ausschnitte aus dem Desktop-based Training**

Quelle: eigene Darstellung

5.1.2 NiO-Prozess „Weiten“

Der zweite Nicht-Routineprozess, der detailliert betrachtet wird, ist erneut ein NiO-Prozess. Dieser wurde für den Bearbeitungsschritt Weiten (siehe Kapitel 2.4.2) definiert. Die Kupferenden der in das Blechpaket gefügten Hairpins werden dabei radial freigestellt, sodass beim nachfolgenden Schränkprozess eine axiale Zugänglichkeit des Schränkwerkzeuges gewährleistet ist. Beim Weitprozess selbst wird jedes Kupferende von einem Greifer in eine definierte Endlage gebracht. Ein Sensor erkennt, ob die Endlage erreicht wird. Ungewöhnlich hohe Umformkräfte etwa können jedoch dazu führen, dass die Endlage nicht erreicht wird. In diesem Fall wird die Anlage automatisch angehalten und eine Störungsmeldung am HMI ausgegeben. Für die Fortsetzung des Regelprozesses müssen die Anlagenführer_innen entsprechend Abbildung 29 vorgehen. Nach einer Grundstellungsfahrt ist zu entscheiden, ob eine manuelle Pinkorrektur gewünscht ist. Ist dies der Fall, kann über die Visualisierung am HMI identifiziert werden, welcher Pin die Greiferendlage verhindert. Mit dieser Information kann anschließend die Anlage betreten und versucht werden, die Position des Pins manuell zu korrigieren. Nach einer automatischen Schablonenprüfung, die manuell über das HMI anzuwählen ist, kann mit dem Regelprozess fortgefahren werden. Sollte die Schablonenprüfung negativ ausfallen oder eine manuelle Pinkorrektur von vornherein nicht gewünscht sein, wird das Bauteil nach Knopfdruck am HMI automatisch ausgeschleust und der Regelprozess fortgesetzt.

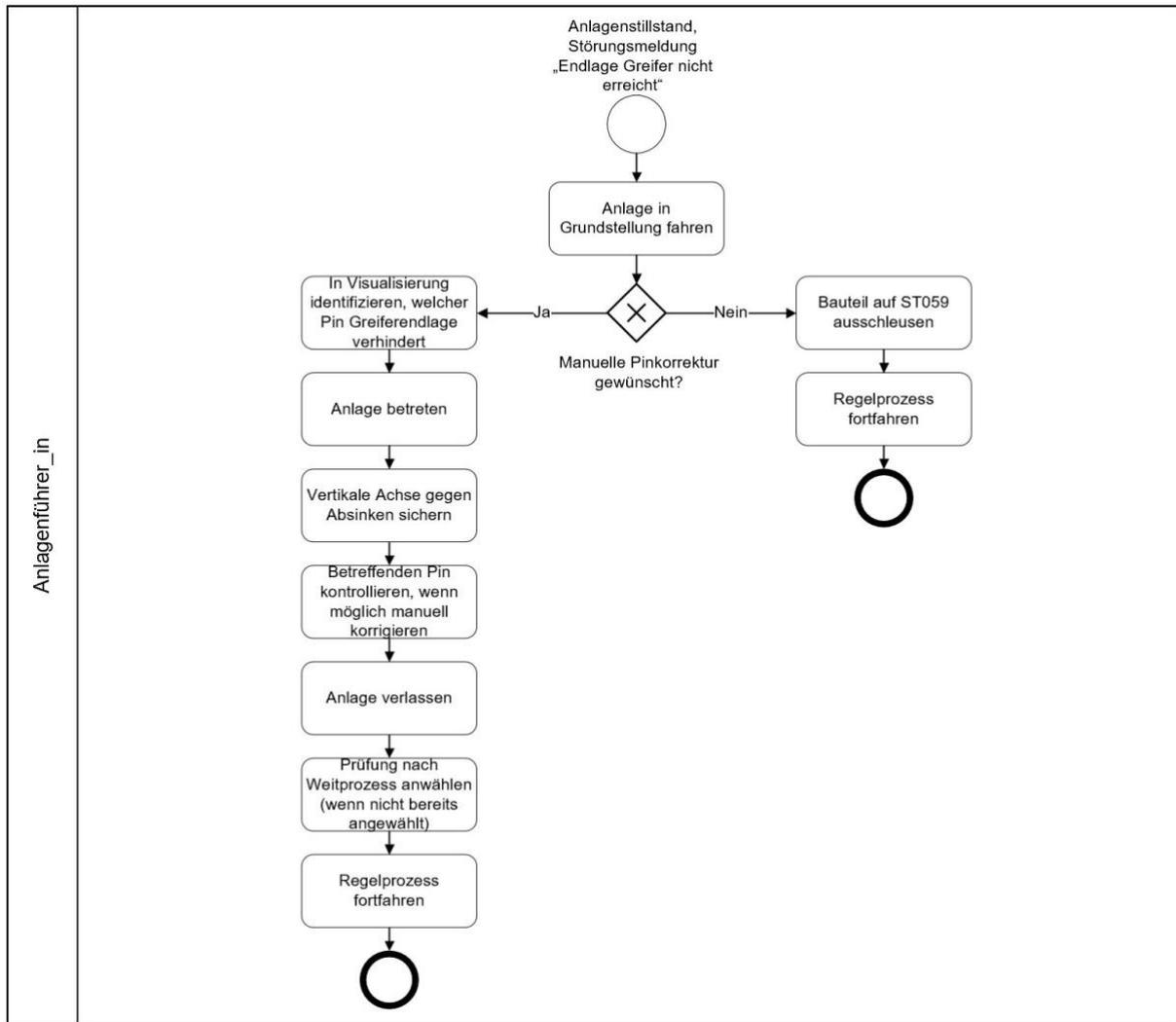


Abbildung 29 | Prozessmodellierung des NiO-Prozesses „Weiten“

Quelle: eigene Darstellung

Für die Wahl einer geeigneten Vermittlungsform wird wieder die entwickelte Methodik angewendet. Tabelle 7 zeigt die abgefragten Kriterien.

Tabelle 7 | Abgefragte Kriterien des NiO-Prozesses „Weiten“

Quelle: eigene Darstellung

Abgefragte Kriterien	
Manuelle Manipulation notwendig?	ja
Zutritt für Schulungszwecke möglich?	ja
Unabhängiger Abruf gewünscht?	ja
Komplexität?	mittel
Erfahrung von bestehenden Linien vorhanden?	ja

Eine manuelle Manipulation an der Anlage ist jedenfalls dann notwendig, wenn eine manuelle Pinkorrektur gewünscht ist. Zutritt zur Anlage für Schulungszwecke ist möglich. Die Möglichkeit eines unabhängigen Abrufs soll auch hier vorgesehen

werden. Zur Komplexitätsmessung werden wieder die vorliegenden Knoten und Konnektoren abgezählt. Zehn Knoten und ein Konnektor bedeuten laut Tabelle 4 mittlere Komplexität. Nachdem hinsichtlich dieses NiO-Prozesses Erfahrung von bestehenden Linien vorhanden ist, ergibt sich eine papiergebundene Schulungsunterlage als empfohlene Vermittlungsform (siehe Abbildung 30 für eine symbolhafte Darstellung).



Abbildung 30 | Papiergebundene Schulungsunterlage

Quelle: eigene Darstellung

5.1.3 Sonderprozess „Blechpakete auflegen“

Der dritte im Detail betrachtete Nicht-Routineprozess ist ein Sonderprozess. Es handelt sich hierbei um eine Notfahrweise der ersten in der Produktionslinie angeordneten Automatikstation. Im Regelprozess entnimmt ein Roboter die Blechpakete aus den bereitgestellten Großladungsträgern (GLT), legt sie auf den am Transfersystem platzierten Werkstückträgern (WT) ab und richtet sie anhand einer am Blechpaket angebrachten Kennnut aus. Sollte allerdings der Roboter für längere Zeit ausfallen, würde die gesamte Produktionslinie stillstehen. Als Abhilfe wurde daher dieser Sonderprozess definiert, um in einem solchen Fall die Blechpakete vorübergehend manuell auflegen zu können. Bei Bedarf kann diese Sonderfunktion am HMI angewählt und der Prozess entsprechend Abbildung 31 abgearbeitet werden. Nach Anwahl der Sonderfunktion schleust das Transfersystem unbeladene WT's durch die Beladestation durch. Die Anlagenführer_innen können schließlich am Handbeladeplatz, welcher nach der Station angeordnet ist, die Blechpakete manuell auflegen und nach der Kennnut ausrichten. Um den Beladevorgang abzuschließen, muss der DMC gescannt und die Beladung quittiert werden. Dieser manuelle Beladevorgang kann beliebig oft wiederholt werden, bis die Sonderfunktion am HMI wieder abgewählt wird.

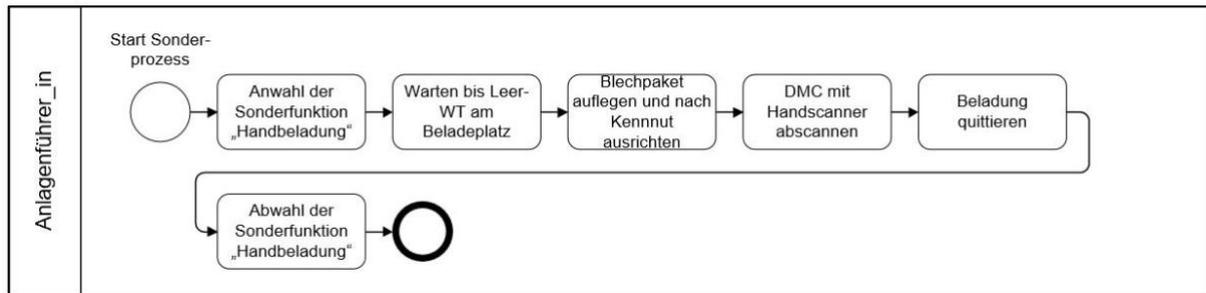


Abbildung 31 | Prozessmodellierung des Sonderprozesses „Blechpakete auflegen“

Quelle: eigene Darstellung

Für die Auswahl einer geeigneten Vermittlungsform wird erneut anhand des Ablaufdiagramms in Abbildung 26 vorgegangen. Eine Zusammenfassung der abgefragten Kriterien ist in Tabelle 8 ersichtlich.

Tabelle 8 | Abgefragte Kriterien des Sonderprozesses „Blechpakete auflegen“

Quelle: eigene Darstellung

Abgefragte Kriterien	
Manuelle Manipulation notwendig?	ja
Zutritt für Schulungszwecke möglich?	ja
Unabhängiger Abruf gewünscht?	nein

Eine manuelle Manipulation an der eigentlichen Anlage ist zwar nicht direkt notwendig, allerdings muss der Anlagenführer manuelle Tätigkeiten am Handbeladeplatz ausführen. Zutritt zur Anlage für Schulungszwecke ist gegeben. Ein unabhängiger Abruf ist in diesem Fall nicht notwendig, da bei Notfahrweisen laut Betreiber eine einmalige Schulungsmaßnahme ausreichend ist. Entsprechend der Methodik ergibt sich als empfohlene Vermittlungsform eine persönliche Unterweisung / Instruktion.

5.2 Validierung

Die entwickelte Methodik wurde hinsichtlich mehrerer Kriterien validiert. Die Validierung erfolgte in Form einer Befragung der Prozessplaner_innen. Sie gelten als Betroffene, welche die Methodik bei der Auswahl geeigneter Vermittlungsformen unterstützen soll. Ihr Feedback ist deshalb von besonderer Relevanz. Es handelte sich folglich um ein Betroffenen-Interview (vgl. Döring & Bortz, 2016, S. 357).

An der Befragung nahmen acht Prozessplaner_innen teil (5 männlich, 3 weiblich). Die Teilnahme an der Befragung erfolgte auf freiwilliger Basis und anonym. Alle Teilnehmenden sind Beschäftigte der BMW Group an den Standorten München oder Dingolfing und haben zwischen einem und mehreren Jahren Berufserfahrung im Bereich der technischen Planung.

5.2.1 Ablauf

Die Befragung erfolgte in Form von Einzelinterviews, wobei diese je nach Verfügbarkeit der Befragungspersonen entweder persönlich oder online über ein Videokonferenz-Tool durchgeführt wurden. Als Hilfsmittel bei den Interviews kamen PowerPoint-Folien zum Einsatz. Den Teilnehmer_innen wurde zunächst die Methodik sowie deren Hintergründe und Ziele vorgestellt. Anschließend wurde die Anwendung der Methodik anhand jener drei Nicht-Routineprozesse demonstriert, die in Kapitel 5.1 detailliert beschrieben sind. Dabei wurde Schritt für Schritt die Vorgehensweise erklärt, wie man mithilfe der Methodik für einen vorliegenden Nicht-Routineprozess eine geeignete Vermittlungsform ableiten kann. Die Befragungspersonen hatten dabei die Möglichkeit, Fragen zu stellen, um etwaige Unklarheiten hinsichtlich der Vorgehensweise auszuräumen.

Es folgte das eigentliche Interview. Dieses wurde als vollstrukturiertes Interview durchgeführt. Döring und Bortz (2016) zufolge ist ein vollstrukturiertes Interview dadurch gekennzeichnet, dass dabei ein standardisiertes Interviewinstrument in Form eines Interview-Fragebogens zur Anwendung kommt. Dieser beinhaltet eine bestimmte Anzahl an geschlossenen Fragen oder Aussagen mit klar definierten Antwortmöglichkeiten. Beim Interview werden der Befragungsperson die Fragen oder Aussagen samt den Antwortmöglichkeiten entsprechend der laut Fragebogen vorgegebenen Reihenfolge vorgelesen und die dazugehörigen Antworten notiert (vgl. Döring & Bortz, 2016, S. 356).

Die Teilnehmenden wurden mit sieben Aussagen konfrontiert. Der genaue Wortlaut der Aussagen ist in Anhang B ersichtlich. Es standen jeweils vier Antwortmöglichkeiten zur Verfügung: (1) Stimme voll zu, (2) Stimme eher zu, (3) Stimme eher nicht zu, sowie (4) Stimme nicht zu. Zusätzlich wurden die Teilnehmer_innen gebeten, zu jeder Frage eine kurze Begründung abzugeben, warum ihre Wahl auf die entsprechende Antwortmöglichkeit gefallen ist. Grund hierfür war die Hoffnung, dadurch Verbesserungsvorschläge zu erhalten. Außerdem hatten die Befragungspersonen dadurch die Möglichkeit, positive und negative Kritikpunkte zu äußern und zusätzliche Anmerkungen zu kommunizieren.

5.2.2 Ergebnisse

Die Kriterien, auf welchen die entwickelte Methodik basiert, waren für alle Befragten nachvollziehbar. Jeweils vier Personen stimmten der Aussage voll bzw. eher zu. Ein Befragter gab als Begründung an, dass sich die berücksichtigten Kriterien mit seiner Erfahrung decken. Eine weitere Befragungsperson merkte an, dass sie die persönliche Erfahrung der Schulungsteilnehmer_innen stärker gewichten würde, sollte ein Nicht-Routineprozess einen Handarbeitsplatz betreffen.

Auch die Durchführung der einzelnen Schritte war verständlich. Vier Personen stimmten voll und vier Personen eher zu. Als Begründung wurden eine eindeutige Beschreibung, eine klare Formulierung und eine logische Vorgehensweise genannt. Der Mehrheit der Befragungspersonen war sofort klar, wie die Methodik anzuwenden ist. Eine Person merkte an, dass eine kurze Erklärung der Vorgehensweise vor der erstmaligen Verwendung sinnvoll sei.

Der Aussage, dass die Methodik bei der Wahl einer geeigneten Vermittlungsform unterstütze, stimmten zwei Personen voll zu. Begründet wurde dies damit, dass die Methodik Subjektivität im Entscheidungsprozess reduziert und ein objektives Bild darstellt. Fünf Personen stimmten der Aussage eher zu. Angemerkt wurde hier etwa der zeitliche Aufwand, der anfällt, wenn man die Methodik auf alle vorhandenen Nicht-Routineprozesse einer Produktionslinie durchgängig anwendet. Eine andere Person gab zu bedenken, dass die Methodik für sehr erfahrene Produktionsplaner_innen weniger relevant sein könnte, da Entscheidungen hinsichtlich geeigneter Vermittlungsformen eher intuitiv getroffen werden würden. Eine Person stimmte der Aussage eher nicht zu. Begründet wurde dies damit, dass Entscheidungen über geeignete Vermittlungsformen öfter auch von anderer Stelle, etwa von den verantwortlichen Meister_innen oder Vorarbeiter_innen, gefällt werden. Die Methodik würde in diesem Fall eher die Meister_innen oder Vorarbeiter_innen unterstützen und weniger das Planungspersonal.

Eine Einsetzbarkeit der Methodik in der Praxis scheint überwiegend gegeben zu sein. Drei Personen stimmten der Aussage voll und fünf Befragte eher zu. Eine Befragungsperson merkte an, dass eine Praxistauglichkeit klar gegeben sei, äußerte allerdings Unsicherheit hinsichtlich des Willens der bewertenden Stellen, die Methodik auch durchgängig einzusetzen.

Die Methodik scheint zu einer Verbesserung der Ist-Situation beizutragen. Jeweils vier Personen stimmten der Aussage voll bzw. eher zu. Begründet wurde dies damit, dass die Methodik erhöhtes Bewusstsein für die Notwendigkeit geeigneter Vermittlungsformen schafft und Alternativen zu den bisher weit verbreiteten Optionen Unterweisung und papiergebundene Schulungsunterlage aufweist. Auch die Auswahl einer zusätzlichen Vermittlungsform, die als Ergänzung zu einer Unterweisung oder papiergebundenen Schulungsunterlage dienen soll, wurde als sinnvolle Anwendungsmöglichkeit der Methodik genannt. Angemerkt wurde außerdem, dass Entscheidungen dadurch auf Basis klarer Kriterien getroffen werden können und weniger von der persönlichen Erfahrung und Intuition der Entscheidungsträger_innen abhängen.

Der Aussage, dass die bei der exemplarischen Demonstration resultierenden Vermittlungsformen dem Komplexitätsgrad des jeweiligen Prozesses angemessen sind, stimmten fünf Personen voll zu. Drei Befragte stimmten eher zu. Als Begründung

wurde durchgängig angegeben, dass die eigene Erfahrung das Ergebnis bestätigt und dieses daher plausibel und sinnvoll erscheint.

Der Gesamteindruck der Befragten, den die Methodik und deren Vorgehensweise vermittelt hat, war einhellig positiv. Fünf Personen stimmten voll und drei Befragungspersonen eher zu. Die Bewertung des Komplexitätsgrades durch Abzählen von Knoten und Konnektoren wurde als innovative Möglichkeit der Komplexitätsbewertung hervorgehoben. Eine Person nannte als Begründung den gelungenen Übertrag wissenschaftlicher Erkenntnisse auf eine Problemstellung aus der betrieblichen Praxis. Der zeitliche Aufwand, der sich für eine durchgängige Anwendung der Methodik auf alle vorhandenen Nicht-Routineprozesse einer Produktionslinie ergeben würde, wurde als Hemmnis einer breiten Akzeptanz genannt. Folglich wurde als weitere Handlungsempfehlung eine Reduzierung des anfallenden zeitlichen Aufwandes nahegelegt.

In der nachfolgenden Tabelle 9 wird das Ergebnis der Befragung übersichtlich dargestellt.

Tabelle 9 | Ergebnis der Befragung

Quelle: eigene Darstellung

#	Aussagen	Stimme voll zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu
(1)	Die Kriterien, auf welchen die Methodik basiert, sind für mich nachvollziehbar.	4	4	0	0
(2)	Die Durchführung der einzelnen Schritte ist verständlich.	4	4	0	0
(3)	Die Methodik unterstützt mich bei der Wahl einer geeigneten Vermittlungsform.	2	5	1	0
(4)	Die Methodik ist für den Einsatz in der Praxis geeignet.	3	5	0	0
(5)	Die Methodik trägt zu einer Verbesserung der Ist-Situation bei.	4	4	0	0
(6)	Die bei der exemplarischen Demonstration resultierenden Vermittlungsformen sind meiner Einschätzung nach dem Komplexitätsgrad des Prozesses angemessen.	5	3	0	0
(7)	Ich habe einen guten Gesamteindruck.	5	3	0	0

5.2.3 Diskussion der Ergebnisse

Die Methodik wurde überwiegend als hilfreiches Tool empfunden, das dabei unterstützt, Subjektivität zu reduzieren und geeignete Vermittlungsformen für vorliegende Nicht-Routineprozesse auszuwählen. Für erfahrenes Planungspersonal wurde die Methodik als weniger relevant angesehen, da dieses Entscheidungen eher intuitiv auf Basis vergangener Erfahrungen treffen würde. Jedoch könnte gerade hier auch ein Einsatz der Methodik Sinn machen, um alternative Vermittlungsformen verstärkt in das Bewusstsein zu rufen. Junge Entscheidungsträger_innen, die noch weniger Erfahrung vorzuweisen haben, können durch die Anwendung der Methodik jedoch im Entscheidungsprozess unterstützt werden.

Werden Entscheidungen über zu verwendende Vermittlungsformen von Meister_innen oder Vorarbeiter_innen anstatt von Planungspersonal getroffen, ändert dies nichts an der Tatsache, dass die Methodik als Tool zur Entscheidungsfindung eingesetzt werden kann. Die Anwendergruppe spielt keine Rolle, solange diese die vorliegenden Nicht-Routineprozesse anhand der in der Methodik abgefragten Kriterien beurteilen kann.

Eine durchgängige Anwendung der Methodik auf alle definierten Nicht-Routineprozesse einer Produktionslinie wurde als zeitlich aufwändig angesehen. Tatsächlich kann sich die Anzahl jener Nicht-Routineprozesse, wo eine Komplexitätsbewertung entsprechend Tabelle 4 notwendig ist, jedoch schon durch Beantwortung des ersten in der Methodik abgefragten Kriteriums deutlich reduzieren. Liegt etwa beim Großteil der vorliegenden Nicht-Routineprozesse keine Notwendigkeit einer manuellen Manipulation vor, bedarf es nur bei wenigen Prozessen einer detaillierteren Analyse. Der zeitliche Gesamtaufwand ist folglich deutlich geringer. Je nach Größe und Art der Produktionslinie kann der notwendige zeitliche Aufwand allerdings trotzdem nicht unerheblich sein. Denkbar wäre in diesem Fall, die Methodik nur bei ausgewählten Prozessen als Vergewisserung anzuwenden. Alternativ könnte man auch eine Softwarelösung in Betracht ziehen, welche die Abfrage der verschiedenen Kriterien beschleunigt. Insbesondere die Komplexitätsmessung würde damit erleichtert werden, indem etwa bei vorhandenen BPMN-Modellen die Anzahl an Knoten und Konnektoren automatisch bestimmt wird. Durch diese Maßnahmen könnte der zeitliche Aufwand reduziert und eine breitere Akzeptanz unter den Anwender_innen der Methodik geschaffen werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

6.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Im Zuge einer systematischen Literaturrecherche wurden zunächst zahlreiche relevante Publikationen recherchiert, die etablierte oder neuartige Formen der Wissensvermittlung im Produktionsumfeld behandeln. Es konnten acht Vermittlungsformen identifiziert werden, welche für die Wissensvermittlung an Anlagenführer_innen als geeignet erscheinen. Damit wurde die erste Forschungsfrage dieser Arbeit beantwortet. Auffällig ist, dass vermehrt auch neuartige Technologien wie AR oder VR zum Einsatz kommen, um Schulungsmaßnahmen kurzweiliger zu gestalten und den Wissenstransfer damit zu maximieren. Auch der durchgeführte Nutzenvergleich attestiert den beiden genannten Vermittlungsformen einen vergleichsweise hohen Nutzen (vgl. Abbildung 24). Doch gerade diese Technologien, die den Nutzer_innen einen hohen Immersionsgrad bieten, sind mit hohen Investitionskosten verbunden, welche für die nötige Hard- und Software, die Anwendungskonzipierung und die Programmierung anfallen. Dies zeigt der in Kapitel 4.2.2 durchgeführte Kostenvergleich. Hohe Investitionen in AR- oder VR-Anwendungen sind demnach nur in den folgenden vier Fällen sinnvoll: (1) bei einer sehr großen Anzahl an Nutzer_innen, (2) bei einer unzureichenden Anzahl an Fachleuten für die Durchführung einer Unterweisung, (3) wenn die betreffende Station für Schulungszwecke nicht zugänglich ist, oder (4) wenn die zu vermittelnden Inhalte mittels anderer Alternativen nicht transportierbar sind (z.B. Simulation von Gefahrensituationen). Für den dritten Fall ist allerdings auch eine AR-Anwendung meist ungeeignet, da AR-Anwendungen häufig direkt an der Anlage Einsatz finden. Die durchgeführten Vergleiche zeigen auch, dass bei gegebener Zugänglichkeit zur Anlage für Schulungszwecke die Unterweisung den besten Kompromiss zwischen Kosten und Nutzen darstellt.

In Kapitel 4.1 wurden sieben Klassifikationskriterien definiert, bei denen ein großer Einfluss auf die Wahl der Vermittlungsmethode vorliegt bzw. angenommen wird. Damit wurde die zweite Forschungsfrage dieser Arbeit beantwortet. Eine fehlende Zugänglichkeit zur Anlage für Schulungszwecke oder der Wunsch nach einem zeitlich und örtlich unabhängigen Abruf der Schulungsinhalte schließen etwa die Vermittlungsformen Unterweisung, AR-Anwendung oder Seminar von vornherein aus. Weniger trivial ist allerdings die Komplexitätsmessung von Prozessen. In Kapitel 4.1.4 wurde hierfür ein Ansatz vorgestellt, wie Nicht-Routineprozesse durch einfaches Abzählen der im Prozessschaubild vorhandenen Knoten und Konnektoren in die drei Komplexitätskategorien hoch, mittel und gering eingeteilt werden können. Diese Art der Komplexitätsmessung wurde bereits zur Aufwands- und Kostenprognose für prozessorientierte Softwareanwendungen und zur Baupreisermittlung im

Schlüsselfertigbau eingesetzt. Im Zuge dieser Arbeit wurde gezeigt, dass sich dieser Ansatz auch auf Prozesse im Produktionsumfeld zielführend anwenden lässt.

In Kapitel 4.4 wurde schließlich eine Methodik vorgestellt, die auf den zuvor beschriebenen Erkenntnissen basiert und die dritte Forschungsfrage dieser Arbeit beantwortet. Sie wurde zu Demonstrationszwecken auf drei exemplarische Nicht-Routineprozesse einer neuen Produktionslinie im BMW Group Werk Dingolfing angewendet und anschließend im Zuge einer Befragung jener Personen, die diese Methodik zukünftig bei der Entscheidungsfindung unterstützen soll, validiert. Die Ergebnisse der Validierung zeigen, dass die Methodik bei den Befragungspersonen einen einhellig positiven Gesamteindruck hinterlassen hat. Der Aussage, dass die Methodik zu einer Verbesserung der Ist-Situation beiträgt, stimmten alle Teilnehmenden entweder voll oder eher zu. Auch die Praxistauglichkeit wurde überwiegend bestätigt.

6.2 Einschränkungen der Ergebnisse

Die Komplexitätsbestimmung von Nicht-Routineprozessen anhand der in Kapitel 4.1.4 vorgestellten Vorgehensweise erlaubt eine einfache und praxistaugliche Durchführung, besonders dann, wenn die zu beurteilenden Nicht-Routineprozesse bereits in Form eines Flussdiagramms modelliert sind. Allerdings wird bei dieser Art der Komplexitätsmessung nicht berücksichtigt, in welcher Granularität der entsprechende Prozess beschrieben wurde bzw. wie groß der Tätigkeitsumfang ist, der zu einem Knoten zusammengefasst worden ist. Dies kann unter Umständen zu unterschiedlichen Ergebnissen in der Komplexitätskategorisierung führen. Ein aufwändiger Prozess würde etwa bei einer sehr grob-granularen Modellierung als geringkomplex klassifiziert werden, während ein einfacher Prozess bei sehr detaillierter Modellierung als hochkomplex klassifiziert werden würde. Bei der Erstellung der BPMN-Schaubilder ist daher auf eine einheitliche Granularität zu achten. Zusätzlich können bei Bedarf die Grenzen zwischen gering- und mittelkomplexen sowie zwischen mittel- und hochkomplexen Prozessen in Tabelle 4 in Absprache mit Expert_innen an die jeweiligen Gegebenheiten angepasst werden.

Bei der Entwicklung der Methodik wurden sowohl eine Vielzahl an Studien als auch Erfahrungswerte aus der betrieblichen Praxis berücksichtigt. Dennoch sind die von der Methodik empfohlenen Vermittlungsformen als Vorschlag zu verstehen. Die letztgültige Entscheidung ist von den verantwortlichen Entscheidungsträger_innen zu treffen. Für diese gilt es, die Empfehlung auf Plausibilität zu prüfen und gegebenenfalls Ausnahmefälle, die sich von der Mehrheit der Nicht-Routineprozesse abheben, eigens zu diskutieren.

Anzumerken ist außerdem, dass in der vorliegenden Arbeit Nicht-Routineprozesse hochautomatisierter Produktionsanlagen betrachtet werden, die völlig auf

Handarbeitsplätze verzichten. Die Zielgruppe, die bei der Entwicklung der Methodik und deren Logik berücksichtigt wurde, war folglich auch die Gruppe der Anlagenführer_innen, welche im Gegensatz zu Montagemitarbeiter_innen im Regelablauf keine manuellen Montagetätigkeiten ausführen. Zwar sind viele Überlegungen dieser Arbeit auch auf Nicht-Routineprozesse von Produktionsanlagen mit geringerem Automatisierungsgrad übertragbar, etwa der Ansatz zur Komplexitätsmessung in Kapitel 4.1.4. Dennoch gilt es in diesem Fall, die Situation neu zu bewerten, die berücksichtigten Prämissen zu überdenken und verschiedene Kriterien gegebenenfalls neu zu gewichten.

6.3 Mögliche nächste Schritte

Neue technologische Entwicklungen ermöglichen es, im Bereich der Arbeitsplatzgestaltung auf individuelle Bedürfnisse und Fähigkeiten sowie persönliche Vorlieben von Mitarbeiter_innen einzugehen und die Defizite des Prinzips „one-size-fits-all“ zu überwinden (vgl. Schlund et al., 2018, S. 277). Individualisierung erscheint aber nicht nur bei der Arbeitsplatzgestaltung vielversprechend, sondern könnte auch neue Möglichkeiten im Bereich der Wissensvermittlung eröffnen. Menschen eignen sich auf sehr unterschiedliche Weise neue Kenntnisse, Fähigkeiten und Fertigkeiten an (vgl. Quilling, 2015, S. 2). Folglich könnten sich durch eine Berücksichtigung der unterschiedlichen Lerntypen zusätzliche Potentiale ergeben. Individualisierung ist aber mit Aufwänden verbunden (vgl. Schlund et al., 2018, S. 283). Textbasierte Arbeitsanweisungen, Bilder oder 3D-Darstellungen werden in den meisten Fällen von Mitarbeiter_innen der technischen Planung, von Meister_innen oder Vorarbeiter_innen erstellt. Um diesen zeitaufwändigen Prozess zu beschleunigen und den manuellen Aufwand zu reduzieren, gibt es bereits mehrere Ansätze zur automatisieren Erstellung von Schulungsinhalten (vgl. z.B. Mader & Urban, 2010) bzw. zur Unterstützung beim Erstellungsprozess, wenn eine Automatisierung nicht möglich ist (vgl. z.B. Zauner et al., 2003 oder Reisinger et al., 2021). Es könnte dadurch gelingen, mehrere Vermittlungsformen je Nicht-Routineprozess zu erarbeiten und Mitarbeiter_innen über die bevorzugte Form auswählen zu lassen. Dadurch könnte der Nutzen weiter erhöht werden, da Individualisierung eine Reduzierung der Fehlerrate in Aussicht stellt (vgl. Schlund et al., 2018, S. 285). Gleichzeitig würden allerdings potenziell geringere Kosten anfallen, wenn nicht mehr jede Schulungsmaßnahme manuell erstellt werden müsste. Auch die aktuell noch sehr hohen Investitionskosten bei VR- und AR-Anwendungen könnten durch eine automatische Content-Erstellung reduziert werden.

7 Verzeichnisse

7.1 Literaturverzeichnis

- Abel, D., Schmitz, M. & Wenzel, S. (2011). Nutzung von Virtual Reality zur Personalqualifizierung in der Produktions- und Logistikplanung. *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 106(10), 721–725.
- Adami, W. & Houben, J. (2008). Mitarbeiterqualifikation für moderne Produktionsorganisationen: Ein Überblick über die Bedeutung von Produktionsmitarbeitern und ihrer Qualifikation für ganzheitliche Produktionsorganisationen. *Werkstatttechnik online*, 98(5), 428-433.
- Adelmann, R. (2020). Augmented Reality in der industriellen Praxis. In H. Orsolits & M. Lackner (Hrsg.), *Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion* (S. 7–32). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Al-Ahmari, A., Ameen, W., Abidi, M. H. & Mian, S. H. (2018). Evaluation of 3D printing approach for manual assembly training. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 66, 57–62. <https://doi.org/10.1016/j.ergon.2018.02.004>
- Bahceci, O. C., Pena-Rios, A., Gupta, V., Conway, A. & Owusu, G. (2021). Using Immersive Virtual Reality in Field Service Telecom Engineers Training. In D. Economou (Hrsg.), *Proceedings of 2021 7th International Conference of the Immersive Learning Research Network (iLRN)* (S. 1–3). IEEE. <https://doi.org/10.23919/iLRN52045.2021.9459243>
- Barbosa-Póvoa, A. P., Da Silva, C. & Carvalho, A. (2018). Opportunities and challenges in sustainable supply chain: An operations research perspective. *European Journal of Operational Research*, 268(2), 399–431. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.10.036>
- Barron, A. E. & Kysilka, M. L. (1993). The Effectiveness of Digital Audio in Computer-Based Training. *Journal of Research on Computing in Education*, 25(3), 277–289. <https://doi.org/10.1080/088886504.1993.10782051>
- Becker, T. (2018). *Prozesse in Produktion und Supply Chain optimieren*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-49075-4>
- Benkert, S. (2001). *Wissensvermittlung mit neuen Medien: Untersuchung am Beispiel Niedrigenergie- und Solararchitektur* [Dissertation]. Universität-Gesamthochschule Siegen, Siegen.
- BMW Group. (2020, 14. Juli). *Der erste BMW iX3* [Press release]. München. <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0310696DE/der-erste-bmw-ix3>
- Bodendorf, F. (2006). *Daten- und Wissensmanagement* (2. Aufl.). *Springer-Lehrbuch*. Springer. http://deposit.dnb.de/cgi-bin/dokserv?id=2681212&prov=M&dok_var=1&dok_ext=htm

- Böhner, M. & Mersch, A. (2010). Selbststudium und Web 2.0. In K.-U. Hugger & M. Walber (Hrsg.), *Digitale Lernwelten: Konzepte, Beispiele und Perspektiven* (1. Aufl., S. 228–244). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Boud, A. C., Haniff, D. J., Baber, C. & Steiner, S. J. (1999). Virtual reality and augmented reality as a training tool for assembly tasks. In *1999 IEEE International Conference on Information Visualization* (S. 32–36). IEEE Comput. Soc. <https://doi.org/10.1109/IV.1999.781532>
- Buehler, K. & Kohne, A. (2020). Besser Lernen mit VR/AR Anwendungen. In H. Orsolits & M. Lackner (Hrsg.), *Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion* (75-97). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Chao, C.-J., Wu, S.-Y., Yau, Y.-J., Feng, W.-Y. & Tseng, F.-Y. (2017). Effects of three-dimensional virtual reality and traditional training methods on mental workload and training performance. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 27(4), 187–196. <https://doi.org/10.1002/hfm.20702>
- Cheng, J. L. C. & Miller, E. L. (1985). Coordination and Output Attainment in Work Units Performing Non-routine Tasks: A Cross- National Study. *Organization Studies*, 6(1), 23–38. <https://doi.org/10.1177/017084068500600102>
- Cronin, P., Ryan, F. & Coughlan, M. (2008). Undertaking a literature review: A step-by-step approach. *British journal of nursing*, 17(1), 38–43. <https://doi.org/10.12968/bjon.2008.17.1.28059>
- Danziger, J. N. (2000). *Help wanted: End User's experiences with initial and ongoing ICT Training and Assistance* [Studie]. University of California, Irvine.
- de Witt, C. & Czerwionka, T. (2007). *Mediendidaktik. Studentexte für Erwachsenenbildung*. wbv Bertelsmann.
- Deutsches Institut für Normung e.V. (2015). *Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe* (DIN 9000:2015-11). Berlin. Beuth-Verlag.
- Doetsch, S. (2016). *Wissenstransfer bei der Reintegration von Expatriates*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-12195-2>
- Doolani, S., Owens, L., Wessels, C. & Makedon, F. (2020). vIS: An Immersive Virtual Storytelling System for Vocational Training. *Applied Sciences*, 10(22). <https://doi.org/10.3390/app10228143>
- Doolani, S., Wessels, C. & Makedon, F. (2021). Designing a Vocational Immersive Storytelling Training and Support System to Evaluate Impact on Working and Episodic Memory. In *The 14th Pervasive Technologies Related to Assistive Environments Conference* (S. 268–269). <https://doi.org/10.1145/3453892.3462216>
- Döring, N. & Bortz, J. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5>

- Edrich, T., Stopfkuchen-Evans, M., Scheiermann, P., Heim, M., Chan, W., Stone, M. B., Dankl, D., Aichner, J., Hinzmann, D., Song, P., Szabo, A. L., Frendl, G., Vlassakov, K. & Varelmann, D. (2016). A Comparison of Web-Based with Traditional Classroom-Based Training of Lung Ultrasound for the Exclusion of Pneumothorax. *Anesthesia and analgesia*, 123(1), 123–128. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000001383>
- Endres, E. & Wehner, T. (1993). Es gibt keine Stunde Null bei der Einführung der Gruppenarbeit: Das Beispiel Automobilindustrie. *GMH*(10), 631–644. <http://195.243.222.33/gmh/main/pdf-files/gmh/1993/1993-10-a-631.pdf>
- Fink, A. (2014). *Conducting research literature reviews: From the internet to paper* (Fourth edition). SAGE.
- Fischer, C., Lušić, M., Bönig, J., Hornfeck, R. & Franke, J. (2015). Shortening Innovation Cycles by Employee Training Based on the Integration of Virtual Validation into Worker Information Systems. *Procedia CIRP*, 37, 65–70. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.08.090>
- Fleischer, J., Hausmann, L., Halwas, M., Hofmann, J., Wirth, F. & Wößner, W. (2020). *Wissen Kompakt: Produktion elektrischer Traktionsmotoren*.
- Frank, T. B. (2020). Erstellung und Anwendung von 360°-Videos. In H. Orsolits & M. Lackner (Hrsg.), *Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion* (S. 263–274). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Füßel, A. (2017). *Technische Potenzialanalyse der Elektromobilität*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-16696-0>
- Gavish, N., Gutiérrez, T., Webel, S., Rodríguez, J., Peveri, M., Bockholt, U. & Tecchia, F. (2015). Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 778–798. <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.815221>
- Gerth, S. & Kruse, R. (2020). VR/AR-Technologien im Schulungseinsatz für Industrieanwendungen. In H. Orsolits & M. Lackner (Hrsg.), *Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion* (S. 143–179). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Glässel, T. (2020). *Prozessketten zum Laserstrahlschweißen von flachleiterbasierten Formspulenwicklungen für automobile Traktionsantriebe* [Dissertation]. FAU, Erlangen.
- Goerke, M., Bellmann, V., Busch, J. & Nyhuis, P. (2017). Employee Qualification by Digital Learning Games. *Procedia Manufacturing*, 9, 229–237. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.04.040>
- Goerke, M., Schmidt, M., Busch, J. & Nyhuis, P. (2015). Holistic Approach of Lean Thinking in Learning Factories. *Procedia CIRP*, 32, 138–143. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.221>

- Gonzalez-Franco, M., Pizarro, R., Cermeron, J., Li, K., Thorn, J., Hutabarat, W., Tiwari, A. & Bermell-Garcia, P. (2017). Immersive Mixed Reality for Manufacturing Training. *Frontiers in Robotics and AI*, 4. <https://doi.org/10.3389/frobt.2017.00003>
- Gruber, S. & Weber, H. (2007). Differenzierung der Ausbildungsangebote: Integration von Hauptschülern durch zweijährige Berufe? *BWP*(2), 18–21.
- Gust, P. & Sersch, A. (2020). Geometrical Product Specifications (GPS): A Review of Teaching Approaches. *Procedia CIRP*, 92, 123–128. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.187>
- Hagedorn, J., Sell-Le Blanc, F. & Fleischer, J. (2016). *Handbuch der Wickeltechnik für hocheffiziente Spulen und Motoren*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-49210-9>
- Hou, L., Wang, X., Bernold, L. & Love, P. E. D. (2013). Using Animated Augmented Reality to Cognitively Guide Assembly. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27(5), 439–451. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0000184](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0000184)
- Jeske, T., Meyer, F. & Schlick, C. M. (2014). Einfluss der Gestaltung von Arbeitsplänen auf die Anlernzeit sensumotorischer Tätigkeiten. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 68(1), 1–6. <https://doi.org/10.1007/BF03374416>
- Kampker, A. (2014). *Elektromobilproduktion*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-42022-1>
- Kampker, A., Heimes, H. H., Kawollek, S., Treichel, P., Kraus, A., Raßmann, A. & Hitzel, T. (2020). *Produktionsprozess eines Hairpin-Stators* (2. Aufl.). PEM der RWTH Aachen.
- Kampker, A., Vallée, D. & Schnettler, A. (2013). *Elektromobilität*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-31986-0>
- Kandaouroff, A. (1998). *Erfolgreiche Implementierung von Gruppenarbeit: Analyse - Optimierungsansätze - Handlungsempfehlungen*. Deutscher Universitätsverlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-322-92344-8>
- Kim, P. (2012). Measuring the effectiveness of information security training: A comparative analysis of computer-based training and instructor-based training. *Issues In Information Systems*, 13(1), 215–224. https://doi.org/10.48009/1_iis_2012_215-224
- Kropik, M. (2009). *Produktionsleitsysteme in der Automobilfertigung*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-88991-5>
- Kropik, M. (2021). *Produktionsleitsysteme für die Automobilindustrie: Digitalisierung des Shop-Floors in der Automobilproduktion* (2. Aufl.). Springer Berlin Heidelberg; Imprint: Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-62227-8>

- Lang, S. (2007). *Durchgängige Mitarbeiterinformation zur Steigerung von Effizienz und Prozesssicherheit in der Produktion. Fertigungstechnik - Erlangen: Bd. 181*. Meisenbach.
- Langley, A., Lawson, G., Hermawati, S., D'Cruz, M., Apold, J., Arlt, F. & Mura, K. (2016). Establishing the Usability of a Virtual Training System for Assembly Operations within the Automotive Industry. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 26(6), 667–679.
<https://doi.org/10.1002/hfm.20406>
- Lemke, K. (2005). *Entwicklung flexibel erstellbarer, universell verständlicher visueller Arbeitsanweisungen aus 3D-Konstruktionsdaten für Montagelinien* [Dissertation], Braunschweig.
- Lillrank, P. (2003). The Quality of Standard, Routine and Nonroutine Processes. *Organization Studies*, 24(2), 215–233.
<https://doi.org/10.1177/0170840603024002344>
- Lillrank, P. & Liukko, M. (2004). Standard, routine and non-routine processes in health care. *International journal of health care quality assurance incorporating Leadership in health services*, 17(1), 39–46.
<https://doi.org/10.1108/09526860410515927>
- Lotter, B. & Wiendahl, H.-P. (2012). *Montage in der industriellen Produktion*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29061-9>
- Lucko, S. & Trauner, B. (2002). *Wissensmanagement: 7 Bausteine für die Umsetzung in der Praxis. Pocket-Power: Bd. 32*. Hanser.
- Mader, S. & Urban, B. (2010). Creating Instructional Content for Augmented Reality based on Controlled Natural Language Concepts. *20th International Conference on Artificial Reality and Teleexistence*, 9–13.
- Mark, B. G., Rauch, E. & Matt, D. T. (2021). Worker assistance systems in manufacturing: A review of the state of the art and future directions. *Journal of Manufacturing Systems*, 59, 228–250.
<https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.02.017>
- Marks, A. F. (2019). *Wirtschaftliche Mitarbeiterqualifizierung durch lernorientierte Montagesystemgestaltung* [Dissertation]. RWTH Aachen.
- Marxer, M., Rocha, L., Anwer, N. & Savio, E. (2018). New development and distribution concepts for Education in Coordinate Metrology. *Procedia CIRP*, 75, 320–324. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2018.04.063>
- Menn, J. P. (2019). *Lernerzentrierte digitale Werkzeuge zur Montagetrainingsunterstützung am Beispiel des Sondermaschinenbaus* [Dissertation]. Technische Universität Berlin.
- Menn, J. P. & Seliger, G. (2016). Increasing Knowledge and Skills for Assembly Processes through Interactive 3D-PDFs. *Procedia CIRP*, 48, 454–459.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.02.093>

- Menn, J. P., Severengiz, M., Lorenz, A. K., Wassermann, J., Ulbrich, C., Krüger, J. & Seliger, G. (2020). Augmented learning for industrial education. *Int. J. Sustainable Manufacturing*, 4(2/3/4), 396–412.
- Menn, J. P., Sieckmann, F., Kohl, H. & Seliger, G. (2018). Learning process planning for special machinery assembly. *Procedia Manufacturing*, 23, 75–80.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.03.164>
- Meyer, A., Kantsperger, R. & Peckmann, M. (2017). Die Kundenbeziehung als ein zentraler Unternehmenswert - Kundenorientierung als Werttreiber der Kundenbeziehung. In S. Helm, B. Günter & A. Eggert (Hrsg.), *Kundenwert* (S. 52–71). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Michalakoudis, I., Aurisicchio, M., Childs, P., Koutlidis, A. & Harding, J. (2018). Empowering manufacturing personnel through functional understanding. *Production Planning & Control*, 29(8), 688–703.
<https://doi.org/10.1080/09537287.2018.1455995>
- Milgram, P. & Kishino, F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, E77-D(12), 1321–1329.
- Mourtzis, D., Boli, N., Dimitrakopoulos, G., Zygomalas, S. & Koutoupes, A. (2018). Enabling Small Medium Enterprises (SMEs) to improve their potential through the Teaching Factory paradigm. *Procedia Manufacturing*, 23, 183–188.
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.014>
- Mourtzis, D., Xanthi, F. & Zogopoulos, V. (2019). An Adaptive Framework for Augmented Reality Instructions Considering Workforce Skill. *Procedia CIRP*, 81, 363–368. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.063>
- Myrach, T. & Montandon, C. (2007). Blended Learning: Kombination von Präsenzlehre und E-Learning. In N. Thom & R. J. Zaugg (Hrsg.), *Moderne Personalentwicklung: Mitarbeiterpotenziale erkennen, entwickeln und fördern* (S. 191–206). Gabler Verlag. https://doi.org/10.1007/978-3-8349-8097-7_11
- Niegemann, H. M., Domagk, S., Hessel, S., Hein, A., Hupfer, M. & Zobel, A. (2008). *Kompendium multimediales Lernen*. Springer-Verlag.
<https://doi.org/10.1007/978-3-540-37226-4>
- Nink, H. (1991). *Informationsvermittlung: Aufgaben, Möglichkeiten und Probleme*. Deutscher Universitätsverlag.
- Nixdorf, S., Ansari, F. & Sih, W. (2021). Work-Based Learning in Smart Manufacturing: Current State and Future Perspectives. *Proceedings of the Conference on Learning Factories (CLF) 2021*. Vorab-Onlinepublikation.
<https://doi.org/10.2139/ssrn.3858379>
- North, K. (2005). *Wissensorientierte Unternehmensführung: Wertschöpfung durch Wissen* (4. Aufl.). Gabler Lehrbuch. Gabler.
- Nurunisa, S., Kurniawati, A., Soesanto, R. P. & Hedyanto, U. Y. K. S. (2016). e-Learning Application for Machine Maintenance Process using Iterative Method

- in XYZ Company. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 114, 1–13. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/114/1/012071>
- Nyhuis, P., Bellmann, V. K. & Ansari, S. M. (2015). Auswirkungen von globalen Trends auf die Lehr- und Lernkonzepte der Zukunft. In H. Meier (Hrsg.), *Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und Betriebsorganisation e. V. (HAB). Lehren und Lernen für die moderne Arbeitswelt* (S. 163–181). GITO.
- Paul, D., Schmidt, C., Reinmann, G. & Marquardt, V. (2021). Digitales, begleitetes Selbststudium. In R. Küstermann, M. Kunkel, A. Mersch & A. Schreiber (Hrsg.), *Selbststudium im digitalen Wandel* (S. 7–16). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Pentland, B. T., Rueter & Rueter, H. H. (1994). Organizational Routines as Grammars of Action. *Administrative Science Quarterly*, 39(3), 494–510.
- Quilling, K. (2015). Lernstile und Lerntypen: Der DIE-Wissensbaustein für die Praxis. <http://www.die-bonn.de/wb/2015-lernstile-01.pdf>
- Raelin, J. A. (2008). *Work-based learning: Bridging knowledge and action in the workplace. The Jossey-Bass business & management series*. Jossey-Bass.
- Recker, J. (2010). Opportunities and constraints: the current struggle with BPMN. *Business Process Management Journal*, 16(1), 181–201. <https://doi.org/10.1108/14637151011018001>
- Rehäuser, J. & Krcmar, H. (1996). Wissensmanagement im Unternehmen. In G. Schreyögg & P. Conrad (Hrsg.), *Wissensmanagement* (S. 1–40). de Gruyter. <https://doi.org/10.1515/9783112421840-003>
- Reisinger, G., Hold, P. & Sihm, W. (2021). Automated Information Supply of Worker Guidance Systems in Smart Assembly Environment. In S. Ratchev (Hrsg.), *IFIP Advances in Information and Communication Technology. Smart Technologies for Precision Assembly* (Bd. 620, S. 235–248). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72632-4_17
- Schleicher, M. (2012). *Komplexitätsmanagement bei der Baupreisermittlung im Schlüsselfertigbau. Schriftenreihe Bauwirtschaft: Bd. 20*. Kassel University Press.
- Schlund, S., Mayrhofer, W. & Rupprecht, P. (2018). Möglichkeiten der Gestaltung individualisierbarer Montagearbeitsplätze vor dem Hintergrund aktueller technologischer Entwicklungen. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 72(4), 276–286. <https://doi.org/10.1007/s41449-018-0128-5>
- Sim, Z. H., Chook, Y., Hakim, M. A., Lim, W. N. & Yap, K. M. (2019). Design of Virtual Reality Simulation-based Safety Training Workshop. *2019 IEEE International Symposium on Haptic, Audio and Visual Environments and Games (HAVE)*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/HAVE.2019.8921366>
- Singh, K., Shrivastava, A., Achary, K., Dey, A. & Sharma, O. (2019). Augmented Reality-Based Procedural Task Training Application for Less Privileged Children and Autistic Individuals. In J. Jorge, J. Kim, H. van Eyken, S. N.

- Spencer, M. Glencross, K. Mitchell & T. Narumi (Hrsg.), *The 17th International Conference on Virtual-Reality Continuum and its Applications in Industry* (S. 1–10). ACM. <https://doi.org/10.1145/3359997.3365703>
- Stöttner, K. (2020). VR Trainingssimulator für Flurförderfahrzeuge - Chancen und Risiken in Zusammenhang mit Bewegungsfeedback. In H. Orsolits & M. Lackner (Hrsg.), *Virtual Reality und Augmented Reality in der Digitalen Produktion* (S. 275–287). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Teubner, S., Reinhart, G., Haymerle, U. & Merschbecker, U. (2016). Individuelle und dynamische Werkerinformationssysteme: Einordnung, Definition und Beschreibungsmodell. In R. Weidner (Hrsg.), *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen* (S. 349–364).
- Valimont, R. B., Vincenzi, D. A., Gangadharan, S. N. & Majoros, A. E. (2002). The effectiveness of augmented reality as a facilitator of information acquisition. In *Proceedings. The 21st Digital Avionics Systems Conference (7.C.5-1 - 7.C.5-9)*. IEEE. <https://doi.org/10.1109/DASC.2002.1052926>
- Webster, J. & Watson, R. T. (2002). Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review. *MIS Quarterly*, 26(2), 13–23. <https://www.jstor.org/stable/4132319>
- Werrlich, S. (2019). *Gestaltungskonzept für Augmented Reality unterstütztes Training an manuellen Montagearbeitsplätzen* [Dissertation]. Technische Universität Illmenau.
- Werrlich, S., Lorber, C., Nguyen, P.-A., Yanez, C. E. F. & Notni, G. (2018). Assembly Training: Comparing the Effects of Head-Mounted Displays and Face-to-Face Training. In J. Y. Chen & G. Fragomeni (Hrsg.), *Virtual, Augmented and Mixed Reality: Interaction, Navigation, Visualization, Embodiment, and Simulation* (S. 462–476). Springer International Publishing.
- White, S. A. & Miers, D. (2008). *BPMN modeling and reference guide: Understanding and using BPMN*. Future Strategies Inc.
- Woll, R., Damerau, T., Wrasse, K. & Stark, R. (2011). Augmented reality in a serious game for manual assembly processes. In *2011 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality - Arts, Media, and Humanities* (S. 37–39). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ISMAR-AMH.2011.6093654>
- Yang, S., Hamann, K., Haefner, B., Wu, C. & Lanza, G. (2018). A Method for Improving Production Management Training by Integrating an Industry 4.0 Innovation Center in China. *Procedia Manufacturing*, 23, 213–218. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.04.019>
- Zauner, J., Haller, M., Brandl, A. & Hartman, W. (2003). Authoring of a mixed reality assembly instructor for hierarchical structures. In *Proceedings of the Second IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR '03)* (S. 237–246). IEEE Comput. Soc. <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2003.1240707>

Zawadzki, P., Żywicki, K., Buń, P. & Górski, F. (2020). Employee Training in an Intelligent Factory Using Virtual Reality. *IEEE Access*, 8, 135110–135117. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.3010439>

Żywicki, K., Zawadzki, P. & Górski, F. (2018). Virtual Reality Production Training System in the Scope of Intelligent Factory. In A. Burduk & D. Mazurkiewicz (Hrsg.), *Advances in Intelligent Systems and Computing. Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance* (Bd. 637, S. 450–458). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-64465-3_43

7.2 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Aufbau der Arbeit	4
Abbildung 2 Reaktionsmöglichkeiten auf (potenzielle) Fehler	6
Abbildung 3 Begriffshierarchie Daten, Information und Wissen	9
Abbildung 4 Kontinuum zwischen Daten und Wissen	9
Abbildung 5 Implizites und explizites Wissen	10
Abbildung 6 Arten der Informationsvermittlung	11
Abbildung 7 Wissensvermittlung als Schnittmenge	12
Abbildung 8 Virtuality Continuum	17
Abbildung 9 Einteilung nach der zeitlichen und örtlichen Bindung	22
Abbildung 10 Vor- und Nachteile von Präsenz- und Distanzformat	23
Abbildung 11 Übersicht über die Unterscheidungsmöglichkeiten	23
Abbildung 12 Unterschiedliche Zugriffsrechte je nach Aufgabenbereich	24
Abbildung 13 Highly Integrated Electric Drive Train (HEAT)	27
Abbildung 14 Wesentliche Fertigungsschritte eines Hairpin-Stators	28
Abbildung 15 Hairpin-Stator und Hairpins	31
Abbildung 16 Die vier Kundenprozesse der BMW Group	32
Abbildung 17 Ebenenmodell der BMW Group	33
Abbildung 18 Prozessschritte des Planungsprozesses	35
Abbildung 19 Meilensteine im Projektablauf	36
Abbildung 20 Kombination von SLR und FBR	38
Abbildung 21 Qualifizierungsmethoden in Abhängigkeit der Aufgabenkomplexität	53
Abbildung 22 Funktion der Methodik	54
Abbildung 23 Beispielprozess mit zwei Fallunterscheidungen	57
Abbildung 24 Nutzenvergleich	63
Abbildung 25 Kostenvergleich	65
Abbildung 26 Ablaufdiagramm der entwickelten Methodik	69
Abbildung 27 Prozessmodellierung des NiO-Prozesses „Papierstau“	71
Abbildung 28 Ausschnitte aus dem Desktop-based Training	72
Abbildung 29 Prozessmodellierung des NiO-Prozesses „Weiten“	74
Abbildung 30 Papiergebundene Schulungsunterlage	75
Abbildung 31 Prozessmodellierung des Sonderprozesses „Blechpakete auflegen“	76

7.3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Übersicht über relevante Publikationen (SLR)	40
Tabelle 2 Übersicht über relevante Publikationen (FBR)	41
Tabelle 3 Analyse der Literatur anhand unterschiedlicher Merkmale	51
Tabelle 4 Komplexitätsbewertung über Anzahl an Knoten und Konnektoren	56
Tabelle 5 Berücksichtigte Studien beim Nutzenvergleich	62
Tabelle 6 Abgefragte Kriterien des NiO-Prozesses „Papierstau“	72
Tabelle 7 Abgefragte Kriterien des NiO-Prozesses „Weiten“	74
Tabelle 8 Abgefragte Kriterien des Sonderprozesses „Blechpakete auflegen“	76
Tabelle 9 Ergebnis der Befragung	79

7.4 Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Beschreibung
AR	Augmented Reality
ASM	Asynchronmotor
BBÜ	Betriebsbereite Übernahme
BEV	Battery Electric Vehicle
BM	Business Management
BPMN	Business Process Model and Notation
CAD	Computer-aided Design
CBT	Computer-based Training
CNC	Computerized Numerical Control
DBT	Desktop-based Training
DMC	DataMatrix-Code
DtCC	Delivery to Customer Care
EPK	Ereignisgesteuerte Prozesskette
FBR	Forward-Backward-Research
FMEA	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse
FSM	Fremderregte Synchronmaschine
GLT	Großladungsträger
HEAT	Highly Integrated Electric Drive Train
HEV	Hybrid Electric Vehicle
HMD	Head-Mounted-Display
HMI	Human-Machine-Interface
IBT	Instructor-based Training
iO	in Ordnung
ItO	Idea to Offer
KI	Künstliche Intelligenz
MIS	Mitarbeiterinformationssystem
NiO	Nicht in Ordnung
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OEM	Original Equipment Manufacturer
OfTJ	Off the Job
OtD	Order to Delivery
OTJ	On the Job
OtO	Offer to Order
PSM	Permanenterregter Synchronmotor
Q-Planung	Qualitätsplanung
RM	Resource Management
SABG	Statoranschlussbaugruppe
SLR	Systematic Literature Review
SOP	Start of Production
STXXX	Bezeichnung der Station XXX einer Produktionslinie
SU	Schulungsunterlage
VC	Virtuality Continuum
VR	Virtual Reality
VTS	Virtuelles Trainingssystem
WBT	Web-based Training
WIS	Werkerinformationssystem
WT	Werkstückträger

Anhang A: Kostenbewertung

Die nachfolgenden Tabellen A.1 bis A.7 zeigen im Detail, welche Kalkulationen der Kostenbewertung in Abschnitt 4.2.2 zugrunde liegen. Die mit (*) markierten Positionen wurden in Anlehnung an Menn (2019) gewählt. Alle anderen Positionen wurden nach Absprache mit Expert_innen oder auf Basis eigener Einschätzungen festgelegt. Die Variable A steht für die Anzahl an Nutzer_innen.

Die Gaußklammer $\lceil \cdot \rceil$ stellt die Aufrundungsfunktion dar, welche für eine reelle Zahl x die kleinste ganze Zahl bestimmt, die größer oder gleich x ist.

$$\lceil x \rceil := \min\{k \in \mathbb{Z} \mid k \geq x\}$$

In Tabelle A.3 wird bei der Abschätzung des Stundenaufwandes Menn's Erkenntnis berücksichtigt, dass VR-Anwendungen hinsichtlich der Erstellung etwas weniger aufwändig sind als AR-Anwendungen (vgl. Menn, 2019, S. 66).

Tabelle A.1 | Kostenkalkulation Unterweisung / Instruktion

Quelle: in Anlehnung an Menn, 2019, S. 170–175

Unterweisung / Instruktion				
Investitionskosten	Formel(zeichen)	Anzahl	Einzelkosten	Gesamt
-				
Variable Kosten				
Personalkosten Trainer_in pro Stunde (*)	P			€ 200
Betreuungsverhältnis (Nutzer_innen/Trainer_in)	B			2
Variable Kosten pro Stunde (A...Anzahl Nutzer_innen)	VK = P * $\lceil A / B \rceil$			€ 200 * $\lceil A / 2 \rceil$

Tabelle A.2 | Kostenkalkulation AR-Anwendung

Quelle: in Anlehnung an Menn, 2019, S. 170–175

AR				
Investitionskosten	Formel(zeichen)	Anzahl	Einzelkosten	Gesamt
AR-Brille (*)		1	€ 3 300	€ 3 300
PC und Monitor (*)		1	€ 1 500	€ 1 500
Software (*)		1	€ 2 500	€ 2 500
Softwareentwicklung Konzept (*)		130 h	€ 35	€ 4 550
Softwareentwicklung Programmierung (*)		530 h	€ 35	€ 18 550
Instandhaltung				€ 3 700
Gesamtinvestment				€ 34 100
Variable Kosten				
Personalkosten Trainer_in pro Stunde (*)	P			€ 80
Betreuungsverhältnis (Nutzer_innen/Trainer_in)	B			1
Variable Kosten pro Stunde (A...Anzahl Nutzer_innen)	VK = P * $\lceil A / B \rceil$			€ 80 * $\lceil A / 1 \rceil$

Tabelle A.3 | Kostenkalkulation VR-Anwendung

Quelle: in Anlehnung an Menn, 2019, S. 170–175

VR				
Investitionskosten	Formel(zeichen)	Anzahl	Einzelkosten	Gesamt
VR-Brille (*)		1	€ 3 300	€ 3 300
PC und Monitor (*)		1	€ 1 500	€ 1 500
Software (*)		1	€ 2 500	€ 2 500
Erstellung Konzept (*)		100 h	€ 35	€ 3 500
Softwareentwicklung Programmierung (*)		500 h	€ 35	€ 17 500
Instandhaltung				€ 3 500
Gesamtinvestment				€ 31 800
Variable Kosten				
Personalkosten Trainer_in pro Stunde (*)	P			€ 80
Betreuungsverhältnis (Nutzer_innen/Trainer_in)	B			1
Variable Kosten pro Stunde (A...Anzahl Nutzer_innen)	$VK = P * [A / B]$			$€ 80 * [A / 1]$

Tabelle A.4 | Kostenkalkulation Desktop-based Training

Quelle: in Anlehnung an Menn, 2019, S. 170–175

Desktop-based Training				
Investitionskosten	Formel(zeichen)	Anzahl	Einzelkosten	Gesamt
Erstellung Konzept		10 h	€ 35	€ 350
Umsetzung		150 h	€ 35	€ 5 250
Instandhaltung				€ 1 000
Gesamtinvestment				€ 6 600
Variable Kosten				
-				

Tabelle A.5 | Kostenkalkulation Digitale Schulungsunterlage

Quelle: in Anlehnung an Menn, 2019, S. 170–175

Digitale Schulungsunterlage				
Investitionskosten	Formel(zeichen)	Anzahl	Einzelkosten	Gesamt
Software (*)		1	€ 1 500	€ 1 500
Erstellung Konzept (*)		100 h	€ 35	€ 3 500
Softwareentwicklung Programmierung (*)		60 h	€ 35	€ 2 100
Instandhaltung				€ 500
Gesamtinvestment				€ 7 600
Variable Kosten				
-				

Tabelle A.6 | Kostenkalkulation Seminar / Workshop

Quelle: in Anlehnung an Menn, 2019, S. 170–175

Seminar / Workshop				
Investitionskosten	Formel(zeichen)	Anzahl	Einzelkosten	Gesamt
Vorbereitung Trainer		30 h	€ 200	€ 6 000
Instandhaltung				€ 1 200
Gesamtinvestment				€ 7 200
Variable Kosten				
Personalkosten Trainer_in pro Stunde (*)	P			€ 200
Betreuungsverhältnis (Nutzer_innen/Trainer_in)	B			5
Variable Kosten pro Stunde (A...Anzahl Nutzer_innen)	$VK = P * [A / B]$			$€ 200 * [A / 5]$

Tabelle A.7 | Kostenkalkulation Papiergebundene Schulungsunterlage

Quelle: in Anlehnung an Menn, 2019, S. 170–175

Papiergebundene Schulungsunterlage				
Investitionskosten	Formel(zeichen)	Anzahl	Einzelkosten	Gesamt
Erstellung Konzept		10 h	€ 35	€ 350
Umsetzung		40 h	€ 35	€ 1 400
Instandhaltung				€ 300
Gesamtinvestment				€ 2 050
Variable Kosten				
-				

Anhang B: Interview-Fragebogen

#	Aussagen	Stimme voll zu	Stimme eher zu	Stimme eher nicht zu	Stimme nicht zu	Begründung
(1)	Die Kriterien, auf welchen die Methodik basiert, sind für mich nachvollziehbar.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
(2)	Die Durchführung der einzelnen Schritte ist verständlich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
(3)	Die Methodik unterstützt mich bei der Wahl einer geeigneten Vermittlungsform.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
(4)	Die Methodik ist für den Einsatz in der Praxis geeignet.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
(5)	Die Methodik trägt zu einer Verbesserung der Ist-Situation bei.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
(6)	Die bei der exemplarischen Demonstration resultierenden Vermittlungsformen sind meiner Einschätzung nach dem Komplexitätsgrad des Prozesses angemessen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
(7)	Ich habe einen guten Gesamteindruck.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	