

*Industrie 4.0:
Technologiebasierte Lern-
und Assistenzsysteme
für die Instandhaltung*

*Industrie 4.0:
Technologiebasierte Lern-
und Assistenzsysteme
für die Instandhaltung*

Bibliografische Information der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Reihe Berufsbildung, Arbeit und Innovation –
Dissertationen/Habilitationen, Band 46

Geschäftsführende Herausgeber

Klaus Jenewein, Magdeburg
Marianne Friese, Gießen
Georg Spöttl, Flensburg

Wissenschaftlicher Beirat

Thomas Bals, Osnabrück
Karin Büchter, Hamburg
Frank Bünning, Magdeburg
Ingrid Darmann-Finck, Bremen
Michael Dick, Magdeburg
Uwe Faßhauer, Schwäbisch-Gmünd
Martin Fischer, Karlsruhe
Philipp Gonon, Zürich
Franz Ferdinand Mersch, Hamburg
Manuela Niethammer, Dresden
Jörg-Peter Pahl, Dresden
Karin Rebmann, Oldenburg
Susan Seeber, Göttingen
Tade Tramm, Hamburg
Thomas Vollmer, Hamburg

Die vorliegende Arbeit

„Industrie 4.0: Technologiebasierte Lern- und Assistenzsysteme für die Instandhaltung“
wurde von Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Michael Schenk
und Prof. Dr. Klaus Jenewein betreut und begutachtet.

W. Bertelsmann Verlag GmbH & Co. KG, Bielefeld, 2017
Gesamtherstellung: W. Bertelsmann Verlag, Bielefeld
Umschlaggestaltung: FaktorZwo, Günter Pawlak, Bielefeld

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Insbesondere darf kein Teil dieses Werkes ohne vorherige schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (unter Verwendung elektronischer Systeme oder als Ausdruck, Fotokopie oder unter Nutzung eines anderen Vervielfältigungsverfahrens) über den persönlichen Gebrauch hinaus verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Für alle in diesem Werk verwendeten Warennamen sowie Firmen- und Markenbezeichnungen können Schutzrechte bestehen, auch wenn diese nicht als solche gekennzeichnet sind. Deren Verwendung in diesem Werk berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese frei verfügbar seien.

ISBN 978-3-7639-5876-4

Bestell-Nr. 6004613

Dieses Buch ist auch als E-Book unter der ISBN 978-3-7639-5877-1 erhältlich.

Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand begleitend zu meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF Magdeburg.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. E. h. Dr. h. c. mult. Michael Schenk für die Betreuung und Begutachtung meiner Arbeit, die langjährige Förderung meiner Tätigkeit als wissenschaftliche Mitarbeiterin und das entgegengebrachte Vertrauen.

Außerdem bedanke ich mich herzlich bei Prof. Dr. Klaus Jenewein für die Betreuung der Arbeit, die Erstellung des Zweitgutachtens und die langjährige Zusammenarbeit im Rahmen des Kompetenzzentrums „Training und Technologie“. Besonders möchte ich mich für die Möglichkeit der Teilnahme am Promotionsstudiengang und das Vertrauen zur Übernahme einer eigenen Lehrveranstaltung bedanken.

Wilhelm Termath hat sehr entscheidend zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen. Als Mentor, Coach, fachlicher Ansprechpartner und guter Freund hatte er stets ein offenes Ohr und hat sowohl meine fachliche als auch meine persönliche Entwicklung geprägt. Dafür ein großes Dankeschön!

Dr. Eberhard Blümel danke ich für das Vertrauen, mich nach dem Studium als wissenschaftliche Mitarbeiterin zu beschäftigen und damit diese Arbeit erst zu ermöglichen. Für die Unterstützung und Förderung meiner Arbeit bedanke ich mich recht herzlich.

Ich möchte mich außerdem bei den zahlreichen KollegInnen und HilfwissenschaftlerInnen des Fraunhofer IFF bedanken, mit denen ich im Rahmen von vielen Projekten zusammenarbeiten durfte und die stets für fachliche Diskussionen zur Verfügung standen und damit zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben. Besonders erwähnt werden sollen an dieser Stelle Ronny Franke, Stefan Leye, Marc Winter und Michael Robra. Den KollegInnen des Geschäftsfeldes „Mess- und Prüftechnik“, insbesondere Dr. Dirk Berndt, danke ich für die tollen Arbeitsbedingungen und neuen Impulse, die mir auch nach Abschluss der Dissertation ein spannendes Arbeitsfeld bieten.

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Familie. Danke, dass Ihr mich uneingeschränkt unterstützt habt und mir auch mal eine Laptop-freie Zeit ermöglicht habt, mit leckerem Spreewald-Quark, Rouladen und Schokopudding. Meinen Freunden danke ich für die tolle Zeit neben der Arbeit, die so wichtig war, um

einen klaren Kopf zu behalten und diese Arbeit zu einem erfolgreichen Abschluss zu bringen. Bei gemeinsamen tollen Wanderungen, Urlauben, Koch- und Kinoabenden und tollen Gesprächen konnte ich auftanken. Jana, Steffi, Nicole, Dana, Britta, Jeanette, Nathalie, Melanie...Ihr seid die Besten!

Magdeburg, Mai 2017

Inhalt

Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	13
Verzeichnis der Abkürzungen	14
Zusammenfassung	15
1 Motivation und Zielstellung	17
1.1 Motivation	17
1.2 Instandhaltung	18
1.3 Arbeitssysteme im Wandel: Industrie 4.0 und Auswirkungen auf die Arbeitsgestaltung	22
1.4 Zielstellung der Dissertation	26
1.5 Einordnung in einen Projektzusammenhang	28
1.6 Vorgehensweise	29
2 Theoretische Bezüge	31
2.1 Einleitung	31
2.2 Industrie 4.0 und die Auswirkungen auf den Menschen	32
2.3 Instandhaltung	42
2.3.1 Maßnahmen der Instandhaltung	43
2.3.2 Technologische Entwicklungen in der Instandhaltung und Auswirkungen auf die Anforderungen an die Fachkraft	46
2.3.3 Störungsdiagnosekompetenz bei Instandhaltungstätigkeiten	50
2.3.4 Das Arbeitssystem Instandhaltung	53
2.3.5 Lernkonzepte in der Instandhaltung	56
2.4 Lern- und Assistenzsysteme in der Instandhaltung – ein Überblick	63
2.5 Didaktisch-methodisches Design	68
2.5.1 Lerntheorien	68
2.5.2 Entwicklung von Kriterien zur didaktischen Gestaltung von Lern- und Assistenzsystemen	83
2.5.3 Potentiale virtueller Technologien für die Gestaltung von Lern- und Assistenzsystemen	96
2.6 Zusammenfassung und Fazit	99

3	Erfahrungswissen in technologiebasierten Lern- und Assistenzsystemen	101
3.1	Einleitung	101
3.2	Pädagogisch-psychologische Betrachtung von Erfahrung	102
3.3	Explizieren von Erfahrungswissen – wissenschaftlicher Diskurs	107
3.4	Methoden zur Erhebung von Erfahrungswissen	110
3.4.1	Storytelling	111
3.4.2	Triadengespräch	114
3.5	Transfer von Erfahrungswissen im Seminar und im Arbeitsprozess	119
3.5.1	Technologiebasierte Aufbereitung von Erfahrungswissen am Beispiel einer Fehlersituation infolge eines Montagefehlers	119
3.5.2	Technologiebasierte Aufbereitung von Erfahrungswissen am Beispiel eines Assistenzsystems zur Qualitätssicherung in der Fertigung von Zylinderkurbelgehäusen	127
3.5.3	Erfahrungswissen im Seminar	128
3.5.4	Erfahrungswissen im Arbeitsprozess	131
3.6	Zusammenfassung	133
4	Konzeption eines integrierten Lern- und Assistenzsystems	135
4.1	Einleitung	135
4.2	Anforderungen an ein Lernsystem	136
4.2.1	Zielgruppe	136
4.2.2	Lerninhalt	137
4.2.3	Lernort	140
4.2.4	Organisationale Rahmenbedingungen	141
4.3	Anforderungen an ein produktionsintegriertes Assistenzsystem	141
4.3.1	Arbeitsgestaltung	141
4.3.2	Partizipation	144
4.4	Hardware	145
4.5	Medienauswahl	146
4.5.1	Kriterien für die Auswahl geeigneter Medien	147
4.5.2	Text	148
4.5.3	Bild	152
4.5.4	Audio	155
4.5.5	Video und Animation	157
4.5.6	Fazit zur Medienauswahl	159
4.6	Didaktische Aufbereitung des Lern- und Assistenzsystems	161
4.7	Zusammenfassung	177

5	Realisierung des technologiebasierten Lern- und Assistenzsystems	179
5.1	Einleitung	179
5.2	Anforderungen	179
5.3	Datenbasis	181
5.4	Entwicklungswerkzeuge	181
5.5	Realisierung	184
5.5.1	Datenaufbereitung	186
5.5.2	Erstellung funktionaler Prozesse	188
5.5.3	Interaktive Komponentendarstellung	189
5.5.4	Visualisierung von Arbeitsaufgaben (Best Practice)	203
5.5.5	Entwicklung interaktiver Lernaufgaben	206
5.6	Zusammenfassung	212
6	Einsatz und Evaluierung	215
6.1	Einleitung	215
6.2	Einsatz	215
6.2.1	Einsatz im Seminar	215
6.2.2	Einsatz in der Störungsaufklärung	219
6.3	Evaluierung	220
6.3.1	Evaluationsdesign	220
6.3.2	Ergebnisse	224
6.4	Zusammenfassung	226
7	Ergebnisse, Gestaltungshinweise und Ausblick	229
7.1	Ergebnisse	229
7.2	Gestaltungshinweise	233
7.3	Ausblick	236
	Literaturverzeichnis	239
	Anhang	249

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1	Einflussfaktoren auf die Produktionsarbeit der Zukunft.	23
Abb. 2.1	Die vier Stufen der industriellen Revolution.	33
Abb. 2.2	Arbeit der Zukunft – Mensch und Automatisierung	37
Abb. 2.3	Polarisierte Organisation vs. Schwarm-Organisation	39
Abb. 2.4	Entscheidung aus systemtheoretischer Sicht	41
Abb. 2.5	Grundmaßnahmen der Instandhaltung.	43
Abb. 2.6	Entwicklungsstadien der Instandhaltung	46
Abb. 2.7	Diagnoseleistungen	52
Abb. 2.8	Arbeitssystem nach REFA	54
Abb. 2.9	Wissenskonstruktion beim Anchored-Instruction-Ansatz.	74
Abb. 2.10	Experten-Novizen-Paradigma	85
Abb. 2.11	Lernzieltaxonomie nach Bloom.	87
Abb. 2.12	Systematisierung von Lernenden und Lernziel	91
Abb. 2.13	Vorzüge und Defizite beim Lernen Älterer	92
Abb. 2.14	Morphologie als Entscheidungshilfe für den Einsatz technologiebasierter Lern- und Assistenzsysteme	95
Abb. 2.15	Potentiale virtueller Technologien	97
Abb. 3.1	Hypothesen zum Zusammenwirken von Maßnahmen zum Transfer und den Wissensarten	106
Abb. 3.2	Transfer impliziten Wissens zwischen Meister und Lehrling	109
Abb. 3.3	Transfer impliziten Wissens zwischen Experte und Novize	109
Abb. 3.4	Maßnahmen zum Wissenstransfer	110
Abb. 3.5	Storytelling mit Comics	112
Abb. 3.6	Die Rollen im Triadengespräch	116
Abb. 3.7	Themenlandkarte eines Triadengesprächs.	116

Abb. 3.8	Erfahrungslandkarte	117
Abb. 3.9	Arbeitsauftrag: Austausch von Kunststoffstiften	120
Abb. 3.10	Fehlerursache	121
Abb. 3.11	Sicht am realen Gerät	122
Abb. 3.12	Werkzeugkasten der Lernumgebung	125
Abb. 3.13	Assistenzsystem im Arbeitsprozess	128
Abb. 3.14	Verortung eines Prüfschritts im Assistenzsystem	129
Abb. 3.15	Individuelles Arbeiten mit der Lernumgebung	130
Abb. 3.16	Wissensvermittlung am virtuellen Modell	130
Abb. 3.17	Industriehelm mit Kamera und Mikrofon	132
Abb. 3.18	Redaktionsprozess	132
Abb. 4.1	Kriterien lern- und kompetenzförderlicher Arbeitsgestaltung	142
Abb. 4.2	Nutzeradaptive Gestaltung von Assistenzfunktionen	143
Abb. 4.3	Funktionen von Bildern	153
Abb. 4.4	Didaktische Funktionen von Medien und Verfahren ihrer Auswahl	160
Abb. 4.5	Strukturierung der Lernumgebung	162
Abb. 4.6	Interaktionen zum Erkunden des Antriebs	164
Abb. 4.7	Visualisierung des Isoliergases Schwefelhexafluorid	166
Abb. 4.8	Zusammenwirken von Antrieb und Polsäule	167
Abb. 4.9	Checkliste zur Beschreibung einer Arbeitsaufgabe	169
Abb. 4.10	Annotation für Zugriff auf ergänzende Informationen	170
Abb. 4.11	Interaktives Wartungsprotokoll	172
Abb. 4.12	Grafische Oberfläche zur Kontrolle der Isolatoren	173
Abb. 4.13	Fragen zur Vorgehensweise bei einem Lackschaden	174
Abb. 4.14	Vollständige Handlung in der Lernumgebung	175
Abb. 5.1	Trainingsmodi der VDT-Plattform	183
Abb. 5.2	Vier Typen wissensbasierter Systeme für den Instandhaltungsbereich	184
Abb. 5.3	Realisierung der Entwicklungsschritte	185

Abb. 5.4	Datenaufbereitung	186
Abb. 5.5	Erstellung funktionaler Prozesse	188
Abb. 5.6	Entwicklung einer interaktiven Komponentendarstellung	190
Abb. 5.7	Gerenderte Bilder der Komponentendarstellung	192
Abb. 5.8	Systemantwort zum Hervorheben einer Baugruppe	194
Abb. 5.9	Interaktive Komponentendarstellung	197
Abb. 5.10	Bisherige Form der Komponentendarstellung	198
Abb. 5.11	Makro zum Rendern eines hervorgehobenen Objekts in der umgebenden Baugruppe	201
Abb. 5.12	ID-Bilder	202
Abb. 5.13	Visualisierung von Arbeitsaufgaben (Best Practice)	203
Abb. 5.14	Interaktiver Arbeitsplan	204
Abb. 5.15	XML-Beschreibung des Arbeitsplans	205
Abb. 5.16	Entwicklung interaktiver Lernaufgaben	206
Abb. 5.17	Einstieg in die Lernaufgabe	207
Abb. 5.18	Avatar stellt Leitfrage	208
Abb. 5.19	Sortieren der 5 Sicherheitsregeln	208
Abb. 5.20	Werkzeugauswahl	209
Abb. 5.21	Erstellung des Arbeitsplans	211
Abb. 6.1	Ablauf eines konventionellen Seminars	217
Abb. 6.2	Ablauf eines Seminars unter Einsatz der Lernumgebung	218
Abb. 6.3	Störungsaufklärung vorher und nachher	220
Abb. 6.4	Seminargruppen	221
Abb. 6.5	Ablauf der Evaluation	222
Abb. 6.6	Follow-up: Arbeitsprobe	223
Abb. 7.1	Kriterien für den Einsatz technologiebasierter Lern- und Assistenzsysteme	233
Abb. 7.2	Empfehlungen für die didaktische Gestaltung technologiebasierter Lern- und Assistenzsysteme	234

Abb. 7.3	Empfehlungen für die Medienauswahl	235
Abb. 7.4	Empfehlungen für die Gestaltung des Lernsettings und den partizipativen Entwicklungsprozess.	236

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1	Designprinzipien des Anchored-Instruction-Ansatzes	75
Tab. 2.2	Übersicht lerntheoretischer Positionen	82
Tab. 2.3	Zuordnung von Lerninhalt und Lerntheorie	100
Tab. 4.1	Ansätze für die Kategorisierung von Medien	147

Verzeichnis der Abkürzungen

AI	Anchored Instruction
AR	Augmented Reality (Erweiterte Realität)
CAVE	Cave Automatic Virtual Environment
CBT	Computer Based Training
CPS	Cyber-physisches System
CTGV	Cognition and Technology Group at Vanderbilt
HMD	Head-Mounted Display
i. O.	in Ordnung
KMU	Klein- und mittelständische Unternehmen
n. i. O.	nicht in Ordnung
PSA	Persönliche Schutzausrüstung
SF ₆	Schwefelhexafluorid
VR	Virtuelle Realität

Zusammenfassung

Die vierte industrielle Revolution und die damit einhergehenden Veränderungen der Arbeitssysteme nehmen auch Einfluss auf die Instandhaltung. Die technischen Systeme werden zukünftig verstärkt autonom und vernetzt arbeiten und in ihrer Gesamtheit komplexer werden. Der Instandhalter¹ nimmt in diesem System eine verantwortungsvolle Rolle ein, mit den Zielen, die Ausfallzeiten der Maschinen zu minimieren und Fehler ressourcen- und energieeffizient zu beheben. Die steigende Komplexität, Vernetzung und Autonomie der Produktionsprozesse bedarf neuer Formen der Aus- und Weiterbildung. Bereits heute sieht sie sich der Herausforderung gegenüber, dass viele Maschinen aufgrund mangelnder Verfügbarkeit, eines erhöhten Gefahrenpotentials und schwer einsehbarer Prozesse nur unzureichend für die Qualifizierung genutzt werden können.

Dem gegenüber stehen die Potentiale technologiebasierter Lern- und Assistenzsysteme, die den Instandhalter durch die bedarfsgerechte Bereitstellung und Auswertung einer Vielzahl von Daten am Arbeitsplatz und im Seminar unterstützen. Zudem ermöglichen sie es, Erfahrungen unabhängig von einem realen Arbeitsauftrag zu machen.

Die vorliegende Dissertation untersucht die Fragestellung, wie technologiebasierte Lern- und Assistenzsysteme im Anwendungskontext der Instandhaltung für den Einsatz in der beruflichen Weiterbildung und unmittelbar im Arbeitsprozess zu gestalten sind, um sowohl fachsystematisches Wissen als auch Erfahrungswissen zu transferieren.

Die Konzeption und Realisierung eines Lern- und Assistenzsystems erfolgt dazu im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung aus drei Perspektiven: die didaktische Aufbereitung der Lerninhalte, die organisationale Einbettung in den Unternehmenskontext und die Berücksichtigung anwendungsspezifischer Anforderungen.

Im Ergebnis der Arbeit ist ein prototypisches Lern- und Assistenzsystem für die Instandhaltung eines Hochspannungsleistungsschalters entstanden, das im praktischen Einsatz erprobt und evaluiert wurde. Daraus wurden Handlungsempfehlungen für die Gestaltung von Lern- und Assistenzsystemen für die Instandhaltung an zunehmend digitalisierten und vernetzten Anlagen abgeleitet, die sowohl die reflektierten eigenen Erfahrungen als auch die theoretischen Bezüge der methodisch-didaktischen Gestaltung und der Instandhaltung vereinen.

¹ Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet. Sämtliche Personenbezeichnungen gelten gleichwohl für beiderlei Geschlecht.

1 Motivation und Zielstellung

1.1 Motivation

Mit der Mechanisierung, Elektrisierung und Informatisierung wurden in der Geschichte der Produktion bereits große Etappen bewältigt. Eine ähnliche Entwicklung lässt die vierte industrielle Revolution erwarten, die durch eine zunehmende Vernetzung und Autonomie der Maschinen und Anlagen gekennzeichnet sein wird. Über das sog. *Internet der Dinge* werden die Maschinen, Betriebsmittel und Informationssysteme zukünftig eigenständig Informationen austauschen, Produktionsprozesse auslösen und steuern und ressourceneffizient produzieren. Eine große Herausforderung wird die technische Umsetzung dieser Systeme sein. Besondere Beachtung muss darüber hinaus auch den Mitarbeitern innerhalb der sich verändernden Produktionsprozesse zukommen.

„Die Mitarbeiter können sich dank intelligenter Assistenzsysteme auf die kreativen, wertschöpfenden Tätigkeiten konzentrieren und werden von Routineaufgaben entlastet. Angesichts eines drohenden Fachkräftemangels kann auf diese Weise die Produktivität älterer Arbeitnehmer in einem längeren Arbeitsleben erhalten werden. Die flexible Arbeitsorganisation ermöglicht es den Mitarbeitern, Beruf und Privatleben sowie Weiterbildung besser miteinander zu kombinieren und erhöht die Work-Life-Balance.“ [Hellinger et al. (April 2013)]

Innerhalb dieser komplexen Produktionssysteme wird die Tätigkeit der Instandhaltung weiterhin in der Verantwortung von Mitarbeitern liegen, die ihre sensorischen Fähigkeiten und Erfahrungen einbringen, um Fehler schnell beheben zu können. Die zunehmende Komplexität der Systeme erfordert von den Instandhaltern ein flexibles Reagieren auf eine Vielzahl von Fehlersituationen. Die Mitarbeiter müssen in der Lage sein, Fehler zu identifizieren und die geeigneten Maßnahmen zur effizienten Fehlerbehebung einzuleiten.

Ein wesentlicher Anteil dieser Entscheidungsprozesse ist auf Erfahrungswissen zurückzuführen. Experten, die langjährig als Instandhalter tätig sind, stützen ihre Entscheidungen daher in der Praxis in der Regel weniger auf Faktenwissen, sondern zu großen Teilen auf bereits erfolgreich durchgeführte ähnliche Instandhaltungsmaßnahmen. Über die Zusammenarbeit in Teams wurde dieses Erfahrungswissen bisher vorwiegend in der Zusammenarbeit mit Experten erworben.

Angesichts der sich verändernden Produktions- und Arbeitssysteme werden sich die Arbeitsbedingungen der Instandhalter jedoch dahingehend verändern, dass sie zunehmend komplexe Systeme allein beherrschen werden müssen. Eine Zusammenarbeit zwischen Erfahrenen und Novizen wird die Ausnahme

sein. Es wird somit erforderlich sein, die Erfahrungssicherung und den -transfer auf anderen Wegen zu gestalten.

Die vorliegende Dissertation untersucht vorhandene didaktische Theorien und Methoden sowie deren Eignung und Nutzbarmachung für die Anwendung in einem technologiebasierten Lern- und Assistenzsystem. Dabei liegt ein Fokus auf der Fragestellung, wie Erfahrungsepisoden multimedial aufbereitet und mit virtuellen 3D-Modellen verknüpft werden können. Für die Identifizierung und Erhebung von Erfahrungswissen werden vorhandene narrative Ansätze vorgestellt und mit Blick auf ihre Anwendbarkeit in der betrieblichen Praxis bewertet. Ziel der multimedialen Aufbereitung ist es, den narrativen Charakter der Erfahrungsepisoden zu erhalten und in technologiebasierte Lern- und Assistenzsysteme zu integrieren. Diese sollen einen nachhaltigen, weitgehend personenunabhängigen Erfahrungstransfer ermöglichen. Für die Nutzung wird zwischen der organisierten Weiterbildung im Seminar und dem arbeitsprozessbegleitenden Einsatz unterschieden. Beide Anwendungsszenarien stellen unterschiedliche Anforderungen an die Inhalte, die didaktische Aufbereitung und die technische Implementierung in die vorhandene IT-Infrastruktur der Unternehmen.

Den Impuls für die Erarbeitung einer Konzeption zur Gestaltung technologiebasierter Lern- und Assistenzsysteme lieferten mehrere begleitende Industrieprojekte, in denen Lern- und Assistenzsysteme für den betrieblichen Einsatz entwickelt wurden. Die dort gesammelten Erfahrungen wurden in der Konzeption reflektiert und führten zu einer iterativen Verbesserung. Die zugrundeliegenden Lern- und Assistenzlösungen wurden für die Energiebranche [Beuting et al. (2010)] und die Automobilbranche [Haase et al. (2016)] entwickelt.

1.2 Instandhaltung

Ich, Maximilian, genannt Max, arbeite beim Energiedienstleister im Nachbarort. Ich habe vor zwei Monaten meine dreijährige Berufsausbildung abgeschlossen. Mein Aufgabenfeld beinhaltet unter anderem die Instandhaltung der Hochspannungsgeräte. Das ist nicht ganz ohne ... Da warten jeden Tag andere Aufgaben auf mich. Viele der Geräte sind schon lange im Einsatz, da weiß man, wie die ticken. Aber dann gibt es welche, die sind noch recht neu und keiner weiß, welche Fehler mit der Zeit auftreten werden. Da hab ich schon ordentlich Respekt vor. Immerhin muss man sich schon sicher sein, welchen Handgriff man macht. Da wirken ordentliche Kräfte.

Während meiner Ausbildung war ich meist mit Kollegen unterwegs und ich konnte von ihnen vieles lernen und meine Fragen loswerden. Heinz-Peter, mein Ausbilder, ist besser als jedes Handbuch. Er hört schon, wenn da was nicht ganz rund läuft und kann sich auf so ziemlich alles einen Reim machen. Er hat schon soviel erlebt, war weltweit unterwegs und kennt die Geräte aus dem FF. Aber auch er hat mir erzählt, dass sich in den letzten Jahren viel verändert hat. Früher sind vier bis sechs Kollegen zusammen zu einem Instandhaltungseinsatz gefahren. Damals gab es natürlich noch deutlich weniger Hilfsmittel, so dass einer allein das gar nicht bewältigen konnte. Heute ist vieles automatisiert und teilweise aus der Ferne abzurufen. Da werden weniger Leute zum Kunden geschickt. Dabei bleibt aber auch der Austausch mit den Kollegen auf der Strecke. Heinz-Peter hat früher viel von seinen Kollegen gelernt, sie haben gemeinsam überlegt wie sie die Probleme am Schaltgerät lösen.

Irgendwann kamen dann die Handys, da hat man eher angerufen und gefragt, was man machen soll, wenn man nicht weiter wusste. Damit hat man natürlich Leute und Spritkosten gespart. Aber so richtig eindeutig erklären kann man das am Telefon oft nicht, was man da grad für ein Problem hat. Dafür sind es zu viele Teile.

Ich werde demnächst immer öfter allein raus müssen, wenn ein Schalter ein Problem hat. Mit meinem Smartphone kann ich zumindest schon mal Fotos machen und dem Experten schicken, damit er weiß, welches Teil ich meine. Aber bei den vielen verschiedenen Geräten, die ich instandhalten muss, wird das keine einfache Aufgabe. Da würde ich gern Heinz-Peter mit seiner Erfahrung an meiner Seite wissen. Aber er ist jetzt auf Weltreise und genießt seinen wohlverdienten Ruhestand ... *

* Die Geschichte ist frei erfunden, beruht aber auf den aktuellen Entwicklungen in der betrieblichen Praxis.

Die beschriebene Geschichte soll einen praxisnahen Einblick in die Veränderungen und die damit einhergehenden Herausforderungen der Instandhaltung geben, insbesondere im Bereich der Energietechnik. Im Fokus der Betrachtung dieser Arbeit sollen die Veränderungen der Zusammenarbeit infolge der zunehmenden Technisierung und die daraus resultierenden neuen Formen der Informationsbereitstellung und des Wissens- und Erfahrungsaustauschs stehen.

Dazu soll im Folgenden ein kurzer Überblick über die Tätigkeit der Instandhaltung gegeben werden. Eine fachsystematische Beschreibung der Instandhaltung erfolgt dann in Kapitel 2.3.

Die Tätigkeit der Instandhaltung im Überblick

In der DIN 31051 [DIN 31051 (2012–09)] werden die Tätigkeiten der Instandhaltung in die Grundmaßnahmen Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung unterschieden. Während eine Inspektionsaufgabe vor allem Kenntnis der zu inspizierenden Parameter erfordert, muss bei einer Instandsetzung eine Fehleranalyse und -behebung erfolgen. Dafür ist ein hohes Maß an Problemlösefähigkeit notwendig, welches vor allem durch die Bearbeitung von Arbeitsaufträgen in der betrieblichen Praxis erworben wird.

Diese Fähigkeit wird nicht durch ein theoretisches fachsystematisch aufgebautes Seminar vermittelt, sondern basiert auf Erfahrungen, die bei der Bearbeitung von Fehlern am technischen Gerät gemacht wurden. Die Fehlersituationen, die der Instandhalter vorfindet, sind nicht immer identisch, sondern variieren je nach Gerätetyp, Alter und Randbedingungen. Damit müssen auch die Lösungsprozeduren angepasst werden, indem vorhandene Lösungen verändert oder neu zusammengeführt werden (Synthese).

Die auftretenden Fehler sind oft nicht vorhersehbar. Treten Fehler gehäuft auf, werden daraus Verbesserungsmaßnahmen, z. B. in der Konstruktion, abgeleitet oder flächendeckende Wartungsaufträge zum Austausch betroffener Bauteile durchgeführt.

Eine Vielzahl an Fehlersituationen ist zudem real nicht nachstellbar, weil sie sehr selten auftreten. Manche Fehlerbilder treten erst mit zunehmender Lebensdauer der Geräte auf. Die Lösungsfindung erfordert dann ein tiefgreifendes Verständnis von Aufbau, Funktion und Zusammenwirken der Prozesse, so dass daraus eine fundierte Fehleranalyse und schließlich die Fehlerbehebung folgen kann.

Neben der Charakteristik der Instandhaltungstätigkeit müssen auch die veränderten organisationalen Prozesse betrachtet werden. Während früher Servicefahrzeuge mit vier Monteuren zur Instandhaltung unterwegs waren, sind die Monteure heute oft allein unterwegs. Die Ursachen dafür liegen vor allem in der fortschreitenden Technisierung. Viele Inspektionsaufgaben werden mittels Condition Monitoring automatisiert. Die Ergebnisse werden direkt in die Leitwarte übertragen, menschliches Eingreifen ist nur noch im Ausnahmefall erforderlich. Zudem stehen auf den Baustellen verbesserte Hilfsmittel wie Hebezeuge und Messgeräte zur Verfügung, teilweise werden die Monteure durch Fremdfirmen unterstützt.

Für den Monteur führen diese Veränderungen zu einer physischen Entlastung, zugleich steigt jedoch der psychische Druck. Dort, wo früher im Team über die Problemlösung beraten wurde, muss der Monteur Entscheidungen allein tref-

fen. Die Expertise erfahrener Kollegen ist nicht mehr vor Ort verfügbar, sondern ggf. nur telefonisch. Damit steigt der **Bedarf an Assistenzsystemen, die Erfahrungsepisoden und erforderliche Informationen im Arbeitsprozess ad-hoc bereitstellen** und den Monteur bei der Fehleranalyse und -behebung unterstützen.

Grundlage eines solchen Assistenzsystems ist eine verlässliche Wissensbasis, wobei sich *verlässlich* zum einen auf den Umfang der Inhalte und zum anderen auf deren Aktualität bezieht. Um beide Kriterien erfüllen zu können, muss das Assistenzsystem nicht nur dem Abruf von Informationen und Erfahrungen dienen, sondern auch die Möglichkeit bieten, Inhalte einzupflegen. Das können z. B. Problemlösungen neu aufgetretener Fehler sein oder Hinweise, die die Durchführung bestimmter Arbeiten erleichtern und ggf. Fehler vermeiden.

Die Bereitstellung von Informationen und Erfahrungswissen im Arbeitsprozess reicht nicht aus, um die Mitarbeiter zu unterstützen. Der Einsatz des Assistenzsystems kann in der Praxis lediglich ergänzend zum Einsatz kommen. Grundvoraussetzung für das sichere Agieren in Fehlersituationen und die Fähigkeit, Entscheidungen zu treffen, ist eine solide Basisqualifikation der Monteure. Dazu werden bisher regelmäßige Seminare angeboten, in denen z. B. der Austausch bestimmter Komponenten am Schaltgerät geschult wird, oft infolge wiederholt auftretender Fehler an den Geräten und damit im Rahmen einer Verbesserungsmaßnahme.

Das Potential dieser Seminare ist bisher noch nicht erschöpft. Eine positive und unbedingt zu erhaltende Komponente der Seminare ist die Begleitung durch einen Experten. In der Regel sind die Dozenten aus der Praxis, haben lange Jahre selbst die Schaltgeräte instandgehalten und verfügen über einen enormen Erfahrungsschatz. Diese Erfahrungen können sie im Seminar, neben aller Fachsystematik, weitergeben und übernehmen damit im Seminar eine wichtige Rolle für die Reflektion von Entscheidungen im Lernprozess. Die Weitergabe ihrer Erfahrung erfolgt in Form von Episoden und Geschichten aus ihrem Berufsleben.

Die bisherigen Seminare haben Potential in der Darstellung und Aufbereitung der technischen Inhalte, Funktionsweisen und Entscheidungsprozesse sowie in der didaktischen Gestaltung. Sie sind derzeit aus Theorie- und Praxismodulen aufgebaut, wobei die Vermittlung der theoretischen Inhalte in der Regel als Frontalunterricht erfolgt. Hier werden zwar alle Fakten vermittelt, allerdings fehlt es an anwendungsgebundener Einbettung und handlungsorientierter Vermittlung.

Ein technologiebasiertes Lernsystem kann hier unterstützend eingesetzt werden, um die theoretischen Kenntnisse anzuwenden und auf andere Anwendungsfelder zu übertragen. Zudem können Fehlersituationen nachgestellt werden, die in der Praxis äußerst selten auftreten oder mit hohen Material- oder Ausfallkosten verbunden sind.

Fazit für die vorliegende Arbeit:

- Für die Durchführung der Seminare bietet der Einsatz eines technologiebasierten Lernsystems das Potential, die Vermittlung von Faktenwissen um die Integration von Erfahrungsepisoden zu erweitern, es in einen situierten Anwendungskontext zu setzen und die Bearbeitung so interaktiv zu gestalten, dass sie den Anforderungen einer handlungsorientierten Unterrichtsgestaltung entspricht.
- Die Entwicklung des technologiebasierten Assistenzsystems erfordert neben einer bedarfsgerechten Bereitstellung von fachsystematischem Wissen und vorhanden Lösungsansätzen in der Problemsituation die Möglichkeit, neue Problemlösungen und Erkenntnisse zusammen mit bewährten Lösungen zu reflektieren und in der Wissensbasis bereitzustellen.

1.3 Arbeitssysteme im Wandel: Industrie 4.0 und Auswirkungen auf die Arbeitsgestaltung

Die zunehmende Vernetzung der immer autonomer arbeitenden Maschinen in der Produktion führt zu Veränderungen der Arbeitssysteme. Dabei ist nicht der steigende Grad an Automatisierung neu, sondern vielmehr die Art und Weise der Kooperation der Maschinen untereinander und zwischen Mensch und Maschine. In der smarten Fabrik kennt die Maschine den Arbeitsauftrag und wählt ihre Parameter entsprechend selbst aus. Das Produkt hingegen weiß, wann es wo benötigt wird und aus welchen Komponenten es besteht. Im Rahmen dieser Arbeit sollen diese Veränderungen aus der Perspektive des Menschen und weniger aus technologischer Sicht mit Blick auf die Vernetzung der Anlagen betrachtet werden.



Abb. 1.1: Einflussfaktoren auf die Produktionsarbeit der Zukunft

Quelle: [Ganschar (2013)], in Anlehnung an [Abele u. Reinhart (2011)]

Diese Veränderungen werden durch Randbedingungen und Erfordernisse des Marktes gesteuert und sind in Abbildung 1.1 zusammengefasst. Im Folgenden sollen die dort genannten Rahmenbedingungen und die daraus resultierenden Anforderungen an die Produktion näher betrachtet werden:

1. Globalisierung

Globalisierung im Sinne internationaler Handelsbeziehungen ist kein neues Merkmal, das sich im Rahmen von Industrie 4.0 entwickelt. In diesem Kontext bekommt es aber eine neue Qualität, weil jetzt nicht mehr nur Geschäftspartner vernetzt sind, sondern auch deren Maschinen und Prozesse. Daraus resultieren neue Dienstleistungen und Geschäftsmodelle, die neue Anforderungen an die Qualifizierung der Mitarbeiter stellen. Auch Instandhaltungstätigkeiten, z.B. für die Hochspannungsbetriebsmittel, werden weltweit angeboten. Viel stärker als beim regionalen Einsatz zeigt sich hier die Notwendigkeit, die Monteure für das sichere Handeln und Entscheiden zu qualifizieren, damit sie auch ohne die Verfügbarkeit von Experten vor Ort die Instandhaltungsmaßnahmen schnell und sicher durchführen können. Stärker als bei national agierenden Unternehmen sind daran die Kosten für den Instandhaltungseinsatz gebunden (Reisekosten etc.). Qualifiziert das Unternehmen Mitarbeiter vor Ort,

muss zusätzlich die Sprachbarriere überwunden werden. Dazu muss die bereitgestellte Hilfe mehrsprachig oder sprachunabhängig zur Verfügung gestellt werden.

2. Durchdringung mit neuen Technologien

Der Einsatz neuer Technologien fordert von den Mitarbeitern die kontinuierliche Weiterbildung, um diese Technologien anwenden zu können. Hier ist die Zusammenarbeit von erfahrenen Mitarbeitern mit den jungen Nachwuchsmitarbeitern ein Erfolgsfaktor. Dabei kommen Erfahrung und aktuelles Fachwissen zusammen. Die Herausforderung besteht darin, sich von bewährten Lösungen und Vorgehensweisen im Zuge der Weiterentwicklung zugunsten innovativer Lösungen trennen zu können. Dafür muss neben der Erfahrungssicherung auch eine Kultur des bewussten „Vergessens“ [Dimbath (2009)] etabliert werden.

3. Dynamisierung der Produktlebenszyklen

Mit der zunehmenden Individualisierung von Produkten müssen die Mitarbeiter in der Produktion und in der Instandhaltung in der Lage sein, diese Variantenvielfalt zu bewältigen. Die Spezifika der verschiedenen Gerätetypen können in der Instandhaltung über Assistenzsysteme bereitgestellt werden. Damit werden lange Einarbeitungszeiten reduziert und Wissen steht ad-hoc am Arbeitsplatz zur Verfügung.

„Die zukünftig entstehenden Fabriken werden [...] nicht mehr für spezifische Produkttypen ausgelegt, sondern Fertigungssysteme einsetzen, die in sehr kurzer Zeit auf die Produktion beliebiger Produkte umgestellt werden können.“ [Dombrowski et al. (2014), S. 136]

4. Ressourcenverknappung

Die energieeffiziente und ressourcenschonende Produktion wird ein Erfolgsfaktor für die Unternehmen sein. Nachhaltiges Produzieren und der Einsatz innovativer Werkstoffe werden die Produktion von morgen bestimmen.

5. Lernende Gesellschaft/Wissensgesellschaft

Durch die weite Verbreitung digitaler Geräte im privaten Bereich bekommt das informelle Lernen in Zukunft einen höheren Stellenwert. Die Mitarbeiter werden sich nicht mehr ausschließlich im Seminar weiterbilden, sondern zunehmend mobile Angebote nutzen. Für die Unternehmen bietet die weite Verbreitung mobiler Endgeräte ein großes Potential. Die Mitarbeiter sind mit dem Umgang dieser Geräte aus dem privaten Bereich vertraut. Für die zu entwickelnden Lern- und Assistenzsysteme wäre