



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

Diplomarbeit

Qualitätsassistenzsysteme in der Automobilindustrie

Stand der Technik sowie Chancen und Risiken

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

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

E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Human Centered Cyber Physical
Production and Assembly Systems (Mensch-Maschine-Interaktion)

Dipl.-Ing. Dr. Walter Mayrhofer

E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Human Centered Cyber Physical
Production and Assembly Systems (Mensch-Maschine-Interaktion)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Lukas Franzl, BSc

1226331 (E 066 482)

Hallerweg 1

4073 Wilhering

München, im November 2019

Lukas Franzl



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

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

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre weiters Eides statt, dass ich meine Diplomarbeit nach den anerkannten Grundsätzen für wissenschaftliche Abhandlungen selbstständig ausgeführt habe und alle verwendeten Hilfsmittel, insbesondere die zugrunde gelegte Literatur, genannt habe.

Weiters erkläre ich, dass ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im In- noch Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe und dass diese Arbeit mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit übereinstimmt.

Kurzfassung

Die vorliegende Diplomarbeit setzt sich mit den Einsatzmöglichkeiten, dem Nutzen und insbesondere den Chancen und Risiken von technischen Assistenzsystemen speziell in Bezug auf das Qualitätsmanagement auseinander. Hierfür werden aufbauend auf den grundlegenden Anforderungen an das Qualitätsmanagement von Automobilindustrieunternehmen generelle Anwendungsgebiete von Assistenzsystemen identifiziert, und so ein konzeptioneller Rahmen für deren Einordnung geschaffen. Die notwendigen Komponenten zur Schaffung von kognitiver Assistenz werden anschließend in Ein- und Ausgabesysteme und verschiedene Stufen der Datenverarbeitung gegliedert, welche anhand gängiger Technologien näher erläutert werden. Basierend auf den erarbeiteten Grundlagen werden exemplarisch einige in der Automobilindustrie im Einsatz befindliche Assistenzsysteme vorgestellt, sowie deren Aufbau und Nutzen für das Qualitätsmanagement diskutiert. Zur näheren Analyse möglicher Chancen und Risiken von Assistenzsystemen wird eine geeignete Methode des Risikomanagements bestimmt, und diese anschließend systematisch auf ein Fallbeispiel angewendet.

Die Arbeit leitet aus den Erkenntnissen der Recherche und der Risikoanalyse im Rahmen des Anwendungsbeispiels einerseits Herausforderungen und Risiken ab, welchen durch ein aktives Risikomanagement entgegengewirkt werden kann. Letztlich wird eine ganz klare Überlegenheit der Chancen zur Qualitätsverbesserung durch Assistenzsysteme festgestellt, sowie damit verbundene technologische Trends aufgezeigt.

Abstract

This diploma thesis deals with application areas, benefits and especially chances and risks of technical assistance systems for quality management purpose. Based on the fundamental requirements for a quality management system of automotive industry companies, general fields of application for assistance systems are identified with the aim of creating a conceptual framework for categorization. The different components of assistance systems necessary for the creation of cognitive assistance are then divided into input and output devices and various stages of data processing. Following this categorization, the different components are explained in detail with reference to common technologies. Based on that knowledge, some operating assistance systems in automotive industry are exemplarily presented and discussed in terms of functionality and benefits for the quality management. For obtaining a more detailed analysis in terms of possible chances and risks of assistance systems, an appropriate method of risk management is determined and then systematically applied to a case study.

As an outcome of the research the diploma thesis derives various challenges and risks of assistance systems, which can be counteracted by an active risk management. In conclusion, a clear dominance of opportunities for quality improvement is determined and associated technological trends are shown.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung.....	1
1.1	Ausgangspunkt.....	1
1.2	Problemstellung und Forschungsfrage	2
1.3	Aufbau und Struktur der Arbeit	2
2	Anforderungen an das Qualitätsmanagement.....	4
2.1	Geschichtlicher Hintergrund	4
2.2	Moderner Qualitätsbegriff	4
2.3	Relevante Normen.....	5
2.3.1	Normungsbegriff	5
2.3.2	Die ISO 9000 Normenreihe.....	6
2.3.3	IATF 16949:2016	8
2.4	Anforderungen aus Sicht der Normen	9
2.4.1	Führung	10
2.4.2	Kundenorientierung.....	10
2.4.3	Prozessorientierung	11
2.4.4	Risikobasierter Ansatz	12
2.4.5	Dokumentation.....	14
2.5	Anforderungen aus rechtlicher Sicht.....	16
2.5.1	Gesetzliche und behördliche Anforderungen	16
2.5.2	Produkthaftung.....	17
2.6	Anforderungen aus betriebswirtschaftlicher Sicht.....	20
2.6.1	Erfüllung der Kundenanforderungen	20
2.6.2	Qualitätskosten	22
2.6.3	Qualitätskennzahlen	24
3	Möglichkeiten zur Risikobewertung.....	25
3.1	Risiko und Risikomanagement	25
3.2	Der Regelkreis im Risikomanagement	26
3.3	Methoden und Werkzeuge	27
3.3.1	Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse	28
3.3.2	Risikoidentifikation durch Brainstorming	30

3.3.3	Risikomatrix zur Bewertung von Risiken	31
4	Industrielle Assistenzsysteme im Qualitätskontext	33
4.1	Assistenz	33
4.2	Mensch-Maschine-Interaktion	33
4.3	Morphologie	35
4.4	Eingabetechnologien zur Interaktion	38
4.4.1	Haptische Eingabegeräte	39
4.4.2	Optische Eingabegeräte	41
4.4.3	Akustische Eingabegeräte	42
4.4.4	Cyber-physische Systeme als Datenquelle	43
4.5	Ausgabetechnologien zur Interaktion	44
4.5.1	Zweidimensionale visuelle Ausgabegeräte	44
4.5.2	Augmentierte Realität und Virtuelle Realität	45
4.6	Möglichkeiten zur Datenverarbeitung und Analyse	47
4.6.1	Computer-Aided Quality	47
4.6.2	Ansätze zur kognitiven Datenverarbeitung	51
4.7	Qualität 4.0	54
4.7.1	Mobile Assistenzsysteme	55
4.7.2	Analyse von Big Data	57
4.7.3	Cloud-basierte Data Analytics	60
4.7.4	Idealbild eines Meta-Assistenzsystems	61
4.7.5	Grenzen der künstlichen Intelligenz	63
5	Qualitätsassistenzsysteme in der Anwendung	64
5.1	Übersicht	64
5.2	Praxisanwendungen	65
5.2.1	Die Fraunhofer KVP-App	65
5.2.2	Assistenz bei einer Türgriffkommissionierung	66
5.2.3	Qualitätsprüfung mittels Gestensteuerung	67
5.2.4	Assistenz bei der Prozesskontrolle einer Honmaschine	68
5.2.5	Kamerabasiertes Assistenzsystem „Der schlaue Klaus“	69
5.2.6	Augmented Reality zur Werker-Qualifizierung	70
5.2.7	Sichtprüfung mittels künstlicher Intelligenz	71

5.2.8	Volkswagen Industrial Cloud.....	72
6	Chancen und Risiken eines Assistenzsystems für visuelle Fehlererfassung	74
6.1	Beschreibung des Systems	74
6.2	Risikobewertung	75
6.3	Zusammenfassung der Ergebnisse	75
7	Allgemeine Chancen und Risiken für das Qualitätsmanagement	78
7.1	Qualitätsplanung	78
7.2	Qualitätssteuerung	79
7.3	Qualitätssicherung.....	83
7.4	Qualitätsverbesserung.....	83
8	Fazit und Ausblick.....	85
A	Anhang.....	88
A.1	Fehler Management Software	88
A.1.1	Aufbau des Softwarepaketes	88
A.1.2	Bedienoberfläche für die Technologie Montage.....	90
A.2	Prozess zur Problemlösung.....	91
A.2.1	Konventionelle IPS-Q Fehlererfassung und Auswertung	91
A.2.2	FMS Fehler- und Nacharbeitserfassungsprozess	92
A.2.3	Fehleranalyseprozess im FMS.....	94
A.3	Behandlung der Chancen und Risiken von FMS.....	95
A.3.1	Vorgehensweise	95
A.3.2	Risiken	97
A.3.3	Chancen	98
A.3.4	Abgeleitete Maßnahmen.....	99
A.4	Nächste Schritte zur nachhaltigen Förderung der Chancen durch FMS.....	102
A.5	Bewertungstabelle	107
	Literaturverzeichnis	109
	Abbildungsverzeichnis.....	116
	Tabellenverzeichnis.....	117
	Abkürzungsverzeichnis.....	118

1 Einführung

1.1 Ausgangspunkt

Kundenzufriedenheit ist ein wesentlicher Faktor für den wirtschaftlichen Erfolg eines jeden Unternehmens. Aufgrund der fortschreitenden Globalisierung und der enormen Produktvielfalt werden jedoch die Kundenansprüche immer höher. Reichte früher die Sicherstellung der technischen Funktionstüchtigkeit und Beschädigungsfreiheit des Produktes zur Zufriedenstellung des Kunden noch aus, sind heutzutage vielzählige weitere Qualitätskriterien zu erfüllen um am Markt erfolgreich zu sein.

Speziell in der Automobilindustrie kommen darüber hinaus noch weitere Sicherheits- und Umwelanforderungen durch den Gesetzgeber und dessen Behörden hinzu, welche in diesem Kontext eine Grundvoraussetzung zur Markteinführung eines Produktes darstellen. Eine Sicherstellung und ausreichende Dokumentation der Fehlerfreiheit und Betriebssicherheit des Produktes ist dabei nicht nur aus behördlicher Sicht, sondern auch zum Zwecke einer Absicherung gegen kundenseitige Schadensersatzansprüche nach dem Produkthaftungsgesetz notwendig.

Um den kundenseitigen und gesetzlichen Anforderungen gerecht zu werden, ist es nahezu unerlässlich, dass das Unternehmen eine durchgängige, über den gesamten Produktions- und Auslieferungsprozess dokumentierte Produktqualität gewährleisten kann. Ein branchenweit anerkannter Weg zur Sicherstellung der geforderten Standards ist eine durch externe Auditierung erlangte Zertifizierung des Qualitätsmanagementsystems. Die Rahmenbedingungen und Anforderungen hierfür sind in speziellen Normen festgeschrieben, welche das Grundgerüst des heutigen Qualitätsmanagements darstellen.

In früheren Entwicklungsstufen des Qualitätsmanagements war es noch leichter große Verbesserungspotentiale hinsichtlich Verbesserung der Produktqualität auszuschöpfen, beispielsweise durch Implementierung elementarer Qualitätstools oder sukzessiver Sensibilisierung der Mitarbeiter auf ein ganzheitliches Qualitätsverständnis. Mit der Entwicklung hin zum umfassenden Qualitätsmanagement und exzellenten Prozessen werden Verbesserungen durch konventionelle Methoden jedoch immer marginaler. Im Zuge fortschreitender Digitalisierung und neuen Ansätzen der Industrie 4.0 ergeben sich speziell für die komplexen Montagesysteme der Automobilindustrie neue Optimierungspotentiale zur weiteren Steigerung der Qualität, wodurch insbesondere der Einsatz von industriellen Assistenzsystemen in Betracht gezogen werden muss.

1.2 Problemstellung und Forschungsfrage

Ein Großteil der Literatur beleuchtet hauptsächlich die Vorteile und den Nutzen einer digitalen, durch Assistenzsysteme unterstützten Fabrik und den dadurch entstehenden Möglichkeiten zur Produktivitätssteigerung. Der kontinuierliche Verbesserungsprozess ist aber durchaus auch mit vielzähligen Risiken verbunden. Diese Risiken für Qualitätsmanagementsysteme müssen, wie in der Norm gefordert, identifiziert, bewertet und möglichst beherrschbar gemacht werden.

In fach einschlägigen Publikationen findet sich weder eine detaillierte Aufstellung zum Stand der Technik oder zukünftigen Trends von Assistenzsystemen speziell für Qualitätszwecke in Montagen der Automobilindustrie noch eine darüber hinausgehende Betrachtung der möglichen Chancen und Risiken derartiger Systeme. Hieraus ergibt sich eine Forschungslücke auf welcher die vorliegende Diplomarbeit ansetzen soll.

Wie aus den vorhergehenden Überlegungen ersichtlich, muss deshalb zuerst ein fundiertes Verständnis über die Anforderungen an ein Qualitätsmanagementsystem und dessen risikobasierten Ansätzen aufgebaut und ein Überblick über den branchenweiten Einsatz von Qualitätsassistenzsystemen verschafft werden. Wichtig ist auch, ausgehend vom Stand der Technik, auf zukünftige Entwicklungen zu schließen, um ein gesamtheitlicheres Bild zu erhalten. Außerdem muss der Frage nachgegangen werden, welche Chancen sich durch Assistenzsysteme ergeben und wie die Risiken solcher Systeme für die Qualität identifiziert, messbar und kontrollierbar gemacht werden können. Schlussendlich soll also folgende Fragestellung beantwortet werden:

Welche Chancen und Risiken ergeben sich durch Assistenzsysteme für das Qualitätsmanagement von Unternehmen der Automobilindustrie?

Ziel der vorliegenden Diplomarbeit ist demnach die möglichst vollständige Beantwortung dieser Frage bezogen auf Qualitätsassistenzsysteme in der Automobilbranche, welche sich jedoch durchaus für den Einsatz in anderen Industriezweigen eignen können. Des Weiteren sollen nur Assistenzsysteme behandelt werden, welche im produktionsnahen Kontext eines Qualitätsmanagementsystems und den daraus hervorgehenden Prozessen und Regelkreisen eingesetzt werden können.

1.3 Aufbau und Struktur der Arbeit

Basierend auf den einleitenden Überlegungen gilt es sich zuerst mit der Frage zu befassen, welche Anforderungen überhaupt an ein Qualitätsmanagementsystem aus normativen und anderen Vorgaben gestellt werden. Diese Anforderungen werden in Kapitel 2 der vorliegenden Arbeit eingehend beleuchtet.

Da die Norm zwar den Risikobegriff definiert und die Notwendigkeit eines Risikomanagements vorschreibt, jedoch keine expliziten Vorgehensweisen oder Methoden beinhaltet, müssen in Kapitel 3 die Grundlagen und vor allem verschiedene Methoden zur Identifikation und Bewertung von Chancen und Risiken erörtert werden. Der Fokus dabei liegt auf der Auswahl eines geeigneten Instruments zur Abschätzung und Dokumentation der möglichen Chancen und Risiken durch ein Qualitätsassistenzsystem.

Das nachfolgende Kapitel 4 befasst sich dann erstmals mit dem Assistenzbegriff und Assistenzsystemen. Ziel soll dabei einerseits die Schaffung einer Strukturierungsmöglichkeit der verschiedenen Systemtypen für Anwendungen des Qualitätsmanagements sein, gleichzeitig sollen aber gängige Komponenten dieser Assistenzsystemtypen untersucht werden. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen werden in Abschnitt 4.7 mögliche Zukunftstrends im Bereich der Assistenzsysteme zur Fehlererfassung und Datenanalyse und somit der maschinen- beziehungsweise informationstechnologischen Unterstützung von Qualitätsmanagementprozessen exemplarisch beschrieben. In Kapitel 5 werden anschließend die zuvor überwiegend theoretisch behandelten Aspekte von Assistenzsystemen anhand einiger relevanter Praxisbeispiele illustriert.

Um die Forschungsfrage in allen Facetten auszuleuchten und einen noch stärkeren Bezug zur Praxis herzustellen, wird eine Methode des Risikomanagements in Kapitel 6 auf ein Fallbeispiel angewandt. Bei diesem handelt es sich um ein Assistenzsystem zur visuellen Fehlererfassung und Fehlerauswertung in der Montage eines Automobilwerkes. Dabei soll eine solche Risikobewertung formal durchgeführt werden und anschließend auch Maßnahmen vorgeschlagen werden um diese zu minimieren, beziehungsweise beherrschbar zu machen.

Auf dieser Analyse und auf der Recherche aufbauend werden abschließend in Kapitel 7 Rückschlüsse auf generelle, durch den Einsatz von Assistenzsystemen auftretende Chancen und Risiken geschlossen und deren Auswirkungen auf die Qualität und das Qualitätsmanagement diskutiert.

2 Anforderungen an das Qualitätsmanagement

2.1 Geschichtlicher Hintergrund

Die Anfänge des Qualitätsmanagements in seiner heutigen Form reichen zurück bis zum Beginn des 20. Jahrhunderts.¹ Mit der Anwendung von neuen Arbeitsteilungskonzepten, welche beispielsweise durch Theorien von Taylor² begründet waren, wurde es erstmals notwendig Qualitätskontrollen am Ende des Produktionsprozesses einzuführen. Schnell wurde das Produktionsvolumen der Massenfertigungen jedoch so groß, dass es nicht mehr wirtschaftlich war 100 Prozent Prüfungen durchzuführen. Aus diesem Grund wurden etwa ab den 1920er Jahren Teilkontrollen zur Qualitätssicherung, basierend auf statistischen Methoden von Shewhart³, eingeführt.

Wegen der immer komplexer gewordenen Produktions- und Fertigungsprozesse wurde es ab den 1960er Jahren schlussendlich notwendig sich nicht nur auf Endkontrollen zu beschränken, sondern Maßnahmen zur Fehlervermeidung gezielt im Produktentwicklungs- und Fertigungsprozess zu verankern – das Qualitätsmanagement war geboren. Prägende Persönlichkeiten in diesem Zusammenhang sind die US-Amerikaner Deming⁴ und Juran⁵, welche in Japan mit ihren Ansätzen der kontinuierlichen Verbesserung weitere Qualitäts- und Produktivitätssteigerungen erreichen konnten. Diese Philosophie gelangte erst in den 1980er Jahren wieder zurück in die USA und nach Europa, wo sie sich beispielsweise mit dem Konzept des Total Quality Management (TQM) beziehungsweise durch die Einführung der ISO 9000er Normenreihe etablierte.⁶

2.2 Moderner Qualitätsbegriff

Der Begriff Qualität leitet sich aus dem lateinischen Wort „qualitas“ ab, was übersetzt „Beschaffenheit“ bedeutet. Der Qualitätsbegriff wird zwar umgangssprachlich meist als positives Merkmal verwendet, ist aber an sich wertneutral.⁷

Die ISO 9000er Reihe, welche das Qualitätsmanagement weltweit standardisiert (näheres dazu in Abschnitt 2.3), definiert den Begriff Qualität sehr allgemein als „Grad, in

¹ Holger Brüggemann und Peik Bremer, *Grundlagen Qualitätsmanagement: Von den Werkzeugen über Methoden zum TQM*, 2. Aufl. (Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015). ISBN: 978-3-658-09220-7, 5–7.

² Frederik W. Taylor (1856 – 1915), US-amerikanischer Ingenieur

³ Walter A. Shewhart (1891-1967), US-amerikanischer Physiker, Ingenieur und Statistiker

⁴ William E. Deming (1900-1993), US-amerikanischer Physiker und Statistiker

⁵ Joseph M. Juran (1904-2008), rumänisch-amerikanischer Wirtschaftsingenieur

⁶ Susanne Koch, *Einführung in das Management von Geschäftsprozessen: Six Sigma, Kaizen und TQM* (Berlin, Heidelberg: Springer, 2011). ISBN: 978-3-642-01120-7, 185–86.

⁷ Brüggemann und Bremer, *Grundlagen Qualitätsmanagement*, 3–4.

dem ein Satz inhärenter Merkmale eines Objekts Anforderungen erfüllt“⁸. Der „Erfüllungsgrad von Anforderungen“ in dieser Definition suggeriert, wenn auch sehr abstrakt, dass Qualitätsanforderungen sehr wohl auch nicht erfüllt werden können und es sich somit gleichermaßen um „gute“ oder „schlechte“ Qualität handeln kann. Geiger und Kotte geben an dieser Stelle eine aus Praxissicht zweckmäßigere Definition und bezeichnen Qualität als "Relation zwischen realisierter Beschaffenheit und geforderter Beschaffenheit"⁹

Konform zu diesen Überlegungen definieren Geiger und Kotte auch den Begriff Qualitätsmanagement als „Management im Hinblick auf Forderungen an die Beschaffenheit der betrachteten Einheiten“¹⁰. Welche Forderungen an die Beschaffenheit eines Produktes gestellt werden, legt in der Regel der Kunde fest. Daraus lässt sich auch schlussfolgern: Der Kunde definiert Qualität!

2.3 Relevante Normen

2.3.1 Normungsbegriff

Das Deutsche Institut für Normung e.V. hat für diverse Begriffe in Zusammenhang mit Normung eine Norm herausgegeben. In der DIN EN 45020:2006 definiert es den Begriff „Norm“ folgendermaßen:

„Dokument, das mit Konsens erstellt und von einer anerkannten Institution angenommen wurde und das für die allgemeine und wiederkehrende Anwendung Regeln, Leitlinien oder Merkmale für Tätigkeiten oder deren Ergebnisse festlegt, wobei ein optimaler Ordnungsgrad in einem gegebenen Zusammenhang angestrebt wird“¹¹.

Aufbauend auf dieser sehr allgemein gehaltenen Definition und auf der Definition der Normungsarbeit führt die DIN EN 45020 außerdem Ziele von Normen an, wodurch ein besseres Bild über den Normungsbegriff und dem Sinn und Zweck von Normen entsteht. Demnach kann Normung ein oder mehrere Ziele verfolgen die sich durchaus überschneiden können, zum Beispiel „Begrenzung der Vielfalt, Zweckdienlichkeit,

⁸ Deutsches Institut für Normung, *DIN EN ISO 9000: Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe* (2015), ISO 9000:2015, 39.

⁹ Walter Geiger und Willi Kotte, *Handbuch Qualität: Grundlagen und Elemente des Qualitätsmanagements: Systeme - Perspektiven* (Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2008). ISBN: 978-3-8348-0273-6, 68.

¹⁰ Ebd., 9.

¹¹ Deutsches Institut für Normung, *DIN EN 45020: Normung und damit zusammenhängende Begriffe - Allgemeine Begriffe (ISO/IEC Guide 2:2004)* (2007), DIN EN 45020:2006, 25.

Kompatibilität, Austauschbarkeit, [...], Sicherheit, Umweltschutz oder Schutz der Erzeugnisse“¹². Aus diesen Aussagen lässt sich schlussfolgern, dass es sich bei Normung im Allgemeinen um eine Festlegung in Bezug auf einen Normungsgegenstand handelt, bei der immer ein gewisser Mehrwert für den Anwender angestrebt wird.

Die Umsetzung von Normen in einer Organisation beruht im Normalfall auf Freiwilligkeit, da sie keinen Gesetzescharakter besitzen. In der Praxis ist ihre Wirksamkeit jedoch teilweise sogar besser als die eines Gesetzes, denn sobald ein überwiegender Teil der Marktteilnehmer einen Standard anwendet, wird ein Nichtbefolgen sofort vom Markt bestraft.¹³

2.3.2 Die ISO 9000 Normenreihe

Die ISO 9000 wird von der International Organization for Standardization (kurz ISO) herausgegeben, welche eine unabhängige Nichtregierungsorganisation mit Sitz in Genf in der Schweiz ist. Sie bestand im Jahr 2018 aus 161 Mitgliedern (zum Beispiel für Deutschland das Deutsche Institut für Normung), welche die ISO in ihrem Land vertreten und Experten für die Erarbeitung von neuen internationalen Standards nominieren. Das zentrale Sekretariat in Genf hat die Aufgabe, die Expertenkomitees zu koordinieren und die Standards zu veröffentlichen.¹⁴

Die Ursprünge der ISO 9000er Reihe reichen zurück bis ins Jahr 1979, in dem vom Deutschen Institut für Normung e.V. erstmals ein Standard für Qualitätsmanagementsysteme veröffentlicht wurde. Aufbauend auf diesem Standard wurde dann 1987 die erste Version der internationalen ISO 9000 von der ISO herausgegeben. Erst im Jahr 2000 gab es dann eine Novelle mit größeren Überarbeitungen aus der auch die heutige Form der ISO 9001, welche die Anforderungen für ein Qualitätsmanagementsystem festlegt, hervorging. Mit ihrer neuesten Novelle 2015 stellt die ISO 9000er Reihe heute die weltweit bedeutendste Verfahrensnorm dar.¹⁵

Grundsätzlich besteht die ISO 9000er Reihe aus vier Normen, wobei die ISO 9000:2015 und die ISO 9004:2018 hauptsächlich Grundbegriffe, allgemeine Grundlagen und Erklärungen enthalten. Im Unterschied dazu legt die ISO 9001:2015 Anforderungen an ein Qualitätsmanagementsystem fest, nach welchem auch eine Zertifizierung durch einen Auditor einer unabhängigen Zertifizierungsgesellschaft erlangt werden kann. Die vierte und letzte Norm der Reihe ist die ISO 19011:2018 welche Hinweise zur Unterstützung der Vorbereitung eines solchen Zertifizierungsaudits geben

¹² DIN EN 45020:2006, 21.

¹³ Martin Hinsch, *Die ISO 9001:2015 – Ein Ratgeber für die Einführung und tägliche Praxis*, 3. Aufl. (Berlin: Springer Vieweg, 2019). ISBN: 978-3-662-56246-8, 1.

¹⁴ International Organization for Standardization, „ISO in brief: Great things happen when the world agrees,“ zuletzt geprüft am 21.05.2019, <https://www.iso.org/files/live/sites/iso-org/files/store/en/PUB100007.pdf>.

¹⁵ Hinsch, *Die ISO 9001:2015 – Ein Ratgeber für die Einführung und tägliche Praxis*, 2.

soll.¹⁶Die Tabelle 1 gibt einen zusammenfassenden Überblick über die ISO 9000 Normenreihe:

Norm	Untertitel
DIN ISO 9000:2015	Grundlagen und Begriffe
DIN ISO 9001:2015	Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen
DIN ISO 9004:2018	Qualitätsmanagement – Qualität einer Organisation – Anleitung zum Erreichen nachhaltigen Erfolgs
DIN ISO 19011:2018	Leitfaden zur Auditierung von Managementsystemen

Tabelle 1: Übersicht über die ISO 9000 Normenreihe

Im Folgenden soll die ISO 9001 etwas genauer betrachtet werden, da diese für die Praxis und dadurch auch für diese Arbeit am relevantesten ist.

Die ISO 9001:2015

Wie bereits kurz erwähnt, legt die DIN ISO 9001 die Mindestanforderungen an ein Qualitätsmanagementsystem einer Organisation fest, welche für eine Zertifizierung durch einen unabhängigen Auditor notwendig sind. In der Norm wird immer von einer Organisation und nicht von einem Unternehmen gesprochen, da diese nicht zwingenderweise nur für gewinnorientierte Unternehmen ausgelegt sind, sondern ganz allgemein, beispielsweise auch für Behörden oder Wohltätigkeitsorganisationen, angewendet werden kann.¹⁷

Generell lässt sich beim Lesen der Norm feststellen, dass diese sehr allgemein gehalten ist. Sie listet zwar die Anforderungen für eine Zertifizierung auf, gibt aber keinerlei Hinweise darüber wie genau und in welcher Ausprägung diese umgesetzt werden müssen.

Der Aufbau der neuesten Revision der ISO 9001 aus dem Jahr 2015 richtet sich nach der High-Level-Structure (HLS), einer einheitlichen Struktur der ersten und zweiten Gliederungsebene der Norm. Sie wird bereits in den meisten wichtigen Managementsystemnormen, beispielsweise auch in der automobilindustriespezifischen IATF 16949:2016 (Abschnitt 2.3.3), verwendet. Grund für diesen einheitlichen Aufbau liegt vor allem in der Möglichkeit, bestehende Managementsysteme einfacher zu erweitern und somit Mehrfachzertifizierungen zu erleichtern. Solange die Mindestanforderungen der Norm erfüllt sind, ist es aber nicht zwingend notwendig die HLS im Unternehmen umzusetzen.¹⁸

¹⁶ Koch, *Einführung in das Management von Geschäftsprozessen*, 29.

¹⁷ ISO 9000:2015, 27.

¹⁸ Hinsch, *Die ISO 9001:2015 – Ein Ratgeber für die Einführung und tägliche Praxis*, 3.

Neben der Einführung der HLS wurden bei der ISO 9001:2015 unter anderem noch weitere Änderungen vorgenommen. Einerseits wurde der risikobasierte Ansatz hervorgehoben. Des Weiteren wurde der Begriff der dokumentierten Information als Sammelbegriff für alle Dokumentationstätigkeiten im Qualitätsmanagementsystem eingeführt. Außerdem wurde die bereits in der Revision 2000 eingeführte Prozessorientierung durch neue Anforderungen noch weiter gestärkt.¹⁹

Diese Themen werden in Abschnitt 2.4 noch detaillierter betrachtet und sind von hoher Relevanz für diese Arbeit, da die geforderten Nachweise vor allem bei größeren Unternehmen fast nur noch durch komplexe computergestützte Systeme bewältigt werden können.

Ablauf des Zertifizierungsprozesses

Entscheidet sich eine Organisation für die Zertifizierung ihres Qualitätsmanagementsystems, geht es im ersten Schritt darum sich ein Verständnis über die ISO 9001 und deren Anforderungen aufzubauen, Handlungsbedarfe zu erkennen und diese im Unternehmen umzusetzen. Besonderes Augenmerk gilt dabei der dokumentierten Information (Abschnitt 2.4.5), welche auch während des Zertifizierungsaudits gesichtet wird. Das Zertifizierungsaudit als solches ist ein mehrstufiger Prozess und besteht aus einem Einführungsgespräch, einem Stufe 1 Audit bei dem die generelle Zertifizierungsfähigkeit überprüft werden soll und dem Hauptaudit bei dem das Qualitätsmanagementsystem auf Basis einer Auditcheckliste detailliert überprüft wird.²⁰

Nach einer erfolgreichen Zertifizierung müssen jedes Jahr Überwachungsaudits durchgeführt werden, die jedoch deutlich kürzer sind als das Zertifizierungsaudit. Alle drei Jahre findet darüber hinaus ein Re-Zertifizierungsaudit statt, um das ISO 9001 Zertifikat zu verlängern.²¹ Die ISO 19011:2018²² gibt an dieser Stelle einen detaillierten Leitfaden zur Steuerung eines Auditprogramms und für die Planung, Vorbereitung und Durchführung von Audits.

2.3.3 IATF 16949:2016

Die IATF 16949 ist ein Standard für Qualitätsmanagementsysteme der Automobilindustrie und baut auf den Anforderungen der ISO 9001 beziehungsweise auf den Grundlagen der ISO 9000 auf. Sie bildet somit keine eigenständige Norm und dient

¹⁹ Deutsches Institut für Normung, *DIN EN ISO 9001: Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen* (2015), ISO 9001:2015, 3.

²⁰ Hinsch, *Die ISO 9001:2015 – Ein Ratgeber für die Einführung und tägliche Praxis*, 15–28.

²¹ Ebd., 27.

²² Deutsches Institut für Normung, *DIN EN ISO 19011: Leitfaden zur Auditierung von Managementsystemen* (2018), ISO 19011:2018.

nur als Ergänzung der ISO 9001 indem sie diese um branchenspezifische Zusatzanforderungen für Entwicklung, Produktion und Montage von Produkten der Automobilhersteller und deren gesamte Lieferkette erweitert.²³

Die Erstausgabe durch die International Automotive Task Force (IATF), einer Arbeitsgruppe aus namhaften Vertretern der Automobilindustrie und Automobilverbänden²⁴, erfolgte 1999. Ziel dabei war eine weltweite Standardisierung unterschiedlichster Zertifizierungssysteme in der Lieferkette der Automobilindustrie. Seit dem wurde die IATF 16949 bereits mehrmals revidiert um sie den aktuellen Rahmenbedingungen anzupassen. Dabei besteht eine enge Zusammenarbeit mit der ISO, um die Kompatibilität zur ISO 9001 zu gewährleisten. In ihrer neuesten Revision 2016 wurden darüber hinaus Rückmeldungen von Zertifizierungsgesellschaften und der Automobilindustrie eingearbeitet. Die daraus abgeleitete zentrale Zielsetzung der IATF 16949:2016 soll ein auf ständiger Verbesserung, Fehlervermeidung und Verringerung von Verschwendung in der Lieferkette aufbauendes kundenorientiertes Qualitätsmanagementsystem darstellen.²⁵

Der Aufbau des Standards basiert wie die ISO 9001:2015 auf der High Level Structure.²⁶ Dies ist insofern sinnvoll, da die IATF 16949:2016, wie bereits zu Beginn des Kapitels erwähnt, auf der ISO 9001 aufbaut und somit eine Erweiterung einer bestehenden QM-Zertifizierung durch die einheitliche Struktur der im Normentext beschriebenen Anforderungen deutlich vereinfacht wird.

Mittlerweile besitzen alle führenden Automobilhersteller eine IATF-Zertifizierung und verlangen diese auch von ihren Lieferanten für eine Zusammenarbeit, weswegen die Einführung eines IATF 16949 zertifizierten Qualitätsmanagementsystems sehr vorteilhaft sein kann.²⁷

2.4 Anforderungen aus Sicht der Normen

Wie im vorherigen Abschnitt 2.3 bereits angedeutet, stellen die beschriebenen Normen vielfältige Anforderungen an das Qualitätsmanagement, welche für eine Zertifizierung erfüllt werden müssen. Es sollen daher, aufbauend auf den wichtigen Grundsätzen des Qualitätsmanagements Kundenorientierung, Führung und Prozessorientierung und

²³ International Automotive Task Force, *IATF 16949: Anforderungen an Qualitätsmanagementsysteme für die Serien- und Ersatzteilproduktion in der Automobilindustrie* (2016), IATF 16949:2016, 8.

²⁴ TÜV SÜD Management Service GmbH, „IATF 16949 – Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie,“ zuletzt geprüft am 13.05.2019, <https://www.tuev-sued.de/uploads/images/1547653695133423131081/whitepaper-de-iatf16949.pdf>, 4.

²⁵ IATF 16949:2016, 8–9.

²⁶ TÜV SÜD Management Service GmbH, „IATF 16949 – Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie,“ 5.

²⁷ Ebd., 11.

unter Beachtung der Forderungen der Norm an die Dokumentation und der Risikoorientierung, die theoretischen Grundlagen für Anwendungspotentiale von Assistenzsystemen geschaffen werden.

2.4.1 Führung

Für den Erfolg eines Qualitätsmanagementsystems ist es wichtig, dass der Qualitätsgedanke von höchsten Hierarchieebene des jeweils betroffenen Bereiches der Organisation gelebt und durchgesetzt wird. In der Norm wird in diesem Kontext oft der Begriff „oberste Leitung“ verwendet.²⁸ Diese sollte die Qualitätspolitik einer Organisation definieren und kommunizieren, aus welcher dann konkrete und leicht verständliche Qualitätsziele abgeleitet werden können.²⁹ Derartige strategische Entscheidungen sind jedoch keinesfalls leicht zu treffen und müssen auf Basis von Zahlen, Daten und Fakten erfolgen. Daraus ergibt sich oftmals Unterstützungsbedarf für das Management, welcher mittels computergestützte Entscheidungshilfen gedeckt werden kann. Solche Entscheidungsunterstützungssysteme werden in Zusammenhang mit kognitiver Assistenz in Abschnitt 4.6 noch näher betrachtet.

Darüber hinaus müssen die Kernanforderungen der Norm, welche in den nächsten Abschnitten näher beleuchtet werden, immer durch die oberste Leitung geführt und verantwortet werden. Dazu zählen die insbesondere die Förderung des prozessorientierten Ansatzes, risikobasierten Denkens beziehungsweise Kundenorientierung.³⁰

2.4.2 Kundenorientierung

Der kundenorientierte Ansatz ist aus wirtschaftlicher Sicht (Abschnitt 2.6.1) essentiell und wird deshalb auch in der Norm als zentrales Element gesehen. Die ISO 9000 trifft in diesem Kontext folgende Aussage:

„Der Hauptschwerpunkt des Qualitätsmanagements liegt in der Erfüllung der Kundenanforderungen und dem Bestreben, die Kundenerwartungen zu übertreffen.“³¹

Dies geht auch mit der einleitenden Begriffsdefinition aus Abschnitt 2.2 konform. Nur wenn eine Organisation die Anforderungen und Erwartungen seiner Kunden versteht, ist ein nachhaltiger Erfolg gewährleistet.

Die Erfüllung der Kundenanforderungen und die damit einhergehende Erhöhung der Kundenzufriedenheit werden in der ISO 9001 durch die konsequente Förderung der

²⁸ ISO 9000:2015, 25.

²⁹ Koch, *Einführung in das Management von Geschäftsprozessen*, 24.

³⁰ ISO 9001:2015, 21–22.

³¹ ISO 9000:2015, 13.

Prozessorientierung erreicht.³² Dafür fordert diese einen klar strukturierten Prozess für die Kommunikation mit dem Kunden und eine ausreichende Dokumentation über den gesamten Auftragsanbahnungsprozess, bei der Bestimmung und Überprüfung der Produkthanforderungen, aber auch beispielsweise bei Bestellungsänderungen.³³ Man kann sich leicht vorstellen, auch in Hinblick auf die in Abschnitt 2.4.5 behandelten Dokumentationspflichten des Unternehmens, dass diese Anforderungen ohne informationstechnologische Unterstützung kaum erfüllt werden können. In der Praxis wird dies meist mittels sogenannter Customer Relationship Management Systeme (Abschnitt 4.6.1) bewerkstelligt.

2.4.3 Prozessorientierung

Eine weitere essentielle Forderung der ISO 9001 ist die Prozessorientierung. In der klassischen Organisationsform der Aufbauorganisation gilt eine strenge Hierarchie und eine strikte Trennung der verschiedenen Funktionsbereiche wie zum Beispiel Produktion, Logistik oder Einkauf. Dies ermöglicht zwar eine sehr gute Optimierung der Abläufe innerhalb der Bereiche, führt jedoch auf die gesamte Organisation bezogen zu einem suboptimalen Ergebnis, da viele Prozesse bewiesenermaßen abteilungsübergreifend ablaufen und durch die Trennung einerseits Reibungsverluste entstehen können, andererseits aber auch der Fokus auf das Gesamtziel des Unternehmens leicht verloren gehen kann.³⁴

Bei der Ablauforganisation dagegen steht der prozessorientierte Ansatz im Mittelpunkt. In der Praxis kann die Integration der Prozessorganisation durchaus unterschiedlich ausgeprägt sein. Wird beispielsweise eine vorhandene Aufbauorganisation von einer Ablauforganisation überlagert, bezeichnet man diese als Sekundärorganisation. Bei einer völligen Ausrichtung auf Wertschöpfungsketten und internen und externen Kunden und Lieferanten dagegen ist die Prozessorientierung in der Primärorganisation ausgestaltet. Daraus ergeben sich viele Zwischenformen von Organisationsstrukturen wie zum Beispiel die funktionale Organisation mit Prozessverantwortung oder die Matrixorganisation.³⁵

Es verfolgt bereits die ISO 9000 bei den Begriffsdefinitionen einen stark prozessorientierten Ansatz. Werden laut der Norm einzelne „Tätigkeiten als zusammenhängende Prozesse, die als kohärentes System funktionieren, verstanden“³⁶, ergeben sich für eine Organisation laut Norm vielerlei Vorteile. Es können beispielsweise Ressourcen

³² ISO 9001:2015, 10.

³³ Ebd., 32–34.

³⁴ Koch, *Einführung in das Management von Geschäftsprozessen*, 11.

³⁵ Ebd., 12–14.

³⁶ ISO 9000:2015, 17.

effizienter genutzt und Barrieren innerhalb der Organisation abgebaut, und somit Verbesserungsmöglichkeiten ausgeschöpft und bessere Ergebnisse erzielt werden.³⁷ Konkreter wird die ISO 9001 bezüglich den Anforderungen an die Prozesse. Sie schreibt zahlreiche Mindestanforderungen für die notwendigen Prozesse beim Aufbau und Betrieb eines Qualitätsmanagementsystems vor. Sind die Prozesse konform den Anforderungen verwirklicht, müssen diese darüber hinaus in erforderlichen Umfang dokumentiert und diese Dokumente auch aufbewahrt werden, weswegen sich Abschnitt 2.4.5 noch detaillierter den Aspekten der Dokumentation widmet.³⁸

Bei genauerer Betrachtung entsprechen die von der Norm gestellten Anforderungen verallgemeinert den Tätigkeiten des Planen-Durchführen-Prüfen-Handeln-Modells (auch bekannt als PDCA-Modell) welches einerseits zu Steuerung einzelner Prozesse, aber auch zur Steuerung des Qualitätsmanagementsystems als Ganzes angewendet werden kann.³⁹ Zentrales Ziel dieses in den 1950er Jahren von den in Abschnitt 2.1 bereits erwähnten Amerikanern Walter Andrew Shewhart und William Edwards Deming entwickelten Problemlösungszyklus ist das Erreichen von kontinuierlicher Verbesserung.⁴⁰ Ein Schwerpunkt beim Schritt „Planen“ im PDCA-Zyklus liegt auf der Ermittlung und Bewertung von Chancen und Risiken. Daraus ergibt sich der konsequente Ansatz des risikobasierten Denkens in der Norm, auf welchen im nächsten Abschnitt 2.4.4 näher eingegangen wird.⁴¹

2.4.4 Risikobasierter Ansatz

Der Begriff Risiko wird in der ISO 9000 neutral als die „Auswirkung von Ungewissheit“⁴² definiert. Anschließend wird angemerkt, dass es sich bei einer „Auswirkung“ um eine „Abweichung vom Erwarteten – in positiver oder negativer Hinsicht“⁴³ handeln kann. Aus dieser Definition lässt sich ableiten, dass die Norm unter einem "Risiko" sowohl erwünschte, als auch unerwünschte Auswirkungen versteht. Es macht jedoch durchaus Sinn, diese zwei Begrifflichkeiten zu trennen und in weiterer Folge

- Chancen als positive Abweichungen vom Erwarteten und
- Risiken als negative Abweichungen vom Erwarteten

zu betrachten, um in der Praxis Verwirrung zu vermeiden. Auch die ISO 9001 spricht wahrscheinlich aus diesem Grund immer von Chancen und Risiken.

³⁷ ISO 9000:2015, 17–18.

³⁸ ISO 9001:2015, 20.

³⁹ Ebd., 11.

⁴⁰ Koch, *Einführung in das Management von Geschäftsprozessen*, 118–19.

⁴¹ ISO 9001:2015, 14.

⁴² ISO 9000:2015, 45.

⁴³ Ebd.

Die Behandlung von Chancen und Risiken bildet in der ISO 9001 ein zentrales Element bei der Einführung, Aufrechterhaltung und Verbesserung eines Qualitätsmanagementsystems. Konkret werden diesbezüglich in zwei Kapiteln Anforderungen gestellt, welche von der Organisation umzusetzen sind:

- Einerseits wird in Kapitel 6.1 der Norm vorgeschrieben, dass die Chancen und Risiken bei Planungen bestimmt und behandelt werden müssen, um zu gewährleisten, dass das Qualitätsmanagementsystem die gewünschten Ergebnisse erzielt. Darüber hinaus muss geplant werden, wie aus der Risikobehandlung abgeleitete Maßnahmen in die Prozesse integriert werden können und wie die Wirksamkeit dieser überprüft werden kann. Durch die daraus resultierende gezielte Nutzung von Chancen und Vermeidung von Risiken lässt sich im Endeffekt kontinuierliche Verbesserung erreichen.⁴⁴
- Außerdem wird in Kapitel 4.4 der Norm in Zusammenhang mit Prozessorientierung nochmals bekräftigt, dass für alle benötigten Prozesse des Qualitätsmanagementsystems eine Behandlung der Chancen und Risiken nach oben genannten Kriterien sichergestellt werden muss.⁴⁵

Risikobasiertes Denken

Aus diesen Anforderungen ergibt sich die Notwendigkeit der laufenden Betrachtung von möglichen Chancen und Risiken bei Optimierungstätigkeiten jeglicher Art am Qualitätsmanagementsystem. Essentiell dabei ist, dass diese Maßnahmen vor der eigentlichen Umsetzung, also vorbeugend zu treffen sind, da es eine Kernaufgabe des Qualitätsmanagement ist, als vorbeugendes Instrument zu wirken.⁴⁶ In der Norm wird für dieses Konzept der Begriff des risikobasierten Denkens eingeführt.

Es liegt jedoch im eigenen Ermessen des Unternehmens, zu bestimmen, wie und in welcher Form es den risikobasierten Ansatz umsetzen möchte. In der Norm sind weder formelle Methoden noch ein Leitfaden für einen Risikomanagementprozess vorgegeben.⁴⁷ In der Praxis wird die Ausprägung des Risikomanagements stark von der Unternehmensgröße, aber auch vom Leistungsspektrum und der Organisationskultur abhängig sein. Außerdem werden die Maßnahmen zur Risikominimierung umso aufwendiger ausfallen, umso größer das Risiko für die Existenz der Organisation ist. Nichtsdestotrotz muss beim Zertifizierungsaudit eine aktive Auseinandersetzung mit dem risikobasierten Ansatz nachgewiesen werden.⁴⁸

⁴⁴ ISO 9001:2015, 23–24.

⁴⁵ Ebd., 20.

⁴⁶ Ebd., 53–54.

⁴⁷ Ebd., 15.

⁴⁸ Hinsch, *Die ISO 9001:2015 – Ein Ratgeber für die Einführung und tägliche Praxis*, 41–43.

In Zuge dieser Arbeit werden in Kapitel 3 einige Grundlagen zum Thema Risikomanagement erläutert und praxisrelevante Methoden zur Durchführung einer Risikobewertung vorgestellt, welche in weiterer Folge auch in Kapitel 6 im Rahmen eines Fallbeispiels angewandt werden.

Risiko in der IATF

Die IATF 16949 setzt speziell für die Automobilindustrie einen über die Anforderungen der ISO 9001 hinausgehenden Schwerpunkt auf übergreifendes risikobasiertes Denken um mögliche Risiken über die gesamte Lieferkette zu reduzieren.⁴⁹ Dies wird vor allem durch die Forderung nach einer Dokumentation und Nutzung von gewonnenen Erkenntnissen (sogenannte Lessons Learned) deutlich, um ein Wiederauftreten von Fehlern in ähnlichen Prozessen vorbeugend zu vermeiden. Außerdem muss nach der Identifizierung und Bewertung der internen und externen Risiken für alle, für die Erfüllung der Kundenanforderungen relevanten Prozesse ein Notfallplan erstellt werden. Durch diesen muss die Produktionsausbringung beispielsweise nach einem unvorhergesehenen Ausfall einer wesentlichen Fertigungseinrichtung aufrecht erhalten werden können und sichergestellt werden, dass nach Wiederanlauf weiterhin alle Kundenspezifikationen erfüllt sind.⁵⁰

Wird der Ansatz des risikobasierten Denkens als Grundlage zur Planung und Umsetzung von Prozessen verwendet, hilft dies auch bei der Bestimmung des Ausmaßes der dokumentierten Information, mit welcher sich der nächste Abschnitt 2.4.5 beschäftigt.

2.4.5 Dokumentation

Wie bereits in den vorherigen Abschnitten angedeutet, spielt eine ausreichende Dokumentation eine wichtige Rolle für das Funktionieren eines Qualitätsmanagementsystems. Deshalb stellt die Norm auch in Bezug auf die dokumentierte Information spezielle Anforderungen, deren Erfüllung im Rahmen des Zertifizierungsaudits auch nachgewiesen werden muss.

Mit der Revision der ISO 9001 von 2015 ist kein Führen eines QM-Handbuches mehr zwingend vorgeschrieben.⁵¹ Stattdessen wird in der Norm der Sammelbegriff der „dokumentierten Information“ eingeführt, unter welchem „Information, die von einer Organisation gelenkt und aufrechterhalten werden muss, und das Medium, auf dem sie enthalten ist“⁵², verstanden wird.

⁴⁹ TÜV SÜD Management Service GmbH, „IATF 16949 – Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie,“ 4.

⁵⁰ IATF 16949:2016, 27–28.

⁵¹ ISO 9001:2015, 3.

⁵² ISO 9000:2015, 47.

Die dokumentierte Information muss dabei mindestens die von der Norm geforderten Aspekte umfassen und darüber hinaus jene Information, welche die Organisation als notwendig zum Funktionieren des Qualitätsmanagementsystems ansieht. Es muss außerdem sichergestellt werden, dass sie zur richtigen Zeit und am richtigen Ort verfügbar ist und ausreichend geschützt ist. Das erfordert die Lenkung von dokumentierter Information, bei der Tätigkeiten wie Verteilung, Verwendung aber auch Überwachung von Änderungen und Aufbewahrung gesteuert werden.⁵³

Die Forderung nach dokumentierter Information zieht sich durch die gesamte ISO 9001:2015 und betrifft folgende Prozesse und Elemente des Qualitätsmanagements:

- Anwendungsbereich des Qualitätsmanagementsystems
- Prozesse des Qualitätsmanagementsystems
- Qualitätspolitik
- Qualitätsziele
- Prüfmittel
- Kompetenznachweise
- Anforderungen an die Produkte und Dienstleistungen
- Steuerung von extern bereitgestellten Prozessen, Produkten und Dienstleistungen
- Eigentum von Kunden oder externen Anbietern
- Freigabe von Produkten und Dienstleistungen
- Nachweise der Ergebnisse von Leistungsbewertungen
- Interne Audits
- Managementbewertungen

Auch in der IATF16949:2016 wird in vielerlei Hinsicht eine adäquate Dokumentation gefordert, auch wenn diese Forderung nicht immer unter dem Begriff dokumentierte Information geführt wird. Dies erscheint auch logisch, da die beiden Normen ja aufeinander aufbauen. Anders als bei der ISO 9001 ist bei der IATF 16949 zur Dokumentation des Qualitätsmanagementsystems weiterhin das Führen eines Qualitätsmanagementhandbuchs vorgeschrieben, welches sich jedoch aus unterschiedlichen Dokumenten zusammensetzen kann.⁵⁴

Darüber hinaus schreibt die IATF bei einer Reihe von weiteren Prozessen, zum Beispiel bei Notfallplänen, Ergebnissen von Risikoanalysen, Kundenkommunikation oder im Produktentwicklungsprozess, das Führen einer umfangreichen Dokumentation vor. Spezielle Anforderungen an die Dokumentation stellt die Norm bei produktsicherheitsrelevanten Themen. Hier muss beispielsweise eine gesonderte Freigabe von Design-

⁵³ ISO 9001:2015, 30.

⁵⁴ IATF 16949:2016, 38.

und Prozess-FMEAs erfolgen, Schulungsbedarfe ermittelt oder die vollständige Rückverfolgbarkeit jedes Fertigungsloses über die gesamte Lieferkette gewährleistet werden.⁵⁵

In der Praxis geschieht die Dokumentation eines Qualitätsmanagementsystems meist über ein über mehrere Ebenen aufgebautes pyramidales System. Auf der obersten Ebene steht dabei das QM-Handbuch, diesem untergeordnet sind auf zweiter Ebene beispielsweise Prozessbeschreibungen oder Verfahrensanweisungen.⁵⁶ Bei den heutigen globalen Lieferketten ist eine ausreichende Dokumentation ohne computergestützte Datenbanken und Dokumentenmanagementsysteme fast unmöglich.

2.5 Anforderungen aus rechtlicher Sicht

2.5.1 Gesetzliche und behördliche Anforderungen

Die IATF 16949:2016 schreibt für die Produkte und Prozesse einer Organisation ganz klar vor:

„Die Organisation muss die Konformität aller Produkte und Prozesse [...] mit allen Kundenanforderungen sowie den anwendbaren gesetzlichen und behördlichen Anforderung sicherstellen.“⁵⁷

Die Einhaltung der durch den Gesetzgeber oder einer von ihm mandatierten Behörde festgelegten Anforderungen ist grundsätzlich verbindlich.⁵⁸ Dazu zählen neben den Anforderungen des Ausfuhrlandes des Produzenten auch die des Einfuhrlandes und des vom Kunden angegebenen Bestimmungslandes. Die Organisation muss dessen Erfüllung durch eine ausreichende Prozessdokumentation nachweisen können.⁵⁹

Die gesetzlichen Anforderungen sind vielzählig und können weltweit sehr unterschiedliche Ausprägungen haben. Ein Beispiel ist die Richtlinie 2007/46/EG⁶⁰, in welcher die technischen Anforderungen für die Typengenehmigung von Neufahrzeugen in der Europäischen Union gesetzlich verankert sind. Dabei handelt es sich sowohl um Themen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit, aber auch Erfüllung von Umweltverpflichtungen nach denen Fahrzeuge durch nationale technische Dienste geprüft werden müssen.

⁵⁵ IATF 16949:2016, 23.

⁵⁶ Hinsch, *Die ISO 9001:2015 – Ein Ratgeber für die Einführung und tägliche Praxis*, 16–17.

⁵⁷ IATF 16949:2016, 23.

⁵⁸ ISO 9000:2015, 40.

⁵⁹ IATF 16949:2016, 54.

⁶⁰ Kraftfahrzeuge – EU-Typgenehmigungssystem, Richtlinie 2007/46/EG, Europäische Kommission (2007).

Bei Nichterfüllung der Typengenehmigungsanforderungen darf weder der Verkauf noch die Inbetriebnahme eines Fahrzeugtyps erfolgen.⁶¹

Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl weiterer gesetzlicher Anforderungen, welche ein Hersteller erfüllen muss. Interessanter für das Thema dieser Arbeit sind jedoch die im nächsten Abschnitt 2.5.2 behandelten Rechtsfolgen, da diese eine enorme finanzielle Belastung für ein Unternehmen bedeuten können und gleichzeitig durch eine lückenlose Dokumentation mittels informationstechnischen Hilfsmittel verringert beziehungsweise abgesichert werden können.

2.5.2 Produkthaftung

Entstehen Schäden durch ein von einem Unternehmen in Umlauf gebrachtes, mangelhaftes Produkt, kann dies zu weitreichenden Konsequenzen führen. Im Schadensfall gibt es gleich mehrere Rechtsgrundlagen, die nebeneinander wirksam werden können. Es soll im Folgenden ein kurzer Überblick gegeben werden.

Vertragsrecht

Entdeckt ein Kunde Mängel an einer Sache, wird er diese primär nach den ihm zustehenden Rechten aus dem Kaufvertrag geltend machen. Deshalb steht in der Praxis für die meisten Unternehmen die vertragliche Gewährleistungshaftung im Vordergrund.⁶² Die Rechtsgrundlage dazu bildet in Deutschland und Österreich das Bürgerliche Gesetzbuch, welches einem Käufer bei einem mangelhaften Produkt die folgenden vier Handlungsmöglichkeiten bietet, wobei die Nacherfüllung zu bevorzugen ist:⁶³

- Nacherfüllung
- Rücktritt vom Vertrag
- Minderung des Kaufpreises
- Schadensersatz

Deliktsrecht

Wenn kein Vertragsverhältnis zwischen den streitenden Parteien besteht, greift die deliktische Produkthaftung. Dabei wird es einem Geschädigten möglich, bei schuldhaftem Verhalten eines Produzenten gegen diesen direkt vorzugehen. Dies wird bei-

⁶¹ Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, „Kraftfahrzeuge – EU-Typgenehmigungssystem: Zusammenfassung Richtlinie 2007/46/EG,“ zuletzt geprüft am 14.05.2019, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:n26100&from=DE>.

⁶² Geiger und Kotte, *Handbuch Qualität*, 157.

⁶³ Ebd., 139–44.

spielsweise dann der Fall, wenn der Konsument ein mangelhaftes Produkt, durch welches ein Schaden entstanden ist, über einen Händler erworben hat und somit nur mit diesem ein Kaufvertragsverhältnis besteht.⁶⁴

Ein essentieller Punkt beim Deliktrecht ist die Beweislastumkehr.⁶⁵ In der Regel ist es einem Konsumenten fast unmöglich zu beweisen, dass der Produzent schuldhaft gehandelt hat, da er die internen Produktionsabläufe des Produzenten nicht kennt. Deshalb wird bei der Beweislastumkehr zuerst angenommen, dass das Unternehmen ein fehlerhaftes Produkt bewusst in Verkehr gebracht hat. Dann liegt es am Unternehmen, zu beweisen, dass der Fehler unverschuldet entstand und es seine Sorgfaltspflicht erfüllt hat, also alles Mögliche zur Fehlerprävention unternommen wurde. Aus diesem Grund müssen aus Produzentenhaftungssicht für verschiedene Fehlerkategorien Nachweise geführt werden, um sich im Falle einer Schadensersatzklage entlasten zu können. Diese Kategorien betreffen im speziellen auch die in Abschnitt 2.4.5 erwähnte Dokumentation im Qualitätsmanagementsystem, konkret umfassen sie:⁶⁶

- Konstruktionsfehler
- Fabrikationsfehler
- Instruktionsfehler
- Organisationsfehler
- Erkennen von Fehlern nach Inverkehrbringen durch Produktbeobachtung

Ausgenommen von der verschuldensabhängigen Haftung sind Entwicklungsfehler, solange sie am Stand der Technik aufbauen und Ausreißer im Produktionsprozess, da hier kein Verschulden des Herstellers vorliegt.⁶⁷ Ausreißer können jedoch im Gegensatz zu Entwicklungsfehlern sehr wohl nach dem ProdHaftG belangt werden.⁶⁸

Produkthaftungsgesetz

Die Basis für das Produkthaftungsgesetz (ProdHaftG) bildet die EU-Richtlinie 85/374/EWG⁶⁹. Anders als bei der deliktischen Produkthaftung legt diese den Grundsatz der verschuldensunabhängigen Haftung bei Schaden durch ein fehlerhaftes Produkt fest.⁷⁰ Durch diese sogenannte Gefährdungshaftung ist es für einen Kläger irrelevant wo genau in der Lieferkette das Verschulden liegt. Ein Hersteller kann also

⁶⁴ Geiger und Kotte, *Handbuch Qualität*, 144–45.

⁶⁵ Heinz W. Adams, „Produkthaftung - allgemeiner Überblick,“ zuletzt geprüft am 03.06.2019, https://www.qz-online.de/qualitaets-management/qm-basics/recht_normen/produkthaftung/artikel/produkthaftung-allgemeiner-ueberblick-168322.html.

⁶⁶ Brüggemann und Bremer, *Grundlagen Qualitätsmanagement*, 233.

⁶⁷ Ebd., 234.

⁶⁸ Ebd., 237.

⁶⁹ Richtlinie zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Haftung für fehlerhafte Produkte, 85/374/EWG, Europäische Kommission (1985).

⁷⁰ Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union, „Fehlerhafte Produkte: Haftung: Zusammenfassung Richtlinie 85/374/EWG,“ zuletzt geprüft am 14.05.2019, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:I32012&from=DE>.

schon alleine durch die Tatsache, ein fehlerhaftes oder unsicheres Produkt in Umlauf gebracht zu haben, haftbar gemacht werden.⁷¹

Der Geschädigte kann somit gegen den Hersteller und alle Lieferanten in der Lieferkette klagen und dann die Ansprüche gegen ein beliebiges Unternehmen geltend machen. Anders als bei der deliktischen Produzentenhaftung können in diesem Fall Dokumente, welche die Erfüllung der Sorgfaltspflicht beweisen, den Hersteller nicht entlasten. Erst in einem weiteren Verfahren werden dann Produzenten und Lieferanten untereinander beispielsweise anhand von Lieferverträgen oder Qualitätssicherungsvereinbarungen über das Verschulden verhandeln. Außeracht gelassen werden sollten dokumentierte Qualitätsnachweise aber keinesfalls, da die verschuldete (deliktische) und unverschuldete (nach ProdHaftG) Produkthaftung nebeneinander gelten und sich gegenseitig ergänzen.⁷²

Weitere Haftungsmöglichkeiten

Zudem ist auch eine Haftung nach Strafrecht und öffentlichem Recht denkbar. Strafrechtlich kann beispielsweise gegen Führungskräfte aufgrund einer durch Nichthandeln verursachten Körperverletzung vorgegangen werden. Nach dem öffentlichen Recht hat die Behörde die Möglichkeit, vor einem Produkt zu warnen und dieses zurückzurufen. Alleine diese Tatsache bewirkt bei vielen Unternehmen ein proaktives Handeln bei Produktrückrufen um eventuelle negative Berichterstattung und Verkaufsrückgängen durch einen öffentlichen Rückruf zu vermeiden.⁷³

Zusammenhang mit dem Qualitätsmanagementsystem

Zusammenfassend lässt sich leicht feststellen, dass solche Haftungsfragen gravierende Folgen haben können, welche ein bedeutendes Risiko darstellen und es daher für den Unternehmenserfolg wesentlich ist, möglichst fehlerfreie Produkte in Umlauf zu bringen. Das kann durch ein gutes Qualitätsmanagementsystem gelingen, die juristischen Anforderungen gehen jedoch weit über die Mindestanforderungen einer ISO 9000 Zertifizierung hinaus.⁷⁴

Natürlich kann ein Unternehmen zur Minderung des Risikos auch Rückstellungen bilden oder sich gegen das Haftungsrisiko versichern, die Höhe der Versicherungsprämie wird aber wesentlich von der Güte des Qualitätsmanagementsystems abhängig sein – wieder ein Argument für eine möglichst gesamtheitliche Qualitätsorientierung.⁷⁵

⁷¹ Brüggemann und Bremer, *Grundlagen Qualitätsmanagement*, 235–37.

⁷² Adams, „Produkthaftung - allgemeiner Überblick“.

⁷³ Ebd.

⁷⁴ Ebd.

⁷⁵ Geiger und Kotte, *Handbuch Qualität*, 148.

2.6 Anforderungen aus betriebswirtschaftlicher Sicht

2.6.1 Erfüllung der Kundenanforderungen

Um ein Produkt erfolgreich verkaufen zu können, ist es aus wirtschaftlicher Sicht essentiell, den Forderungen des Kunden gerecht zu werden. Die grundlegende Zielsetzung des Erbringers einer Leistung, egal ob es sich dabei um ein materielles oder immaterielles Produkt beziehungsweise um eine Dienstleistung handelt, sollte es daher immer sein, dem Kunden das beste Angebot in Vergleich zu den Angeboten der Mitbewerber zu bieten. Um dies zu bewerkstelligen, muss das Produkt in jedem Fall zu einem marktgerechten Preis angeboten werden, am gewünschten Liefertermin verfügbar sein und die geforderte Beschaffenheit, also eine bestimmte Qualität aufweisen.⁷⁶ Dieser auch als „Polylemma der Produktion“ bekannte und in Abbildung 1 dargestellte Zielkonflikt beschreibt das Problem, dass bei einem produzierenden Unternehmen die drei Zielgrößen Kosten, Zeit und Qualität gleichzeitig nur sehr schwer optimiert werden können, da sie sich gegenseitig beeinflussen.⁷⁷

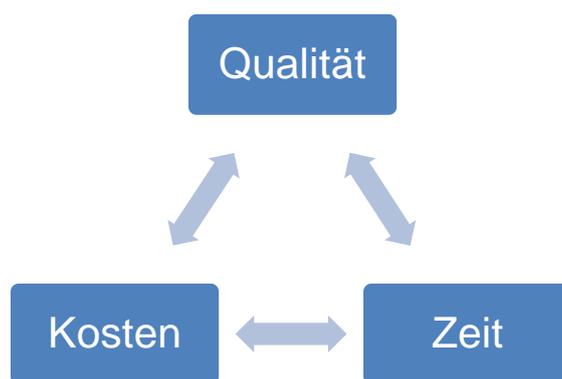


Abbildung 1: Das Polylemma der Produktion⁷⁸

In anderen Worten ausgedrückt bedeutet dies, dass der Kunde die Qualität eines Produktes als zentralen Aspekt unabhängig von Kosten und Zeit bewertet. Diese Gewichtung ist über den Zeitraum von Kaufüberlegung bis zum Ende der Nutzungsdauer eines Produktes aber keinesfalls konstant. Tendenziell ist bei der Kaufentscheidung der Kostenaspekt am höchsten gewichtet. Während der Nutzungsdauer vergisst der Kunde jedoch schnell den Kaufpreis und die Tatsache der termingerechten Lieferung der Ware. In dieser Phase wird der Qualitätsaspekt aus Kundensicht mit Abstand der Bedeutendste.⁷⁹

⁷⁶ Geiger und Kotte, *Handbuch Qualität*, 23.

⁷⁷ Jürgen Kletti und Jochen Schumacher, *Die perfekte Produktion: Manufacturing Excellence durch Short Interval Technology (SIT)*, 2. Aufl. (Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2014). ISBN: 978-3-662-45440-4, 4.

⁷⁸ Eigene Darstellung in Anlehnung an ebd., 124.

⁷⁹ Geiger und Kotte, *Handbuch Qualität*, 24–26.

Bei genauer Betrachtung lässt sich leicht feststellen, dass sich nicht das Produkt als Ganzes sondern einzelne Produktmerkmale stärker beziehungsweise schwächer auf die Kundenzufriedenheit auswirken. Gemäß dieser Beobachtung lassen sich die Produkthanforderungen nach dem Kano⁸⁰-Modell, wie in Abbildung 2 illustriert, in Grund-, Leistungs- und Begeisterungsmerkmale gliedern. Grundmerkmale werden demnach vom Kunden als selbstverständlich angesehen, eine Nichterfüllung wirkt sich stark negativ auf die Kundenzufriedenheit aus. Leistungsanforderungen werden hingegen bei der Kaufentscheidung explizit geäußert und führen zu einer linear höheren Kundenzufriedenheit. Im Unterschied dazu werden die Begeisterungsfaktoren nicht explizit geäußert, beziehungsweise sind diese dem Kunden gar nicht bewusst und übertreffen somit die Erwartungen des Kunden. Das ist auch der Grund, warum durch eine außerordentliche Qualität des Produktes die Kundenzufriedenheit überproportional gesteigert werden kann.⁸¹

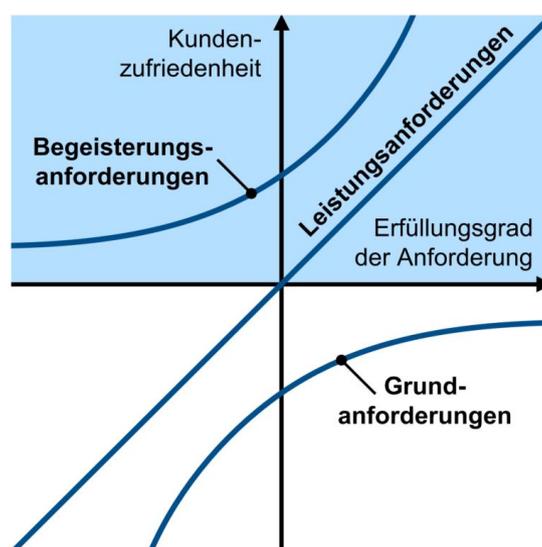


Abbildung 2: Das Kano-Modell der Kundenzufriedenheit⁸²

Im Gegensatz zum Marketing, in dem der Kunde als tatsächlicher oder potentieller Nachfrager am Markt gesehen wird, ist im Qualitätsmanagement der Kundenbegriff weitreichender. Es werden zusätzlich alle beteiligten Parteien der nachgelagerten Produktionsprozesse als interne Kunden definiert. Der Käufer in eigentlichen Sinne wird dagegen als externer Kunde bezeichnet. Die Herausforderung liegt nun darin, die Qualitätsbestrebungen nicht nur auf alle externen Kunden auszurichten, sondern auch auf die Internen. Um das zu erreichen, muss das Qualitätsdenken praktisch unternehmensweit verankert werden.⁸³

⁸⁰ Noriaki Kano (* 1940), Professor an der Universität Tokio

⁸¹ Ilyas Mattmann, *Modellintegrierte Produkt- und Prozessentwicklung* (Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017). ISBN: 978-3-658-19408-6, 57–58.

⁸² Ebd., 58.

⁸³ Koch, *Einführung in das Management von Geschäftsprozessen*, 36–38.

2.6.2 Qualitätskosten

Ein zentraler Aspekt einer jeden unternehmerischen Tätigkeit ist die Wirtschaftlichkeit. Das hochwertigste Produkt welches alle Kundenerwartungen übertrifft, macht wenig Sinn, wenn dieses durch explodierende Kosten für Qualitätsprüfungen, Nacharbeiten und Liquiditätslücken durch verzögerte Auslieferung nicht mehr gewinnbringend vermarktet werden kann.

In der Qualitätskostenrechnung werden deshalb alle Kosten, welche bei Qualitätsprüfungen, zur Fehlerverhütung oder aufgrund festgestellter Fehler anfallen, in einen wirtschaftlichen Kontext gestellt. Qualitätskosten lassen sich folgendermaßen in verschiedene Kostenarten gliedern:⁸⁴

- Fehlerverhütungskosten: Kosten die durch vorbeugende Qualitätsmaßnahmen entstehen.
- Prüfkosten: Kosten die durch die Qualitätskontrollen entstehen.
- Interne Fehlerkosten: Kosten die durch Fehlerbeseitigung vor in Verkehr bringen eines Produktes, also im Unternehmen anfallen.
- Externe Fehlerkosten: Kosten die durch Fehler nach in Verkehr bringen eines Produktes entstehen (siehe auch Abschnitt 2.5.2 zu Produkthaftung).
- Kalkulatorische Qualitätskosten: Umsatzverlust durch unzufriedene Kunden, auch als Opportunitätskosten bezeichnet.

Kostenoptimierung durch Qualität

Bei der klassischen Betrachtung wird davon ausgegangen, dass, wie in Abbildung 3 links dargestellt, beim Anstreben einer Null-Fehler Produktion die Fehlerverhütungs- und Prüfkosten exponentiell wachsen und umgekehrt bei minimalen Qualitätssicherungsaufwand die Fehlerkosten überproportional ansteigen.⁸⁵ Das Kostenoptimum kann nach diesem Ansatz also nie bei einer fehlerfreien Produktion liegen, was den Zielen des heutigen Qualitätsverständnisses widerspricht.

Unterteilt man hingegen die Prüfkosten weiter in geplante, nicht vermeidbare Prüfkosten und ungeplante Prüfkosten, welche als Verschwendung angesehen werden, ergibt sich das in Abbildung 3 dargestellte, moderne Kostenmodell. Darin werden die geplanten Prüfkosten den Fehlervermeidungskosten zugeordnet und als sogenannte Konformitätskosten ausgewiesen. Die ungeplanten Prüfkosten werden analog den Fehlerkosten zugezählt und als Nichtkonformitätskosten bezeichnet. Bei zunehmender Erfüllung der Kundenerwartungen steigen zwar auch bei diesem Modell die Konformitätskosten an, sie bleiben aber selbst bei höchsten Qualitätsanforderungen im endlichen

⁸⁴ Koch, *Einführung in das Management von Geschäftsprozessen*, 38–42.

⁸⁵ Ebd., 40.

Bereich. Nichtkonformitätskosten werden dagegen immer als Verschwendung angesehen, liegen im Idealfall bei null und steigen wie beim traditionellen Ansatz bei hoher Fehlerrate überproportional an. Dadurch macht es, je nach Qualitätsansprüchen der Zielgruppe, aus unternehmerischer Sicht sehr wohl Sinn eine vollständige Erfüllung der Kundenwünsche und somit eine Null-Fehler-Politik anzustreben.⁸⁶

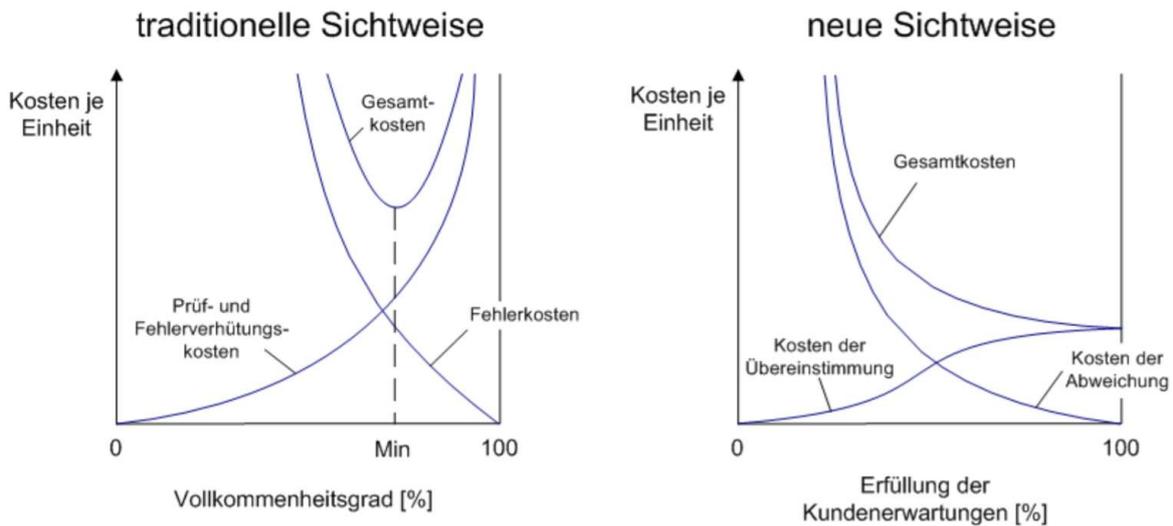


Abbildung 3: Traditioneller vs. moderner Ansatz zur Qualitätskostenrechnung⁸⁷

Entwicklung der Kosten über die Produktphasen

Neben der Analyse der verschiedenen qualitätsbezogenen Kostenarten mit dem Ziel der Vermeidung von Nichtkonformitätskosten, spielt auch der Zeitpunkt der Entstehung der Kosten eine wichtige Rolle auf deren Auswirkungen.

In der Literatur wird in diesem Kontext oft die sogenannte Zehnerregel⁸⁸ genannt. Diese besagt, dass sich die Fehlerkosten verzehnfachen, je später ein Fehler im Produkt entdeckt wird. Wird ein Fehler beispielsweise noch während der Montage entdeckt, betragen die Kosten zur Behebung für ein Unternehmen laut dieser Regel nur etwa ein Zehntel als wenn der Kunde diesen erst nach Auslieferung des Produktes erkennt. Begründet wird dieser Zusammenhang damit, dass etwa 70-80 Prozent der Fehler und die damit verbundenen Kosten bereits in der Entwicklung ihren Ursprung haben, der Großteil der Fehler aber erst bei der Endkontrolle oder beim Kunden entdeckt wird.

Es macht damit auch aus Kostensicht Sinn, sich möglichst bald im Produktentwicklungs- und Produktionsprozess mit einem effizienten Qualitätsmanagement zu befassen.

⁸⁶ Brüggemann und Bremer, *Grundlagen Qualitätsmanagement*, 202–13.

⁸⁷ Ebd., 212.

⁸⁸ Koch, *Einführung in das Management von Geschäftsprozessen*, 25.

2.6.3 Qualitätskennzahlen

Um rationale Entscheidungen in Bezug auf das Qualitätsmanagement treffen zu können, muss für die oberste Leitung eine Bewertungs- beziehungsweise Entscheidungsgrundlage geschaffen werden. In der ISO 9000 ist das Führen von Kennzahlensystemen zwar nicht vorgeschrieben, es wird aber festgestellt, dass „Entscheidungen auf Grundlage der Analyse und Auswertung von Daten und Informationen [...] wahrscheinlich eher zu den gewünschten Ergebnissen“⁸⁹ führen und es durch „Tatsachen, Nachweise und Datenanalyse [...] zu größerer Objektivität und Vertrauen in die Entscheidungsfindung“⁹⁰ kommt.

Die Organisation ist jedenfalls laut ISO 9001 dazu verpflichtet, die Leistung und Wirksamkeit des Qualitätsmanagementsystems in irgendeiner Form zu messen, zu analysieren und zu bewerten.⁹¹ Hierfür rät die ISO 9000 auch schlussendlich den Einsatz sorgfältig überlegter Kennzahlen.⁹² In der Praxis geht man deswegen davon aus, dass die Steuerung von Prozessen und die Überwachung der Qualitätsziele immer das Definieren von Kennzahlensystemen voraussetzt.⁹³

Auch im allgemeinen Produktionskontext spielen prozessorientierte Kennzahlen eine wichtige Rolle zur Steuerung und zur Bewertung der Leistung. Basierend auf den Zielgrößen aus Abbildung 1 lassen sich verschiedenste bereichsspezifische oder übergreifende Kennzahlen bilden, welche einen absoluten oder relativen dimensionsbehafteten oder dimensionslosen Bezug haben können. Kletti⁹⁴ gibt an dieser Stelle einen beispielhaften Überblick über häufig verwendete, allgemein produktionstechnische und qualitätsspezifische Kennzahlen. Um die zeitnahe Rückmeldung und die Aussagekraft zu gewährleisten, werden die Kennzahlen in einer modernen, digitalen Fabrik meist mittels später in Abschnitt 4.6.1 noch genauer betrachteter Manufacturing Execution Systeme gemessen und ausgewertet. Die Definition von Kennzahlen und Festlegung derer Ziel- oder Schwellenwerte obliegt in der Regel dem bereichsverantwortlichen Management.

⁸⁹ ISO 9000:2015, 19.

⁹⁰ Ebd., 20.

⁹¹ ISO 9001:2015, 44–45.

⁹² ISO 9000:2015, 24.

⁹³ Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V., „QM Kennzahlen in ISO 9000 und ISO 9001,“ zuletzt geprüft am 15.05.2019, <https://www.dgq.de/fachbeitraege/qm-kennzahlen-in-iso-9000-und-iso-9001/>.

⁹⁴ Kletti und Schumacher, *Die perfekte Produktion*, 128-135.

3 Möglichkeiten zur Risikobewertung

3.1 Risiko und Risikomanagement

In Abschnitt 2.4.4 wurde bereits im Kontext des risikobasierten Ansatzes der ISO 9000 Normenreihe der Begriff Risiko definiert und die genauen Anforderungen an die Risikoorientierung abgehandelt. Den auf unternehmerische Prozesse und Projekte bezogenen Risikobegriff fasst Hoffmann, ähnlich wie die Norm, zusammen „*als die mögliche negative Abweichung (Gefahr) oder positive Abweichung (Chance) zu definierten Projektzielen, hervorgerufen durch das Eintreten oder Ausbleiben möglicher Ereignisse oder Entwicklungen (Risikofaktoren)*“.⁹⁵

Aus der zweiten Definition wird ganz klar deutlich, dass mit einem Risiko auch immer Chancen einhergehen, quasi als zweite Seite der Medaille.⁹⁶ Das ist auch Grund warum in der Praxis oft bewusst getroffene, kontrollierte Risiken eingegangen werden, denn ohne Risiken keine Chancen. Umgekehrt kann auch das Nichtwahrnehmen einer Chance ein Risiko darstellen, beispielsweise in Form eines Wettbewerbsnachteils und dem daraus resultierenden Umsatzverlust. Wichtig ist in jedem Fall eine umfassende Identifikation und strukturierte Bewertung aller relevanten Risiken, was vor allem bei komplexeren Prozessen nur durch ein konsequentes Risikomanagement bewerkstelligt werden kann. In diesem Kontext muss außerdem klar sein, dass es ein Risiko Null nicht gibt. Daher gilt es in der Praxis einen wirtschaftlichen Kompromiss zwischen teuer erkaufter Sicherheit und akzeptablem Risiko zu finden. Die Herausforderung im Risikomanagement stellt also die Definition eines annehmbaren Grenzzrisikos dar.⁹⁷

IEC/ISO 31010:2009

Eine wichtige Norm in Bezug auf Risikobewertung bildet die IEC/ISO 31010:2009⁹⁸, welche zwar ursprünglich von der International Electrotechnical Commission als elektrotechnische Norm herausgegeben wurde, aber in neueren Revisionen in Zusammenarbeit mit der ISO bewusst allgemein gestaltet wurde, um einen breiten Anwendungsbereich in unterschiedlichen Industriezweigen zu ermöglichen.⁹⁹ Ziel dieser Verallgemeinerung ist eine schrittweise Zusammenführung der Risikomanagementnorm mit

⁹⁵ Wilfried Hoffmann, *Risikomanagement: Kurzanleitung Heft 4*, 2. Aufl. (Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2017). ISBN: 978-3-662-55631-3, 2.

⁹⁶ Frank Romeike, *Risikomanagement* (Wiesbaden: Springer Gabler, 2018). ISBN: 978-3-658-13951-3, 11.

⁹⁷ Geiger und Kotte, *Handbuch Qualität*, 134.

⁹⁸ International Electrotechnical Commission, *IEC/ISO 31010 Risk management - Risk assessment techniques* (2009), IEC/ISO 31010:2009.

⁹⁹ Hoffmann, *Risikomanagement*, 8.

den in Abschnitt 2.3 beschriebenen Qualitätsmanagementnormen und anderen Normen, wie beispielsweise jener zur Arbeitssicherheit, um ein integriertes Managementsystem zu schaffen.¹⁰⁰

Aufbauend auf der ISO 31000:2018¹⁰¹, welche Leitlinien für das Risikomanagement bereitstellt, beschreibt die IEC/ISO 31010 die Kernelemente des Risikomanagementprozesses (Abschnitt 3.2) und eine Vielzahl an Methoden zur Risikoabschätzung (Abschnitt 3.3), weswegen sie eine hohe Relevanz für diese Arbeit hat.

3.2 Der Regelkreis im Risikomanagement

Die Norm beschreibt für die im vorherigen Abschnitt angesprochene strukturierte Risikobewertung einen idealisierten Risikomanagementprozess, welcher sich als Regelkreis, wie in folgender Abbildung 4 aufgeführt, darstellen lässt.

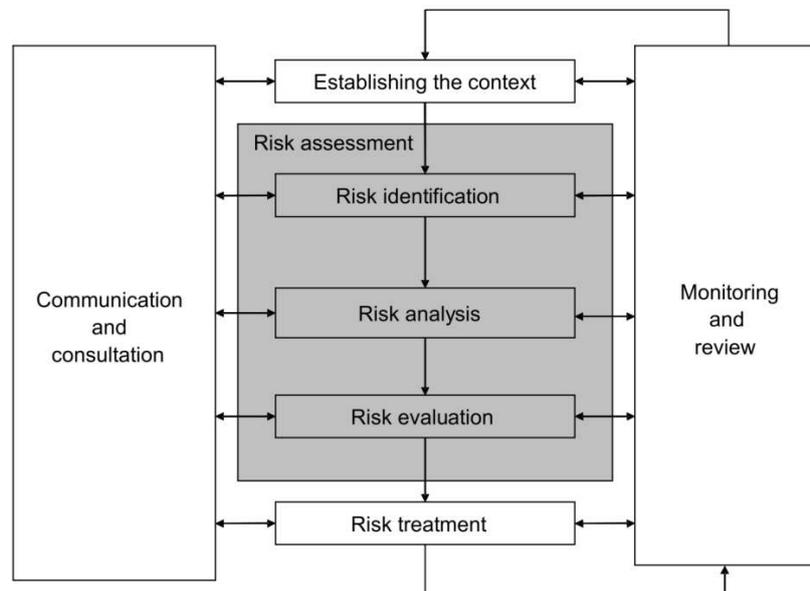


Abbildung 4: Risikomanagementprozess nach IEC/ISO 31010¹⁰²

Der Regelkreis lässt sich diesem Modell zufolge in folgende Phasen einteilen: Nach einer initialen Phase der Absteckung der Rahmenbedingungen für das Risikomanagement besteht die Hauptphase des Regelkreises in der Risikoabschätzung, welche sich weiter in Identifikations-, Analyse- und Bewertungsphase unterteilen lässt. Erst nach Abschluss dieser Phasen werden die, in der Risikoabschätzung gesammelten Informationen in der Phase der Risikobehandlung zur Steuerung der Risiken eingesetzt. Schlussendlich wird der Regelkreis durch eine permanente Überwachung und einem

¹⁰⁰ Romeike, *Risikomanagement*, 22.

¹⁰¹ Deutsches Institut für Normung, *DIN ISO 31000: Risikomanagement - Leitlinien* (2018), DIN ISO 31000:2018.

¹⁰² IEC/ISO 31010:2009, 12.

Monitoring geschlossen. Zusätzlich wird in dem Modell der Norm auch eine Risikokommunikation in allen Phasen des Risikomanagements empfohlen, um die Belegschaft zum risikobasierten Denken zu animieren.¹⁰³

Einen alternativen Ansatz zur Modellierung des Risikomanagementprozesses bildet die Darstellung als Regelkreis in Anlehnung an den klassischen PDCA-Zyklus (vgl. Harrach¹⁰⁴ oder Romeike¹⁰⁵). Dabei gliedert sich der Prozess in folgende Phasen:

- Risiken identifizieren
- Risiken analysieren und bewerten
- Risiken steuern
- Risiken überwachen

Je nach Analyseart kann die Identifikation und Analyse der Risiken Quantitativ, Semi-quantitativ oder rein Qualitativ sein, erst in der Phase der Risikobewertung soll versucht werden die einzelnen Faktoren quantitativ zu gewichten.¹⁰⁶ Für die einzelnen Phasen existiert eine Vielzahl von unterschiedlichen Methoden, über welche im nächsten Abschnitt ein kurzer Überblick gegeben werden soll.

3.3 Methoden und Werkzeuge

Wie in Abschnitt 2.4.4 bereits erläutert, wird von der Norm zwar der risikobasierte Ansatz für ein Qualitätsmanagementsystem gefordert, es werden aber keine konkreten Methoden oder Leitlinien zum Umsetzen eines Risikomanagements vorgegeben. Das liegt nicht zuletzt daran, dass in einem Unternehmen vielzählige unterschiedliche Prozesse mit verschiedensten Risikoarten stattfinden, für welche nicht jede Methode des Risikomanagements sinnvoll anzuwenden ist.

Die im vorherigen Abschnitt erwähnte Norm IEC/ISO 31010 bietet hierfür einen großen Pool an 31 Werkzeugen, welche im Anhang¹⁰⁷ der Norm beschrieben, und zusätzlich für die Eignung zur Anwendung in den verschiedenen Phasen des Risikomanagements bewertet sind.

Romeike kategorisiert diesen großen Pool an Methoden weiter und teilt sie in Kollektionsmethoden und analytische beziehungsweise kreative Suchmethoden. Tabelle 2 soll mit dieser Kategorisierung einen Überblick über die Vielzahl der existierenden Methoden des Risikomanagements geben, ohne aber näher auf diese einzugehen.

¹⁰³ IEC/ISO 31010:2009, 8–11.

¹⁰⁴ Hakim Harrach, *Risiko-Assessments für Datenqualität: Konzept und Realisierung*, Ausgezeichnete Arbeiten zur Informationsqualität (Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2010). ISBN: 978-3-8348-1344-2, <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-8348-9720-6>, 28.

¹⁰⁵ Romeike, *Risikomanagement*, 38.

¹⁰⁶ Ebd., 36.

¹⁰⁷ IEC/ISO 31010:2009, 22.

Kollektionsmethoden	Suchmethoden	
	Analytische Methoden	Kreativitätsmethoden
<ul style="list-style-type: none"> • Checkliste • Schadenfall Datenbank • SWOT-Analyse • Risikoidentifikationsmatrix (RIM) • Interview • Self-Assessment 	<ul style="list-style-type: none"> • Bow-tie Analysis • Empirische Datenanalyse • Fehlerbaumanalyse (Fault Tree Analysis, FTA) • Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) • Hazard and operability studies (HAZOP) • Business impact analysis • Fehler-Ursachen-Analyse (Root cause analysis, RCA) • Ereignis-Baumanalyse (Event tree analysis) • Cause-and-effect analysis • Ishikawa-Diagramm • Markov analysis/Bayesian statistics and Bayes Nets • Consequence/probability matrix • Social Network Analysis 	<ul style="list-style-type: none"> • Morphologische Analyse • Brainstorming • Brainwriting • Methode 635 • Brainwriting Pool • Mind Mapping • KJ-Methode • Flip-Flop-Technik (Kopfstandtechnik) • World-Café • Delphi-Methode • Business Wargaming • Deterministische Szenarioanalyse • Stochastische Szenarioanalyse (stochastische Simulation) • System Dynamics

Tabelle 2: Methoden zur Risikoidentifikation,-analyse und Bewertung¹⁰⁸

Aus diesen Werkzeugen und Methoden zur Risikobewertung gilt es nun für den jeweiligen Anwendungsfall die Richtige zu finden. Dafür kann ebenfalls die Norm, beziehungsweise Fachliteratur herangezogen werden. Romeike bietet beispielsweise hierfür zusätzlich zur Beschreibung der oben angeführten Methoden eine Einschätzung nach Eignung für die jeweilige Phase des Risikomanagements, zeitlichen Aufwand, Inputbedarf oder Art des Outputs.

3.3.1 Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse

Die Failure Mode and Effects Analysis (Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse, kurz FMEA) ist eine präventive Qualitätssicherungsmethode welche eine umfassende Risikoanalyse beinhaltet.¹⁰⁹ Man kann zwei Arten von FMEAs unterscheiden, nämlich zwischen der Design-FMEA, welche für Konstruktionsaufgaben in der Entwicklung eingesetzt wird, und der Prozess-FMEA welche für Fertigungs- und Montageprozesse angewandt wird. Ziel ist bei beiden Arten eine möglichst vollständige Erfassung potentieller Fehler durch ein Expertenteam, um diese möglichst früh in der Produkt- beziehungsweise Prozessentwicklung vermeiden zu können.¹¹⁰

¹⁰⁸ Romeike, *Risikomanagement*, 56.

¹⁰⁹ Martin Werdich, Hrsg., *FMEA - Einführung und Moderation: Durch systematische Entwicklung zur übersichtlichen Risikominimierung (inkl. Methoden im Umfeld)*, 2. Aufl. (Wiesbaden: Springer Vieweg, 2012). ISBN: 978-3-8348-1787-7, 4.

¹¹⁰ Brüggemann und Bremer, *Grundlagen Qualitätsmanagement*, 44–45.

Ablauf einer FMEA

Ein FMEA-Prozess läuft der Norm zufolge nach folgendem Schema ab:¹¹¹

- a) Definition des Umfangs und des Ziels der Studie.
- b) Zusammenstellung des Teams.
- c) Erlangung von Verständnis über das System oder den Prozess welcher den Gegenstand der FMEA darstellt.
- d) Strukturanalyse: Unterteilung des Systems in seine Komponenten, beziehungsweise des Prozesses in seine Prozessschritte.
- e) Funktionsanalyse: Definition der Funktion jedes Schrittes oder jeder Komponente.
- f) Fehleranalyse: Für jeden Schritt oder jede Komponente muss identifiziert werden:
 - Wie kann ein Teil unter Umständen versagen?
 - Welche Mechanismen könnten dieses Versagen auslösen?
 - Was könnten die Auswirkungen sein?
 - Wäre das Versagen harmlos oder fatal?
 - Wie kann das Versagen detektiert werden?
- g) Maßnahmenanalyse: Identifikation von Maßnahmen zur Vermeidung, beziehungsweise Kompensation des Versagens.

Gewichtung der Risiken nach Priorität

Zusätzlich wird es für die Maßnahmenanalyse sinnvoll sein, die zuvor ermittelten Risiken nach einer gewissen Priorität zu gewichten, was mittels einer in der Norm als FMECA (C für criticality) bezeichneten Sonderform der FMEA bewerkstelligt werden kann.¹¹² Zur Umsetzung einer solchen Priorisierung gibt es verschiedene Möglichkeiten. Eine bekannte Methode im Zusammenhang mit der FMEA ist das Bilden einer sogenannten Risikoprioritätszahl (RPZ) als Produkt aus Auftretenswahrscheinlichkeit, Entdeckungswahrscheinlichkeit und Schadensausmaßes, welche jeweils von 1 bis 10 gewichtet werden. Die Verwendung der RPZ ist aber grundsätzlich nicht empfehlenswert, da sie sich nicht linear verhält und so zu einer Verzerrung der Priorisierung führen kann.¹¹³ Insbesondere der Verband der Automobilindustrie schlägt stattdessen die Klassifizierung von Risiken durch eine Risikomatrix (Abschnitt 3.3.3) vor.¹¹⁴

¹¹¹ IEC/ISO 31010:2009, 47.

¹¹² Ebd., 46.

¹¹³ Werdich, *FMEA - Einführung und Moderation*, 55.

¹¹⁴ Ebd., 57.

Grenzen der FMEA

Neben ihrer breiten Anwendbarkeit ist die Stärke der FMEA die umfassende Identifikation und die daraus entstehende übersichtliche Darstellung aller System- beziehungsweise Prozesskomponenten inklusive deren Ursache-Wirkungszusammenhängen. Da die FMEA primär für eine Prozess- oder Systemanalyse konzipiert ist, bietet sie keinen methodischen Ansatz zur systematischen Identifikation von Risiken. Aus diesem Grund muss nach dieser initialen, kompletten Abbildung des Systems jeder Analyseschritt des Risikomanagements unter Zuhilfenahme von unterschiedlichen Tools und formalen Methoden durchgeführt werden, was eine FMEA in der Regel sehr zeitaufwändig macht und diese nur unter mittleren bis hohen Ressourcenaufwand durch dementsprechend qualifiziertes Personal durchgeführt werden kann. Das macht sie für mäßig komplexe Anwendungsfälle, bei denen man einen schnellen Überblick über mögliche Chancen und Risiken benötigt, eher weniger gut geeignet.¹¹⁵

3.3.2 Risikoidentifikation durch Brainstorming

Der Begriff Brainstorming wird umgangssprachlich oft als Bezeichnung für jede Art von Gruppendiskussion verwendet. Tatsächlich ist Brainstorming¹¹⁶ aber eine strukturierte Methode mit speziellen Techniken und Regeln, welche die Kreativität der Teilnehmer bewusst durch Gedanken und Ideen der anderen Teammitglieder triggern.

Ein formales Brainstorming sollte daher immer ein definiertes Ziel haben. Die Teammitglieder sollten fundiertes Wissen über den betrachteten Prozess oder das betrachtete System haben, wobei ein Mitglied als Moderator fungiert. Der Moderator sollte sich bereits vor der Session mit dem gewünschten Ziel des Brainstormings auseinandersetzen und gegebenenfalls Denkanstöße vorbereiten um eine Diskussion anzuregen, beziehungsweise bei Abschweifen wieder zu der ursprünglichen Diskussion zurückzuführen.

Weitere wichtige Regeln sind beispielsweise, dass während der Session grundsätzlich jede sinnvolle Idee in eine Liste aufgenommen wird und es keine Diskussion über die Aufnahme dieser geben sollte. Auch Diskussionen über die Bedeutung einer bestimmten Formulierung sollten vermieden werden, da diese in der Regel den Gedankenfluss stören.

Als Output liefert ein richtig durchgeführtes Brainstorming sehr schnell und effizient eine Liste an möglichen Risiken jedoch ohne diese zu bewerten. Das macht diese Methode vor allem für die Risikoidentifikation nützlich, für die nachgelagerten Phasen

¹¹⁵ Romeike, *Risikomanagement*, 91.

¹¹⁶ IEC/ISO 31010:2009, 27–28.

im Risikomanagementprozess müssen jedoch andere Werkzeuge nachgeschaltet werden.

3.3.3 Risikomatrix zur Bewertung von Risiken

Die Risikomatrix¹¹⁷ soll einen Zusammenhang zwischen der qualitativen, beziehungsweise semi-qualitativen Bewertung der Auswirkung eines Fehlers und dessen Eintrittswahrscheinlichkeit herstellen um eine Risikopriorisierung zu schaffen.

Essentiell bei der Erstellung einer Risikomatrix ist die Definition der Skala der beiden Dimensionen. Diese sollte vom Unternehmen für den Anwendungsfall individuell festgelegt werden und von niedrigsten bis zur denkbar höchsten Konsequenz reichen, beziehungsweise die relevante Wahrscheinlichkeitsspanne des zu untersuchenden Prozesses abbilden. Die Unterteilung der einzelnen Dimensionen erfolgt meist in drei, vier oder fünf Stufen. Darüber hinaus gilt es zu beachten, dass die niedrigste Stufe der Eintrittswahrscheinlichkeit im Falle der höchsten definierten Auswirkung noch akzeptabel sein sollte. Wie beispielhaft in Abbildung 5 dargestellt, werden im nächsten Schritt die definierten Stufen der Eintrittswahrscheinlichkeit und die der Auswirkung des Risikos in eine zweidimensionale Matrix aufgetragen und anschließend anhand der Hauptdiagonale verschiedene Risikoprioritäten gebildet. Die Matrix kann dabei entweder symmetrisch oder, wie im Beispiel dargestellt, asymmetrisch gebildet werden, also mehr Gewicht auf das Schadensausmaß gelegt werden.

Likelihood rating	E	IV	III	II	I	I	I
	D	IV	III	III	II	I	I
	C	V	IV	III	II	II	I
	B	V	IV	III	III	II	I
	A	V	V	IV	III	II	II
		1	2	3	4	5	6
		Consequence rating					

Abbildung 5: Beispiel einer Risikomatrix¹¹⁸

¹¹⁷ IEC/ISO 31010:2009, 82–86.

¹¹⁸ Ebd., 85.

Für die Anwendung muss für jedes identifizierte Risiko des Prozesses die Eintrittswahrscheinlichkeit der Auswirkung (nicht die des Risikos als solches!) und der Schadensauswirkung durch ein Expertenteam eingeschätzt werden. Anschließend lässt sich aus der Matrix die Priorität ablesen, anhand welcher sich die Reihenfolge der Abarbeitung, beziehungsweise die Dringlichkeit bei der Maßnahmenanalyse ergibt.

Angemerkt sei, dass die Risikomatrix zwar für viele Fälle eine schnelle Priorisierung von Risiken ermöglicht, aber leider nicht universell einsetzbar ist, da sie den Faktor Entdeckungswahrscheinlichkeit nicht berücksichtigt.¹¹⁹

¹¹⁹ Werdich, *FMEA - Einführung und Moderation*, 57.

4 Industrielle Assistenzsysteme im Qualitätskontext

Nachdem in Kapitel 2 die Anforderungen an das Qualitätsmanagement zur Festlegung des Unterstützungsbedarfes und in Kapitel 3 die theoretischen Methoden zur Identifikation der Chancen und Risiken von Assistenzsystemen eingehend diskutiert wurden, widmet sich dieses Kapitel nun den allgemeinen Grundlagen von Assistenzsystemen.

4.1 Assistenz

Definiert man den Begriff „Assistenz“ nach seiner umgangssprachlichen Verwendung, nämlich der Unterstützung des Menschen ein Ziel zu erreichen oder dieses schneller, beziehungsweise mit weniger Aufwand zu tun, gelangt man schnell zum Schluss, dass nahezu jedes technische Gerät ein Assistenzsystem sein muss. Beispielsweise erhöht schon der Einsatz eines einfachen Hammers die Effektivität und Effizienz vieler Alltagsaufgaben enorm, was diesen aber noch nicht zu einem Assistenzsystem macht. Um von Assistenz im engeren Sinne sprechen zu können, müssen zwei weitere Voraussetzungen erfüllt sein.

Einerseits muss eine gewisse Wechselwirkung zwischen Mensch und Maschine vorhanden sein. Die Mensch-Maschine-Interaktion ist zwar notwendig, reicht aber noch nicht aus um von Assistenzsystem sprechen zu können. Es muss außerdem für den Benutzer ein gewisser Mehrwert durch die Nutzung des technischen Systems gestiftet werden.¹²⁰ In anderen Worten ausgedrückt handelt es sich also dann um Assistenz, wenn der Mensch durch eine Interaktion mit einem technischen System beim Bewältigen einer Aufgabe unterstützt wird.

4.2 Mensch-Maschine-Interaktion

Wie in obiger Definition bereits festgestellt, stellt die Mensch-Maschine-Interaktion einen integralen Bestandteil von Assistenzsystemen dar. Die Mensch-Maschine-Interaktion als solche zeichnet sich durch eine Verkopplung zwischen einem Menschen und einer Maschine zum Informationsaustausch aus.¹²¹ Der Begriff „Maschine“ bezieht sich in diesem Kontext auch auf andere Interaktionssysteme wie Computer oder Roboter.¹²² Speziell die Mensch-Computer Interaktion spielt für Assistenzsysteme im

¹²⁰ H. Wandke, „Assistance in human–machine interaction: a conceptual framework and a proposal for a taxonomy,“ *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 6, Nr. 2 (March–April 2005): 131–34.

¹²¹ Peter Buchholz und Uwe Clausen, Hrsg., *Große Netze der Logistik: Die Ergebnisse des Sonderforschungsbereichs 559* (Berlin, Heidelberg: Springer, 2009). ISBN: 978-3-540-71047-9, 242.

¹²² Wolfgang Gerke, *Technische Assistenzsysteme: Vom Industrieroboter zum Roboterassistenten* (Berlin: De Gruyter Oldenbourg, 2015). ISBN: 978-3-11-034370-0, 14.

Qualitätsmanagement eine wichtige Rolle, weswegen im Folgenden kurz auf beide Interaktionsformen eingegangen werden soll.

Mensch-Computer-Interaktion

Grundsätzlich wird die Unterscheidung zwischen Mensch-Maschine und Mensch-Computer immer schwieriger, da immer mehr technische Systeme über Soft- und Hardwareelemente mit Interaktionsmöglichkeiten verfügen. Aus diesem Grund wird in neueren Normen, wie etwa der ISO 9241¹²³ zur Gestaltung von interaktiven Systemen, verallgemeinert von einer Mensch-System-Interaktion gesprochen. Damit eine Interaktion überhaupt möglich wird, müssen zumindest ein Ein- und ein Ausgabesystem vorhanden sein. Im einfachsten Fall kann es sich dabei bereits um einen Schalter und ein Lämpchen handeln.¹²⁴

Moderne Formen der Mensch-Computer-Interaktion bieten aber viele darüber hinausgehende, teils technisch sehr aufwändige Interaktionssysteme, welche in Abschnitt 4.4 und 4.5 noch detaillierter behandelt werden. Dabei sollte trotz aller Komplexität immer eine intuitive und ergonomische Bedienung durch den Anwender im Vordergrund stehen. Heinecke¹²⁵ gibt diesbezüglich eine gute Übersicht an Richtlinien und Zielen bei der Gestaltung von Mensch-Computer-Systemen unter Einhaltung wichtiger software-ergonomischer Gesichtspunkte.

Mensch-Roboter-Interaktion

Es existieren heutzutage vielzählige hochautomatisierte Produktionssysteme, in welchen komplexe Prozesse präzise und effizient von Roboterzellen übernommen werden und dabei der Mensch in den Arbeitsbereich des Roboters eindringen kann. Eine tatsächliche Mensch-Roboter-Interaktion ist in der Praxis dennoch eher selten, da bei klassischen Industrierobotern oft große Massen sehr schnell bewegt werden und durch die so entstehenden hohen kinetischen Energien ein kollaboratives Arbeitssystem nur schwer möglich ist. An dieser Stelle kommen kleinere und leichtere sensitive Roboter in Frage, welche zusätzlich über eine komplexe Sensorik und eine ergonomisch gestaltete, stumpfkantige Außenhaut verfügen um eine Interaktion mit dem Menschen zu begünstigen. Basierend auf sensitiven Robotern werden bereits Roboterzellen mit Eingriffszonen erprobt, welche einer Assistenzfunktion schon näher kommen. Eine echte Kollaboration zwischen Mensch und Roboter ist jedoch erst dann möglich, wenn die Interaktion in einem ständig geteilten Arbeitsbereich erfolgt und die Arbeitsteilung außerdem so erfolgt, dass die unterschiedlichen Fähigkeiten von Mensch und Maschine optimal genutzt werden. Derartige Systeme haben aus Qualitätsmanagementsicht

¹²³ Deutsches Institut für Normung, *ISO 9241: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion* (2010), DIN EN ISO 9241.

¹²⁴ Andreas M. Heinecke, *Mensch-Computer-Interaktion: Basiswissen für Entwickler und Gestalter*, 2. Aufl. (Berlin, Heidelberg: Springer, 2012). ISBN: 978-3-642-13506-4, 4.

¹²⁵ Ebd.

enormes Potential um die anzustrebende fehlerfreie Produktion zu realisieren und sind bereits in einigen kleinen und mittleren Unternehmen, vor allem aber in größeren Unternehmen im Einsatz.¹²⁶

In diesem Kontext sei jedoch angemerkt, dass ein Szenario in welchem ein überlegener, intelligenter Roboter dem Mensch Anweisungen gibt, jedoch aus heutiger Sicht nicht absehbar ist. Da Roboter immer von Menschen für ihren Einsatzzweck programmiert werden und somit keine eigenen Absichten verfolgen, bleiben sie letztendlich ein Werkzeug des Menschen.¹²⁷

4.3 Morphologie

Ursprünglich fanden industrielle Assistenzsysteme hauptsächlich zur Entlastung des Menschen bei manuellen Tätigkeiten in der Montage Anwendung.¹²⁸ Solche Systeme zur physischen Entlastung eines Werkers, wie beispielsweise klassische Hebehilfen oder Teilemanipulatoren, sind auch am ehesten das, was sich ein Laie unter einem industriellen Assistenzsystem vorstellen kann. Ausgelöst durch die Fortschritte der letzten Jahrzehnte bei Soft- und Hardware und dem daraus entstandenen Trend zur Digitalisierung und Vernetzung im Kontext von Industrie 4.0, ergeben sich viele neue Möglichkeiten und Einsatzgebiete zur Unterstützung des Menschen, welche weit über eine reine körperliche Entlastung hinausgehen.

Den neuen Anwendungsfeldern steht jedoch auch ein erhöhter Unterstützungsbedarf, zum Beispiel aufgrund der durch den demographischen Wandel ausgelösten Alterung der Gesellschaft, gegenüber.¹²⁹ Dies macht spezielle Anforderungen an die Gestaltung von Assistenzsystemen nötig, welche beispielsweise in der Arbeit von Lechner¹³⁰ detailliert abgehandelt werden. Allgemein betrachtet handelt es sich bei der altersgerechten Arbeitsplatzgestaltung jedoch nur um einen Teilaspekt des generellen Wunsches nach Individualisierung von Arbeitsplätzen, welchem durch gezielt eingesetzte Assistenzsysteme nachgekommen werden kann.¹³¹

¹²⁶ Walter Mayrhofer, David Kames und Sebastian Schlund, *Made in Austria: Produktionsarbeit in Österreich 2019* (Studie, Technische Universität Wien, 2019). ISBN: 978-3-9504856-0-8, 28.

¹²⁷ Alfons Botthof und Ernst A. Hartmann, Hrsg., *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0* (Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2015). ISBN: 978-3-662-45914-0, 64.

¹²⁸ Rahman Jamal und Ronald Heinze, Hrsg., *Virtuelle Instrumente in der Praxis 2017: Begleitband zum 22. VIP-Kongress* (Offenbach: VDE Verlag, 2017). ISBN: 978-3-8007-4441-1, 266.

¹²⁹ Robert Weidner, Tobias Redlich und Jens P. Wulfsberg, Hrsg., *Technische Unterstützungssysteme* (Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2015). ISBN: 978-3-662-48382-4, 9.

¹³⁰ Wolfgang Lechner, „Anforderungen an digitale Assistenzsysteme in der Fertigung und Montage und die alter(n)sgerechte Gestaltung von entsprechenden Arbeitssystemen“ (Diplomarbeit, Institut für Managementwissenschaften, Technische Universität Wien, 2016).

¹³¹ Sebastian Schlund, Walter Mayrhofer und Patrick Rupprecht, „Möglichkeiten der Gestaltung individualisierbarer Montagearbeitsplätze vor dem Hintergrund aktueller technologischer Entwicklungen,“ *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, Nr. 72 (2018): 279.

Insbesondere wenn es darum geht, schnelle Entscheidungen zu treffen oder wenn viele Informationen gleichzeitig zu verarbeiten sind, stößt der Mensch schnell an seine Grenzen.¹³² Aus diesem Grund besteht speziell bei komplexeren Tätigkeiten, wie es beispielsweise bei der Abarbeitung einer dynamischen Prüfcheckliste bei Qualitätskontrollen der Fall ist, erhöhter Assistenzbedarf. In solchen Situationen kann zwar eine physische Entlastung durchaus positive Auswirkungen auf die Psyche des Menschen haben, noch effektiver ist es aber in diesem Fall die Aufmerksamkeitszuwendung und die Handlungsplanung gezielt im Form eines informationstechnologischen, kognitiven Kontrollprozesses zu unterstützen.

Kognitive Assistenz ist nicht nur im direkten Montagebereich interessant, sondern speziell auch bei indirekten Prozessen wie beispielsweise bei Fehleranalyseprozessen der Qualitätslenkung, beziehungsweise bei Managementtätigkeiten. Dabei kann überall dort, wo große Datenmengen gezielt verarbeitet und ausgewertet werden müssen, mittels Formen von mehr oder weniger intelligenten Assistenzsystemen bei Planungen oder bei strategischen Entscheidungen unterstützt werden.

Stufen der Assistenz

Um eine erste Kategorisierung der unterschiedlichen Assistenzsysteme vornehmen zu können, bietet sich eine Trennung in die Unterstützung von mechanischen Prozessen und analytischen Prozessen an.¹³³ Im Qualitätsmanagement liegt der Schwerpunkt auf analytischen Prozessen, zum Beispiel Tätigkeiten zur Fehlerprävention und Dokumentation der Erfüllung der Produkthanforderungen, wie sie in Kapitel 2 bereits detailliert abgehandelt wurden. Für diese Anforderung gibt es eine Vielzahl von meist informationstechnologischen Assistenzsystemen, die sich in ihrer Komplexität extrem unterscheiden können. In diesem Falle bietet sich eine weitere Gliederung der Assistenzsysteme für analytische Prozesse in folgende vier Stufen der Assistenz an, wobei je nach Reifegrad die Komplexität und kognitiven Anforderungen an das System ansteigen:¹³⁴

- 1. Stufe: Signalisierung
- 2. Stufe: Überwachung
- 3. Stufe: Prognose
- 4. Stufe: Handlungsempfehlung

¹³² M. Zäh et al., „Kognitive Assistenzsysteme in der manuellen Montage: Adaptive Montageführung mittels zustandsbasierter, umgebungsabhängiger Anweisungsgenerierung,“ *wt Werkstattstechnik online* 97, Nr. 9 (2007): 646.

¹³³ Jamal und Heinze, *Virtuelle Instrumente in der Praxis* 2017, 266.

¹³⁴ Ebd., 267–68.

Bei Assistenzsystemen erster Stufe handelt es sich um die einfachste Form der Unterstützung bei analytischen Prozessen. Dabei kommt es demnach lediglich zu einer Signalisierung eines Prozesszustandes, die Auswertung und Interpretation der Information obliegt dem Anwender.

Bei Assistenzsystemen zweiter Stufe werden Zustände ständig beobachtet und mit historischen Daten abgeglichen. Falls vom System Abweichungen detektiert werden, kommt es zu einer Meldung an den Anwender, wodurch dieser reagieren kann. Die Interpretation dieser und das Eingreifen in den Prozess geschieht jedoch durch den Menschen.

Bei Assistenzsystemen dritter Stufe werden sowohl direkte, als auch indirekte Prozessdaten abgeglichen und analysiert. Indirekte Daten haben dabei keinen direkten Zusammenhang mit dem zu analysierenden Prozess, können aber dennoch relevante Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge beeinflussen. Auf Basis der so entstehenden Modelle werden Prognosen generiert, welche zwar noch vom Anwender interpretiert werden müssen, ihm aber die Möglichkeit geben vorrausschauend zu handeln.

Assistenzsysteme vierter Stufe arbeiten im Unterscheid dazu unter Verwendung jeglicher direkter und indirekter Unternehmensdaten und können so Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge präzise abbilden. Auf Grundlage dieser können in weiterer Folge Zustände in Echtzeit analysiert, mit hoher Wahrscheinlichkeit vorausgesagt und dem Anwender konkrete Handlungsempfehlungen gegeben werden. Sie stellen somit die höchste Stufe der Assistenz mit dem größten Unterstützungseffekt, aber auch der höchsten Komplexität dar.

Komponenten von Assistenzsystemen für analytische Prozesse

Wie man aus den im vorherigen Abschnitt behandelten Reifegraden leicht erkennen kann, ist die Datenverarbeitung beziehungsweise Analyse ein zentraler Punkt, wenn Assistenzsysteme kognitive Fähigkeiten nachbilden sollen. Kombiniert man diese Annahme mit der in Abschnitt 4.1 und 4.2 angesprochenen Notwendigkeit von Mensch-Maschine- beziehungsweise Mensch-Computer-Interaktion, gelangt man zu folgenden Komponenten, welche für ein kognitiv arbeitendes Assistenzsystem notwendig sind.



Abbildung 6: Elemente eines Assistenzsystems für analytische Prozesse¹³⁵

¹³⁵Eigene Darstellung in Anlehnung an Jamal und Heinze, *Virtuelle Instrumente in der Praxis* 2017, 269.

Um die Mensch-Maschine-Interaktion zu gewährleisten, muss ein Assistenzsystem mindestens aus einem Eingabesystem und einem Ausgabesystem bestehen.¹³⁶ Außerdem müssen, um eine Information ausgeben zu können, die eingegebenen Daten in irgendeiner Form verarbeitet beziehungsweise analysiert werden.¹³⁷ Aus diesen Überlegungen lassen sich die drei in Abbildung 6 dargestellten Bausteine identifizieren, welche die Mindestbestandteile eines Assistenzsystems charakterisieren.

Daraus ergibt sich die Gliederung des nächsten Abschnittes dieses Kapitels, nach welchem im Folgenden die für das Qualitätsmanagement relevanten allgemeinen Aspekte von Assistenzsystemen abgehandelt werden sollen:

- Abschnitt 4.4: Eingabesysteme zur Mensch-Maschine Interaktion.
- Abschnitt 4.5: Ausgabesysteme zur Mensch-Maschine Interaktion.
- Abschnitt 4.6: Möglichkeiten zur Datenverarbeitung durch Assistenzsysteme.
- Abschnitt 4.7: Betrachtung zukünftiger Entwicklungen im Bereich Datenanalyse und intelligenter Assistenzsysteme.

In Kapitel 5 werden anschließend die hier allgemein diskutierten Aspekte anhand einiger Praxisbeispiele von Assistenzsystemen illustriert.

4.4 Eingabetechnologien zur Interaktion

In der Literatur finden sich unterschiedlichste Ansätze die verschiedenen Eingabesysteme für Mensch-Maschine Systeme zu klassifizieren. Diese sind oft nicht eindeutig, da es für ähnliche Bedienkonzepte oft unterschiedliche technische Lösungen gibt und in komplexeren Systemen auch mehrere Eingabegeräte zusammengefasst sein können. Angelehnt an der Morphologie von Heinecke¹³⁸ wird versucht, eine möglichst einfache, aber dennoch konsistente Einteilung häufig verwendeter Technologien vorzunehmen. Die Eingabesysteme lassen sich demnach einteilen in:

- Haptische Eingabegeräte
- Optische Eingabegeräte
- Akustische Eingabegeräte

Im Folgenden soll das Funktionsprinzip der einzelnen Systemarten erläutert und einige gängige Technologien aufgezeigt werden.

¹³⁶ Jonas Merazzi und Andreas Friedl, „Einteilung und Bewertung von Montageassistenzsystemen,“ *ZWF* 112, Nr. 6 (2017): 413.

¹³⁷ Jamal und Heinze, *Virtuelle Instrumente in der Praxis* 2017, 269.

¹³⁸ Heinecke, *Mensch-Computer-Interaktion*, 98–99.

4.4.1 Haptische Eingabegeräte

Der haptische Sinn, welcher umgangssprachlich oft in Zusammenhang mit den fünf Sinnen des Menschen als „Fühlen“ bezeichnet wird, steht als Sammelbegriff für folgende Wahrnehmungsarten:¹³⁹

- Tastsinn: Dieser ermöglicht ein Berührungsempfinden durch Rezeptoren an der Haut und stellt für die meisten Eingabesysteme den beanspruchten Sinn dar. Zusätzlich wird auch oft das Wärmeempfinden dem Tastsinn zugeordnet, welcher aber für die Mensch-Computer-Interaktion eher ungeeignet ist.
- Kinästhesie: Bezeichnet die Wahrnehmung von Lage, Bewegung und Kraft der eigenen Gliedmaßen durch Rezeptoren in Muskeln, Sehnen oder Gelenken. Der kinästhetische Sinn wird im industriellen Kontext eher selten genutzt, teilweise kommen in Simulationsanwendungen sogenannte Force-Feedback Systeme zum Einsatz, über welches eine haptische Eingabe und gleichzeitige Rückmeldung erfolgt.
- Gleichgewichtssinn: Dieser ist im Zusammenhang mit Qualitätsassistenzsystemen weniger relevant, jedoch besteht eine enge Kopplung zur in Abschnitt 4.4.2 beschriebenen visuellen Wahrnehmung, weswegen dem Gleichgewichtssinn beispielsweise bei der Gestaltung von virtuellen Realitäten durchaus Beachtung geschenkt werden muss.

Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über Möglichkeiten zur haptischen Eingabe erfolgen.

Klassische haptische Eingabegeräte

Vielfach bewährt und immer noch weit verbreitet als haptisches Eingabegerät ist die klassische alphanumerische Computertastatur. Es existieren vielfältige Arten von Tastaturen wobei Anforderungen, wie die Tastenanordnung oder ergonomische Spezifikationen, heute weitgehend normiert sind. Für industrielle Anwendungsgebiete spielt vor allem die Bauart eine wichtige Rolle, bei schmutziger Umgebung kann beispielsweise eine Plastiktastatur nicht mehr ausreichend sein, und es muss auf Folien- oder Stahl- beziehungsweise auf virtuelle Tastaturen zurückgegriffen werden.¹⁴⁰

Um eine Tastatur in Verbindung mit einer graphischen Benutzeroberfläche einsetzen zu können, ist zusätzlich ein Gerät zur Bestimmung der Lage notwendig. Die geschieht im einfachsten Fall mittels sogenannter Positioniergeräte¹⁴¹, welche eine zwei oder dreidimensionale Navigation innerhalb der visuellen Ausgabe ermöglichen. Eine Form

¹³⁹ Heinecke, *Mensch-Computer-Interaktion*, 58–61.

¹⁴⁰ Ebd., 106–11.

¹⁴¹ Ebd., 123–24.

eines klassischen Positioniergerätes stellt die Computermaus dar, aber auch Touchpads beispielsweise an Bedienfeldern von Maschinensteuerungspanelen finden zu diesem Zweck breite Anwendung.

Ist nur eine eindimensionale Veränderung von Werten notwendig, kann die Erfassung alternativ durch einen Wertgeber¹⁴² erfolgen. Ausgeführt als Drehregler oder Rändelrad kann damit ein kontinuierlicher Wert eingestellt beziehungsweise verändert werden. Beispiele für solche Wertgeber stellen das Musrad einer klassischen Computermaus zum Scrollen durch ein lineares Menü oder ein einfacher Schalter oder Regler an einem Bedienpanel dar.

Touchscreen Interaktion

Einen Spezialfall in der Kategorie der Positioniergeräte bilden die Zeigegeräte¹⁴³, welche anderes als die klassischen Positioniergeräte eine quasi direkte Interaktion mit dem meist visuellen Ausgabesystem (Abschnitt 4.5) ermöglichen. Dieses direkte Zeigen kann dabei entweder mittels Berühren des Ausgabegerätes oder unter Verwendung eines Hilfsmittels wie etwa einen Stift erfolgen. Zeigegeräte für dreidimensionale Anwendungsfälle kommen beispielsweise zur Interaktion mit einer virtuellen Realität (Abschnitt 4.5.2) zum Einsatz.

In vielen industriellen Anwendungsfällen (Abschnitt 5.2.1, 5.2.5 oder 6.1), wie zum Beispiel zur manuellen Erfassung von Qualitätsdaten, sind Touchscreens aufgrund ihrer Einfachheit und intuitiven Bedienbarkeit die Interaktionstechnologie der Wahl. Es finden sich unterschiedliche Ausprägungsformen, angefangen vom stationären System bis hin zur in Abschnitt 4.7.1 beschriebenen Nutzung in Verbindung mit einem mobilen Gerät. Bei derartigen Bedienkonzepten muss jedenfalls sichergestellt werden, dass die Flächen ausreichend gegen etwaige Umwelteinflüsse und mechanischen Belastungen geschützt sind. In anderen Fällen kann auch eine Bedienung mit Schutzhandschuhen gewünscht sein, was durch den Verbau von resistiven Touchscreens (bei den meisten handelsüblichen Touchscreens handelt es sich hingegen um kapazitive Touchscreens) bewerkstelligt werden kann.¹⁴⁴

Touchscreens zeichnen sich vor allem durch ihre gute Integrierbarkeit in Gehäuse von Geräten und Anlagen aus und brauchen dadurch im Allgemeinen viel weniger Platz als klassische Eingabegeräte wie Maus und Tastatur. Ein weiterer Vorteil ist die individuelle Benutzeroberflächengestaltung durch Software, welche erhöhte Flexibilität durch einfache und kostengünstige Anpassbarkeit des Layouts und Interaktionsflächen ermöglichen.

¹⁴² Heinecke, *Mensch-Computer-Interaktion*, 111–14.

¹⁴³ Ebd., 114–23.

¹⁴⁴ Birgit Vogel-Heuser, Thomas Bauernhansl und Michael ten Hompel, Hrsg., *Handbuch Industrie 4.0 Bd.2: Automatisierung*, 2. Aufl. (Berlin: Springer Vieweg, 2017). ISBN: 978-3-662-53247-8, 539.

Da die Eingabe- und Ausgabefläche bei Touchscreens systembedingt identisch ist, kann es einerseits durch die Bedienung zu einer Verdeckung von Teilen der Anzeige kommen, was bei der Gestaltung der Benutzeroberfläche berücksichtigt werden muss. Andererseits bilden fix montierte Touchscreens ergonomisch gesehen immer einen Kompromiss zwischen idealer Nackenposition zum Ablesen des Bildschirmes und idealer Arm und Handposition zur Eingabe, was bei längerer Bediendauer zu erhöhter körperlicher Belastung führen kann. Durch die Fläche der Fingerkappe und mögliche Parallaxenfehler bei schrägen Bedienwinkeln ist zudem die Eingabepräzision von Touchscreens generell niedriger als bei konventionellen haptischen Eingabegeräten. Nachteilig wirkt sich darüber hinaus auch das fehlende haptische Feedback von Touchscreens aus, welches es für den Bediener schwieriger macht Zustände von abgebildeten Schaltern und Reglern zu erkennen.¹⁴⁵

4.4.2 Optische Eingabegeräte

Als Grundlage für die optische Eingabe dienen in der Regel die Daten einer oder mehrerer auf den Benutzer des Assistenzsystems ausgerichteter Kameras, welche mittels Bildverarbeitungssoftware ausgewertet und interpretiert werden. Dabei können unter Verwendung von zwei Kameras auch dreidimensionale Sachverhalte abgebildet werden, was wiederum für Gestensteuerungen oder für die Interaktion in virtuellen Realitäten (Abschnitt 4.5.2) zum Einsatz kommt.¹⁴⁶

Optisches Tracking

Beim Tracking geht es um die Erfassung der relativen Lage eines Objektes in Bezug zu einer Kamera. Dafür muss sich das zu verfolgende Objekt im aufgezeichneten Videomaterial in irgendeiner Form von seiner Umgebung unterscheiden, was zum Beispiel durch unterschiedliche Farbe, Form oder Kontrast bewerkstelligt werden kann. Deswegen werden oft kontrasterhöhende oder reflektierende Elemente, sogenannte Marker, zum Tracking eingesetzt, welche von der Software leicht erkannt werden, und somit eine schnellere und genauere Auswertung ermöglichen. Im Idealfall strebt man für industrielle Anwendungen natürlich markerlose Trackingverfahren an, da das Tragen von Markerhandschuhen oder ähnliches den Werker möglicherweise behindern könnten.¹⁴⁷

Dörner et al.¹⁴⁸ beschreiben in diesem Kontext eine Vielzahl weiterer Trackingverfahren, wie beispielsweise das akustische Tracking, elektromagnetische Tracking oder Inertial-Tracking mittels Beschleunigungssensoren, welche sich durch den genutzten

¹⁴⁵ Vogel-Heuser, Bauernhansl und ten Hompel, *Handbuch Industrie 4.0 Bd.2*, 542–43.

¹⁴⁶ Heinecke, *Mensch-Computer-Interaktion*, 142–43.

¹⁴⁷ Ralf Dörner et al., Hrsg., *Virtual und Augmented Reality (VR / AR)* (Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2013). ISBN: 978-3-642-28902-6, 104.

¹⁴⁸ Ebd.

physikalischen Effekt unterscheiden. Allgemein lässt sich feststellen, dass optische Trackingverfahren vielfach an Bedeutung gewinnen, da die Kamera- und Bildverarbeitungssoftwaretechnik bereits ausgereift ist und sie darüber hinaus eine relativ hohe Genauigkeit und Flexibilität aufweisen. Ein markerloses Trackingsystem zur Realisierung einer Gestensteuerung wird in Abschnitt 5.2.3 noch näher vorgestellt.

4.4.3 Akustische Eingabegeräte

Für eine akustische Eingabe müssen die vom Benutzer erzeugten Schallwellen durch ein Mikrophon analog aufgenommen, digitalisiert und von Software ausgewertet werden. Die einfachste Form zur Interaktion stellt die Lauteingabe dar, bei welcher die Eingabe beispielsweise für einen Auswahlvorgang bereits durch einen beliebigen Laut des Benutzers getätigt wird.

Komplexer wird die Angelegenheit, wenn eine tatsächliche Sprachsteuerung implementiert werden soll, da der Verarbeitungsaufwand und die benötigte Rechenleistung vielfach höher sind. Man unterscheidet generell zwischen wortweiser und kontinuierlicher, sprecherabhängiger beziehungsweise sprecherunabhängiger Spracherkennung. Die Erkennung sprecherabhängiger, wortweiser Sprachbefehle ist dabei am einfachsten, denn in diesem Fall wird die Software durch Einsprechen einzelner Wörter im Vorfeld trainiert und gleicht die Aufnahmen anschließend im laufenden Betrieb mit den Spracheingaben ab.¹⁴⁹

Um den großen Trainings- und Rechenaufwand und somit auch die hohen Kosten für eine echte, kontinuierliche Spracherkennung zu umgehen, bietet sich die Nutzung von cloudbasierten Diensten wie beispielsweise das Spracherkennungssystem Siri des Technologiekonzerns Apple an. Dabei wird jeder Sprachbefehl aufgezeichnet, die Tondatei an einen leistungsstarken Server gesendet, welcher mittels komplexer Algorithmen die Auswertung übernimmt und das Ergebnis als Steuerbefehl wieder an das Endgerät zurückübermittelt.¹⁵⁰ Genau betrachtet stellt Siri somit schon ein in sich geschlossenes Assistenzsystem dar. Verwendet man dessen Ausgabebefehle jedoch direkt als Datenquelle für ein weiteres System kann man durchaus von einem Eingabegerät sprechen.

¹⁴⁹ Heinecke, *Mensch-Computer-Interaktion*, 145–46.

¹⁵⁰ Birgit Vogel-Heuser, Thomas Bauernhansl und Michael ten Hompel, Hrsg., *Handbuch Industrie 4.0 Bd.1: Produktion*, 2. Aufl. (Berlin: Springer Vieweg, 2017). ISBN: 978-3-662-45278-3, 64–65.

4.4.4 Cyber-physische Systeme als Datenquelle

Bei cyber-physischen Systemen (kurz CPS) handelt es sich um die Verknüpfung einer Reihe von realen Objekten und Prozessen mit informationsverarbeitenden Objekten und Prozessen mittels offener Informationsnetze. Im Produktionskontext sind bei einem CPS meist Maschinen und Anlagen gemeint, welche über sogenannte Embedded Systems miteinander kommunizieren können.¹⁵¹

CPS sind meist vollautomatische mechatronische Systeme und erzeugen große Datenmengen über die reale und virtuelle Umgebung, welche jedoch meist ungenutzt temporär gespeichert werden. Nutzt man diese Daten, lässt sich daraus ein hochauflösendes Abbild der Umwelt erschaffen, welches in Bezug auf kognitive Assistenzsysteme angezapft und für weiterführende Datenanalysen eingesetzt werden kann.¹⁵² So wird es in Bezug auf Qualitätsmanagementanwendungen möglich, die klassischen stichprobenbasierten Prüfverfahren wie die statistische Prozesskontrolle (Abschnitt 4.6.2) mittels eines CPS durch 100 Prozent Inline-Prüfungen zu ersetzen, den statistischen Fehler so zu umgehen und die Produktqualität nachhaltig zu steigern. In diesem Zusammenhang werden oftmals CPS in Form von vollautomatischen Kameraprüfsystemen zur Qualitätskontrolle eingesetzt, welche mittels mehrerer starr angeordneten Kameras bestimmte Merkmale wie die Anwesenheit, Richtigkeit oder Orientierung der Baugruppe durch Abgleich mit einem manuell erstellten Referenzbild überprüfen, und bei Abweichungen automatisch eine Fehlermeldung generieren. Alternativ dazu existieren auch modellbasierte optische Prüftechnologien¹⁵³, bei welchen die 3D-CAD Daten der zu prüfenden Baugruppe und ein Modell der Prüfanordnung dafür genutzt werden, ein virtuelles Referenzbild zu schaffen und diese dann mit dem Referenzbild abgeglichen werden.

Aufgrund fehlender Mensch-Maschine-Interaktion stellen diese Anwendungen an sich noch keine Assistenzsysteme dar. Integriert man das System jedoch als begleitende Prüfung mehrfach in den Montageprozess und visualisiert die Prüfergebnisse mittels eines geeigneten Ausgabegeräts, lässt sich daraus sehr wohl eine visuelle Montageassistenz zur Steigerung der Qualität erreichen. Ein Beispiel für ein solches Assistenzsystem wird in Abschnitt 5.2.5 noch näher erläutert. Speist man die anfallenden Daten und Prüfergebnisse zusätzlich in ein CAQ-System (Abschnitt 4.6.1), lässt sich in Kombination mit Algorithmen zur Datenanalyse ein kognitives Assistenzsystem schaffen, welches einen Qualitätsingenieur bei seinen Aufgaben beispielsweise beim Treffen von Maßnahmen zur Fehlerprävention effektiv unterstützen kann.

¹⁵¹ Walter Huber, *Industrie 4.0 in der Automobilproduktion: Ein Praxisbuch* (Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016). ISBN: 978-3-658-12731-2, 39–41.

¹⁵² Birgit Vogel-Heuser, Thomas Bauernhansl und Michael ten Hompel, Hrsg., *Handbuch Industrie 4.0 Bd.4: Allgemeine Grundlagen*, 2. Aufl. (Berlin: Springer Vieweg, 2017). ISBN: 978-3-662-53253-9, 238.

¹⁵³ Michael Schenk, Hrsg., *Produktion und Logistik mit Zukunft: Digital Engineering and Operation* (Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2015). ISBN: 978-3-662-48265-0, 96–100.

4.5 Ausgabetechnologien zur Interaktion

Im Gegensatz zu den in Abschnitt 4.4 behandelten Eingabesystemen begrenzt sich die Ausgabe größtenteils auf visuelle Systeme.¹⁵⁴ Dies liegt darin begründet, dass der Mensch seinen Sehsinn mit Abstand am intensivsten nützt und er somit visuell dargestellte Informationen am effizientesten verarbeiten kann. Eine in der Praxis dennoch eingesetzte Ausnahme bildet akustische Ausgabe mittels Ton- oder Sprachsignalen, welche jedoch meist als Ergänzung einer Visualisierung mit dem Zweck der Fehlervermeidung beispielsweise bei variantenreichen Montageschritten eingesetzt wird.¹⁵⁵

4.5.1 Zweidimensionale visuelle Ausgabegeräte

Im einfachsten Fall kann schon ein Lichtsignal ein eindimensionales visuelles Ausgabegerät darstellen, in der Praxis (Kapitel 5) werden jedoch meist zweidimensionale Ausgabegeräte eingesetzt. Dreidimensionale Visualisierungsmöglichkeiten finden sich zwar seltener, sind aber für die im nächsten Abschnitt 4.5.2 vorgestellten Anwendungen der virtuellen und augmentierten Realität dennoch interessant.

Bildschirme

Zweidimensionale Bildschirme beziehungsweise Displays werden über eine Rastergrafik angesteuert, bei welcher rasterförmig angeordneten Bildpunkten (Pixel) eindeutige Farb- und Helligkeitsinformation zugeordnet sind. Die klassische Kathodenstrahlröhre hat dabei längst ausgedient, sie wurde mittlerweile vollständig von neueren Technologien wie Liquid Crystal Displays (LCD) beziehungsweise Light Emitting Diode (LED) Displays abgelöst.

Stand der Technik sind bei größeren Monitoren nach wie vor LCD TFT-Displays, bei welcher eine Flüssigkristall-Aktiv-Matrix mit Dünnschichttransistoren (auf Englisch thin film transistor, daher TFT) von einer weißen LED Hintergrundbeleuchtung durchstrahlt wird. Diese Flüssigkristalle haben die Eigenschaft, dass sie bei Anlegen einer Spannung ihre optischen Eigenschaften ändern und somit verschiedenste Farben und Helligkeiten dargestellt werden können. Vor allem bei kleineren Displays setzt sich dagegen die OLED Displays immer mehr durch. Diese bestehen aus organischen Leuchtdioden, welche direkt, also ohne Hintergrundbeleuchtung, Licht emittieren. Dadurch haben sie einen hohen Kontrast und können darüber hinaus sehr dünn gebaut werden, was sie vor allem für mobile Anwendungen gut geeignet macht.¹⁵⁶

¹⁵⁴ Merazzi und Friedl, „Einteilung und Bewertung von Montageassistenzsystemen,“ 414.

¹⁵⁵ Schenk, *Produktion und Logistik mit Zukunft*, 369.

¹⁵⁶ Heinecke, *Mensch-Computer-Interaktion*, 150–51.

Projektion

Die zwei oder dreidimensionalen Visualisierung von Informationen kann alternativ auch mittels Projektionen bewerkstelligt werden. Im Unterscheid zur Darstellung mit Bildschirmen ist es dabei möglich, den mittels eines Projektors dargestellten virtuellen Inhalt direkt auf das handzuhabende Objekt, und somit direkt ins Sichtfeld des Anwenders zu bringen. Ein Anwendungsbeispiel hierfür wird in Abschnitt 5.2.2 erläutert. Für derartige Anwendungen muss jedoch die genaue Lage des Objektes und des Projektors im Raum bekannt sein, was das Vorhandensein eines aufwendigen Trackingsystems und Software zur virtuellen Modellierung der Arbeitsumgebung notwendig macht.¹⁵⁷ Aus diesem Grund ist für den Großteil der Anwendungsfälle meist ein klassisches Display die erste Wahl.

4.5.2 Augmentierte Realität und Virtuelle Realität

Unter Virtual Reality (VR) versteht man eine Mensch-Maschine-Interaktionsform, welche auf computergenerierte, in Echtzeit an die räumliche Position und Orientierung des Benutzers angepasste 3D-Grafik aufbaut. Für diese blickpunktabhängige Bildgenerierung ist ein Eingabesystem zur Bestimmung der Lage notwendig, was in der Regel durch ein in Abschnitt 4.4.2 beschriebenes Trackingsystem realisiert wird. Darüber hinaus muss die generierte Grafik dem Benutzer auch dreidimensional dargestellt werden, was mittels 3D-Displays bewerkstelligt wird.¹⁵⁸

Als Ausgabegeräte kommen daher bei VR hauptsächlich visuelle Systeme zum Einsatz, welche mit akustischen, seltener mit haptischer Ausgabe untermalt sein können.¹⁵⁹ Wichtig bei der Auswahl ist ein guter Kontrast, hohe Auflösung beziehungsweise hohe Helligkeit aus allen Blickwinkeln und eine möglichst breite Abdeckung des Sichtfeldes. Typischerweise kann die Anzeige entweder durch einen oben beschriebenen klassischen Monitor, einen Projektor oder durch ein beispielhaft in Abbildung 7 dargestelltes Head-Mounted-Display (HMD) erfolgen. HMDs sind mobile Visualisierungssysteme welche am Kopf getragen werden und über eine Schnittstelle mit Videodaten versorgt werden, also zum Beispiel Datenbrillen oder Helme. Dabei erzeugen ein oder mehrere Miniaturdisplays das dreidimensionale Bild, welches dem Nutzer dann über eine Optik vergrößert angezeigt wird.¹⁶⁰

¹⁵⁷ Dörner et al., *Virtual und Augmented Reality (VR / AR)*, 281–82.

¹⁵⁸ Ebd., 12–14.

¹⁵⁹ Ebd., 127–56.

¹⁶⁰ Ebd., 142–43.



Abbildung 7: Beispiel eines HMD für AR-Anwendungen: Microsoft HoloLens 2¹⁶¹

Augmented Reality

Im Unterschied zu VR geht es bei Augmented Reality (AR) nicht um eine vollständige Abbildung einer virtuellen Umgebung, sondern um die Erweiterung, beziehungsweise Anreicherung der realen Welt um künstlich erzeugte Inhalte.¹⁶² Traditionell wird AR meist mit Datenbrillen oder Datenhandschuhen in Verbindung gebracht, welche viele Automobilhersteller auch für bestimmte Anwendungsfälle, beispielsweise für Trainingszwecke (Abschnitt 5.2.6), erproben. Ein flächendeckender Produktiveinsatz solcher Systeme ist aber zum jetzigen Zeitpunkt nicht abzusehen.

Die Erprobung zweier Datenbrillen in Rahmen eines Projektes¹⁶³ der Audi AG in Zusammenarbeit mit der Hochschule Heilbronn zeigte außerdem neben den positiven Unterstützungseffekten auch große technische Schwächen in Form von zu kurzer Akkulaufzeit, Problemen bei schwachem Licht und starker Wärmeentwicklung. Dies erschwert eine längere Tragedauer solcher Systeme, weshalb HMDs kombiniert mit den hohen Investitionskosten noch keine Alternative zu herkömmlicher visueller Assistenz darstellen.

Durch moderne Smartphones und Tablets bieten sich jedoch vielzählige neue Möglichkeiten für AR, denn durch ihre integrierte Kamera und leistungsstarke Prozessoren sind sie in der Lage, aufgenommene Videos der realen Welt nahezu in Echtzeit mit virtuellen Informationen zu überlagern und diese dem Anwender zu visualisieren.¹⁶⁴ Smartphones und Tablets fallen allesamt unter die Kategorie mobile Assistenzsysteme und bieten große Potentiale für industrielle Anwendungen, welche in Abschnitt 4.7.1 generauer diskutiert werden sollen.

¹⁶¹ Darstellung der Microsoft Corporation, <https://www.microsoft.com/de-de/hololens>, Zuletzt geprüft am 14.08.2019

¹⁶² Dörner et al., *Virtual und Augmented Reality (VR / AR)*, 241–42.

¹⁶³ Huber, *Industrie 4.0 in der Automobilproduktion*, 128.

¹⁶⁴ Vogel-Heuser, Bauernhansl und ten Hompel, *Handbuch Industrie 4.0 Bd.2*, 531–32.

4.6 Möglichkeiten zur Datenverarbeitung und Analyse

Anfangen von der Entwicklung eines Produktes, über die Produktion, den zugelieferten Komponenten, bis hin zu Gewährleistungsfällen nach dem Verkauf entstehen über den gesamten Produktlebenszyklus und entlang der Supply Chain große Mengen an Qualitätsdaten.¹⁶⁵ Die Schwierigkeit besteht nun darin, diese Flut an Rohdaten so zu verarbeiten, dass beispielsweise die nötigen normativen (Abschnitt 2.4.5) und gesetzlichen (Abschnitt 2.5.1) Anforderungen an die Dokumentation erfüllt werden oder daraus die für das Treffen von Entscheidungen benötigten Kennzahlen (Abschnitt 2.6.3) abgeleitet werden können. Aber auch zum Erreichen der mit dem prozessorientierten Ansatz (Abschnitt 2.4.3) einhergehenden kontinuierlichen Verbesserung, müssen die gesammelten Daten in irgendeiner Form so strukturiert und kanalisiert werden, dass eine gezielte Qualitätslenkung und ständige Optimierung der Prozesse und Regelkreise erfolgen kann. Dies gelingt über unterschiedlich ausgeprägte Assistenzsysteme in Form von datenbankbasierten Informationssystemen, die meist Bestandteil eines im Folgenden genauer behandelten CAQ-Systems sind.

4.6.1 Computer-Aided Quality

Ursprünglich wurden Computer-Aided Quality (CAQ) Systeme zur Planung und Durchführung von Qualitätsprüfungen im Rahmen der Automatisierung und Digitalisierung von Produktionssystemen unter dem Sammelbegriff Computer Integrated Manufacturing¹⁶⁶ entwickelt. Moderne Systeme haben darüber hinaus aber noch viele zusätzliche Funktionen um die Prozesse des Qualitätsmanagements zu unterstützen. Dazu zählt beispielsweise die Verarbeitung der Qualitätsdaten zu Informationen und Kennzahlen, welche zur Definition der Qualitätsziele und als Grundlage für das Treffen von Entscheidungen dienen. Darüber hinaus bieten umfangreichere CAQ-Systeme die Möglichkeit, eine Vielzahl der von der ISO 9001 und der IATF 16949 geforderten und in Abschnitt 2.4 beschriebenen Anforderungen an die Prozesse des Qualitätsmanagements zu erfüllen.¹⁶⁷

Module eines CAQ-Systems

In der Praxis hat sich ein modularer Aufbau von CAQ-Systemen durchgesetzt. Die einzelnen Module sind dabei für bestimmte spezialisierte Anwendungsfelder im Qualitätsmanagement optimiert, können sich aber funktional durchaus überschneiden, beziehungsweise voneinander abhängig sein. Um einen besseren Überblick zu erhalten,

¹⁶⁵ Brüggemann und Bremer, *Grundlagen Qualitätsmanagement*, 218.

¹⁶⁶ Vogel-Heuser, Bauernhansl und ten Hompel, *Handbuch Industrie 4.0 Bd.1*, 4.

¹⁶⁷ Brüggemann und Bremer, *Grundlagen Qualitätsmanagement*, 220.

sind nachfolgend einige Gebiete des Qualitätsmanagement aufgelistet, welche häufig durch ein CAQ-System unterstützt werden:¹⁶⁸

- Prüfplanung
- Fertigungsvorbereitende und fertigungsbegleitende Prüfung
- Wareneingangs- und Warenausgangsprüfung
- Dokumentenmanagement
- Auditwesen
- FMEA (Abschnitt 3.3.1)
- Reklamationsmanagement

Ein CAQ-System oder einzelne CAQ-Module stellen im Normalfall eine große Investition dar, bei welcher Nutzungsszenarien und mögliche Risiken genau abgewogen werden müssen. Die beim Betrieb und bei der Anschaffung eines gesamten CAQ-Systems oder einzelner Module anfallenden Kosten zählen im allgemeinen zu den in Abschnitt 2.6.2 angesprochenen Fehlerverhütungskosten und müssen deshalb dem zu erwartenden Nutzen in Form von Qualitätsverbesserung gegengerechnet werden.

Integriertes CAQ

Grundsätzlich gibt es zwei Möglichkeiten wie ein CAQ-System mit der Unternehmens-IT verbunden sein kann. Entweder, wie bereits beschrieben, als individuelle Stand-Alone Lösung, welche in die Unternehmens-IT angebunden ist oder als standardisiertes CAQ-Modul innerhalb eines sogenannten Enterprise Resource Planning (ERP) Systems.¹⁶⁹ ERP-Systeme sind im Normalfall auf Unternehmensleitebene angesiedelt und dienen dazu, unternehmensweit Administrations- beziehungsweise Dispositionsaufgaben zu übernehmen, wobei in der Regel das Rechnungswesen den Kern eines solchen Systems darstellt. Als Beispiel für eine ERP-Standardsoftware ist, aufgrund seiner weiten Verbreitung, SAP-ERP der SAP AG zu nennen, welches durch seinen standardisierten und modularen Aufbau an die betrieblichen Anforderungen anpassbar ist.¹⁷⁰

Die Qualitätsmanagementaufgaben sind dabei meist in Manufacturing Execution Systems (MES) integriert.¹⁷¹ MES sind, wie in Abbildung 8 dargestellt, in der Hierarchie der Unternehmens-IT-Systeme unter den ERP-Systemen in der Fertigungsleitebene

¹⁶⁸ Gerd F. Kamiske und Jörg-Peter Brauer, *Qualitätsmanagement von A bis Z: Erläuterungen moderner Begriffe des Qualitätsmanagements*, 7. Aufl. (München: Hanser, 2011). ISBN: 978-3-446-42581-1, 33–34.

¹⁶⁹ Brüggemann und Bremer, *Grundlagen Qualitätsmanagement*, 226–27.

¹⁷⁰ Paul Alpar et al., *Anwendungsorientierte Wirtschaftsinformatik: Strategische Planung, Entwicklung und Nutzung von Informationssystemen*, 7. Aufl. (Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014). ISBN: 978-3-658-00520-7, 171.

¹⁷¹ Verein Deutscher Ingenieure, *VDI 5600: Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems – MES)* (2016), VDI 5600 Blatt 1, 47.

eingordnet und sollen durch ihre Echtzeitanbindung an die Produktionsprozesse bei Aufgaben wie Planung und Steuerung der Produktion unterstützen.¹⁷²

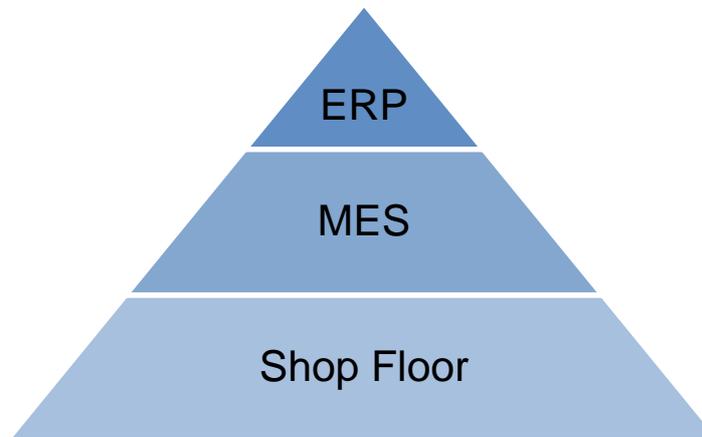


Abbildung 8: Einordnung von MES in die Unternehmens-IT¹⁷³

Ein Beispiel für eine nahtlose Verknüpfung zwischen MES und der unternehmenseigenen CAQ-Datenbank liefert eine modernisierte Achsmontage¹⁷⁴ des Automobilherstellers Daimler. Hierbei sind automatisierte Prüfungen direkt ins neugestaltete cyber-physische Produktionssystem integriert, und es erfolgt eine sofortige Übertragung aller qualitätsrelevanten Daten der Achsmontage inklusive der Prüfergebnisse ins CAQ. Dadurch wird eine lückenlose Dokumentation und Fehlertransparenz bis auf Bauteilebene möglich.

Einheitliche Datenstruktur

Der Vorteil solcher integrierten Lösungen ist, dass die Daten und Prozessstrukturen des CAQ unter Nutzung eines einheitlichen Datenformats direkt an das ERP System angebunden sind, also diese nicht über Schnittstellen übertragen werden müssen und somit beispielsweise Prüfpläne direkt in die Produktionsplanung eingesteuert werden können. Auch für das Erstellen von automatisierten Kennzahlenberichten ist es notwendig, eine Verknüpfung zwischen den reinen Qualitätsdaten und anderen produktrelevanten Datensätzen herzustellen, was durch eine gemeinsame Datenbank wesentlich erleichtert wird.

Nachteilig bei derartigen Standardlösungen wirkt sich jedoch der eingeschränkte qualitätsspezifische Funktionalitätsumfang aus, weshalb spezifische CAQ-Lösungen nach

¹⁷² Jürgen Kletti und Rainer Deisenroth, *MES-Kompendium: Ein Leitfaden am Beispiel HYDRA* (Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2012). ISBN: 978-3-642-32580-9, 19.

¹⁷³ Eigene Darstellung in Anlehnung an: VDI 5600 Blatt 1, 10.

¹⁷⁴ Vogel-Heuser, Bauernhansl und ten Hompel, *Handbuch Industrie 4.0 Bd.1*, 31.

wie vor oft zur Anwendung kommen.¹⁷⁵ Hierbei erfolgt die Datenverwaltung und Kommunikation der einzelnen Systeme dann meist über mehrere Datenbanken und Schnittstellen zur Datenkonvertierung, wodurch die späteren Analysemöglichkeiten der Datensätze jedoch stark eingeschränkt sind.¹⁷⁶ Abhilfe schaffen lässt sich mittels Nutzung eines sogenannten externen Data Lakes, welche die relevanten Daten aus verschiedenen Systemen des Unternehmens sammeln und so ebenfalls eine Analysebasis schaffen. Dieses Konzept wird in Abschnitt 4.7.2 im Zusammenhang mit Entscheidungsunterstützungssystemen und Big Data noch genauer betrachtet.

Vernetzung mit Kunden und Lieferanten

Wie bereits in Abschnitt 2.4.2 beschrieben, bildet die kundenorientierte Ausrichtung des Unternehmens ein zentrales Element des Qualitätsmanagementsystems. In der Literatur wird in diesem Kontext oftmals von Customer Relationship Management (CRM) gesprochen. Die notwendigen Funktionalitäten eines CRM-Systems ergeben sich aus den drei Kernprozessen im CRM:¹⁷⁷

- Marketing
- Verkauf
- Service

Speziell im Verkauf beim Angebots-, Vertragsanbahnungs- und Änderungsprozess wird von der ISO 9000 eine ausreichende Dokumentation und eine strukturierte Aufzeichnung der Kundenkommunikation gefordert.¹⁷⁸ Außerdem gilt im Bereich des Service auch die in Abschnitt 2.5.2 angesprochene Überwachungspflicht nach Inverkehrbringen eines Produktes um bei sicherheitsrelevanten Fehlern Produktwarnungen und eventuell auch Produktrückrufe durchzuführen. Ein Vernachlässigen des CRM wirkt sich insbesondere auf die in Abschnitt 2.6.2 behandelten kalkulatorischen Qualitätskosten aus, welche bei Umsatzverlust durch fehlende Kundenbindung oder unzufriedene Kunden entstehen können. Aus diesen Gründen ist die Nutzung eines CRM-Systems auch aus Qualitätsmanagementsicht wichtig, dabei sollte jedoch auf jeden Fall eine Anbindung zum ERP-System erfolgen, um relevante Daten für das CAQ und für andere Unternehmensbereiche zugänglich zu machen.

Wie einführend in Abschnitt 2.3 erklärt, fordern viele Automobilhersteller von ihren Lieferanten eine Zertifizierung des Qualitätsmanagementsystems als Grundvoraussetzung der Geschäftsbeziehung. Die lieferantenseitige Anbindung an die Unternehmens-IT erfolgt hierbei mittels sogenannter Supply Chain Management (SCM) Systemen.¹⁷⁹ Orientiert an den Informations- und Materialflüssen der Logistik sollen SCM-

¹⁷⁵ Brüggemann und Bremer, *Grundlagen Qualitätsmanagement*, 226.

¹⁷⁶ Alpar et al., *Anwendungsorientierte Wirtschaftsinformatik*, 215.

¹⁷⁷ Ebd., 278.

¹⁷⁸ Hinsch, *Die ISO 9001:2015 – Ein Ratgeber für die Einführung und tägliche Praxis*, 11.

¹⁷⁹ Alpar et al., *Anwendungsorientierte Wirtschaftsinformatik*, 282.

Systeme eine unternehmensübergreifende Verbindung zwischen sämtlichen Akteuren innerhalb der Lieferkette herstellen und eine gezielte Optimierung der Wertschöpfungskette ermöglichen. Dadurch lassen sich nicht nur in der Materialwirtschaft und Logistik, sondern auch für das Qualitätsmanagementsystem Effizienzverbesserungen erreichen. Beispielweise können durch ein ausgeprägtes SCM Wareneingangs- und Warenausgangskontrollen überflüssig gemacht, oder aufgrund der erhöhten Transparenz gezielte Maßnahmen zur Fehlerprävention in die richtige Stelle der Lieferkette eingesteuert werden.

4.6.2 Ansätze zur kognitiven Datenverarbeitung

Ein- und Ausgabesysteme sind mit heutigem Stand der Technik schon relativ weit fortgeschritten. Doch speziell in Bezug auf Datenanalyseformen zur Nachbildung von kognitiven Fähigkeiten des Menschen besteht noch großer Nachholbedarf.¹⁸⁰

Kognition

Unter Kognition versteht man im psychologischen Kontext einen „Sammelbegriff für Prozesse und Strukturen, die sich auf die Aufnahme, Verarbeitung und Speicherung von Informationen beziehen. Dazu zählen u. a. Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Gedächtnis, Sprache, Denken und Problemlösen sowie Intelligenz.“¹⁸¹

Auf technische Systeme übertragen besitzen kognitive Assistenzsysteme also im Unterschied zu herkömmlichen Systemen die Fähigkeit, wahrgenommene Informationen so zu verarbeiten, dass sie auf Grundlage dieser selbstständig Entscheidungen treffen können, aus den gewonnenen Erfahrungen lernen können und somit auch beispielsweise Planungstätigkeiten ausführen oder Entscheidungen treffen können.¹⁸²

Statistische Prozesskontrolle

Da die verschiedenen Datenquellen in vielen Fällen nur diskrete und lückenhafte Werte liefern, basieren die theoretischen Ansätze zur Schaffung von kognitiver Datenverarbeitung im einfachsten Fall auf statistischen Methoden. Ein leicht verständliches Beispiel in Bezug auf die Überwachung eines Produktionsprozesses hinsichtlich Fehler oder anderer qualitätsrelevanter Parameter stellt die statistische Prozesskontrolle oder Statistic Process Control (SPC) dar.¹⁸³ Bei der SPC werden unter Voraussetzung eines stabilen Prozesses laufend repräsentative Datenstichproben entnommen. Diese

¹⁸⁰ Jamal und Heinze, *Virtuelle Instrumente in der Praxis 2017*, 270.

¹⁸¹ Frank Hänsel et al., *Sportpsychologie*, Springer-Lehrbuch (Berlin, Heidelberg: Springer, 2016). ISBN: 978-3-662-50388-1, 24.

¹⁸² Zäh et al., „Kognitive Assistenzsysteme in der manuellen Montage,“ 645.

¹⁸³ Jamal und Heinze, *Virtuelle Instrumente in der Praxis 2017*, 268.

Stichproben können nicht nur gemessene Werte, sondern auch für qualitative Merkmale wie etwa „gut/fehlerhaft“ darstellen.¹⁸⁴ Die statistisch erhobenen Parameter werden anschließend mittels einer sogenannten Qualitätsregelkarte visualisiert und ausgewertet. Dabei wird das zu überwachende Merkmal in einem beispielhaft in Abbildung 9 dargestellten Diagramm über die Zeit aufgetragen und eine obere und untere Warnbeziehungsweise Eingriffsgrenze bestimmt. Für diese wird beispielsweise ein 95%- und 99%-Bereich herangezogen, welcher sich periodisch anhand aktueller Prozessdaten neu berechnet. Bei der Shewhart-Qualitätsregelkarte werden die Eingriffsgrenzen zusätzlich mit der Quadratwurzel der Stichprobengröße normiert.¹⁸⁵

Als Ergebnis der Auswertung können folgende Zustände signalisiert werden:¹⁸⁶

- Ist die Stichprobe innerhalb der Warngrenzen, befindet sich der Prozess unter statistischer Kontrolle und es ist kein Eingreifen notwendig.
- Befindet sich Werte der Stichprobe zwischen Warn- und Eingriffsgrenzen ist dem Prozess erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen. Um eine Entscheidungsgrundlage zu schaffen, können auch weitere Stichproben genommen beziehungsweise eine Erweiterung des Stichprobenumfangs angeordnet werden.
- Liegt der Stichprobenbefund außerhalb der Eingriffsgrenzen, ist der Prozess nicht mehr unter statistischer Kontrolle und es muss regelnd eingegriffen werden. In diesem Fall kann auch eine erneute Prozessanalyse oder eine Neuauslegung der Eingriffsgrenzen erforderlich sein.

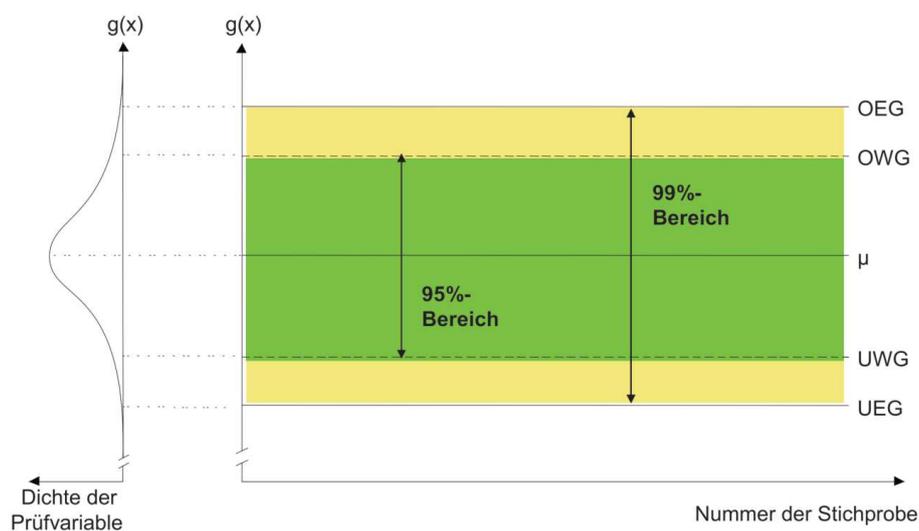


Abbildung 9: Aufbau einer Qualitätsregelkarte

¹⁸⁴ Curt Ronniger, *Taschenbuch der statistischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmethoden: Die wichtigsten Methoden und Verfahren für die Praxis*, 1. Aufl. (München: CRGRAPH, 2013). ISBN: 978-3-000-43678-9, 97.

¹⁸⁵ Ebd., 96–98.

¹⁸⁶ Brüggemann und Bremer, *Grundlagen Qualitätsmanagement*, 117.

Die SPC als wichtiger Baustein im Regelkreis zur kontinuierlichen Qualitätsverbesserung findet sich daher oft als Modul in den im vorherigen Abschnitt behandelten CAQ-Systemen wieder. Dabei werden die zu visualisierenden Daten direkt aus der einheitlichen Datenbank gespeist. Eine solche Software verfügt meist über verschiedene Algorithmen zur Darstellung von diskreten Messwerten und attributiven Merkmalen und darüber hinaus über leistungsfähige Filter um beispielsweise die Datenbereiche einzuschränken oder die unterschiedlichen Darstellungsformen zu konfigurieren und zu kombinieren.¹⁸⁷

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass auch bei der in Abschnitt 4.7.2 noch näher erläuterten Analyse von großen Datenmengen meist komplexere statistische Verfahren aus der multivariaten Statistik zum Einsatz kommen.¹⁸⁸

Entscheidungsunterstützung auf Basis eines Data Warehouse

Da der kognitive Denkprozess oft in Zusammenhang mit Entscheidungsfindung steht, wird in einigen Literaturquellen, speziell wenn es um Assistenz bei Managementfragen geht, auch von Entscheidungsunterstützungssystemen (EUS) gesprochen. Der Begriff EUS wird zwar meist als Sammelbegriff gebraucht, er lässt sich aber je nach zu unterstützender Führungsebene weiter gliedern. Der ursprünglich synonym¹⁸⁹ zu EUS verwendete Terminus der Decision Support Systems bezieht sich heute meist rein auf Entscheidungsprobleme der mittleren Managementebene. Im Unterscheid dazu dienen die Executive Information Systems zur Unterstützung der obersten Leitung und die Management Information Systems bei Planungen und strukturierten Entscheidungsproblemen auf operativer Ebene.¹⁹⁰

Grundlage eines EUS bildet oftmals ein sogenanntes Data Warehouse, also eine Datenbank welche von unternehmensinternen und unternehmensexternen originären Datenquellen gespeist wird, und eine zentrale und konsistente Datenbasis schaffen soll. Dabei werden auch die historischen Daten gespeichert, welche bei rein operativen IT-Systemen oftmals überschrieben werden.¹⁹¹ Diese zusätzliche Dimension in den Datensätzen eines Data Warehouses eröffnet erst die Möglichkeit des Erkennens für die Problemstellung relevanter Ursachen-Wirkungs-Zusammenhänge, auf deren Basis die Algorithmen des EUS ihre Prognosen und Handlungsempfehlungen visualisieren. In diesem Zusammenhang soll in Abschnitt 4.7, welcher aktuelle Trends hin zu Qualität 4.0 behandelt, noch tiefer auf die theoretischen Möglichkeiten zur Schaffung von intelligenter Assistenz eingegangen werden.

¹⁸⁷ Kletti und Deisenroth, *MES-Kompodium*, 225–28.

¹⁸⁸ Volker Brühl, „Big Data, Data Mining, Machine Learning und Predictive Analytics – ein konzeptioneller Überblick,“ *CFS Working Paper Series*, Nr. 617 (2019): 5.

¹⁸⁹ Buchholz und Clausen, *Große Netze der Logistik*, 242.

¹⁹⁰ Alpar et al., *Anwendungsorientierte Wirtschaftsinformatik*, 230.

¹⁹¹ Ebd., 234.

4.7 Qualität 4.0

In den vorherigen Abschnitten wurden weitgehende konventionelle Technologien zur Schaffung von Assistenzsystemen behandelt. Getrieben durch das Internet und die daraus entstehende zunehmende Vernetzung von technischen Systemen steht jedoch die industrielle Produktion vor einem großen Wandel. Analog zu dem massiven Umbruch, welcher im 18. Jahrhundert durch die Erfindung der Dampfmaschine ausgelöst wurde spricht man deshalb in diesem Zusammenhang oft von der vierten industriellen Revolution oder kurz „Industrie 4.0“.¹⁹² Bei richtigem Einsatz der aus diesem Wandel hervorgehenden Technologien ergeben sich vielzählige Chancen für alle Produktionsbereiche und insbesondere auch für das Qualitätsmanagement, weshalb sich dieser Abschnitt mit den aktuellen und zukünftigen Trends von „Qualität 4.0“ befassen soll.

Funktionalitäten eines zukunftsfähigen CAQ

Welche Funktionen ein zukünftiges, in ein MES integriertes CAQ-System für erfolgreiche Qualität 4.0 Anwendungen beinhalten muss, zeigen folgende Überlegungen eines führenden MES Herstellers. Dabei wurden wichtige, für eine proaktive und individuelle Unterstützung notwendige Funktionalitäten identifiziert, welche sich in folgende fünf Bausteine zusammenfassen lassen:¹⁹³

- **Mobilität:** Durch in Abschnitt 4.7.1 näher behandelte, mobile Endgeräte kombiniert mit Assistenz-Apps soll es möglich sein, Information zeit- und ortsungebunden abzurufen und zum schnellen Treffen von Entscheidungen oder zur Prozesslenkung einzusetzen.
- **Prozesstransparenz:** Wie in Abschnitt 4.6.1 bereits angedacht, soll mittels Integration autarker CAQ-Systeme in die Produktions-IT eine einheitliche Datenbasis geschaffen werden. So soll eine direkte Verbindung zwischen Qualität und dem Produktionsprozess hergestellt werden, was zu mehr Information und somit zu weiterem Optimierungspotential führt.
- **Online-Information:** Eine in Echtzeit und mobil abrufbare Darstellung aller qualitätsrelevanten Kenngrößen soll eine schnellere Ursachenfindung und eine Beschleunigung der Qualitätsregelkreise ermöglichen, um die Produkt- und Prozessqualität nachhaltig zu steigern.
- **Kennzahlen & KVP:** Durch gezielt definierte Kennzahlen sollen Qualitätsmängel ohne Zeitverzug erkannt werden und mittels geeigneter Analysemethoden (näheres hierzu in Abschnitt 4.6 beziehungsweise Abschnitt 4.7.2) die Ursache identifiziert werden um schnell Maßnahmen treffen zu können. Die daraus entstehenden Regelkreise führen zu einer kontinuierlichen Verbesserung.

¹⁹² Vogel-Heuser, Bauernhansl und ten Hompel, *Handbuch Industrie 4.0 Bd.1*, 15.

¹⁹³ Monika Nyendick, „Qualität 4.0 – IT-Rückgrat für einen fertigungsintegrierten Qualitätsmotor,“ *ZWF* 111, Nr. 4 (2016): 168.

- **Mitarbeiterqualifikation:** Um die neuen Methoden und Prozesse richtig anwenden zu können, ist es natürlich essentiell bei den Anwendern die richtigen Kompetenzen aufzubauen, welche auch, beispielsweise durch eine Qualifikationsmatrix, den Verantwortlichen transparent bereitgestellt werden müssen.

Aufbauend auf diesen Kernelementen sollen im Folgenden wichtige absehbare Trends in Bezug auf informationstechnologische, intelligente Assistenzsysteme beziehungsweise Datenverarbeitungsansätze und deren Auswirkungen auf Qualität und Qualitätsmanagement theoretisch diskutiert werden.

4.7.1 Mobile Assistenzsysteme

Unter mobilen Assistenzsystemen versteht man digitale, körpernah tragbare Endgeräte, welche sich durch ihre flexible, stationsungebundene Anwendbarkeit auszeichnen. Einige mobile Geräte mit hoher Bekanntheit sind beispielsweise:¹⁹⁴

- Headset
- Handheld, Tablet
- Datenbrille
- Smartwatch
- Head Mounted Display
- RFID (Radio-Frequency Identification) Band oder Scanner
- Datenhandschuh

Potentiale der mobilen Assistenz

Mobile Assistenzsysteme haben dabei vielfältige Potentiale für die Industrie und speziell auch für das Qualitätsmanagement. Einer Studie¹⁹⁵ des Fraunhofer IAO zufolge, glaubt ein Großteil der Befragten, dass der in Abschnitt 2.4.5 und Abschnitt 2.5.1 beschriebene, von den Normen und Richtlinien geforderte Dokumentationsaufwand dessen Nutzen deutlich übersteigt. Gleichzeitig kann aber, der Meinung der Befragten zufolge, durch mobile Assistenzsysteme dieser Aufwand deutlich reduziert und zusätzlich die Qualität der Dokumentation gesteigert werden.¹⁹⁶

Eine Vergleichsstudie¹⁹⁷ der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin und des Instituts für Produktionssysteme der TU Dortmund untersucht die grundsätzliche

¹⁹⁴ Sebastian Kasselman und Stefan Willeke, „Technologie-Kompodium Interaktive Assistenzsysteme: 4.0 Ready,“ Institut für integrierte Produktion Hannover, zuletzt geprüft am 13.09.2019, https://www.iph-hannover.de/_media/files/downloads/Projekt_40-Ready_Technologie-Kompodium.pdf, 6.

¹⁹⁵ Dieter Spath, Hrsg., *Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0: Studie* (Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2013) Oliver Ganschar et al. ISBN: 978-3-8396-0570-7.

¹⁹⁶ Ebd., 63–65.

¹⁹⁷ Robert Weidner und Athanasios Karafillidis, Hrsg., *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen: Dritte Transdisziplinäre Konferenz* (Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität, 2018). ISBN: 978-3-86818-246-0, 213–21.

Anwendbarkeit von mobilen Assistenzsystemen zur Informationsbereitstellung bei industriellen Montageprozessen. Dabei wird eine mobile (Smartwatch) mit einer stationären (Statusmonitor) visuellen Assistenz anhand eines der Automobilindustrie nachempfundenen Montageprozess mit wechselnden Tätigkeiten verglichen. Analog dazu wäre eine Anwendung dieser mobilen Assistenz für eine Qualitätsprüfung mit wechselnden Prüfanweisungen denkbar. Das Ergebnis der Untersuchung belegt die grundsätzliche Eignung mobiler Assistenzsysteme für industrielle Prozesse. Es konnte zwar gegenüber dem stationären Assistenzsystem kein signifikanter Rückgang der Fehlerzahlen und der Bearbeitungsdauer festgestellt werden, jedoch ließen sich auch keine durch die Smartwatch ausgelöste, negative Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit feststellen. Bei der subjektiven Einschätzung der Gebrauchstauglichkeit wurde hingegen eine deutliche Präferenz für die mobile Anwendung festgestellt.

Darüber hinaus haben mobile Assistenzsysteme großes Potential zur komprimierten Informationsbereitstellung. Durch die immer größer werdenden Datenmengen in der Produktion werden gleichzeitig viele Auswertungen in Papierform beziehungsweise statische Visualisierungen an den Arbeitsplätzen im Shop Floor generiert.¹⁹⁸ Speziell hier können mobile Endgeräte Abhilfe schaffen und neue Möglichkeiten zur interaktiven und kompakten Darstellung von Informationen zur Entscheidungsfindung bieten.

Die „Mobilität“ von mobilen Endgeräte birgt also viele Vorteile und Chancen, jedoch kann genau diese auch ein Risiko darstellen. Die Möglichkeit der Bedienung während des Gehens hat nämlich, anders als das subjektive Empfinden des Bedieners, negative Auswirkungen auf die Leistungs- und Konzentrationsfähigkeit. Es wird dadurch im Vergleich zu einer stationären Touchscreen-Interaktion die Gehgeschwindigkeit reduziert, gleichzeitig sinkt die Bedieneffizienz und es steigt die Beanspruchung des Nutzers. Darüber hinaus wird das Unfallrisiko stark erhöht, da die in einer Produktionsumgebung viele Gefahren bergende Umwelt durch Konzentration auf das mobile Endgerät nur noch peripher wahrgenommen wird.¹⁹⁹

So lässt sich generell feststellen, dass sich mobile Endgeräte als Assistenzsysteme in der Produktion mehr und mehr durchsetzen.²⁰⁰ Neben speziell gegen Umwelteinflüsse geschützten Geräten kommen auch immer öfters Smartphones oder Tablets aus dem Consumer-Bereich zur Anwendung, da sie meist kostengünstiger sind und auf etablierten Softwareplattformen aufbauen, was eine Implementierung für den Anwendungsfall maßgeschneiderter Apps vereinfacht.

¹⁹⁸ Vogel-Heuser, Bauernhansl und ten Hompel, *Handbuch Industrie 4.0 Bd.4*, 180.

¹⁹⁹ Vogel-Heuser, Bauernhansl und ten Hompel, *Handbuch Industrie 4.0 Bd.2*, 541–42.

²⁰⁰ Ebd., 541.

Mobile 3D-Prozessdatenvisualisierungen

Aktuell sind vielfach mobile Geräte im Einsatz, welche als reine zweidimensionale Anzeigesysteme beziehungsweise als Dashboards, also Benutzeroberflächen zur Visualisierung von Produktionsdaten oder Kennzahlen, dienen. Unter Voraussetzung einer Echtzeitanbindung und rollenspezifischen Generierung von Daten, sollten die Informationen aber auf dem mobilen Gerät möglichst dreidimensional dargestellt werden und eine intuitive Interaktion erlauben. Durch 3D-Prozessvisualisierungen können Informationen besser aufgenommen und Fehler schneller erkannt werden.²⁰¹ Auch bei empirischen Evaluationen konnte nachgewiesen werden, dass speziell bei der Überwachungstätigkeit von komplexen technischen Systemen mit mehreren Prozessparametern mit einer 3D-Prozessdatenvisualisierung die Fehlererkennungsrate signifikant höher ist. Aus diesem Grund können dreidimensionale Visualisierungen als Mittel zur besseren Beherrschbarkeit von großen, vernetzten Datenmengen angesehen werden.²⁰²

4.7.2 Analyse von Big Data

Große Datenbanken kommen in der heutigen, digitalisierten und vernetzten Welt bereits häufig vor. Von Big Data spricht man aber erst, wenn Datenbestände beispielsweise aufgrund ihrer qualitativen beziehungsweise quantitativen Eigenschaften mit konventionellen Informationssystemen nicht mehr verarbeitet werden können, und deswegen spezielle Speicherungs- und Analysemethoden eingesetzt werden müssen.²⁰³

Die Herausforderungen im Zusammenhang mit Big Data lassen sich mithilfe des 3V-Modells²⁰⁴ gut verdeutlichen. Es charakterisiert und definiert Big Data anhand der drei Dimensionen Volume, Variety und Velocity folgendermaßen:

- **Datenumfang (Volume):** Der zu bewältigende Datenumfang im Zusammenhang mit Big Data wächst stetig, was eine vom Anwendungsbereich abhängige Infrastruktur notwendig macht. Der tatsächliche Bedarf ist jedoch schwer zu quantifizieren, da oft Anzahl der Datensätze oder Arbeitsvorgänge und nicht das Speichervolumen als Kenngröße für Analysen eingesetzt werden.
- **Datenvielfalt (Variety):** Auch die Datenvielfalt ist größer als je zu vor. Es gilt vielfach unstrukturierte Daten, schwer kategorisierbare Daten wie Videos oder multidimensionale Daten, welche beispielsweise historische Datensätze bein-

²⁰¹ Huber, *Industrie 4.0 in der Automobilproduktion*, 287.

²⁰² Vogel-Heuser, Bauernhansl und ten Hompel, *Handbuch Industrie 4.0 Bd.2*, 528.

²⁰³ Alpar et al., *Anwendungsorientierte Wirtschaftsinformatik*, 254.

²⁰⁴ Philip Russom, „Big Data Analytics: TDWI best practices report,“ zuletzt geprüft am 15.08.2019, <https://tdwi.org/research/2011/09/best-practices-report-q4-big-data-analytics>.

halten, so zu strukturieren, dass sie analysiert werden können. Die beiden Attribute „Vielfalt“ und „Umfang“ neigen außerdem dazu sich gegenseitig zu beschleunigen, was gleichzeitig auch das dritte V „Geschwindigkeit“ impliziert.

- Geschwindigkeit (Velocity): Die Frequenz der Datengenerierung wird vom Datenstrom aus den verschiedenen CPS angetrieben. Dabei liegt die Herausforderung in der Verarbeitung und Analyse, welche annähernd in Echtzeit stattfinden muss um eine Interaktion zu ermöglichen.

Berücksichtigt man zudem noch den Prozess der Datengenerierung und die Wirtschaftlichkeit der Analysen, lassen sich die drei Vs um zwei weitere ergänzen:²⁰⁵

- Richtigkeit (Veracity): Einerseits muss die Datenqualität sichergestellt werden um zu gewährleisten, dass zuverlässige Aussagen getroffen werden können.
- Mehrwert (Value): Außerdem müssen wirtschaftliche Anwendungsszenarien gefunden werden. Die Schwierigkeit dabei besteht darin, dass der Implementierungsaufwand und tatsächliche Nutzeneffekte im Voraus schwer einzuschätzen sind.

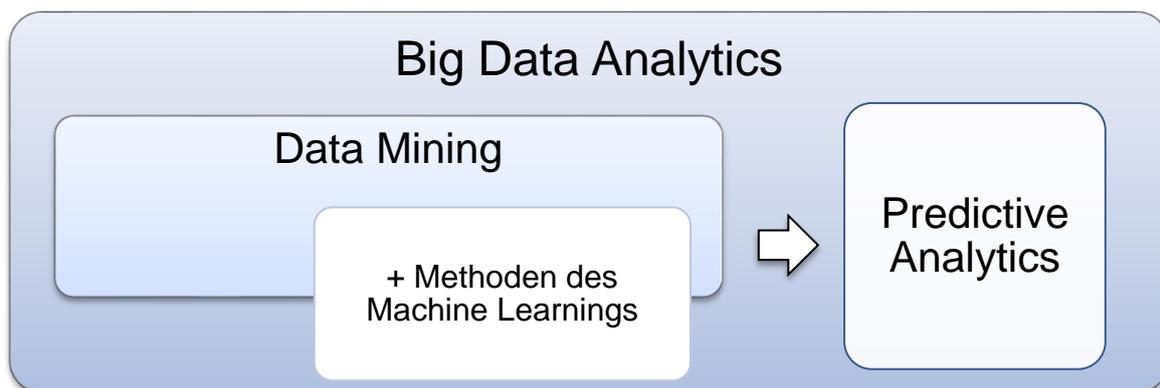


Abbildung 10: Big Data Analytics, Data Mining und Predictive Analytics²⁰⁶

Big Data Analytics

Einige häufig verwendete Schlagwörter in Zusammenhang mit Big Data Analytics sind Data Mining, Machine Learning und Predictive Analytics, welche jedoch meist nicht sauber getrennt und teilweise sogar synonym verwendet werden. An dieser Stelle schlägt Brühl²⁰⁷ folgende, in Abbildung 10 illustrierte Definition vor, welche Big Data Analytics als Oberbegriff versteht und Predictive Analytics als Weiterentwicklung des Data Minings sieht, welches um Methoden aus dem Machine Learning ergänzt wird.

²⁰⁵ Eduardo Colangelo et al., „Schritte zu Big Data in der Produktion,“ *ZWF* 111, Nr. 12 (2016): 851.

²⁰⁶ eigene Darstellung

²⁰⁷ Brühl, „Big Data, Data Mining, Machine Learning und Predictive Analytics – ein konzeptioneller Überblick,“ 5.

Data Mining

Beim Data Mining, im Deutschen auch als Datenmustererkennung bezeichnet, geht es im Allgemeinen darum, aus einer gegebenen Datenmenge nichttriviale Muster und Zusammenhänge zu erkennen. Dies geschieht mittels Aufstellen von Hypothesen, welche dann unter Anwendung statistischer Methoden verifiziert, beziehungsweise falsifiziert werden.²⁰⁸

Machine Learning

Von Machine Learning spricht man hingegen meist im Zusammenhang mit künstlicher Intelligenz (KI), genauer gesagt ist maschinelles Lernen ein Teilgebiet der KI-Forschung. Das Ziel dabei ist es, die in Abschnitt 4.6.2 angesprochenen kognitiven Fähigkeiten des Menschen nachzubilden, jedoch mit dem Fokus der iterativen Selbstoptimierung des Systems.²⁰⁹ Dies wird mittels speziellen Lernalgorithmen bewerkstelligt, welche anhand von Trainingsdaten angelernt werden und anschließend Prognosen treffen können. Eine oft erwähnte Methode in diesem Zusammenhang sind dem menschlichen Neuronen nachempfundene, künstliche neuronale Netze. Für den mathematischen Aufbau und die Funktionsweise solcher neuronalen Netze sei auf tiefergehende Literatur wie beispielsweise Rojas²¹⁰ verwiesen. Derartige Methoden werden bereits auch im Qualitätsmanagement in Praxisanwendungen (Abschnitt 5.2.7) erprobt.²¹¹

Wichtig ist in diesem Kontext anzumerken, dass die Ergebnisse solcher selbstlernenden Systeme sehr stark von der Qualität der Trainingsdaten abhängig sind, was eine relativ große Anzahl an „richtigen“ Datensätzen voraussetzt.

Predictive Analytics

Der relative neue Begriff „Predictive Analytics“ bezeichnet das gezielte Treffen von Prognosen künftiger Ereignisse basierend auf künstlicher Intelligenz. Dabei werden, wie in Abbildung 10 dargestellt, Methoden des Data Minings und des Machine Learnings eingesetzt. Einen guten Anhaltspunkt zur Einordnung von prädiktiver Datenanalyse bietet das Reifegradmodell des IT-Marktforschungsunternehmens Gartner, bei

²⁰⁸ Alpar et al., *Anwendungsorientierte Wirtschaftsinformatik*, 33–35.

²⁰⁹ Brühl, „Big Data, Data Mining, Machine Learning und Predictive Analytics – ein konzeptioneller Überblick“, 5–6.

²¹⁰ Raúl Rojas, *Theorie der neuronalen Netze: Eine systematische Einführung*, 4. Aufl., Springer-Lehrbuch (Berlin: Springer, 1996). ISBN: 978-3-540-56353-2.

²¹¹ Brühl, „Big Data, Data Mining, Machine Learning und Predictive Analytics – ein konzeptioneller Überblick“, 8.

welchem vier Reifegrade mit steigender Komplexität zur Beantwortung folgender Fragestellungen unterschieden werden:²¹²

1. Descriptive Analytics: Was ist passiert?
2. Diagnostic Analytics: Warum ist es passiert?
3. Predictive Analytics: Was wird passieren?
4. Prescriptive Analytics: Wie müssen wir handeln, damit ein zukünftiges Ereignis eintritt/nicht eintritt?

Während die erste Stufe und teilweise auch die zweite heute schon relativ gut beherrschbar sind, bleibt der dritte Reifegrad ausgenommen von einigen Pilotanwendungen noch weitgehend unerreicht. Dabei hat prädiktive Analyse vor allem bei Assistenz in Zusammenhang mit Entscheidungsunterstützungssystemen²¹³ enormes Potenzial, weswegen viele Big-Data Experten von der Weiterentwicklung und dem flächendeckenden Einsatz solcher prädiktiven Systeme in Zukunft überzeugt sind.²¹⁴

Das langfristige Ziel der Datenanalyse stellt jedoch nach dem Reifegradmodell von Gartner die Prescriptive Analytics dar. Diese beschreibt die Voraussage von Ereignissen um vorbeugend Entscheidungen zur Vermeidung negative Ausgänge, beziehungsweise zur Förderung von Optimierungspotentialen zu treffen. Leider gibt es in der Praxis nahezu keine Anwendungsfälle von präskriptiver Analysen. Ein Grund dafür liegt darin, dass heutige Datenbanken in der Anzahl der erfassten Dimensionen beschränkt sind und somit nie alle das System beeinflussende Prozessparameter für die Analyse zur Verfügung stehen.²¹⁵ Somit können nie alle relevanten Ursache-Wirkungszusammenhänge (beispielsweise die Auswirkung der Luftfeuchtigkeit auf die Qualität eines Klebprozesses) hergestellt werden, was ein vorschauendes Handeln unmöglich macht.

4.7.3 Cloud-basierte Data Analytics

Um die verarbeiteten Informationen auf mobilen Endgeräten bereitstellen zu können, müssen diese aufgrund ihrer meist geringen Rechenleistung in Echtzeit an ein Netzwerk zur Datenverarbeitung angebunden sein. Für kleinere Anwendungen von mobilen Assistenzsystemen lässt sich die unternehmenseigene IT-Infrastruktur noch mitnutzen, bei komplexen Datenanalysen gerät diese jedoch schnell an ihre Grenzen. Nicht selten steigt der Rechenaufwand sogar exponentiell mit dem Datenumfang an,

²¹² Frank Romeike und Andreas Eicher, „Predictive Analytics: Der Blick in die Zukunft,“ Frankfurter Institut für Risikomanagement und Regulierung FIRM, zuletzt geprüft am 13.09.2019, https://www.risknet.de/fileadmin/user_upload/Elibrary/Predictive-Analytics_Romeike_FIRM-Jahrbuch-2016_DEU.pdf, 21.

²¹³ Alpar et al., *Anwendungsorientierte Wirtschaftsinformatik*, 34.

²¹⁴ Romeike und Eicher, „Predictive Analytics: Der Blick in die Zukunft,“ 21.

²¹⁵ Arindam Banerjee, Tathagata Bandyopadhyay und Prachi Acharya, „Data Analytics: Hyped Up Aspirations or True Potential?,“ *Vikalpa* 38, Nr. 4 (October 2013): 2.

was eine Skalierbarkeit durch Implementierung vieler Rechnerknoten notwendig macht.²¹⁶ Darüber hinaus fehlt für die komplexen Algorithmen von Big Data Analysen oft das fachliche und technische Know-how im Unternehmen.

Eine Lösung für dieses Problem ist die Nutzung von Data-Analytics-as-a-Service, was die Verwendung cloudbasierter Datenanalysetools spezialisierter Anbieter bedeutet, für welche keine eigene Server-Infrastruktur notwendig ist.²¹⁷ Der Zugriff auf das Rechnernetzwerk erfolgt dabei in der Regel über das Internet, weswegen sich hierfür der Begriff Rechnerwolke (Cloud) durchgesetzt hat. Der Grund für dieses Outsourcing durch Cloud-Computing steckt in der Möglichkeit einer flexiblen Nutzung der Dienstleistungen ohne teure IT-Investitionen, welche je nach Bedarf bereitgestellt und auch transparent abgerechnet werden.²¹⁸

Dabei handelt es sich, wie das folgende Praxisbeispiel zeigt, nicht um Standardlösungen, sondern um Individuelle Projekte, welche ein grundlegendes Verständnis über die Anforderungen und die Geschäftsprozesse des Kunden erfordern.

IT-Sicherheit

Ein sehr wichtiger Aspekt in diesem Zusammenhang ist die Gewährleistung einer sicheren Kommunikation zwischen allen Teilnehmern und einer abgesicherten Speicherung der Daten innerhalb des cloudbasierten Systems. Dies ist insofern erforderlich, da die Übertragung von Daten über das öffentlich zugängliche Internet erfolgt und das Netzwerk dadurch angreifbar sein kann. Daher müssen Cloud-Dienste folgende drei Anforderungen gewährleisten können:²¹⁹

- Verfügbarkeit der Daten
- Unversehrtheit der Daten
- Geheimhaltung

Etablierte Lösungen zur Sicherstellung dieser Ziele sind beispielsweise rollenbasierte Zugriffssysteme, welche mittels VPN-Verbindungen (Virtual Private Network) kommunizieren.²²⁰

4.7.4 Idealbild eines Meta-Assistenzsystems

Bezugnehmend auf den vierten Baustein der zu Beginn dieses Abschnitts erwähnten fünf Elemente eine Industrie 4.0-fitten Qualitätsmanagementsystems, findet der Einsatz von künstlicher Intelligenz vor allem in den Bereichen der Fehlermustererkennung und der Ursachenfindung anhand von dokumentierter Information, beziehungsweise

²¹⁶ Colangelo et al., „Schritte zu Big Data in der Produktion,“ 851.

²¹⁷ Ebd., 852.

²¹⁸ Alpar et al., *Anwendungsorientierte Wirtschaftsinformatik*, 92.

²¹⁹ Vogel-Heuser, Bauernhansl und ten Hompel, *Handbuch Industrie 4.0 Bd.4*, 141–42.

²²⁰ Ebd., 154–56.

der Echtzeitdaten, welche während des Fertigungs- und Montageprozesses anfallen, seine Anwendungsbereiche. Sind Datensätze lückenhaft, kann es darüber hinaus notwendig sein, diese mittels KI-Algorithmen so aufzubereiten, dass sie analysierbar werden.

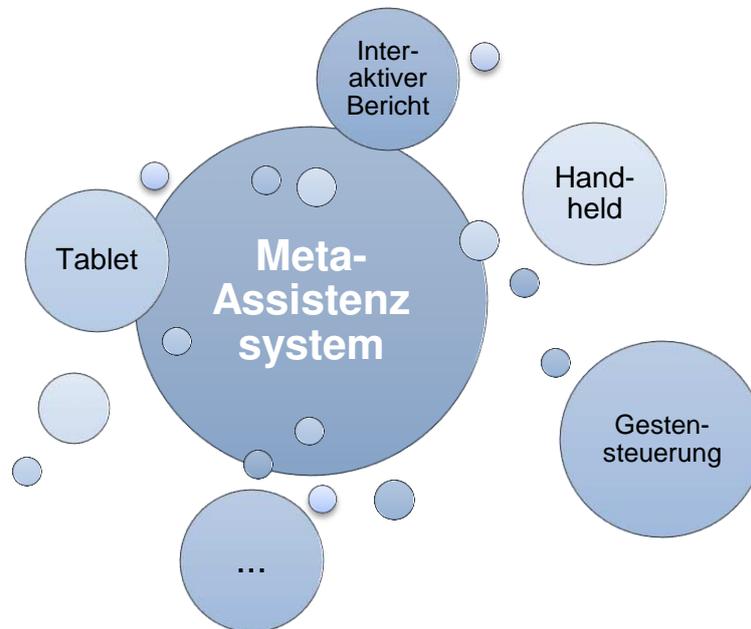


Abbildung 11: Modell eines Meta-Assistenzsystems²²¹

Aufbauend auf den Überlegungen zu mobiler Assistenz und cloudbasierter Datenverarbeitung, kombiniert mit den Ansätzen von Big Data Analyse der vorherigen Abschnitte 4.7.1 und 4.7.2, lässt sich eine neue Form von kognitiver Assistenz schaffen, welche das Idealbild eines zukünftigen Assistenzsystems darstellt und als Meta-Unterstützungssystem²²² oder synonym in der vorliegenden Arbeit als Meta-Assistenzsystem verstanden werden kann. Dieses setzt sich, wie in Abbildung 11 angedeutet, aus einer Vielzahl an drahtlos angebotenen, im Idealfall mobilen Interaktionsgeräten zusammen, welche über eine gemeinsame Datenverarbeitung mittels KI-Algorithmen verfügen. Damit ist, zusätzlich gespeist durch das CAQ-System und MES, eine Vernetzung und gleichzeitige Verarbeitung aller relevanten Qualitäts- und Produktionsdaten möglich, was wiederum eine individuelle Darstellung der relevanten Informationen, sei es zur Entscheidungsunterstützung der verschiedenen Hierarchieebenen oder zur reinen Montageassistenz, für alle beteiligten Personen bedeutet.

²²¹ Eigene Darstellung in Anlehnung an Weidner und Karafillidis, *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen*, 14.

²²² Ebd., 14–16.

4.7.5 Grenzen der künstlichen Intelligenz

Auch wenn bis zu dieser Stelle größtenteils auf Potentiale und Möglichkeiten von Konzepten zur Schaffung von künstlicher Intelligenz eingegangen wurde, soll keinesfalls der Eindruck entstehen, dass die Produktions- und Montagesysteme bald ausschließlich von Computern gesteuert werden. Die Fähigkeiten der Maschinenintelligenz sind trotz der rasanten technologischen Entwicklung dennoch begrenzt.²²³ Speziell bei den Themen Kreativität oder Einfühlungsvermögen, aber auch durch seine sensormotorischen Fähigkeiten, ist der Mensch jeder Maschine weit überlegen. Ein zukünftiges Produktionssystem wird daher ohne die Kompetenzen des Menschen nicht auskommen, vielmehr geht es darum, die Fähigkeiten des Menschen optimal einzubinden und dessen Schwächen durch künstliche Intelligenz zu unterstützen.

Auch im Bereich der Datenanalyse wird man auch in Zukunft nicht ohne den Sachverstand des Menschen auskommen, denn wenn Ursache-Wirkungszusammenhänge nicht richtig verstanden werden, können weitgehend zufällige Korrelationen schnell missinterpretiert werden. Eine mathematisch hohe Korrelation zweier Variablen bedeutet in Bezug auf Big Data Analysen nämlich nicht, dass diese tatsächlich einen kausalen Zusammenhang besitzen.²²⁴ Werden die zu untersuchenden Zusammenhänge nicht von Experten mit physikalischen Theorien oder Gesetzmäßigkeiten verknüpft und interpretiert, kann dies in weiterer Folge schnell zu falschen Annahmen und Schlussfolgerungen führen. Außerdem wird oft nicht berücksichtigt, dass der Stand der Technik der Data Analytics nicht zur Überprüfung vollkommen neuer Sachverhalte eingesetzt werden kann, da derartige Algorithmen immer eine historische Datenbasis benötigen. Selbiges gilt auch für sogenannte „Black Swan“-Probleme, bei welchen es sich um schwer voraussagbare, unerwartete Ereignisse mit schwerwiegenden Auswirkungen handelt.²²⁵

Alles in allem ist es also wichtig, sich im Vorfeld bewusst mit den Chancen und Risiken der künstlichen Intelligenz zu befassen, da ansonsten die Gefahr besteht, sich vom Big Data Hype zu sehr mitreißen zu lassen und dann im Endeffekt unter hohem Aufwand enttäuscht feststellen zu müssen, dass deren Möglichkeiten dennoch begrenzt sind. Solche Situationen lassen sich durch ein in Kapitel 3 beschriebenes, aktives Risikomanagement vermeiden.

²²³ Vogel-Heuser, Bauernhansl und ten Hompel, *Handbuch Industrie 4.0 Bd.4*, 171–73.

²²⁴ Romeike und Eicher, „Predictive Analytics: Der Blick in die Zukunft,“ 23.

²²⁵ Banerjee, Bandyopadhyay und Acharya, „Data Analytics: Hyped Up Aspirations or True Potential?,“ 8–10.

5 Qualitätsassistenzsysteme in der Anwendung

Dieses Kapitel soll exemplarisch einige im Einsatz befindliche Assistenzsysteme beschreiben und diese insbesondere auf ihre Einordnung und in Bezug auf ihre Auswirkungen auf die Qualität diskutieren.

5.1 Übersicht

Nachfolgend wird anhand der Morphologie aus Abschnitt 4.3 ein kurzer Überblick über die in Abschnitt 5.2 näher beschriebenen Qualitätsassistenzsysteme gegeben. Dieser zufolge handelt es sich bei den nun angeführten Beispielen um Assistenzsysteme erster Stufe, weil sie lediglich eine wertungsfreie Rückmeldung an den Benutzer geben:

- **KVP-App** (Abschnitt 5.2.1): Mobile Anwendung zur standardisierten Erfassung von Mitarbeitervorschlägen im KVP Prozess zur Qualitätsverbesserung.
- **Adaptives Pick-by-Light** (Abschnitt 5.2.2): Assistenzsystem zur Fehlerreduktion bei variantenreicher Türgriffkommissionierung.
- **Qualitätsprüfung mittels Gestensteuerung** (Abschnitt 5.2.3): Assistenzsystem zur Vereinfachung des Prüfprozesses von Stoßfängern.
- **System zur visuellen Fehlererfassung** (Kapitel 6): Assistenzsystem zur Vereinfachung des Fehlereingabeprozesses im Rahmen der Fahrzeugmontage, welches zur Chancen- und Risikenbewertung herangezogen wird.

Folgende Assistenzsysteme lassen sich bereits der zweiten Stufe zuordnen, da hierbei ein permanenter Abgleich mit vorhandene Daten passiert:

- **Prozesskontrolle einer Honmaschine** (Abschnitt 5.2.4): Unterstützung des Anlagenprüfprozesses zur Steigerung der Qualität und Verringerung des Ausschusses.
- **Assistenzsystem "Der schlaue Klaus"** (Abschnitt 5.2.5): Montageassistenzsystem mit gleichzeitiger Prozess- und Qualitätsüberwachung.
- **Augmented Reality zur Werker-Qualifizierung** (Abschnitt 5.2.6): AR-gestützter Anlernprozess in einer Motorenmontage.

Die letzten beiden Anwendungsfälle bilden darüber hinaus mehr oder weniger komplexe Ursache-Wirkungszusammenhänge ab und können aus diesem Grund als Ansätze von Assistenz dritter beziehungsweise vierter Stufe gesehen werden:

- **Sichtprüfung mittels künstlichen neuronalen Netz** (Abschnitt 5.2.7): Optimierung der Prüfung von Pressteilen zur Reduktion von Pseudofehlern.
- **Volkswagen Industrial Cloud** (Abschnitt 5.2.8): Schaffung einer intelligenten Echtzeitsteuerungsmöglichkeit durch konzernübergreifende Vernetzung aller Produktions- und Logistiksysteme.

5.2 Praxisanwendungen

5.2.1 Die Fraunhofer KVP-App

Dass die Schaffung eines Assistenzsystems mit großem Nutzen zur Qualitätsverbesserung auch ohne hohe soft- und hardwaretechnische Investitionen möglich sein kann, zeigt die KVP-App²²⁶ der Fraunhofer Austria Research GmbH. Dabei handelt es sich um eine auf dem Privat- oder Firmen-Smartphone installierbare mobile Anwendung, welche eine einfache und standardisierte Erfassung und Verarbeitung von Verbesserungsvorschlägen ermöglicht.



Abbildung 12: Der KVP-App unterstützte Prozess für Verbesserungsvorschläge²²⁷

Im Rahmen eines umfassenden Qualitätsmanagements ist es in den meisten Unternehmen üblich, Verbesserungsvorschläge der Mitarbeiter nach dem Einsparungspotential zu bewerten und bei erfolgreicher Umsetzung monetär zu belohnen.²²⁸ Das Vorschlagwesen ist dabei oft noch wenig digitalisiert, Vorschläge werden handschriftlich festgehalten und in einen „Postkasten“ eingeworfen. Durch das Assistenzsystem können Vorschläge nun vollkommen digital direkt am Smartphone erfasst werden.

Die App unterstützt den Mitarbeiter durch eine intuitive Eingabemaske und der Möglichkeit des Anhängens von Fotos, die Erfassung möglichst einfach aber dennoch präzise und vollständig zu gestalten. Anschließend wird, wie in Abbildung 12 dargestellt, der Vorschlag per Mail direkt an den verantwortlichen Personenkreis zur weiteren Be-

²²⁶ Gerhard Reisinger, „Kontinuierlicher Verbesserungsprozess - KVP 4.0: Fraunhofer KVP-App,“ Fraunhofer Austria Research GmbH, zuletzt geprüft am 30.09.2019, https://www.fraunhofer.at/content/dam/austria/de/documents/FhA_KVPAPP_Foliensatz.pdf.

²²⁷ Reisinger, „Kontinuierlicher Verbesserungsprozess - KVP 4.0,“ 14.

²²⁸ Brüggenmann und Bremer, *Grundlagen Qualitätsmanagement*, 186.

arbeitung weitergeleitet. Zur weiteren Dokumentation und dem Monitoring des Umsetzungsgrades werden alle Vorschläge in einem vorgefertigten Excel-Tool verwaltet und zusätzlich Rückmeldung über den Status gegeben.

Die KVP-App ermöglicht eine einfache Einbindung aller Mitarbeiter in den kontinuierlichen Verbesserungsprozess, wodurch das ganzheitliche Qualitätsbewusstsein im Unternehmen gefördert wird. Die Erfassung und Verarbeitung läuft dabei vollkommen digital ab, was die Effizienz steigert und die Motivation der Mitarbeiter zum Einbringen von Verbesserungsvorschläge fördert.

5.2.2 Assistenz bei einer Türgriffkommissionierung

Eine weitere Möglichkeit einen qualitätsrelevanten Prozess durch ein Assistenzsystem zu unterstützen, wurde im VW Werk Wolfsburg mit einem Pick-by-point-System²²⁹ für die Kommissionierung variantenreicher Türgriffe realisiert. Dabei wird ein Arbeitsplatz mit mehreren Behältern mittels eines von Logistikdaten gespeisten Projektors ausgeleuchtet und dem Werker ein farblicher Punkt am richtigen Behälter angezeigt. Die Entnahme des richtigen Bauteils wird dabei zusätzlich von einem Flächenscanner überprüft und Fehler sofort signalisiert. Durch dieses Poka-Yoke ähnliche Prinzip konnte die Fehlerrate durch falsch verbaute Teile im nachgelagerten Montageprozess einfach und effektiv fast auf null gesenkt werden.

Um die Mensch-Maschine-Interaktionsmöglichkeiten und somit den Assistenzeffekt noch zu verstärken, lässt sich die Anwendung zu einem adaptiven Pick-by-light System²³⁰ erweitern, bei welchem der Benutzer die Materialbehälter beliebig anordnen und somit seinen Arbeitsplatz flexibel gestalten kann. Hierbei werden die einzelnen Behälter mit Markern versehen und mittels eines optischen Trackingsystems (Abschnitt 4.4.2) identifiziert und die Entnahme durch eine Bilderkennung registriert. Die Signalisierung erfolgt dann schlussendlich ebenfalls mittels Projektion an die detektierte Stelle des richtigen Behälters. Dadurch steigen insbesondere die Flexibilität und der in Abschnitt 4.3 angesprochene Individualisierungsgrad des Arbeitsplatzes, denn der Werker kann die Behälter nach seinen persönlichen ergonomischen Anforderungen anordnen und diese Anordnung beliebig verändern beispielsweise um seine Tätigkeit abwechslungsreicher zu gestalten.

²²⁹ Bernd Rudow und Hans-Christian Heidecke, Hrsg., *Betriebliche Informationssysteme in der Automobilproduktion: Soziotechnisches System, Nutzerpersönlichkeit, Nutzungserleben, Rollout und Betrieb, Fabriksteuerung, Informationen auf Shopfloor, IT-Nutzen* (München: De Gruyter Oldenbourg, 2014). ISBN: 978-3-486-80015-9, 249–50.

²³⁰ Sabine Rathmayer und Hans Pongratz, Hrsg., *Proceedings der Pre-Conference Workshops der 13. E-Learning Fachtagung Informatik* (2015). ISBN: 1613-0073, 30–31.

5.2.3 Qualitätsprüfung mittels Gestensteuerung

Ein Anwendungsbeispiel für ein auf Gestensteuerung basierendes Assistenzsystem stellt ein Pilotprojekt²³¹ zur Qualitätskontrolle von Stoßfängern im BMW Komponentenwerk Landshut dar.

Die Mensch-Maschine-Interaktion erfolgt dabei intuitiv mittels Gestensteuerung und wird wie folgt bewerkstelligt. Durch zwei über dem Arbeitsbereich montierte Infrarot-Kameras wird ein virtuelles Abbild des Stoßfängers am Prüfplatz generiert und laufend mit dem 3D-Modell von diesem abgeglichen. Zeigt der Prüfer in die Nähe der Oberfläche des Stoßfängers, wird das vom Gestenerkennungssystem sofort wahrgenommen und abgeglichen. Das System ist so konfiguriert, dass der Prüfer den Stoßfänger mittels einer Wischgeste als qualitativ einwandfrei freigeben kann. Entdeckt der Prüfer jedoch einen Mangel, muss er diesen nicht mehr aufwendig am PC eingeben, sondern kann diesen, wie in Abbildung 13 dargestellt, intuitiv durch Zeigen auf die Stelle der Beschädigung markieren. Das System dokumentiert dann selbstständig den Fehler und dessen Koordinaten im CAQ System (Abschnitt 4.6.1) des Werkes und signalisiert anschließend die erfolgreiche Erfassung.



Abbildung 13: Qualitätsprüfung per Gestensteuerung im BMW Werk Landshut²³²

Das Assistenzsystem vereinfacht und beschleunigt den Prüfprozess und kann intuitiv ohne Trainingsphase bedient werden. Besonders vorteilhaft ist das System aufgrund der Tatsache, dass es keine zusätzlichen Geräte wie Datenbrillen oder Marker-Handschuhe benötigt, welche den Werker bei längerem Tragen beeinträchtigen könnten.

²³¹ BMW Group Unternehmenskommunikation, „Qualitätscheck per virtuellem Fingerzeig,“ zuletzt geprüft am 05.08.2019, <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0184222DE/qualitaetscheck-per-virtuellem-fingerzeig?language=de>.

²³² BMW Group Unternehmenskommunikation, „Qualitätscheck per virtuellem Fingerzeig“.

5.2.4 Assistenz bei der Prozesskontrolle einer Honmaschine

Einen etwas anderen Ansatz zur Sicherstellung von Qualitätsanforderungen unterstützt ein von Fraunhofer IFF entwickeltes System²³³ zur Assistenz bei der Kontrolle einer Honmaschine für die Bearbeitung von Zylinderkurbelgehäuse im VW Motorenwerk Salzgitter. Dabei bekommen die Mitarbeiter anhand eines digitalen Modells der in Abbildung 14 dargestellten Honmaschine den Sichtprüfungsablauf Schritt für Schritt visualisiert. Die dafür notwendigen Prüfpläne werden aus historischen Daten und aus Expertenwissen generiert. Das System gibt somit die Prüfintervalle vor, unterstützt beim Finden des richtigen Werkzeuges in der Maschine und leistet darüber hinaus auch Hilfestellung beim Beurteilen des Verschleißzustandes sowie beim Abgleich von Messwerten mit den Toleranzen.



Abbildung 14: Honmaschine im VW Werk Salzgitter²³⁴

Das Hauptziel der Implementierung des Assistenzsystems ist die Sicherstellung der Qualität der Zylinderköpfe und zwar nicht nur durch einen speziell ausgebildeten Qualitätsprüfer, sondern durch alle am Honprozess beteiligten Personen. So soll ein generell besseres Verständnis über die relevanten Parameter der Maschine entstehen und ein frühzeitiges Erkennen und Beheben von Fehlern möglich werden bevor es zu tatsächlichem Ausschuss kommt.

²³³ Beate Koch und Rene Maresch, „Bessere Qualitätskontrolle durch digitales Assistenzsystem: Wissenstransfer im Unternehmen,“ Fraunhofer IFF, zuletzt geprüft am 30.09.2019, https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/presse-medien/2016/Juli/ForschungKompakt/fk_07_2016_IFF_Bessere_Qualitaetskontrolle_durch_digitales_Assistenzsystem.pdf.

²³⁴ Koch und Maresch, „Bessere Qualitätskontrolle durch digitales Assistenzsystem,“ 4.

5.2.5 Kamerabasiertes Assistenzsystem „Der schlaue Klaus“

Dass durchaus schon komplexere Datenverarbeitungsmethoden in Assistenzsystemen zur Qualitätssteigerung im Einsatz sind, soll folgendes Beispiel aus dem Audi Werk Ingolstadt zeigen. Beim Türvormontageprozess des Audi A4 treten mehrere hundert Varianten mit bis zu 14 Steckverbindungen auf, was diesen sehr kompliziert und fehleranfällig macht. Aus diesem Grund wird dieser durch ein kamerabasiertes Assistenzsystem unterstützt und überwacht.²³⁵

Das vom Hersteller als „Der schlaue Klaus“²³⁶ vermarktete Assistenzsystem erkennt, nachdem es einmalig angelernt wurde, mittels zwei über dem Arbeitsbereich positionierten Kameras in Kombination mit einer Bilderkennungssoftware alle zu verbauenden Einzelteile des Montageprozesses. Während des Verbauens wird anschließend jeder Arbeitsschritt vom System überwacht und auf dem in Abbildung 15 links erkennbaren Touch-Bildschirm automatisch quittiert und als in Ordnung dokumentiert. Aufgrund eines mit der Datenbank verknüpften, intelligenten Algorithmus ist es dabei unerheblich, in welcher Lage oder Reihenfolge die Teile verbaut werden. Registriert das System fehlende oder falsch montierte Bauteile, wird dies unmittelbar visualisiert und der Werker kann den Fehler beheben.



Abbildung 15: Der schlaue Klaus im Einsatz bei der Türmontage des Audi A4²³⁷

²³⁵ Optimum datamanagement solutions GmbH, „Audi Smart Factory: Schlaue Klaus unterstützt die Montage des neuen Audi A4,“ zuletzt geprüft am 30.09.2019, https://www.optimum-gmbh.de/fileadmin/Bilder/referenzen/audi/Audi_Smart_Factory.pdf.

²³⁶ Optimum datamanagement solutions GmbH, „Der schlaue Klaus: Das kamerabasierte Assistenzsystem für die manuelle Fertigung,“ zuletzt geprüft am 30.09.2019, https://www.optimum-gmbh.de/fileadmin/Bilder/der-schlaue-klaus/Broschu__re_Optimum_f_DEU.pdf.

²³⁷ Optimum datamanagement solutions GmbH, „Audi Smart Factory“.

Die Audi AG konnte durch Einsatz des Assistenzsystems den Fehleranteil in der Türvormontage nahezu auf null senken. Gleichzeitig wurde aufgrund der Überwachungsfunktion ein erhöhtes Sicherheitsgefühl festgestellt und es konnte eine Entlastung der Mitarbeiter in diesem Bereich erreicht werden.

Neben der Verwendung des schlaugen Klaus als reines Montageassistenzsystem lassen sich analog auch 100 Prozent Prüfungen realisieren und so die Werker im Rahmen einer Endkontrolle deutlich entlastet werden. Auch eine Dokumentation einzelner Prozessschritte, wie es beispielsweise bei sicherheitsrelevanten Montageschritten erforderlich ist, kann, nach Implementierung eines Zusatzmoduls, durch das Assistenzsystem automatisiert übernommen werden.²³⁸

5.2.6 Augmented Reality zur Werker-Qualifizierung

Die BMW Group setzt beim Training für die Motoren-Montage verstärkt auf AR-Technologien.²³⁹ Dabei übt der angehende Werker die Montage zwar noch an einem realen Motorblock, aber bekommt während der Schulung intuitive Visualisierungen über eine Standard VR-Brille von Microsoft (Abschnitt 4.5.2) in sein Sichtfeld eingeblendet. Wie in Abbildung 16 illustriert, wird der Mitarbeiter so gezielt Schritt für Schritt durch den Montageprozess geleitet und bekommt bei jedem Arbeitsschritt Hinweise in sein Sichtfeld eingeblendet. Dabei kann dieser das Tempo des Trainings selbst bestimmen.



Abbildung 16: AR-gestütztes Training in der Motoren-Montage²⁴⁰

²³⁸ Optimum datamanagement solutions GmbH, „Der schlaue Klaus“.

²³⁹ BMW Group Unternehmenskommunikation, „Ganz real: Virtual und Augmented Reality eröffnen neue Dimensionen für das Produktionssystem der BMW Group,“ zuletzt geprüft am 30.09.2019, <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0294345DE/ganz-real:-virtual-und-augmented-reality-eroeffnen-neue-dimension-fuer-das-produktionssystem-der-bmw-group>, 2.

²⁴⁰ Ebd., 4.

Dank einer speziell entwickelten Software lassen sich neue Trainingsprogramme direkt durch die Trainer ohne Programmierkenntnisse schnell und einfach gestalten und implementieren.

Das VR-Training zeigt bei gleichem Umfang in etwa denselben Trainingseffekt wie eine konventionelle Schulung. Die Chance liegt vielmehr darin, dass nun das Trainingspersonal anstatt jeder Person einzeln gleich drei Personen gleichzeitig schulen kann und die freigewordene Kapazität so zur Gestaltung besserer Trainingsprogramme nutzen kann. Gesamtheitlich betrachtet wird es also durch das Assistenzsystem möglich, die anzulernenden Mitarbeiter besser auf den späteren Einsatz an der Montagelinie vorzubereiten und somit im Endeffekt mögliche Montagefehler vorzubeugen.

5.2.7 Sichtprüfung mittels künstlicher Intelligenz

Auch Ansätze zur Schaffung tatsächlicher Kognition unter Einsatz von in Abschnitt 4.7.2 diskutierter Methoden der Big Data Analysis existieren bereits in der Praxis des Qualitätsmanagements. Ein Beispiel hierfür stellt die automatisierte Sichtprüfung von Pressteilen im Presswerk Ingolstadt-Nord der Audi AG dar.²⁴¹

Beim Pressprozess entstehen innerhalb sehr kurzer Taktzeiten verschiedene Karosserieteile mit teils aufwändigen Geometrien und geringen Toleranzen. Für die Teile existiert bereits eine mittels Kameragates realisierte, optische Rissprüfung, welche jedoch aufgrund schwankender Lichtverhältnisse oder wechselnder Prüfanforderungen eine tägliche, zeitaufwändige Kalibrierung erfordert. Andernfalls signalisiert das System Ausschuss, welcher in der Realität jedoch in Ordnung ist und manuell überprüft und wieder in den Produktionsprozess zurückgeschleust werden muss. Um das Auftreten solcher sogenannter Pseudofehler in den Griff zu bekommen, hat Audi einen selbstlernenden Algorithmus in Form eines künstlichen neuronalen Netzes entwickelt. Dieses muss anhand einer großen Anzahl vorher manuell aufbereiteter Beispielbilder einmalig trainiert werden und erkennt anschließend ganz ohne Kalibrierung und mit hoher Genauigkeit eventuelle Risse in den Pressteilen. Das System kommt darüber hinaus mit deutlich billigerer Kamera-Hardware aus und kann auch auf Sichtprüfungen in anderen Technologien wie in der Montage oder Lackiererei skaliert werden.

Bei diesem Anwendungsfall von Machine Learning handelt es sich demnach um eine Form von intelligenter Assistenz. Das Beispiel soll zeigen, dass derartige Algorithmen großes Potential zum Erkennen nicht trivialer Zusammenhänge im Bereich des Qualitätsmanagements haben und somit in Verbindung mit Formen des Data Minings zur

²⁴¹ Ralf Bretting, „Digitale Augen: Revolution in der Sichtprüfung,“ *Automobil Produktion*, Oktober 2018, 34–35.

Schaffung eines unternehmensübergreifenden Assistenzsystems dritter Stufe geeignet sind. Auf längerfristige Sicht ist aus diesem Grund eine klare Entwicklung in Richtung Predictive Quality in allen Produktionsbereichen der Automobilindustrie²⁴² abzusehen.

5.2.8 Volkswagen Industrial Cloud

Um das in Abschnitt 4.7.4 angesprochene Meta-Assistenzsystem realisieren zu können muss im ersten Schritt eine unternehmensübergreifende, einheitliche Datenbank geschaffen werden. Genau daran arbeitet die Volkswagen AG gemeinsam mit Amazon Web Services im Rahmen der Volkswagen Industrial Cloud²⁴³, welche die 122 global verteilten Produktionsstätten vernetzen soll. Dabei werden, wie in Abbildung 17 schematisch dargestellt, die Daten aller Maschinen, Anlagen und Informationssystemen der Werke auf der cloudbasierten Digital Production Platform zusammengeführt und zentral verarbeitet. So wird eine ortsunabhängige Auswertung und Steuerung aller relevanten Kennzahlen aus Produktion und Logistik in Echtzeit ermöglicht und dem Benutzer individuell auf ihn zugeschnittene Handlungsempfehlungen gegeben.

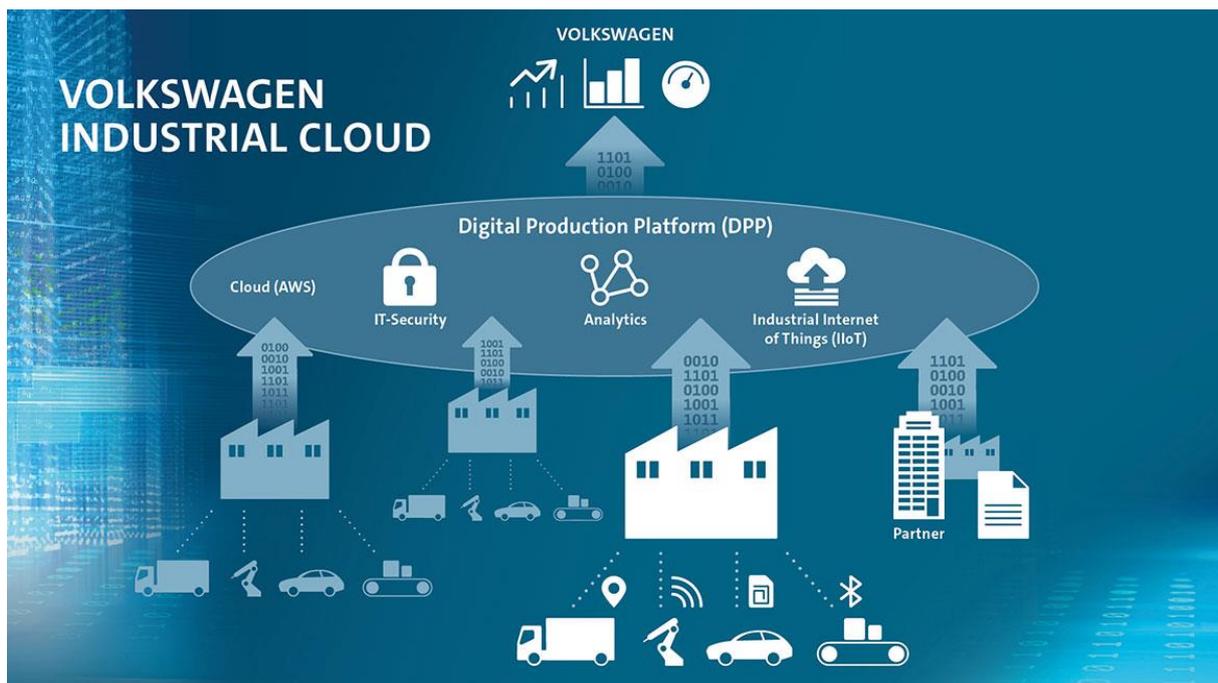


Abbildung 17: Übersicht Volkswagen Industrial Cloud²⁴⁴

Die Trägerarchitektur der Digital Production Platform soll bereits Ende 2019 aufgebaut sein und im Anschluss schrittweise alle Produktionsstätten und später auch externe

²⁴² Huber, *Industrie 4.0 in der Automobilproduktion*, 262.

²⁴³ Volkswagen AG, „Wir schalten die Industrie 4.0 live,“ zuletzt geprüft am 20.08.2019, <https://www.volkswagenag.com/de/news/stories/2019/03/volkswagen-industrial-cloud.html>.

²⁴⁴ Ebd.

Lieferanten an die Cloud angebunden werden. Der Implementierungsaufwand ist dabei nicht zu unterschätzen, Volkswagen und Amazon Web Services planen hierfür ein eigenes IT-Zentrum in Berlin, von welchem aus circa 220 Spezialisten am Aufbau der Volkswagen Industrial Cloud arbeiten werden.

Gelingt die vollständige Anbindung aller Unternehmens-IT-Systeme kann so in Kombination mit Formen der Big Data Analytics eine Form der Assistenz geschaffen werden, welche einem Assistenzsystem vierter Stufe am nächsten kommt. Zur Herstellung aller direkten und indirekten Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge muss das System jedoch über eine vollständige Informationsbasis verfügen. Hierzu müssten neben der Sammlung der Daten aller direkt im Produktionsumfeld befindlichen CPS und Datenbanken auch die indirekten Datenquellen, wie beispielsweise Wetterdaten oder Zeitwirtschaftsdaten, in den KI-Algorithmus eingebunden werden. Dies ist nicht nur aus technischer Sicht schwierig (Abschnitt 4.7.5), sondern wird insbesondere bei der Verarbeitung von sensiblen, personenbezogenen Daten problematisch. Aus diesem Grund ist aus der Sicht des Autors eine echte Assistenz vierter Stufe in näherer Zukunft noch nicht abzusehen.

6 Chancen und Risiken eines Assistenzsystems für visuelle Fehlererfassung

In diesem Kapitel werden die theoretisch beschriebenen Methoden des Risikomanagements auf ein Assistenzsystem zur visuellen Fehlererfassung in der Montage eines Automobilwerkes erläutert. Dabei sollen mögliche Chancen und Risiken des Assistenzsystems formal bewertet, und Vorschläge zur Risikobeherrschung gegeben werden.

Anmerkung: Da dieses Kapitel sensible, das Automobilindustriunternehmen betreffende Informationen enthält, wird im Anhang A eine detaillierte Beschreibung und Diskussion der Ergebnisse gegeben. Der Anhang wurde zur Beurteilung dieser Arbeit vorgelegt, kann jedoch aus Geheimhaltungsgründen nicht mitgebunden werden.

6.1 Beschreibung des Systems

In einer modernen Serienproduktion eines Automobilwerkes werden unzählige Maßnahmen zur Fehlerprävention getroffen. Eine fehlerfreie Produktion kann zwar angestrebt werden, existiert jedoch de facto noch nicht. Selbst stabile automatisierte Prozesse unterliegen immer statischen Schwankungen und sobald der Faktor Mensch im Spiel ist, kommt es ohnehin durch verschiedenste Faktoren zu Fehlern. Um die Auslieferung eines fehlerfreien Fahrzeugs an den Kunden dennoch zu gewährleisten, muss jeder auftretende Fehler dokumentiert, und spätestens vor der Übergabe an den Kunden nachgearbeitet werden. Die Fehlererfassung ist zwar beispielsweise durch Kameragates (Abschnitt 4.4.4) schon teilweise automatisiert, jedoch können sie Qualitätskontrollen durch den Menschen längst noch nicht ablösen.

An dieser Stelle soll durch ein Assistenzsystem in Form eines auf dem CAQ-System aufbauenden Systems zur systematischen, visuellen Fehlererfassung (Details zur Einordnung, Aufbau und Benutzeroberfläche des Systems werden in Anhang A.1 genau beschrieben) unterstützt werden. Dabei liegt der Fokus auf der Erfassung und Nacharbeit von Beschädigungen an der Außenhaut des Fahrzeuges. Durch eine graphische Benutzeroberfläche wird es dem Benutzer möglich, intuitiv je nach Anwendungsfall per Mausklick oder Touchscreen-Interaktion virtuell zum fehlerhaften Bauteil zu navigieren und so den Fehler oder die Nacharbeit graphisch zu erfassen. Die Information wird direkt fahrzeugbezogen ins CAQ System übertragen und kann so für eine spätere Nacharbeit wieder abgerufen werden. Das System bietet darüber hinaus die Möglichkeit, erfasste Fehler mittels eines Auswertungstools über einen längeren Zeitraum zu visualisieren, was das Identifizieren von Fehlerschwerpunkten ermöglicht und so bei der Fehlerursachenfindung hilfreich ist.

6.2 Risikobewertung

Die für das Risikomanagement notwendigen theoretischen Grundlagen wurden bereits in Kapitel 3 abgehandelt. Wie in Tabelle 2 und in Abschnitt 3.3 bereits festgestellt, existieren für den Risikoabschätzungsprozess vielerlei Methoden und Werkzeuge. Dabei sollte für den konkreten Anwendungsfall für jeden Schritt ein geeignetes Instrument gewählt werden. Zur vollständigen Identifikation der Risiken sind oft die Verwendung von mehreren Identifikations- beziehungsweise Analysewerkzeugen notwendig.²⁴⁵

Zur Risikobewertung im Rahmen des Fallbeispiels wird, unter Berücksichtigung des zu hohen Aufwandes einer FMEA für den spezifischen Anwendungsfall, deshalb folgendermaßen vorgegangen:

- Zuerst erfolgt eine Risikoidentifikation mittels Brainstorming im Rahmen eines Risiko-Assessments.²⁴⁶
- Anschließend wird eine Risikoanalyse und -bewertung durchgeführt, indem die identifizierten Risiken den einzelnen Prozessschritten systematisch zugeordnet, und eine Bewertung jedes Risikos (beziehungsweise der Auswirkungen jeder nicht wahrgenommenen Chance) in einer Risikomatrix vorgenommen wird.²⁴⁷
- Aus der so entstandenen Priorisierung werden im letzten Schritt Maßnahmen zur Beherrschung hoch priorisierter Risiken und zur Förderung der Chancen abgeleitet.
- Die getroffenen Maßnahmen müssen folglich in regelmäßigen, beispielsweise jährlichen Abständen auf ihre Wirksamkeit überprüft werden.

Der genaue Ablauf des Risiko-Assessments wird in Anhang A.3.1 näher erläutert.

6.3 Zusammenfassung der Ergebnisse

Nachfolgend soll eine allgemeine Zusammenfassung der Ergebnisse des Risiko-Assessments gegeben werden. Die detaillierte Abhandlung der Chancen und Risiken des Systems und den getroffenen Maßnahmen findet sich in Anhang A.3.

Identifizierte Chancen

Die offensichtlichste Chance des Assistenzsystems liegt sicherlich in einer Vereinfachung des Fehlererfassungsvorganges durch eine graphische Auswahl, welcher im Gegensatz zum konventionellen CAQ auch mittels Touchscreen Interaktion erfolgen

²⁴⁵ Hoffmann, *Risikomanagement*, 22.

²⁴⁶ Ebd., 25.

²⁴⁷ Ebd., 35.

kann. Daraus resultiert im Endeffekt eine Verkürzung der Prozesszeit, was einer Entlastung des Erfassers oder einer Effizienzsteigerung gleichkommt.

Außerdem wird durch das Assistenzsystem die Genauigkeit der Dokumentation der Fehlerlage erhöht, was in weiter Folge auch zu einer Steigerung der Datenqualität führt. Dadurch lassen sich beim nachgelagerten Auswertungsprozess im Rahmen der Ursachenfindung die Fehlerschwerpunkte besser bilden und die Priorisierung bei der Abarbeitung erleichtern.

In Verbindung mit automatisierten Auswertungen ergibt sich so die Chance, den gesamten Regelkreis von der Fehlerbildentdeckung bis zum Treffen von Maßnahmen zur Fehlervermeidung und deren Wirksamkeitsnachweis zu optimieren, was sich im Endeffekt auf das Erreichen der Qualitätsziele positiv auswirkt.

Identifizierte Risiken

Einerseits bestehen mögliche Risiken durch das Assistenzsystem in der Erzeugung von Falscheingaben, welche an mehreren Stellen des Prozesses auftreten können. Dies führt dazu, dass Fehler in dem späteren Nacharbeitsprozess schwer oder nicht mehr wiedergefunden werden können, und, dass durch die fehlerhafte Dokumentation im Auswertungsprozess eine falsche Priorisierung der Fehlerbilder entstehen kann. Insbesondere für das Nacharbeiten von sicherheitsrelevanten Prüfungen existiert ein gesonderter Prozess im CAQ, welcher keinesfalls vom Assistenzsystem überbrückbar gemacht werden darf.

Durch die Einfachheit der Software besteht außerdem die Gefahr, dass durch fehlende Filtermöglichkeiten der Fehlerentstehungsort nicht ausreichend eingeschränkt werden kann. In diesem Fall müssen im Auswertungsprozess das Auswertetool des Assistenzsystems und das sehr umfangreiche CAQ parallel verwendet werden, was wiederum das Optimierungspotential reduziert.

Maßnahmen zur Risikoverringering

Wie bereits im Abschnitt 2.4.4 über die theoretischen Grundlagen des risikobasierten Ansatzes erläutert, müssen zum Erreichen von kontinuierlicher Verbesserung, Risiken durch geeignete Maßnahmen eingeschränkt werden. Im Rahmen des Risiko-Assessments müssen daher für alle höher eingeschätzten Risiken konkrete Gegenmaßnahmen vorgeschlagen und in weiterer Folge auch umgesetzt werden.

Viele der behandelten Risiken lassen sich durch eine ausreichende Unterweisung der Benutzer bereits drastisch reduzieren. Jedoch wird der Prozess durch den Faktor Mensch immer fehleranfällig bleiben, weshalb es wichtig ist, mögliche Risiken zusätzlich durch technische Mittel zu unterbinden. So lässt sich beispielsweise durch die anwendergerechte Gestaltung der Benutzeroberfläche die Fehleranfälligkeit reduzieren

und so das Risiko bereits vor dem Rollout minimieren. Da die Software jedoch für verschiedene Anwendungsfälle konzipiert ist, können gewisse Funktionen für einen Anwendungsfall zwar essentiell sein, für einen anderen jedoch die Fehleranfälligkeit stark erhöhen. Aus diesem Grund gilt es anhand der identifizierten Risiken das System für jeden Anwendungsfall gezielt so zu konfigurieren, dass Risiken optimal eingedämmt werden (zum Beispiel durch Deaktivieren der Nacharbeitsfunktion bei sicherheitsrelevanten Prüfungen). Kann ein Risiko damit immer noch nicht ausreichend reduziert werden, lassen sich Änderungen unter Beachtung aller anderen Anwendungsfälle als mittelfristige Lösung auch in künftige Updates einsteuern.

Außerdem muss die Akzeptanz (Abschnitt 7.2) für das Assistenzsystem gefördert werden. Das kann dadurch bewerkstelligt werden, die Benutzer durch Schulungen direkt am Arbeitsplatz selbst vom Nutzen des Systems zu überzeugen. Je nach Anwendungsfall kann auch die Nutzung von mobilen Endgeräten angedacht werden, da diese eine tendenziell höhere Grundakzeptanz (Abschnitt 4.7.1) aufweisen.

Nächste Schritte

Im Anschluss an die Risikoanalyse können anhand der gewonnenen Erkenntnisse in Bezug auf die Förderung der Chancen konkrete nächste Schritte geplant werden. Diese müssen die Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen gewährleisten und darüber hinaus eine regelmäßige Überprüfung der Wirksamkeit vorsehen. Hierfür muss der Effekt der Maßnahmen auf das System in irgendeiner Form messbar gemacht werden. Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen werden aus den Ergebnissen der Risikoanalyse unternehmensspezifische Handlungsempfehlungen gegeben und ein Plan zur organisationalen Verankerung abgeleitet. Daraus ergibt sich die Möglichkeit der Minimierung der Risiken und dem gezielten Wahrnehmen der Chancen des Systems. Somit lässt sich im Endeffekt dessen Potential zur Beschleunigung des Qualitätsregelkreises zur Reduktion auftretender Fehlerbilder optimal nutzen und somit eine echte Qualitätsverbesserung erreichen.

7 Allgemeine Chancen und Risiken für das Qualitätsmanagement

Aufbauend auf den Grundsätzen des Qualitätsmanagements, insbesondere unter Berücksichtigung des in Abschnitt 2.4.3 beschriebenen, auf dem PDCA-Regelkreis basierenden prozessorientierten Ansatzes, sowie der in Abschnitt 2.3.2 erwähnten High-Level-Structure, lassen sich die notwendigen Prozesse²⁴⁸ zur Erreichung der Qualitätsziele verallgemeinert in folgende Schritte gliedern:

- Planung (Qualitätsplanung)
- Betrieb (Qualitätssteuerung)
- Bewertung der Leistung (Qualitätssicherung)
- Verbesserung (Qualitätsverbesserung)

Bezugnehmend auf diese vier, ein Qualitätsmanagementsystem allgemein beschreibende Elemente, sollen in diesem Kapitel mögliche Chancen und Risiken von Assistenzsystemen auf das Qualitätsmanagement diskutiert werden.

Für die nachfolgenden Betrachtungen darf außerdem, wie in Abschnitt 2.4.4 über den risikobasierten Ansatz der ISO 9000 und Abschnitt 3.1 über Risikomanagement bereits begründet, die enge Verknüpfung von Risiken und Chancen nicht außer Acht gelassen werden. Wird beispielsweise eine Chance, welche sich durch die Einführung eines Assistenzsystems ergibt, nicht genutzt, kann dies negative Auswirkungen für ein Unternehmen bergen. Somit kann das „Übersehen“ von Chancen ebenso ein Risiko darstellen wie das Eingehen von Risiken und sich negativ auf die Wettbewerbsfähigkeit auswirken.

7.1 Qualitätsplanung

Die Planungsphase im Qualitätsmanagementsystem beinhaltet im ersten Schritt auch das Festlegen der Qualitätsziele durch die Führung (Abschnitt 2.4.1). Hierbei handelt es sich um strategische Entscheidungen, welche durch kognitive Assistenzsysteme in Form von Entscheidungsunterstützungssystemen (Abschnitt 4.6.2) unterstützt werden können. Daraus ergibt sich die Chance, die Qualitätsziele auf einer objektiveren Basis festlegen zu können und so eine gezieltere Ausrichtung auf die Kundenbedürfnisse zu ermöglichen. Wichtig ist dabei eine möglichst breite, über das CAQ hinausgehende Datenbasis, um die richtigen Ursache-Wirkungszusammenhänge herstellen zu können, und so das Risiko einer Verwechslung von Korrelation und Kausalität zu vermeiden. Diese Datenbasis kann einerseits durch ein ins ERP integriertes CAQ, oder durch eine in Abschnitt 4.7.3 diskutierte Übertragung aller Datenströme in einen cloudbasierten

²⁴⁸ ISO 9000:2015, 31.

Data Lake bereitgestellt werden. Anschließend können die Daten mittels Algorithmen der Big Data Analyse ausgewertet, und so Hypothesen zur Entscheidungsunterstützung überprüft werden. Der Einsatz von Thinking Software²⁴⁹ bietet darüber hinaus die Möglichkeit, anhand empirischer Daten hochkomplexe Prozesssimulationen durchzuführen und so beispielsweise die von der Norm geforderte Abschätzung von Chancen und Risiken bei Planungstätigkeiten (Abschnitt 2.4.4) zu bewerkstelligen. Hieraus ergibt sich ebenso eine Chance bei der Gestaltung von Qualitätsmanagementprozessen.

Die festgelegte Qualitätspolitik, die daraus abgeleiteten Qualitätsziele und Anwendungsbereiche, beziehungsweise Prozesse des Qualitätsmanagements müssen nach Abschnitt 2.4.5 auch hinreichend dokumentiert und für die relevanten Parteien verfügbar gemacht werden. Hierfür bieten sich insbesondere Dokumentenmanagementsysteme an, welche den Fokus auf Nachverfolgbarkeit von Dokumentenänderungen und deren gesetzliche Aufbewahrungsfristen legen und häufig als Modul des CAQ Systems (Abschnitt 4.6.1) zu finden sind.

Auch bei Prüfplanungstätigkeiten kann mittels kognitiver Assistenz großes Potential ausgeschöpft werden. Diese ebenfalls oft als Modul in ein CAQ integrierte Funktion wird meist noch von manuell erzeugten Prüfplänen²⁵⁰ gespeist. Hier wäre dynamische Priorisierung mittels der Analyse von Echtzeitdaten und historischen Daten denkbar, wodurch Prüfungen anhand momentaner Fehlerhäufigkeiten automatisch priorisiert werden können.

7.2 Qualitätssteuerung

Der Qualitätssteuerung lassen sich dem einleitend beschriebenen Modell zufolge alle Tätigkeiten zur „Erfüllung von Qualitätsanforderungen“²⁵¹ des Produktes im laufenden Betrieb zuordnen.

Technologieeinsatz

Für manuelle Prüfprozesse auf Shop Floor Ebene ergeben sich speziell durch die in Abschnitt 4.7.1 beschriebenen mobilen Assistenzsysteme große Chancen. Hierzu zählen insbesondere mobile Endgeräte in Form von Handhelds, beispielsweise Smartphones oder Tablets, da diese aufgrund des technologischen Fortschritts bereits sehr leistungsfähig sind. Insbesondere aufgrund neuer Display- und Touchscreentechnologien (Abschnitt 4.4.2) sind kompakte Bauformen und somit eine maßgeschneiderte Informationsdarstellung möglich. Ist kein besonderer Schutz vor Umwelteinflüssen notwen-

²⁴⁹ Vogel-Heuser, Bauernhansl und ten Hompel, *Handbuch Industrie 4.0 Bd.1*, 56.

²⁵⁰ Kletti und Deisenroth, *MES-Kompodium*, 219–20.

²⁵¹ ISO 9000:2015, 31.

dig, bietet es sich darüber hinaus an, auf Geräte aus dem Consumer Electronics Sektor zurückzugreifen, da diese in hoher Stückzahl verfügbar und somit noch kostengünstiger sind. Auch hier ist der Hintergedanke im Endeffekt eine Echtzeitanbindung an ein einheitliches, unternehmensüberspannendes Data Warehouse beispielsweise in Form einer Cloud, um dadurch jedem Benutzer die für ihn relevanten Informationen bereitstellen zu können.

Mittels AR-Anwendungen in Handhelds ist es so möglich, dem Benutzer die Möglichkeit einer individualisierbaren kognitiven Assistenz und somit eine psychische Entlastung zu bieten. Bei komplexeren VR-Anwendungen besteht hingegen die Gefahr einer Einschränkung des Benutzers durch ergonomische Aspekte wie das Gewicht des Gerätes (Abschnitt 4.5.2). Derartige Lösungen sind zwar als Pilotprojekte schön vorzuzeigen, haben aber für einen flächendeckenden Einsatz aufgrund teurer Hard- und Software meist ein zu schlechtes Kosten-Nutzen-Verhältnis. Den größten Nutzwert und somit für zukünftige industrielle Anwendungen am ehesten denkbar sind an dieser Stelle projektionsgestützte Systeme kombiniert mit markerlosem optischen Tracking²⁵². Hierbei kann der Anwender bei überschaubaren Kosten mit hoher Genauigkeit unterstützt werden und trotzdem weitgehend uneingeschränkt arbeiten.

Diese neuen technologischen Möglichkeiten bergen einerseits prozessuale Chancen für das Qualitätsmanagement, andererseits lassen sich bei richtigem Einsatz auch aus Sicht der Arbeitsplatzgestaltung große Verbesserungen zur Entlastung und somit zur Steigerung des Wohlbefindens realisieren. Beide Aspekte sollen nachfolgend noch genauer diskutiert werden.

Prozessuale Chancen und Risiken

Als direkt erwartete Chance der Einführung von Assistenzsystemen steht meist eine Prozessoptimierung hinsichtlich der Effektivität und Effizienz des unterstützten Prozesses im Vordergrund. Diese Möglichkeit ist, um beim vorherigen Beispiel zu bleiben, bei mobilen Assistenzsystemen in Form von Handhelds alleine schon aufgrund der hardwarebedingten direkten Interaktionsmöglichkeit (Ein- und Ausgabe durch ein Gerät) gegeben. Wie das in Kapitel 6 betrachtete Fallbeispiel zeigt, ist eine Prozessoptimierung auch mittels konventioneller Interaktionsgeräte erreichbar.

Nicht so offensichtlich sind in diesem Kontext jedoch die indirekten Auswirkungen für die Qualität beim Einsatz von Assistenzsystemen für physische Montagetätigkeiten. Muss ein Werker neben einer Hebetätigkeit beispielsweise verschiedene Bauteilvarianten unterscheiden oder weitere Montagetätigkeiten parallel durchführen, kann eine

²⁵² Merazzi und Friedl, „Einteilung und Bewertung von Montageassistenzsystemen,“ 416.

Assistenz beim manuellen Prozess auch positive Auswirkungen auf die kognitive Leistung haben. Genau diesen Synergieeffekt belegt auch eine Studie²⁵³, welche eine durch ein Exoskelett unterstützte Überkopfmontagetätigkeit analysiert. Diese zeigt eine durch die Entlastung bedingte Erhöhung der Konzentrationsleistung und eine reduzierte Fehleranzahl. Assistenzsysteme für manuelle Tätigkeiten können demnach einen nicht außerachtzulassenden positiven Einfluss auf die Produktqualität haben.

Prozessoptimierung steht aber nicht nur im Rahmen der Qualitätsprüfung im Vordergrund, auch zum Erkennen von Abweichungen vom Sollzustand im laufenden Betrieb, zur Ursachenfindung und zum Treffen von Maßnahmen können durch kognitive Assistenzsysteme Verbesserungspotentiale ausgeschöpft werden. Anstatt manueller Auswertungen von Strichlisten kann beispielsweise mittels Systemen zur statistischen Prozesskontrolle (Abschnitt 4.6.2) bei zu hohen Fehlerraten automatisiert gewarnt werden oder die Verschlechterung von qualitätsrelevanten Kennzahlenwerten durch zeitnah generierte Berichte vom CAQ (Abschnitt 4.6.1) signalisiert werden. Gibt ein solches System darüber hinaus noch anhand der Daten konkrete Handlungsempfehlungen, wie es nach der Morphologie aus Abschnitt 4.3 bei echter kognitiver Assistenz der Fall ist, lässt sich der gesamte Regelkreis des Qualitätsmanagements beschleunigen und nachhaltig verbessern.

Individualisierung und technologiebasierte Qualifikation

Auch im Kontext der in Abschnitt 4.3 angesprochenen Möglichkeiten zur Individualisierung von Arbeitsplätzen durch Assistenzsysteme ergeben sich Chancen in Form der Attraktivitätssteigerung von Arbeitsplätzen.²⁵⁴ Speziell bei der Nutzung von digitalen Assistenzsystemen beispielsweise für dynamische Qualitätsprüfungen, bietet es sich an, durch individuell konfigurierbare Menüs, variable Prüfpläne oder mittels Gamification²⁵⁵, bei welchem spielerische Elemente gezielt in Arbeitsroutinen eingebaut werden, die Tätigkeit abwechslungsreicher zu gestalten und somit die Motivation des Anwenders zu steigern.

Werden softwareergonomische Gesichtspunkte (Abschnitt 4.2) und oben erwähnte Möglichkeiten bei der Gestaltung von Assistenzsystemen nicht beachtet, kann dies zum Risiko des Scheiterns aufgrund fehlender Akzeptanz beim Anwender führen. Nach dem Technology Acceptance Modell²⁵⁶ hängt die Technologieakzeptanz dabei neben der bereits angesprochenen wahrgenommenen Bedienungsfreundlichkeit noch von einem zweiten Faktor, nämlich der wahrgenommenen Nützlichkeit, ab, wobei

²⁵³ Weidner und Karafillidis, *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen*, 309-317.

²⁵⁴ Schlund, Mayrhofer und Rupprecht, „Möglichkeiten der Gestaltung individualisierbarer Montagearbeitsplätze vor dem Hintergrund aktueller technologischer Entwicklungen,“ 277.

²⁵⁵ Vogel-Heuser, Bauernhansl und ten Hompel, *Handbuch Industrie 4.0 Bd.4*, 124.

²⁵⁶ Viswanath Venkatesh und Hillol Bala, „Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions,“ *Decision Sciences* 39, Nr. 2 (2008): 280.

diese sogar einen noch größeren Einfluss hat. Um das Risiko der fehlenden Akzeptanz eines digitalen Assistenzsystems zu minimieren, müssen also insbesondere die Anwender (und nicht nur das Management) von der Nützlichkeit des Systems überzeugt sein. Dieser Aspekt wird, wie die in Abschnitt 4.7.1 zitierte Vergleichsstudie zeigt, von mobilen Assistenzsystemen im Allgemeinen erfüllt.

Gleichzeitig besteht aber das Risiko einer durch die immer komplexer werdenden Arbeitsinhalte begründeten Überforderung der Arbeitskräfte, weswegen ein umfangreicheres Einarbeiten und ein schnelleres Lernen notwendig werden.²⁵⁷ Auch hierfür bieten sich interaktive Lernassistenzsysteme (Abschnitt 5.2.64.5.2), insbesondere VR-Systeme an, da mittels dieser Anwendungen eine realitätsnahe Arbeitsumgebung mit Interaktionsmöglichkeiten simuliert werden kann, in welche sich der Benutzer auch tatsächlich hineinversetzen kann und so ein dem realen Training ähnlicher Lerneffekt entsteht.²⁵⁸ Dies wirkt sich neben dem Unterstützungseffekt auch unter einem wirtschaftlichen Aspekt positiv aus, da kritische Arbeitsumfänge bereits in früheren Entwicklungsstadien ohne teure Prototypen trainiert, und so interne und externe Fehlerkosten (Abschnitt 2.6.2) in der Serienproduktion vermieden werden können.

Dokumentationsanforderungen

Für den Betrieb eines Qualitätsmanagementsystems wird außerdem, wie einleitend in Abschnitt 2.4.5 beschrieben, eine einheitliche Dokumentation aller relevanten Geschäftsprozesse gefordert. Zur Erfüllung dieser Anforderungen bietet sich eine Unterstützung durch datenbankbasierte IT-Systeme an, welche meist ins CAQ System eingebettet sind. Integrierte Systeme in Verbindung mit einem MES und CRM System (Abschnitt 4.6.1) sind darüber hinaus in der Lage, die qualitätsrelevanten Produktdaten über die gesamte Lieferkette bis hin zum Kunden zu dokumentieren und so eine noch größere Transparenz zu schaffen.

So schön die Idealvorstellung der vollständigen Dokumentation aller Dimensionen der Qualitätsdaten über den gesamten Produktionsprozess auch sein mag, es besteht dabei das Risiko der Erzeugung des „gläsernen Mitarbeiters“. Dabei kann beispielsweise durch Dokumentation aller Arbeitsschritte eines Montagevorganges, insbesondere der gemachten Fehler, ein Kontroll- oder Überwachungsempfinden entstehen.²⁵⁹ Hier gilt es, nicht zuletzt auch aus Datenschutzgründen, nur wirklich notwendige Daten dauerhaft zu speichern und für eine ausreichende Anonymisierung zu sorgen.

²⁵⁷ Vogel-Heuser, Bauernhansl und ten Hompel, *Handbuch Industrie 4.0 Bd.4*, 240.

²⁵⁸ Schenk, *Produktion und Logistik mit Zukunft*, 379.

²⁵⁹ Jonathan Niehaus, „Mobile Assistenzsysteme für Industrie 4.0: Gestaltungsoptionen zwischen Autonomie und Kontrolle,“ Forschungsinstitut für gesellschaftliche Weiterentwicklung FGW, zuletzt geprüft am 02.09.2019, http://fgw-nrw.de/fileadmin/user_upload/Impuls-I40-04-Niehaus-A1-web.pdf, 2.

7.3 Qualitätssicherung

Die objektive Bewertung der Leistung und die Überprüfung der Wirksamkeit des Qualitätsmanagementsystems erfolgt in der Regel mittels interner und externer Audits (Abschnitt 2.3.2). Hierbei wird insbesondere die Erfüllung der in Abschnitt 2.4, 2.5 und 2.6 beschriebenen, normativen und gesetzlichen Anforderungen, welche im Endeffekt auf die Erzeugung von nachhaltiger Kundenzufriedenheit abzielen sollen, kontrolliert. Dabei muss eine nachvollziehbare Dokumentation aller im Rahmen der in der Qualitätsplanung festgelegten Prozesse zur Erfüllung der Qualitätsanforderungen nachgewiesen werden können. Vor allem bei komplexen Produkten, wie es in den Wertschöpfungsketten der Automobilindustrie der Fall ist, muss auch die Dokumentation der Prozesse dementsprechend umfangreich sein.²⁶⁰

Auch aus Auditsicht ergeben sich deshalb durch ein lückenloses, IT-gestütztes Dokumentenmanagement, in welchem insbesondere Änderungen von Aufzeichnungen und Prozessbeschreibungen nachvollziehbar dargestellt sind, große Chancen zur Erreichung einer anforderungsgetriebenen Effizienzsteigerung. Während eines Zertifizierungsaudits wird nämlich die zu den Anforderungen konforme Dokumentation aller im Rahmen der Qualitätssteuerung beschriebenen Prozesse anhand einer Stichprobe, beispielsweise einer Kundenbestellung, überprüft.²⁶¹ Dieser Nachweis ist bei komplexen Produktionssystemen ohne informationstechnologische Unterstützung durch ein CAQ System fast unmöglich.

7.4 Qualitätsverbesserung

Als Teil des Qualitätsmanagements zählen zur Qualitätsverbesserung all jene Maßnahmen, welche zu einer Effektivitäts- und Effizienzsteigerung von qualitätsrelevanten Prozessen führen.²⁶² Mit einem Assistenzsystem sollte per Definition (Abschnitt 4.1) schon ein gewisser Nutzen für den Anwender verbunden sein, es muss jedoch darüber hinaus festgestellt werden, ob auch für das Qualitätsmanagementsystem ein Nutzen gegeben ist. Hierfür kann beispielsweise eine quantitative Wirtschaftlichkeitsbetrachtung (Abschnitt 2.6.2), in welcher die Investitionskosten den zu erwartenden, niedrigeren Qualitätskosten gegenübergestellt sind, herangezogen werden. Aber auch eine frühzeitige Risikoanalyse kann, wie auch das Fallbeispiel in Kapitel 6 zeigt, mögliche Risiken frühzeitig minimieren, und somit den Effekt der identifizierten Chancen maximieren.

Insbesondere Investitionen zum Aufbau einer neuen Form eines ERP-Systems kombiniert mit einem in die Lieferkette integrierten CAQ bieten an dieser Stelle die Chance zur Erreichung einer Qualitätsverbesserung. Dies bildet nämlich die Grundlage zur

²⁶⁰ Hinsch, *Die ISO 9001:2015 – Ein Ratgeber für die Einführung und tägliche Praxis*, 16.

²⁶¹ Ebd., 22.

²⁶² Brüggemann und Bremer, *Grundlagen Qualitätsmanagement*, 123.

Schaffung einer einheitlichen und möglichst vollständigen Datenstruktur, anhand welcher sich komplizierte Informationsflüsse automatisieren lassen und komplexe Analysealgorithmen angewendet werden können. Das langfristige Ziel dieses Ansatzes ist die Bildung eines vollständigen, cloudbasierten Data Lakes, welcher in Echtzeit an eine Vielzahl von unterschiedlichen, mobilen Assistenzsystemen angebunden ist. So wird es unter der Nutzung der Daten des cyber-physischen Produktionssystems möglich, jedem Nutzer live die für ihn relevanten Informationen in einer interaktiven Form bereitzustellen. Zusätzlich kann ein solches Meta-Assistenzsystem (Abschnitt 4.7.4), unter Berücksichtigung aller Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge der zu überprüfenden Hypothesen und mittels Anwendung von Methoden der Big Data Analytics, kognitive Fähigkeiten des Menschen nachbilden und so den Benutzern konkrete Handlungsempfehlungen liefern. Um die mit dem Einsatz derartiger Technologien verbundenen Risiken bestmöglich handhabbar zu machen, muss jedoch bereits in einer frühen Phase ein Bewusstsein über die Grenzen der künstlichen Intelligenz (Abschnitt 4.7.5) geschaffen werden und es darf bei cloudbasierten Lösungen im speziellen auch das Thema IT-Sicherheit (Abschnitt 4.7.3) nicht außer Acht gelassen werden.

Durch derartige Systeme lässt sich eine direkte Assistenz zur Messung der Qualitätsziele und zur Entscheidungsunterstützung für Qualitätsverbesserungsmaßnahmen schaffen. Auch generell sollte es das Bestreben aller vorhin erwähnten Phasen des Qualitätsregelkreises sein, die Erreichung der Qualitätsziele sicherzustellen. Dies ist per se mit Prozessen verbunden, welche im Endeffekt immer direkt oder indirekt auf eine gewisse Qualitätsverbesserung abzielen. Somit lässt sich verallgemeinert rückschließen, dass die Hauptchance für das Qualitätsmanagement die Möglichkeit des Erreichens einer tatsächlichen Qualitätsverbesserung durch den Einsatz von Assistenzsystemen darstellt.

8 Fazit und Ausblick

Resümierend lässt sich feststellen, dass Assistenzsysteme bereits in allen führenden Unternehmen der Automobilindustrie eingesetzt werden. Dabei umfassen die Einsatzgebiete ein breites Spektrum. Angefangen von reiner physischer Werker-Assistenz bis hin zu Ansätzen von komplexer Entscheidungsunterstützung sind in der Praxis viele Formen der Assistenz zu finden. Viele der Assistenzsysteme zielen dabei, wenn auch nicht immer primär, auf eine nachhaltige Qualitätsverbesserung der Produkte ab. Die in der Arbeit beschriebenen, aktuellen Anwendungsfälle von Assistenzsystemen liefern in diesem Zusammenhang einen Überblick.

Wahrnehmen der technologischen Trends

Um mögliche Chancen optimal wahrnehmen zu können, gilt es jedoch zu verstehen, wie die Assistenzsysteme im Qualitätsmanagement in Zukunft aussehen werden. Hierfür wurden im Rahmen der Forschung zusammengefasst zwei große Trends ausgemacht:

- Mobile Assistenz
- Predictive Quality

Einerseits ist ein klarer Trend in Richtung mobiler Assistenzsysteme zu beobachten. Hierbei werden vor allem Geräte aus dem Consumer Electronics Bereich noch mehr an Bedeutung gewinnen, da diese auf offenen Plattformen aufbauen und kostengünstig sowie in großen Stückzahlen am Markt erhältlich sind. Smartphones sind ohnehin bereits Standard und werden von vielen Angestellten auch beruflich genutzt. Sie können nicht zuletzt aufgrund ihrer integrierten Kamera durch Applikationen zu einem effizienten digitalen Assistenzsystem für Qualitätsmanagementtätigkeiten erweitert werden. In Verbindung mit geeigneter Software lassen sich somit auch augmentierte Realitäten am Smartphone realisieren, welche beispielsweise zur Handlungsanleitung bei Qualitätsprüfungen eingesetzt werden können. Aber auch Augmented Reality Anwendungen mittels Head-Mounted-Displays bieten, vorausgesetzt die Tragezeiten der Geräte halten sich in Grenzen, für ein effizienteres Werker-Training und somit für die Vermeidung von Montagefehlern großes Potential.

Außerdem sind speziell im Bereich der Qualitätsdatenanalyse immer stärkere Ansätze hin zu prädiktiver, also vorhersagender Assistenz erkennbar. Diese Formen der Datenanalyse setzen zwangsläufig Datenbanken zur Vereinheitlichung der verschiedenen Datenströme voraus, was mittels sogenannter Data Lakes realisiert wird. Andererseits braucht es zur Verarbeitung der Daten auch Methoden der Big Data Analysis um die notwendigen, nicht trivialen Muster in den Daten zu erkennen und die richtigen Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge herstellen zu können. Im Idealfall wird es so möglich, wahrscheinliche Fehler im Prozess bereits vor deren Eintreten erkennen zu

können und aufgrund dieser Information proaktiv handeln zu können. Somit wird Predictive Quality ein essentielles Mittel darstellen, um in den immer komplexer werdenden Montagesystemen eine Qualitätsverbesserung zu erreichen und somit der anzustrebenden Null-Fehler Produktion näher zu kommen.

Risikomanagement zur Förderung der Chancen

Mit neuartigen Technologien sind meist auch nicht unerhebliche Risiken verbunden. Zur Beantwortung der Frage wie diese Risiken in Bezug auf Assistenzsysteme aussehen und an welcher Stelle sie auftreten, werden im Zuge der Arbeit vielerlei Aspekte betrachtet und unterschiedliche Anhaltspunkte geliefert. Darüber hinaus wurde in diesem Kontext ein systematischer Ansatz zum Risikomanagement erarbeitet und auf ein Fallbeispiel angewendet. Als Ergebnis konnten im Schritt der Risikobehandlung mehrere Maßnahmen getroffen werden, welche teils technischer Natur sind und teils auf die Erhöhung der Akzeptanz der Benutzer abzielen.

Das durchgeführte Risikomanagement schafft außerdem ein tiefgehendes Verständnis über verschiedenste Einflussgrößen auf den zu unterstützenden Prozess und ermöglicht dadurch eine bessere Abgrenzung gut geeigneter zu weniger gut geeigneter Anwendungsfelder für das Assistenzsystem. Somit lassen sich weitere Einsatzgebiete gezielter planen und Kapazitäten besser lenken, was den Nutzen und die damit einhergehenden Chancen maximiert. Aufgrund des klar definierten Maßnahmenpakets zur Risikoverringerung und der vorliegenden Priorisierung der Risikobewertung können bestehende Handlungsbedarfe in betroffenen Produktionsbereichen gezielter fokussiert, sowie die Probleme schneller und effizienter gelöst werden.

Durch die lückenlose Dokumentation aller Schritte des Risikomanagements bieten sich weitere Vorteile. Als Ergebnis der Risikoanalyse entsteht ein nachvollziehbares Dokument, welches für den Wirksamkeitsnachweis der Maßnahmen und in regelmäßigen Abständen zum Überprüfen der Chancen und Risiken sowie einer eventuellen Neubewertung im Rahmen des risikobasierten Denkens herangezogen werden kann. Darüber hinaus lassen sich aus dem Dokument wichtige gewonnene Erkenntnisse, sogenannte Lessons Learned, ableiten. Diese können bei künftigen Anwendungen als Erfahrungsschatz und Planungshilfsmittel wiederverwendet werden, und so zur Vermeidung von Fehler oder ungünstiger Sachverhalte dienen.

Die angewendeten Methoden und die gewonnen Erkenntnisse lassen sich nicht nur auf das Fallbeispiel anwenden, sondern auf viele der im Zuge der Arbeit identifizierten, allgemeinen Risiken der einzelnen Assistenzsystemkomponenten übertragen. Hierdurch werden Ansatzpunkte für ein vorausschauendes Risikomanagement geliefert, welches bereits in einer frühen Umsetzungsphase bestimmte Risiken minimieren kann. Somit kann der Fokus auf die Chancen eines Assistenzsystems gelegt werden, und diese besser wahrgenommen und gefördert werden.

Assistenz oder Automatisierung?

Wie im Zuge der Arbeit bereits festgestellt, befindet sich die industrielle Produktion derzeit einem großen Wandel. Dieser liegt einerseits in den neuen technologischen Möglichkeiten der Industrie 4.0 begründet, wodurch eine zunehmende Vernetzung der automatisierten, cyber-physischen Systeme und somit eine immer höher werdende Maschinenanzahl in der Produktion zu beobachten ist. Dem gegenüber steht die vom Kunden geforderte, immer größer werdende Produkt- und Variantenvielfalt, welche hingegen eine hoch flexible Produktion notwendig macht. Dieser Anforderung können vollautomatisierte Produktionssysteme nur schwer gerecht werden, da derartige Systeme in Hinsicht auf Produktionsänderungen lange Rüst- und Hochlaufzeiten erfordern und daher ihre Effizienzvorteile im Vergleich zu manuellen Produktionsprozessen erst bei höheren Stückzahlen erreichen. Um eine dementsprechende Flexibilität zu gewährleisten, wird der Mensch auch in künftigen Produktionen eine tragende Rolle spielen. Es wird also viel mehr darum gehen, die unterschiedlichen Fähigkeiten des Menschen und der Maschine gezielt so einzusetzen, dass sich diese gegenseitig ergänzen und so ein optimales, kollaboratives Arbeitsumfeld entsteht.

Aus diesem Grund ist davon auszugehen, dass die gezielte Fähigkeitsverstärkung des Menschen durch Assistenzsysteme ein zentrales Element zur künftigen Effizienzsteigerung der Produktion darstellen wird. Diese Effizienzsteigerung drückt sich in einer kontinuierlichen Verbesserung der drei Produktionszielgrößen Kosten, Zeit und Qualität, und somit auch der Zielgröße Qualität aus, wodurch sich auch von diesem allgemeinen Standpunkt aus betrachtet, durch den Fähigkeitsverstärker „Assistenzsystem“ große Chancen zur Qualitätsverbesserung und dementsprechend für das Qualitätsmanagement ergeben.

A Anhang

A.1 Fehler Management Software

Die BMW AG verwendet in allen Fahrzeugwerken das CAQ System QSYS=CAQ Automotive der Siemens Industry Software GmbH, welches für das Unternehmen maßgeschneidert und die interne Bezeichnung „Internationales Produktionssteuerungssystem - Qualität“ (IPS-Q) trägt. In diesem als Online-Datenbank aufgebauten System werden alle im Produktionsprozess anfallenden qualitätsrelevanten Daten gespeichert und verarbeitet. IPS-Q muss den in Kapitel 2 diskutierten, hohen Anforderungen an das Qualitätsmanagementsystem eines Automobilherstellers gerecht werden und ist deshalb ein sehr umfangreiches und komplexes System mit unzähligen Schnittstellen und werksspezifischen Funktionen. Die in diesem Kontext relevante Fehler- und Nacharbeitsdokumentation erfolgt nach einer standardisierten Logik, welche im Abschnitt A.2.1 genauer behandelt wird.

Die Fehler Management Software (FMS) ist ein auf IPS-Q aufbauendes System, welches ursprünglich von der BMW AG entwickelt wurde um in der Lackiererei die Erfassung und Nacharbeit von Lackfehlern oder anderen Mängel an der Karosserie zu vereinfachen und zu standardisieren. Im Rahmen der durchzuführenden Risikobewertung erfolgte die Implementierung von FMS in der Fahrzeugmontage, welche auf die bereits vorhandene IT-Infrastruktur aufsetzt.

A.1.1 Aufbau des Softwarepaketes

Das FMS Softwarepaket besteht grundsätzlich aus folgenden drei Anwendungen:

- FMS Client
- FMS Reporting
- FMS Editor

Der FMS Erfassungsclient ist typischerweise an einer Erfassungsstation installiert und ermöglicht die visuelle Fehlererfassung von z.B. Lackkratzern. Dabei wird durch eine individuell gestaltbare Benutzeroberfläche (Anhang A.1.2) zu dem beschädigten Bauteil des Fahrzeuges navigiert und der Fehler per Klick auf einem mit dem Fehlerort und Lage hinterlegten und mit dem Bauteil verknüpften Polygonzug markiert. Ein solches Polygon ist beispielhaft in Abbildung 18 als blau umrandete Fläche zu erkennen. Anschließend muss nur die Fehlerart (zum Beispiel Kratzer, Delle, Lackfehler,...) gewählt werden und die Eingabe wird automatisch ins IPS-Q übertragen. Dadurch ist das Fehlerbild des erfassten Fehlers einheitlich und unabhängig von der subjektiven Einschätzung des Erfassers bestimmt. Außerdem ist im Vergleich zu einer konventionel-

len IPS-Q Erfassung (Anhang A.2.1) eine Zusatzinformation in Form der genauen Fehlerkoordinaten innerhalb des Polygonzuges in der FMS Datenbank hinterlegt. Diese genaue Fehlerlage wird nach der Auswahl als roter Punkt mit grünem Pfeil auf der Benutzeroberfläche visualisiert und kann so leicht am realen Fahrzeug wiedererkannt werden.

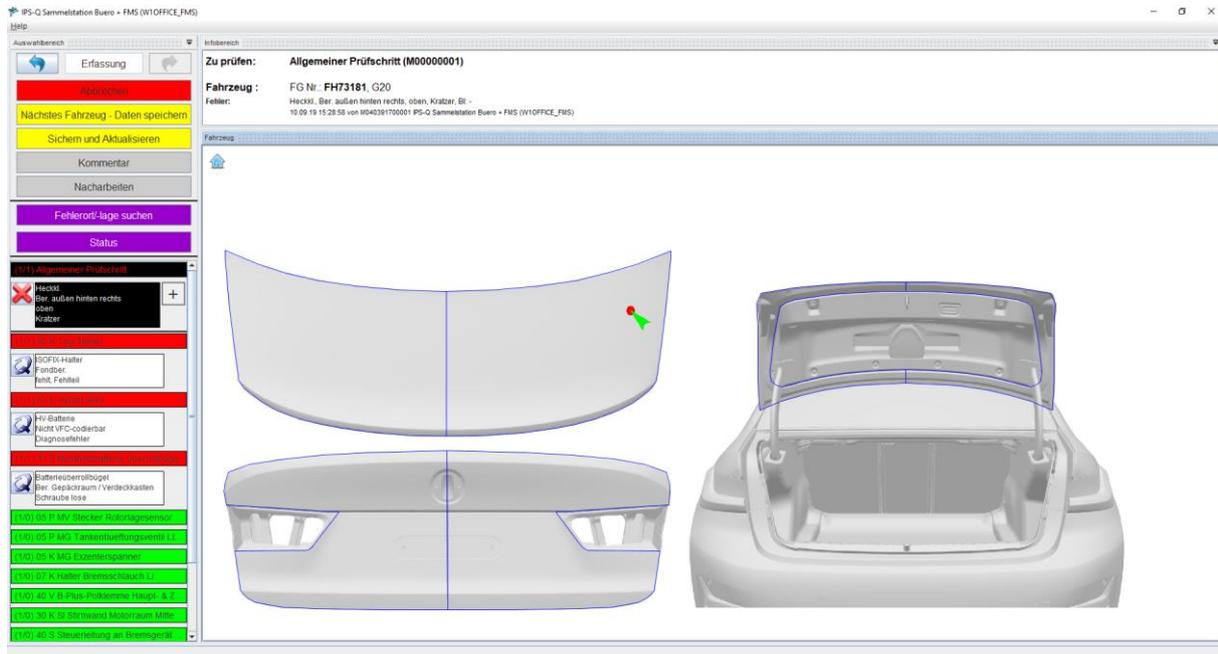


Abbildung 18: Erfasste Beschädigung an der Heckklappe in FMS

Das FMS Reporting Tool ermöglicht es dem Anwender die erfassten Daten einer Vielzahl von Attributen zu filtern und zu gruppieren und anschließend über einen beliebig wählbaren Zeitraum auszuwerten. Der so generierte Bericht baut auf den Fahrzeugbildern der Erfassungsoberfläche auf und beinhaltet alle Fehlereingaben des gewählten Zeitraumes, welche entweder als geclusterte Punktwolken oder wie in Abbildung 19 dargestellt als Heatmap über das Bauteil verteilt dargestellt werden können.

Der FMS Editor dient zum Erstellen und Pflegen der Benutzeroberfläche und für die Konfiguration und Zuweisung der mit IPS-Q verknüpften Stationen, weshalb dieses Tool in der Regel nur vom Administrator benutzt wird.



Abbildung 19: FMS Auswertung der Heckklappe zur Darstellung von Fehlerschwerpunkten

A.1.2 Bedienoberfläche für die Technologie Montage

Um die Software in der Montage einsetzen zu können, musste eine neue Bedienoberfläche konzipiert werden, welche anschließend für jedes der vier im BMW Werk München produzierten Fahrzeugderivate (G20, G21, F32, F82) anhand der CAD-Außenhautmodelle in FMS implementiert wurde.

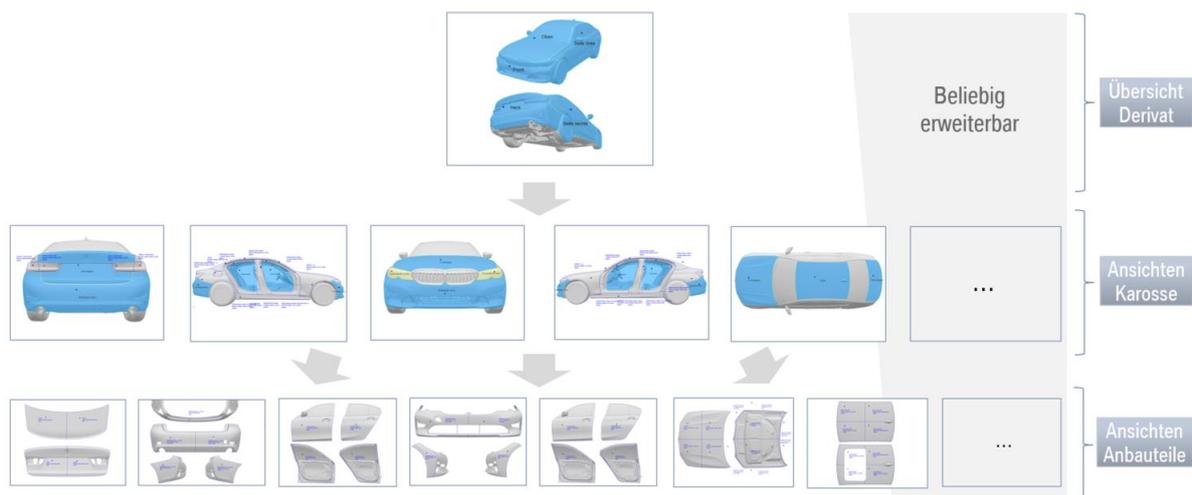


Abbildung 20: Schemenhafte Darstellung der FMS Benutzeroberfläche der Montage des BMW Werk München am Beispiel des BMW G20

Bei deren Konzept wurde darauf geachtet, diese einerseits für den Erfasser leicht und intuitiv bedienbar zu halten, andererseits aus Auswertungssicht eine vollständige Darstellung der beschädigungsanfälligen Anbauteile auf einer Ansicht zu gewährleisten. Ergebnis ist die in Abbildung 20 unvollständig dargestellte Benutzeroberfläche, welche

nach einer 3-Ebenen Logik aufgebaut ist, und dadurch mit maximal drei Klicks (ein bis zwei zum Navigieren vom Startbild zum Bauteil und einen zur Erfassung) zu bedienen ist. Außerdem sind die Anbauteile in allen Perspektiven auf einer einzigen Ansicht vorhanden, was das Erstellen von bauteilspezifischen Berichten bestehend aus je einer Grafik pro Derivat ermöglicht.

A.2 Prozess zur Problemlösung

Nachfolgende Abbildung 21 zeigt einen gesamtheitlichen Überblick über den allgemeinen FMS Prozess, welcher sich in die vier Prozessschritte

- Fehlererfassung
- Nacharbeitserfassung
- Auswertungserstellung
- Treffen von Maßnahmen

untergliedert. Diese Prozessschritte des Qualitätsregelkreises sind unter Verwendung von IPS-Q ebenso vorhanden, jedoch unter FMS Unterstützung unterschiedlich ausgeprägt. Die folgenden Abschnitte A.2.1 und A.2.3 sollen aus diesem Grund die FMS Prozessschritte noch etwas detaillierter erklären.

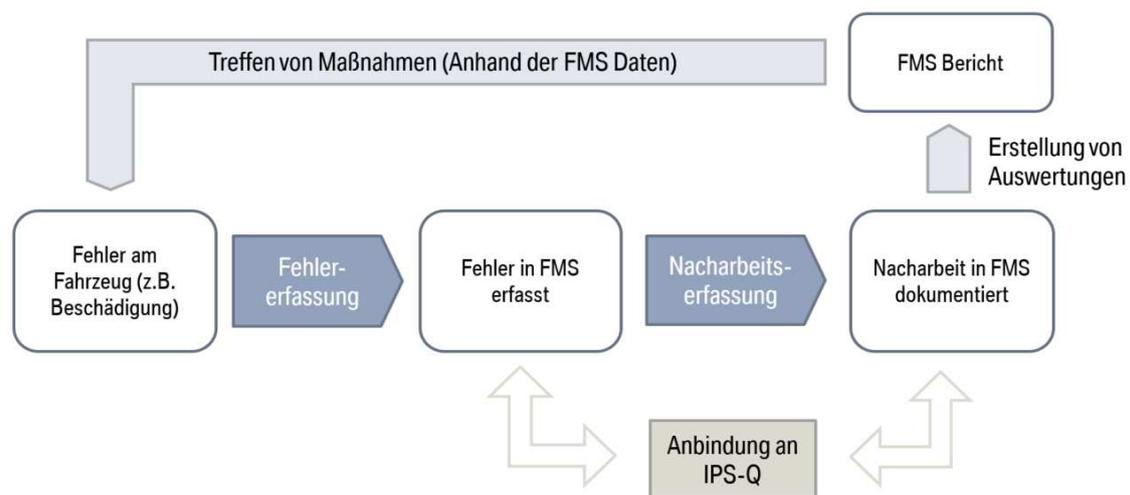


Abbildung 21: Der FMS Prozess

A.2.1 Konventionelle IPS-Q Fehlererfassung und Auswertung

Zur manuellen Fehler und Nacharbeitserfassung müssen pro Fahrzeug mehrere Attribute zur Spezifikation des Fehlers ins IPS-Q eingegeben werden. Diese sind, wie in Abbildung 22 unten links erkennbar, nach einer vereinheitlichten Fehlercodierung (VFC) aufgebaut, welche die eindeutige Identifikation eines Fehlers am Fahrzeug und somit eine einheitliche Datenbasis gewährleisten soll. Um ein Fehlerbild eindeutig zu bestimmen, müssen daher Fehlerort, Fehlerlage am Fahrzeug, Fehlerlage am Bauteil

und Fehlerart mittels Texteingabe aus dem ins IPS-Q integrierten VFC-Katalog ausgewählt werden. Zur Nacharbeitserfassung ist zusätzlich die Bestimmung der Nacharbeitstätigkeit, Nacharbeitsdauer und leistende/belastete Kostenstelle notwendig. Außerdem findet sich ein Freitextfeld zum Hinzufügen von Kommentaren und zum Anhängen von Fotos an den Fehlereintrag. Offene Fehler werden an den IPS-Q Stationen direkt dem Fahrzeug zugeordnet angezeigt und müssen, spätestens bevor dieses das Werk verlässt, nachgearbeitet werden.

Abbildung 22: IPS-Q Nacharbeitserfassungsmaske

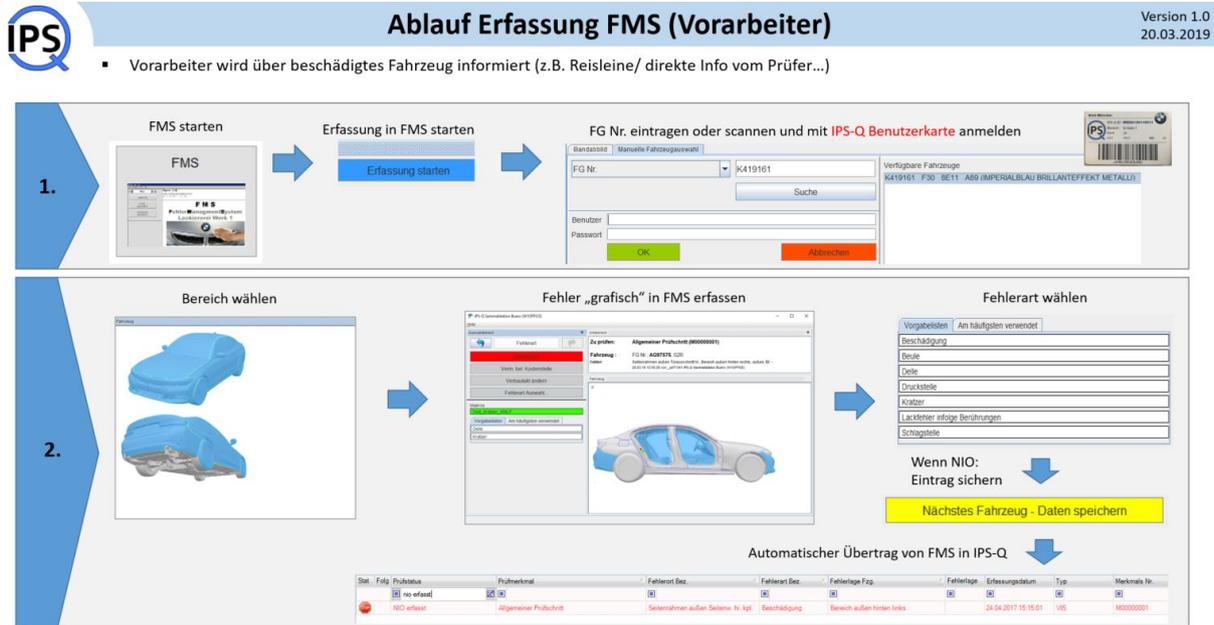
Scheint ein Fehlerbild negativ in den Qualitätskennzahlen auf, muss sofort an der Ursachenfindung und dem Treffen von Gegenmaßnahmen gearbeitet werden. Diese Analyse des Fehlerbildes geschieht mittels automatisch generierten Auswertungen in Form von filter- und pivotisierbaren Excel-Tabellen, welche einheitlich vom Berichtswesen zur Verfügung gestellt, und in regelmäßigen Zeitintervallen generiert werden. Zusatzinformationen, wie zum Beispiel angehängte Fotos, müssen manuell für jedes Fahrzeug einzeln aus dem IPS-Q entnommen werden.

A.2.2 FMS Fehler- und Nacharbeitserfassungsprozess

Der FMS Fehlererfassungsprozess läuft hingegen wie in Abbildung 23 dargestellt nach folgenden zwei Schritten ab:

- 1) Nach dem Starten der Anwendung an einem Rechner oder einem Tablet an der Montagelinie muss sich der Werker mit einer aus Datenschutzgründen anonymisierten Benutzerkarte einmalig bei Schichtbeginn am System anmelden. Um einen Fehler an einem Fahrzeug zu erfassen, muss die Fahrzeugnummer anhand Texteingabe oder Scanvorgang eingegeben werden.

- 2) Im nächsten Schritt navigiert der Benutzer mittels Mausclick oder Touchscreen Interaktion zum fehlerhaften Bauteil und markiert die Stelle der Beschädigung am Bild des Bauteils. Anschließend erscheint ein Menü, in welchem nur noch die Fehlerart (Kratzer, Delle,...) festgelegt werden muss. Durch klicken auf einen „Speichern“- Button wird die Eingabe bestätigt und automatisch ins IPS-Q übertragen.



Ansprechpartner: Lukas Franzl, TK-40, Tel.: 42481

Abbildung 23: Schulungsunterlage FMS Fehlererfassung

Die Nacharbeitserfassung kann entweder direkt im Anschluss zu einer Fehlereingabe, oder unabhängig von dieser, beispielsweise im Nacharbeitsbereich des Werks, passieren. Dieser gliedert sich Abbildung 24 zufolge in weitere zwei Schritte:

- 3) Nachdem der nachzuarbeitende Prüfschritt im FMS Client ausgewählt wurde, öffnen sich hintereinander mehrere Menüs, in welchen relevante Informationen wie Nacharbeitstätigkeit, Nacharbeitszeit, und leistende beziehungsweise belastende Kostenstelle ausgewählt werden müssen.
- 4) Durch eine Visualisierung in Form der grünen Umrandung des nachgearbeiteten Fehlers erkennt der Werker die erfolgreiche Eingabe, welche wiederum mittels klicken auf einen Button bestätigt und ins IPS-Q übertragen wird.

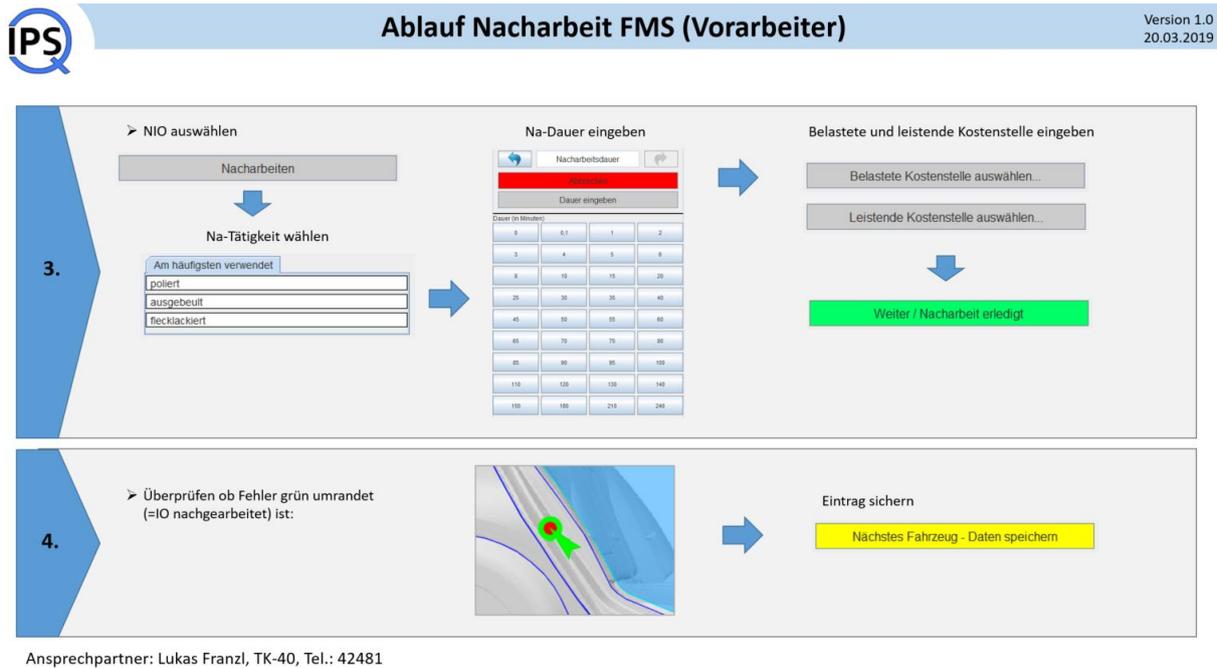


Abbildung 24: Schulungsunterlage FMS Nacharbeitserfassung

A.2.3 Fehleranalyseprozess im FMS

Um durch das Assistenzsystem nicht nur auf Shop-Floor Ebene, sondern auch für den gesamten Qualitätsregelkreis einen Effizienzmehrwert zu schaffen, müssen die erfassten Daten natürlich weiterverarbeitet werden. Dafür kann das eingangs beschriebene FMS Reporting Tool herangezogen werden. Hierdurch lassen sich die FMS Eingaben zur weiteren Analyse beispielsweise nach Fehlerort am Fahrzeug, Zeitraum oder Erfassungsstation filtern, und darüber hinaus nach Attributen wie Erfassungsurzeit, belastete Kostenstelle oder Nacharbeitsdauer untergliedern, um dadurch innerhalb kürzester Zeit Fehlerschwerpunkte erkennen zu können und Fehlerentstehungsbereiche gezielt einschränken zu können. Diese Auswertungen können einerseits manuell und spezifisch durch den Qualitätsingenieur erstellt werden, andererseits können auch standardisierte Berichte, welche nach häufig benötigten Attributen und in täglichen, wöchentlichen und monatlichen Intervallen unter einmaligem Implementierungsaufwand automatisch bereitgestellt werden, für die Analysen herangezogen werden.

Auf Basis dieser Informationen können bei Serienfehlern schnell Rückschlüsse auf den verursachenden Produktionsbereich gezogen werden und gezielt Maßnahmen zur Abstellung des Fehlerbildes getroffen werden. Diese Maßnahmen müssen auch auf ihre Wirksamkeit überprüft werden, wozu weitere Fehlerauswertungen zum Monitoring eines eventuell erneuten Auftretens eines Fehlerbildes herangezogen werden können.

A.3 Behandlung der Chancen und Risiken von FMS

A.3.1 Vorgehensweise

Basierend auf den in Kapitel 3 erarbeiteten, theoretischen Grundlagen und wissenschaftlichen Methoden des Risikomanagements wird ein Risiko-Assessment zur Identifikation und Bewertung möglicher Chancen und Risiken des Assistenzsystems durchgeführt. Aus der daraus entstehenden Priorisierung werden Maßnahmen abgeleitet um die Risiken möglichst beherrschbar zu machen und so die Chancen für das Montagesystem und das Qualitätsmanagement zu maximieren.

Assessment-Team

Zur objektiven Risikoidentifikation und Bewertung ist es notwendig, wie in Abschnitt 3.3.2 beschrieben, diese mittels eines Teams aus Personen mit ausreichend Expertenwissen über das System durchzuführen. Im konkreten Fall bestand das Assessment-Team aus folgenden Mitgliedern:

- Systembetreuer und Administrator: Verfügt über fundiertes Wissen über das System und Prozesse, leitet und moderiert das Assessment.
- Qualitätsingenieur: Experte für das Erstellen für Ursachenanalyse und Ableiten von Maßnahmen zum Abstellen von Fehlerbildern.
- Nacharbeiter: Dokumentiert täglich entdeckte Fehler und durchgeführte Nacharbeiten im System.

Identifikation

Im ersten Schritt des Risiko-Assessments müssen anhand eines Brainstormings (Abschnitt 3.3.2) möglichst alle vom Assistenzsystem ausgehenden Chancen und Risiken ermittelt werden. Wichtig ist hierbei der Fokus auf das reine „Feststellen“ von Chancen und Risiken ohne eine Wertung vorzunehmen oder deren Auswirkungen zu diskutieren.

Die identifizierten Chancen und Risiken wurden anschließend dem in Anhang A.2 beschriebenen Prozessschritten zugeordnet. Eine zusammengefasste Auflistung der identifizierten Chancen und Risiken für jeden Teilprozess findet sich in Anhang A.5 und eine Beschreibung folgt in den nächsten Abschnitten A.3.2 und A.3.3.

Analyse und Bewertung

Der initialen Risikoidentifikation folgt, dem in Abschnitt 3.2 beschriebenen Regelkreis des Risikomanagements zufolge, der Schritt der Risikoanalyse. Dabei wird jedes zuvor identifizierte Risiko systematisch hinsichtlich möglicher Auswirkungen diskutiert. Diese festgestellten möglichen Auswirkungen finden sich ebenfalls in Tabelle 5 dokumentiert.

Anschließend erfolgt die eigentliche Bewertung der Risiken mittels einer Risikomatrix, deren formaler Aufbau bereits in Abschnitt 3.3.3 erläutert wurde. Im konkreten Fall erfolgte die Bewertung mittels der in Tabelle 3 dargestellten Risikomatrix. Der als symmetrische 3x3-Matrix ausgeprägten Risikomatrix sind jeweils niedrige, mittlere und hohe Eintrittswahrscheinlichkeiten und Bedeutungen zugeordnet. Bestimmt man beide Einflussgrößen, lässt sich das Gesamtrisiko ganz einfach aus der Tabelle ablesen.

Bedeutung	Eintrittswahrscheinlichkeit			
		Niedrig	Mittel	Hoch
Bedeutung	Niedrig	Niedrig	Niedrig	Mittel
	Mittel	Niedrig	Mittel	Hoch
	Hoch	Mittel	Hoch	Hoch

Tabelle 3: Logik des zusammengesetzten Gesamtrisikos

Um die Eintrittswahrscheinlichkeit und Bedeutung einer jeden Chance und jedes Risikos im Rahmen des Risiko-Assessments richtig einschätzen zu können, muss die Bewertung nach einer definierten Bewertungsskala geschehen. Diese sollte Abschnitt 3.3.3 zufolge je nach zu bewertendem Prozess oder System individuell festgelegt werden. Im Falle des digitalen Assistenzsystems FMS, welches im Montageumfeld mit dem Ziel der Qualitätsverbesserung eingesetzt wird, bietet es sich an, zur Bewertung der Bedeutung die in folgender Tabelle 4 dargestellten Kenngrößen Nacharbeit und eine daraus resultierende verzögerte Auslieferung und Kostenüberschreitung heranzuziehen.

Eintrittswahrscheinlichkeit		
1-25%	keine Erinnerung	N
	über ein Jahr her	
26-75%	1x pro Jahr	M
	1x pro halbem Jahr	
	1x pro Quartal	
	1x pro Monat	
	1x pro Woche	
76-100%	1x pro Tag	H
	1x pro Stunde	
	je Einheit	

Bedeutung		
1-25%	sehr geringe Kostenüberschreitung	N
	geringe Nacharbeit, geringe Prozessstörung, geringe Kostenüberschreitung	
26-75%	mäßige Nacharbeit, verzögerte Auslieferung, Prozessstörung, mäßige Kostenüberschreitung	M
76-100%	hoher Anteil Nacharbeit, stark verzögerte Auslieferung, Bandstillstand, hohe Kostenüberschreitung	H
	Sicherheitsrisiko, Nichterfüllung gesetzlicher Vorschriften, Produkt kann nicht geliefert werden	

Tabelle 4: Bewertungsskala der Risikomatrix

Die Bewertung der Eintrittswahrscheinlichkeit erfolgt ebenso nach der in Tabelle 4 dargestellten Skala. Hier wird ein eher konservativer Ansatz gewählt, denn bereits aus jährlichen Auftreten resultiert eine mittelschwere Bedeutung und ab stündlicher Eintrittswahrscheinlichkeit ein potentiell hohes Risiko.

Risikobehandlung

Als Ergebnis der Risikobewertung ergibt sich für jeden Punkt auf der Bewertungstabelle ein zusammengesetztes Gesamtrisiko. In weiterer Folge müssen die mit der Gesamtbewertung „niedrig“ eingestuften Risiken nur beobachtet werden, bei allen „mittel“ und „hoch“ bewerteten Risiken müssen im letzten Schritt konkrete Maßnahmen getroffen und umgesetzt werden.

A.3.2 Risiken

Die im Rahmen des Risiko-Assessments festgestellten und in Tabelle 5 schriftlich festgehaltenen Risiken vom Assistenzsystem FMS setzen sich demnach wie folgt zusammen.

Primär geschieht die Fehlererfassung an IPS-Q Rechnern, welche neben dem Fließband an speziellen Stellen positioniert sind. Diese Stationsgebundenheit der Anwendung führt zu einer Verwechslungsgefahr wenn Fehler an mehreren Fahrzeugen hintereinander erfasst werden müssen. In diesem Fall werden nämlich aus Zeitgründen die für das Scannen der Fahrzeugnummer notwendigen Barcodes vom Werker von den Montagefahnen abgerissen und gesammelt, und die Fehler erst zu einem späteren Zeitpunkt im System dokumentiert. Dies kann in weiterer Folge zu Falscheingaben führen, wodurch ein Fehler bei der späteren Nacharbeit nicht mehr wiedergefunden werden kann.

Eine weitere Risikoquelle für Falscheingaben liegt in der Auswahl falscher Attribute zur Spezifikation des Fehlers oder der Nacharbeit durch den Benutzer. Auch bei der graphischen Auswahl des Fehlers in FMS kann es beispielsweise durch Unachtsamkeit zu einer Auswahl des falschen Bauteils kommen. Dies kann einerseits zu einem erschwerten wiederfinden des Fehlers in der Nacharbeit führen, andererseits aber auch zu einer falschen Priorisierung im nachgelagerten Auswertungsprozess. Nach erfolgreicher Eingabe muss der Eintrag außerdem gespeichert werden, andernfalls führt dies zu einer fehlenden Dokumentation und der Gefahr einer nicht einwandfreien Auslieferung des Fahrzeuges.

Ein hohes Risiko stellt das Quittieren von sicherheitsrelevanten Prüfungen mittels des primär für unkritische Fehler in Form von Beschädigungen ausgelegten Assistenzsystems dar. Dies ist insofern problematisch, da diese im IPS-Q normalerweise nur über einen speziellen 4-Augen-Prinzip Prüfschritt, bei welchem zwei Personen die ord-

nungsgemäße Nacharbeit bestätigen müssen, freigegeben werden können. Die Möglichkeit des Nacharbeitens durch nur einen Benutzer im FMS muss aus diesem Grund unbedingt technisch unterbunden werden.

Mit dem FMS Reporting Tool zum Erstellen von Auswertungen lassen sich zwar Fehlerschwerpunkte sehr schön graphisch darstellen, um die Ursachenfindung beispielsweise durch Einschränkung des Entstehungsortes zu optimieren kommt es jedoch auch auf die Filter- und Gruppierungsmöglichkeiten der Fehlereingaben an. In dieser Hinsicht bietet FMS nur einen eingeschränkten Funktionsumfang. Es bietet beispielsweise keine Möglichkeit zur Filterung von Q-Ziele relevanten Fehlern, weswegen es ohne parallele Verwendung alternativer Berichte zu einer falschen Priorisierung kommen kann.

Aber nicht nur die aufgezählten Risiken selbst können unerwünschte Auswirkungen auf den FMS Prozess haben. Auch das Vernachlässigen von Chancen stellt ein Risiko dar (Abschnitt 3.1), weswegen die Behandlung der Chancen ebenfalls einen wichtigen Teil des Risikomanagements darstellt.

A.3.3 Chancen

Durch die Implementierung des Assistenzsystems FMS ergeben sich aber auch gleich mehrere mögliche positive Effekte für die Prozesse des Qualitätsmanagements, welche im Zuge des Risiko-Assessment evaluiert wurden und in der Bewertungstabelle in Anhang A.5 ebenfalls stichwortartig dokumentiert sind.

Identifizierte Chancen

Einerseits ergibt sich für den Erfasser eine nicht unerhebliche Vereinfachung des Eingabeprozesses, da im Vergleich zur konventionellen IPS-Q Eingabe der Fehlerort und die Fehlerlage mittels der Polygonzüge in der Benutzeroberfläche bereits festgelegt sind, und das fehlerhafte Bauteil direkt durch intuitive Touchscreen-Interaktion ausgewählt werden kann. Dies entlastet den Benutzer und macht es beispielsweise möglich, in der vorgegebenen Taktzeit zusätzliche Prüfungen unterzubringen, was einer Effizienzsteigerung gleichkommt.

Die manuelle Fehlererfassung in IPS-Q lässt darüber hinaus bei der Einschätzung der Lage des Fehlers oder der Benennung des fehlerhaften Bauteils immer einen Interpretationsspielraum offen. Es existieren zwar Ansätze zur Standardisierung mittels VFC, durch die hohe Komplexität des Produktes und dem Zeitdruck durch das Fließband ist es für den Benutzer teilweise schwer, diese richtig anzuwenden. Dies führt oftmals zu einer unterschiedlichen Dokumentation ein- und desselben Fehlerbildes. Durch die oben angesprochenen fix vordefinierten Fehlerlagen kommt es neben der Vereinfachung auch zu einer Erhöhung der Datenqualität, was sich für spätere Analysen sehr positiv auswirkt.

Ein weiterer Vorteil des Systems ist die gewonnene Zusatzinformation in Form der Koordinaten des Fehlers innerhalb des mit der zweidimensionalen Abbildung des Bauteils verknüpften Polygonzuges. Anders als bei der Visualisierung mittels IPS-Q wird es dadurch möglich, einem später im Montageprozess befindlichen Nacharbeiter, das nachzuarbeitende Bauteil nicht nur in Textform anzuzeigen, sondern ihm direkt die Abbildung des Bauteils inklusive des Fehlers in FMS zu visualisieren.

Außerdem können beim Auftreten von Serienfehlern in einem nachgelagerten Auswertungsprozess die Fehlereingaben über einen längeren Zeitraum als Punktwolke oder wie in Abbildung 19 dargestellt als Heatmap visualisiert werden. Daraus lassen sich Fehlerschwerpunkte, also Stellen am Bauteil mit einer höheren Beschädigungsdichte, identifizieren, was so eine leichtere Rückverfolgbarkeit zum Verursacher ermöglicht und so wiederum präventive Maßnahmen schneller getroffen werden können.

In weiterer Folge können die Auswertungen auch in allgemeiner oder bereichsspezifischer Form automatisiert und in regelmäßigen Abständen mittels eines Auswertungsservers generiert werden. So wird der Zeitaufwand zum Erstellen der Berichte minimiert und es ergibt sich die Chance, den gesamten Regelkreis von der Fehlerbidentdeckung bis zum Treffen von Maßnahmen zur Fehlervermeidung und deren Wirksamkeitsnachweis zu optimieren, was sich im Endeffekt auf das Erreichen der Qualitätsziele der gesamten Montage positiv auswirkt.

Priorisierung der Chancen

Um eine Bewertung durchführen zu können, müssen zur Schätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit außerdem die Folgen des Versäumens einer identifizierten Chance bekannt sein. Erst unter Beachtung dieser in Tabelle 5 strukturiert beschriebenen Auswirkungen lässt sich analog zu den in Anhang A.3.2 behandelten Risiken eine Priorisierung schaffen, durch welche das Treffen von Maßnahmen und somit eine aktivere Nutzung der, durch das Assistenzsystem ausgelösten Chancen, begünstigt wird. Die konkreten Maßnahmen zur Behandlung der beschriebenen Chancen und Risiken werden nun im nächsten Abschnitt behandelt.

A.3.4 Abgeleitete Maßnahmen

Um den Regelkreis des Risikomanagements zu schließen, müssen anhand der identifizierten und bewerteten Chancen und Risiken Maßnahmen zur Reduktion gewichtiger Risiken und zur Förderung von Chancen abgeleitet werden. Im konkreten Fall bedeutet dies, dass bei allen Chancen und Risiken, welche nach der in Tabelle 3 dargestellten Risikomatrix ein mittleres oder hohes Gesamtrisiko aufweisen, die Eintrittswahrscheinlichkeit oder die Bedeutung des Risikos soweit reduziert werden muss, dass dieses bei einer Neubewertung ein niedriges Gesamtrisiko aufweist.

Die konkreten, zur Risikobeherrschung getroffenen Maßnahmen

- Anpassung der Konfiguration
- Optimierung der Benutzeroberfläche
- Schaffung von Technologieakzeptanz
- Nutzung von mobilen Endgeräten
- Einsteuerung von Änderungen in den Updatezyklus

werden nun im Folgenden näher beschrieben.

Konfiguration

Das FMS lässt sich aufgrund seines datenbankbasierten Aufbaus nahezu stationsspezifisch konfigurieren. Dadurch kann bei systembedingten Risiken durch Anpassung der Stationskonfiguration die Eintrittswahrscheinlichkeit quasi auf null reduziert werden. Wird beispielsweise eine Erfassungsstation rein für FMS Eingaben genutzt, kann die Anzeige nicht relevanter Prüfschritte, insbesondere jene, welche eine 4-Augen-Prinzip Nacharbeit erfordern, mit geringem Aufwand deaktiviert werden und so eine Falsch eingabe unmöglich gemacht werden. Umgesetzt wurde diese Maßnahme sogar drastischer: Prüfschritte anderer Technologien und Fahrzeugsperrungen wurden in der Montagekonfiguration standardmäßig deaktiviert und nur bei Notwendigkeit einzeln freigegeben.

Eine weitere technische Maßnahme stellt die Einschränkung der Berechtigungen der Benutzer dar. Es kann hierbei zwischen einer Erfassungs- und einer Nacharbeitsberechtigung unterschieden werden und beispielsweise einem rein erfassenden Prüfer nur Erfassungsberechtigung gegeben werden. Außerdem kann durch das Erteilen von Berechtigungen sichergestellt werden, dass nur unterwiesene Benutzer überhaupt auf das System zugreifen können.

Benutzeroberfläche

Bei der Auswahl des Fehlers am Rand eines fehlerhaften Bauteils kann es bei Unachtsamkeit und nicht optimaler Gestaltung der Polygonzüge zur Wahl einer falschen Fehlerlage kommen. Hier wurde bei der Implementierung der Bedienoberfläche versucht, durch fehlende Abstände zwischen zwei nebeneinanderliegenden Polygonen ein „springen“ in ein falsches Fehlerpolygon zu vermeiden.

Um speziell die Nacharbeitserfassung noch stärker zu vereinfachen, können sogenannte Makros erstellt werden. Diese Makros geben in FMS die Fehlerart, Nacharbeitstätigkeit, Nacharbeitsdauer und Kostenstellen vor und ermöglichen nach der Auswahl eines Fehlers dessen Nacharbeitsdokumentation mit nur einem Klick. Dies lässt sich dann effizient anwenden, wenn bei einer Erfassungsstation häufig gleiche Fehlerbilder auftreten.

Akzeptanz

Dass das System durch die gespeicherten Fehlerkoordinaten einen großen Nutzen zum Identifizieren von Fehlerschwerpunkten bietet, steht außer Frage. Die größere Schwierigkeit besteht darin, auch den Fehlererfasser vom Nutzen des Assistenzsystems, in Form einer einfacheren und schnelleren Fehlereingabe als mittels IPS-Q, zu überzeugen. Informationsmaterial in PDF-Form, welches über die Hierarchie an die Vor- und Nacharbeiter der einzelnen Produktionsbereiche weitergeleitet wird, ist hier meist nicht zielführend. Zur Schaffung von Akzeptanz können die Benutzer beispielsweise durch Schulungen direkt im laufenden Betrieb mit dem System vertraut gemacht werden, wodurch sie durch die Möglichkeit des Ausprobierens selbst vom Nutzen überzeugt werden können.

FMS auf mobilen Endgeräten

Einige der in Anhang A.3.2 beschriebenen Risiken werden durch die Stationsgebundenheit des Systems ausgelöst. Ließe sich das System auch in Verbindung mit einem Handheld benutzen, könnte die Fahrzeugnummer beispielsweise direkt gescannt werden, und der Fehler noch intuitiver mittels Touchscreen Interaktion markiert werden. Genau dies wird mit Mobile Quality Capturing (MQC) möglich. Dabei handelt es sich um eine androidbasierte IPS-Q Benutzeroberfläche, welche mit jeglichen mobilen Endgeräten wie zum Beispiel einem Smartphone sowie in Google Chrome nutzbar ist. Mit der MQC Version 4.0, welche Ende Mai 2019 im Werk München ausgerollt wurde, konnte die graphische Fehlererfassung aus FMS integriert werden. Seit diesem Zeitpunkt sind mobile und stationsgebundene Ausprägungen des Assistenzsystems gleichzeitig im Einsatz und ergänzen sich je nach Anwendungsfall gegenseitig.

Updates

Direkt die Logik des Systems betreffende Maßnahmen können mittelfristig nur über eine Einsteuerung in den Releaseszyklus des Softwarelieferanten getroffen werden. In der vorliegenden Risikobewertung betrifft das zwei Punkte beim Auswertungsprozess, welcher durch das FMS Reporting Tool erfolgt. Hierbei war die Fehlertransparenz in den Berichten durch das Fehlen wichtiger Filter nicht im benötigten Ausmaß erkennbar. Diese zusätzlichen Filter wurden zur Implementierung ins nächste Softwareupdate eingesteuert.

A.4 Nächste Schritte zur nachhaltigen Förderung der Chancen durch FMS

Die vorangehende Risikoanalyse zeigt systematisch mögliche Chancen und Risiken auf und bringt so in erster Linie mehr Transparenz in den FMS Prozess und dessen Einflussgrößen. Unter Zuhilfenahme der hergestellten Priorisierung wird darüber hinaus anschaulich dargestellt, an welchen Stellen erhebliche Risiken bestehen und die vorgeschlagenen Maßnahmen rasch umgesetzt werden müssen, und an welchen Stellen ein tolerierbares Restrisiko vorhanden bleiben kann. Daher kann die Risikobewertung als Entscheidungshilfe beziehungsweise als Grundlage für weitere Handlungen fungieren. Die Analyse selbst reduziert aber die Risiken noch nicht, hierfür sind weitere Schritte notwendig. Mit dem Ziel der Förderung der Chancen des Assistenzsystems und dem damit einhergehenden Erreichen von Qualitätsverbesserung muss somit das weitere Vorgehen geplant werden. Hierbei wird der Fokus auf Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Maßnahmen sowie der Überprüfung der Wirksamkeit gelegt, und darüber hinaus die notwendige Verankerung in der Montageorganisation aufgezeigt.

Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Maßnahmen

Aus der Tabelle 5 lassen sich als Ergebnis der Risikoanalyse bereits die priorisierten Handlungsbedarfe ablesen. Im ersten Schritt gilt es für jede Maßnahme die Verantwortlichkeiten und ein geplantes Datum für die Umsetzung zu bestimmen und diese anschließend zu dokumentieren. Die im vorherigen Abschnitt diskutierten Maßnahmen betreffen zusammengefasst die Software (Konfiguration, Benutzeroberfläche, Updates), Hardware (mobile Endgeräte) und die Benutzer (Akzeptanz) des Assistenzsystems, wodurch es sich anbietet, diese im Folgenden getrennt voneinander zu betrachten. Das Nachverfolgen des Umsetzungsstatus muss durch die prozessverantwortliche Person bewerkstelligt werden.

Zur Umsetzung der softwareseitigen Maßnahmen muss geklärt sein, wo genau die Probleme für fehlerhafte Erfassungen liegen. Für die Evaluierung dieses Sachverhaltes sollten am besten die Benutzer selbst herangezogen werden. Eine Möglichkeit hierfür kann beispielsweise das Durchführen einer Befragung der Nutzer oder das Bereitstellen eines kurzen Feedbackbogens darstellen. Sind die konkreten Schwachstellen in der Benutzeroberfläche identifiziert, kann diese in Hinsicht auf Reduktion des Risikos gezielt angepasst werden. Auch die Anpassung der FMS Konfiguration an die verschiedenen Anwendungsszenarien in der Montage kann ähnlich erfolgen. Wird das System beispielsweise in einem neuen Produktionsbereich eingesetzt, können durch eine kurze Checklist die benötigten Funktionalitäten vom Anwender abgefragt und das System anschließend passend konfiguriert werden. Zur Überprüfung größerer Anpassungen ist es außerdem ratsam, verschiedene Anwendungsszenarien in einer nicht

an die Produktions-IT angebotenen Testumgebung durchzuspielen und die Änderungen erst nach erfolgreichen Tests im Produktivsystem freizugeben.

Bei der Hardware stellt sich hingegen meist die klassische Kosten-Nutzen-Frage. Die vielseitigen Vorteile der Nutzung von mobilen Endgeräten, wie die stationsungebundene Fehlererfassung direkt am Fahrzeug, das Scannen der Fahrgestellnummer durch die integrierte Kamera oder die Touchscreen-Interaktion sind der einmaligen Investition entgegenzustellen. Die FMS Erfassung auf mobilen Endgeräten in MQC kann entweder auf einem Handheld oder am Smartphone erfolgen. Aufgrund ihres größeren Displays eignen sich Handhelds grundsätzlich besser zur graphischen Fehlererfassung, sind aber in den anderwärtigen Nutzungsmöglichkeiten eingeschränkt. Smartphones werden hingegen von den Vorarbeitern ohnehin für dienstliche Zwecke benötigt und können durch die MQC-App ganz einfach zu einem FMS Erfassungsgerät erweitert werden. Dies könnte in diesem Zusammenhang das ausschlaggebende Argument darstellen. Letztendlich ist es aber nicht zuletzt eine Frage des Budgets der einzelnen Produktionsbereiche ob und in welchem Ausmaß mobile Endgeräte zur Qualitätsdatenerfassung eingesetzt werden.

Zur Erhöhung der Benutzerakzeptanz müssen, wie bereits in Abschnitt 7.2 begründet, die Anwender selbst von Nutzen des Systems überzeugt werden. Dies stellt sich als nicht so einfach heraus, denn vielfach stehen potentielle Anwender Prozessveränderungen, welche mit einem neuen Arbeitsablauf verbunden sind, eher skeptisch gegenüber. In den aktuellen FMS Einsatzbereichen der Montage konnte der beste Effekt im Rahmen von Bandrundgängen erreicht werden, bei welchen den Kollegen durch Erklären der Benutzeroberfläche und anschließenden Ausprobieren die Vorteile des Systems direkt am Fließband näher gebracht wurden. Es wurde also versucht, weniger eine klassische, mit einem negativen Beigeschmack versehene Schulung durchzuführen, sondern mehr auf die intuitive Benutzbarkeit des Systems und den „Learning by doing“-Effekt zu setzen.

Die Anwendungspotentiale für FMS in der Montage sind jedoch noch lange nicht ausgeschöpft. Wie in der Risikoanalyse festgestellt, ist nicht zuletzt für das Erkennen von Fehlerschwerpunkten und deren Entstehungsorte eine solide Datenbasis notwendig, was eine breite Anwendung des Systems für die auszuwertenden Fehlerbilder voraussetzt.

Möglichkeiten zur Überprüfung der Wirksamkeit

Eine weitere Konsequenz des Risikomanagements ist die Notwendigkeit einer Neubewertung der Chancen und Risiken nach dem Umsetzen der Maßnahmen. Sind diese nämlich ausreichend wirksam, sollte entweder die Eintrittswahrscheinlichkeit oder die Auswirkung des Risikos soweit verringert sein, dass das Gesamtrisiko nun als „niedrig“ eingestuft werden kann. Erst dann kann das Risiko als beherrschbar eingestuft werden

und es müssen keine weiteren Maßnahmen mehr eingeleitet werden. Es bleibt jedoch noch die Frage zu beantworten, wie die Wirksamkeit der Maßnahmen nachweisbar beziehungsweise messbar gemacht werden kann.

Primär gilt es zu versuchen, die Wirksamkeit der Maßnahmen in irgendeiner Form quantitativ erfassbar zu machen. Es bietet sich beispielsweise an, eine Qualitätskennzahl vor und nach dem Treffen von Maßnahmen in einem Produktionsabschnitt über einen längeren Zeitraum zu betrachten. Dabei müssen die Kennzahlen so gewählt werden, dass der Einfluss von anderen Faktoren gering ist, da es sonst zu Verzerrungen kommen kann. Außerdem ist zu berücksichtigen, dass die Maßnahme eine Kennzahl zu Beginn sogar leicht verschlechtern kann. Dies liegt darin begründet, dass im Vergleich zum vorherigen Zustand weniger Fehler an den Fahrzeugen „übersehen“ werden und es somit zu einer lückenloseren Erfassung kommt. Solange sich die Kennzahl im Anschluss rasch wieder verbessert, ist die kurzfristige Verschlechterung sogar positiv zu bewerten, da es dadurch zu einer höheren Fehlertransparenz und somit zu einer echten Chance zur Qualitätssteigerung gekommen ist.

Wie konkret die zu verfolgende Kennzahl aussieht, ist je nach getroffener Maßnahme unterschiedlich. Zur Überprüfung der Steigerung des Akzeptanzeffektes lässt sich beispielsweise eine FMS-Erfassungsquote eines Fehlerbildes als Relation der Erfassungen in FMS in Bezug auf die Gesamtzahl der Erfassungen in IPS-Q bilden. Aus dem Verlauf der Kennzahl über einen längeren Zeitraum lassen sich anschließend Rückschlüsse auf die Wirksamkeit der akzeptanzerhöhenden Maßnahmen schließen. Zur Messung des Effektes auf den Qualitätsregelkreis zum Abstellen eines Fehlerbildes kann ebenso der Verlauf der Erfassungsanzahl herangezogen werden. Bei der Auswertung von Beschädigungsschwerpunkten an einem Bauteil muss in IPS-Q beispielsweise die Fehlerdokumentation jedes betroffenen Fahrzeugs geöffnet, das angehängte Foto gesichtet und die Fehlerlage manuell in ein Raster eingetragen werden. Im FMS Reporting Tool geschieht dieser Vorgang, vorausgesetzt die Beschädigungen wurden auch in FMS erfasst, mit wenigen Mausklicks und der Beschädigungsschwerpunkt lässt sich sofort identifizieren. Es liegt auf der Hand, dass damit eine enorme Vereinfachung des Auswertungsprozesses und somit eine Entlastung des Qualitätsingenieurs verbunden ist, wodurch dieser schneller beschädigungsvermeidende Maßnahmen in den Montageprozess einleiten kann. Dies sollte sich dementsprechend in einem schnelleren Fallen der Beschädigungseingaben des betroffenen Produktionsabschnittes im Vergleich zu historischen Verläufen widerspiegeln.

Alternativ kann, wenn eine Abbildung des Sachverhalts in Kennzahlen nur schwer oder mit großem Aufwand möglich ist, versucht werden die Wirksamkeit qualitativ nachzuweisen. Die durch die Assistenz entstandene Entlastung führt beispielsweise zu besseren Arbeitsbedingungen und wird sich auch auf die Zufriedenheit der betroffenen Personen positiv auswirken. Diese subjektive Wahrnehmung wird sich wahrscheinlich

längerfristig auch auf die Produktivität auswirken, kann aber nicht direkt aus produktions- oder qualitätsrelevanten Kennzahlen abgelesen werden. In diesem Fall könnte ebenfalls der Ansatz des Durchführens einer Befragung gewählt werden, bei welcher verschiedene arbeitsplatzbezogene Aspekte abgefragt und anschließend evaluiert werden.

Sicherstellung der Maßnahmenumsetzung

Um eine nachhaltige Qualitätsverbesserung durch FMS zu gewährleisten, müssen als nächster Schritt die vorgeschlagenen Prozesse zur Umsetzung der Maßnahmen auch in der Organisationsstruktur des BMW Werk München verankert werden. Insbesondere die notwendigen Verantwortlichkeiten und Kapazitäten müssen durch die Hierarchie zugewiesen und genehmigt werden. Für diese Legitimierung muss die Thematik einem Montage-Gremium vorgelegt werden, in welchem das weitere Vorgehen präsentiert, und dieses dann in weiterer Folge auch beschlossen wird.

Die Grundlage stellt dabei die Definition eines konkreten Zielzustandes dar, welchen es innerhalb eines bestimmten Zeitraumes zu erreichen gilt. Da FMS aufgrund seiner in Anhang A.1 beschriebenen Logik besonders gut für Erfassung und Auswertung von Oberflächenbeschädigungen geeignet ist, könnte der Zielzustand das Gewährleisten einer FMS-Beschädigungserfassungsquote in der gesamten Montage darstellen. Diese errechnet sich aus dem Quotienten der Anzahl der FMS-Beschädigungserfassungen zu den IPS-Q-Beschädigungserfassungen (diese enthalten aufgrund der direkten Anbindung von FMS an IPS-Q auch alle FMS Einträge) über einen bestimmten Zeitraum. Dadurch ist die Kennzahl vom absoluten Beschädigungsaufkommen unabhängig und behält auch bei einer sinkenden Anzahl der Beschädigungen, also bei steigender Qualität, immer noch seine Gültigkeit. Eine ausreichend hohe Erfassungsquote ist dabei insbesondere für das Identifizieren der Fehlerschwerpunkte notwendig, denn die FMS Berichte sind erst dann aussagekräftig, wenn auch ein Großteil der während des Montageprozesses an den Fahrzeugen erfassten Beschädigungen in den graphischen Auswertungen aufscheinen.

Anhand des definierten Zielzustandes kann anschließend das weitere Vorgehen geplant werden. Hierbei wird das Montage-Qualitätsmanagement eine zentrale Rolle spielen, denn nur dieses kann eine produktionsabschnittübergreifende Behandlung des Themas gewährleisten. Auch die Verantwortlichkeiten für das Erreichen des vom Gremium beschlossenen Zielzustandes sollten demnach in diesem Bereich angesiedelt sein. Für das Sicherstellen der Umsetzung kann es deshalb notwendig sein, den Zielzustand auch als internes Ziel des Montage-Qualitätsmanagements festzulegen.

Zur Erreichung des geplanten Zieles in Form der Erfassungsquote, gilt es vom verantwortlichen Bereich alle künftigen Beschädigungsthemen sukzessive so zu lenken, dass eine möglichst durchgehende, produktionsbereichsübergreifende Behandlung

der Themen mit FMS möglich wird. Werden alle Mittel bereitgestellt und ist der Prozess, wie in Anhang A.2 beschrieben, eingeschwungen, stellt die FMS Erfassung für die Produktionsbereiche im Vergleich zur konventionellen Fehlerdokumentation in jedem Fall einen geringeren Aufwand (Anhang A.3.3) dar. Die Vorteile einer durchgehenden Verwendung von FMS sollten demnach auch bei den Verantwortlichen jener Produktionsbereiche, in welchen FMS noch keine breite Anwendung findet, schnell Gehör finden. Sollte es hierbei dennoch zu Schwierigkeiten kommen, kann zur Durchsetzung insbesondere auf den Gremienbeschluss zurückgegriffen werden.

Eine Reduktion der durch Montagetätigkeiten ausgelösten Beschädigungen am Fahrzeug wirkt sich insbesondere positiv auf die durch Polieren oder Lackieren ausgelöste Nacharbeit aus. Werden alle diese geplanten Schritte befolgt, kann FMS deshalb ein gutes Werkzeug zur Reduktion der Qualitätskennzahl Nacharbeitsminuten pro Fahrzeug in der Montage des BMW Werk München darstellen, und so seinen Teil zur kontinuierlichen Qualitätsverbesserung beitragen.

A.5 Bewertungstabelle

Prozess		Risiko		Chance		Bewertung			Maßnahme
Prozessschritt	Bezeichnung des Prozessschritts	Festgestelltes Risiko	Auswirkung, falls keine Gegenmaßnahmen ergriffen werden	Festgestellte Chance	Auswirkung, falls Chance nicht umgesetzt wird	Wahrscheinlichkeit	Bedeutung	Gesamtrisiko	
1	FMS Fehlererfassung	1.1 FMS Client ohne Funktion	Keine FMS Fehlererfassung möglich			Niedrig	Niedrig	Niedrig	
		1.2 Scannen der falschen FG-Nummer	NiO ist am falschen Fahrzeug			Mittel	Mittel	Mittel	Nutzung von MQC (mobile Endgeräte zur Fehlererfassung)
		1.3 Fehlererfassung im falschen Polygon	Falscher IPS-Q Eintrag und falsche Priorisierung			Mittel	Mittel	Mittel	Anhang an IPS-Q Eintrag (wie MQC) oder Anpassung Benutzeroberfläche
		1.4 Auswahl der falschen Fehlerart	Falscher IPS-Q Eintrag			Mittel	Niedrig	Niedrig	
		1.5 Falsche Fehlerart bei Mehrfacheingaben	Falscher IPS-Q Eintrag			Mittel	Niedrig	Niedrig	
		1.6 Kein Speichern der Eingabe	Fehlende Dokumentation			Mittel	Mittel	Mittel	Nutzung MQC bzw. Bestätigungsfrage: "Wollen sie die Erfassung wirklich beenden?"
				1.7 Erhöhung der Fehlererfassungsgeschwindigkeit	Erhöhter Zeitaufwand: Eingabe muss umständlich in IPS-Q durchgeführt werden	Mittel	Mittel	Mittel	Überzeugung der Nutzer von der Nützlichkeit des Systems
				1.8 Erhöhung der Datenqualität	Schwierigkeiten bei der Priorisierung	Niedrig	Mittel	Niedrig	
				1.9 Keine eine zusätzliche Fehlerdokumentation (z.B. Foto) mehr notwendig	Erhöhter Kapazitätsbedarf: Foto muss manuell aufgenommen und dem IPS-Q Eintrag angehängt werden.	Mittel	Mittel	Mittel	Nutzung von MQC: Anhang des FMS Bildes an IPS-Q Eintrag, Bild somit unabhängig von FMS im IPS-Q vorhanden
2	FMS Nacharbeitserfassung	2.1 Auswahl des falschen Prüfschritts für Nacharbeitseingabe	Falscher Prüfschritt kann quittiert werden			Mittel	Mittel	Mittel	Alle Nicht-FMS-Prüfschritte ausblenden
		2.2 4-Augen Prinzip durch einen Mitarbeiter quittierbar	Sicherheitsrelevante Prüfung kann quittiert werden			Mittel	Hoch	Hoch	4-Augen Prinzip Prüfschritte in FMS ausblenden
		2.3 Auswahl der falschen NA-Tätigkeit	Falscher IPS-Q Eintrag			Mittel	Niedrig	Niedrig	
		2.4 Auswahl der falschen NA-Dauer	Falscher IPS-Q Eintrag			Mittel	Niedrig	Niedrig	

		2.5 Auswahl der falschen belasteten Kostenstelle	Falscher IPS-Q Eintrag			Mittel	Niedrig	Niedrig		
		2.6 Auswahl der falschen Schichtgruppe	Falscher IPS-Q Eintrag			Mittel	Niedrig	Niedrig		
		2.7 Fehleingabe durch falsches Makro	Falscher IPS-Q Eintrag			Mittel	Niedrig	Niedrig		
		2.8 Kein Speichern der Eingabe (Vergleich zu Nacharbeit in IPS-Q)	Fehler nach wie vor im IPS-Q			Mittel	Niedrig	Niedrig		
				2.9 Standardisierte Erfassung mittels Makros bei häufig auftretendem Fehlerbild	Jeder Nacharbeitseintrag muss einzeln erfasst werden	Mittel	Mittel	Mittel	Prüfen ob bei gewissen Arbeitsplätzen häufig dasselbe Fehlerbild erfasst wird, wenn ja: Implementierung eines Makros	
				2.10 Schnelleres finden des Fehlers durch Visualisierung der genauen Fehlerlage	Längere Nacharbeitsdauer	Niedrig	Mittel	Niedrig		
3	Auswertungserstellung	3.1 Auswertung nach Na-Zeit mit Filter nach Fe-Zeit	Fehler scheinen nicht in der Auswertung auf			Mittel	Niedrig	Niedrig		
		3.2 Bedienfehler bei Filterung durch Benutzer	Fehler scheinen nicht in der Auswertung auf			Mittel	Niedrig	Niedrig		
		3.3 Zielerlevanz nicht erkennbar	Falsche Priorisierung			Hoch	Niedrig	Mittel	Zusätzliche Filter implementieren (Inline/Offline, DLQ-Relevanz, NAQ-Relevanz, Q-Index)	
		3.4 Fehler pro Einheit nicht erkennbar	Falsche Priorisierung			Hoch	Niedrig	Mittel	Zusätzliche Filter implementieren und Logik anpassen	
				3.5 Direkte Visualisierung von Fehler-schwerpunkten (Punkt-wolke oder Heatmap)		Erhöhter Personalbedarf: Analyse muss manuell anhand Sichtung der IPS-Q Einträge durchgeführt werden	Mittel	Mittel	Mittel	Zur Schaffung einer Datenbasis: Sicherstellung des flächendeckenden Einsatzes von FMS über alle relevanten Produktionsbereiche
				3.6 Automatisierte Berichte		Manuelles Erstellen von Berichten	Niedrig	Niedrig	Niedrig	
4	Treffen von Maßnahmen	4.1 Falsche Priorisierung der Fehlerbilder	Verzögerung der Abarbeitung			Mittel	Niedrig	Niedrig		
				4.2 Reduktion des Ursachenfindungsaufwands	Keine Verbesserung	Niedrig	Mittel	Niedrig		
				4.3 Schnellere Abarbeitung der Themen	Keine Verbesserung	Niedrig	Mittel	Niedrig		

Tabelle 5: Risikobewertungstabelle

Literaturverzeichnis

- Adams, Heinz W. „Produkthaftung - allgemeiner Überblick.“ Zuletzt geprüft am 03.06.2019. https://www.qz-online.de/qualitaets-management/qm-basics/recht_normen/produkthaftung/artikel/produkthaftung-allgemeiner-ueberblick-168322.html.
- Alpar, Paul, Rainer Alt, Frank Bensberg, Heinz L. Grob, Peter Weimann und Robert Winter. *Anwendungsorientierte Wirtschaftsinformatik: Strategische Planung, Entwicklung und Nutzung von Informationssystemen*. 7. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2014. ISBN: 978-3-658-00520-7.
- Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union. „Fehlerhafte Produkte: Haftung: Zusammenfassung Richtlinie 85/374/EWG.“ 1985. Zuletzt geprüft am 14.05.2019. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:I32012&from=DE>.
- Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union. „Kraftfahrzeuge – EU-Typgenehmigungssystem: Zusammenfassung Richtlinie 2007/46/EG.“ 2007. Zuletzt geprüft am 14.05.2019. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/HTML/?uri=LEGISSUM:n26100&from=DE>.
- Banerjee, Arindam, Tathagata Bandyopadhyay und Prachi Acharya. „Data Analytics: Hyped Up Aspirations or True Potential?“ *Vikalpa* 38, Nr. 4 (October 2013): 1–11.
- BMW Group Unternehmenskommunikation. „Qualitätscheck per virtuellem Fingerzeig.“ 2014. Zuletzt geprüft am 05.08.2019. <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0184222DE/qualitaetscheck-per-virtuellem-fingerzeig?language=de>.
- BMW Group Unternehmenskommunikation. „Ganz real: Virtual und Augmented Reality eröffnen neue Dimensionen für das Produktionssystem der BMW Group.“ 2019. Zuletzt geprüft am 30.09.2019. <https://www.press.bmwgroup.com/deutschland/article/detail/T0294345DE/ganz-real:-virtual-und-augmented-reality-eroeffnen-neue-dimension-fuer-das-produktionssystem-der-bmw-group>.
- Botthof, Alfons und Ernst A. Hartmann, Hrsg. *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2015. ISBN: 978-3-662-45914-0.
- Bretting, Ralf. „Digitale Augen: Revolution in der Sichtprüfung.“ *Automobil Produktion*, Oktober 2018, 34–35.

Brüggemann, Holger und Peik Bremer. *Grundlagen Qualitätsmanagement: Von den Werkzeugen über Methoden zum TQM*. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2015. ISBN: 978-3-658-09220-7.

Brühl, Volker. „Big Data, Data Mining, Machine Learning und Predictive Analytics – ein konzeptioneller Überblick.“ *CFS Working Paper Series*, Nr. 617 (2019): 1–9.

Buchholz, Peter und Uwe Clausen, Hrsg. *Große Netze der Logistik: Die Ergebnisse des Sonderforschungsbereichs 559*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. ISBN: 978-3-540-71047-9.

Colangelo, Eduardo, Axel Pira, Anika Noack und Thomas Bauernhansl. „Schritte zu Big Data in der Produktion.“ *ZWF* 111, Nr. 12 (2016): 851–854.

Deutsche Gesellschaft für Qualität e.V. „QM Kennzahlen in ISO 9000 und ISO 9001.“ 2017. Zuletzt geprüft am 15.05.2019. <https://www.dgq.de/fachbeitraege/qm-kennzahlen-in-iso-9000-und-iso-9001/>.

Deutsches Institut für Normung. *DIN EN 45020: Normung und damit zusammenhängende Begriffe - Allgemeine Begriffe (ISO/IEC Guide 2:2004)*. 2007, DIN EN 45020:2006.

Deutsches Institut für Normung. *ISO 9241: Ergonomie der Mensch-System-Interaktion*. 2010, DIN EN ISO 9241.

Deutsches Institut für Normung. *DIN EN ISO 9000: Qualitätsmanagementsysteme - Grundlagen und Begriffe*. 2015, ISO 9000:2015.

Deutsches Institut für Normung. *DIN EN ISO 9001: Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen*. 2015, ISO 9001:2015.

Deutsches Institut für Normung. *DIN EN ISO 19011: Leitfaden zur Auditierung von Managementsystemen*. 2018, ISO 19011:2018.

Deutsches Institut für Normung. *DIN ISO 31000: Risikomanagement - Leitlinien*. 2018, DIN ISO 31000:2018.

Dörner, Ralf, Wolfgang Broll, Paul Grimm und Bernhard Jung, Hrsg. *Virtual und Augmented Reality (VR / AR)*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2013. ISBN: 978-3-642-28902-6.

Europäische Kommission, Richtlinie zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Haftung für fehlerhafte Produkte. 85/374/EWG. 1985.

Europäische Kommission, Kraftfahrzeuge – EU-Typgenehmigungssystem. Richtlinie 2007/46/EG. 2007.

- Geiger, Walter und Willi Kotte. *Handbuch Qualität: Grundlagen und Elemente des Qualitätsmanagements: Systeme - Perspektiven*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2008. ISBN: 978-3-8348-0273-6.
- Gerke, Wolfgang. *Technische Assistenzsysteme: Vom Industrieroboter zum Roboterassistenten*. Berlin: De Gruyter Oldenbourg, 2015. ISBN: 978-3-11-034370-0.
- Hänsel, Frank, Sören D. Baumgärtner, Julia M. Kornmann und Fabienne Ennigkeit. *Sportpsychologie*. Springer-Lehrbuch. Berlin, Heidelberg: Springer, 2016. ISBN: 978-3-662-50388-1.
- Harrach, Hakim. *Risiko-Assessments für Datenqualität: Konzept und Realisierung*. Ausgezeichnete Arbeiten zur Informationsqualität. Wiesbaden: Vieweg+Teubner, 2010. ISBN: 978-3-8348-1344-2.
- Heinecke, Andreas M. *Mensch-Computer-Interaktion: Basiswissen für Entwickler und Gestalter*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012. ISBN: 978-3-642-13506-4.
- Hinsch, Martin. *Die ISO 9001:2015 – Ein Ratgeber für die Einführung und tägliche Praxis*. 3. Aufl. Berlin: Springer Vieweg, 2019. ISBN: 978-3-662-56246-8.
- Hoffmann, Wilfried. *Risikomanagement: Kurzanleitung Heft 4*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2017. ISBN: 978-3-662-55631-3.
- Huber, Walter. *Industrie 4.0 in der Automobilproduktion: Ein Praxisbuch*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2016. ISBN: 978-3-658-12731-2.
- International Automotive Task Force. *IATF 16949: Anforderungen an Qualitätsmanagementsysteme für die Serien- und Ersatzteilproduktion in der Automobilindustrie*. 2016, IATF 16949:2016.
- International Electrotechnical Commission. *IEC/ISO 31010 Risk management - Risk assessment techniques*. 2009, IEC/ISO 31010:2009.
- International Organization for Standardization. „ISO in brief: Great things happen when the world agrees.“ 2018. Zuletzt geprüft am 21.05.2019.
<https://www.iso.org/files/live/sites/isoorg/files/store/en/PUB100007.pdf>.
- Jamal, Rahman und Ronald Heinze, Hrsg. *Virtuelle Instrumente in der Praxis 2017: Begleitband zum 22. VIP-Kongress*. Offenbach: VDE Verlag, 2017. ISBN: 978-3-8007-4441-1.
- Kamiske, Gerd F. und Jörg-Peter Brauer. *Qualitätsmanagement von A bis Z: Erläuterungen moderner Begriffe des Qualitätsmanagements*. 7. Aufl. München: Hanser, 2011. ISBN: 978-3-446-42581-1.

- Kasselmann, Sebastian und Stefan Willeke. „Technologie-Kompendium Interaktive Assistenzsysteme: 4.0 Ready.“ Institut für integrierte Produktion Hannover. 2014. Zuletzt geprüft am 13.09.2019. https://www.iph-hannover.de/_media/files/downloads/Projekt_40-Ready_Technologie-Kompendium.pdf.
- Kletti, Jürgen und Rainer Deisenroth. *MES-Kompendium: Ein Leitfaden am Beispiel HYDRA*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2012. ISBN: 978-3-642-32580-9.
- Kletti, Jürgen und Jochen Schumacher. *Die perfekte Produktion: Manufacturing Excellence durch Short Interval Technology (SIT)*. 2. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2014. ISBN: 978-3-662-45440-4.
- Koch, Beate und Rene Maresch. „Bessere Qualitätskontrolle durch digitales Assistenzsystem: Wissenstransfer im Unternehmen.“ Fraunhofer IFF. 2016. Zuletzt geprüft am 30.09.2019. https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/presse-medien/2016/Juli/ForschungKompakt/fk_07_2016_IFF_Bessere_Qualitaetskontrolle_durch_digitales_Assistenzsystem.pdf.
- Koch, Susanne. *Einführung in das Management von Geschäftsprozessen: Six Sigma, Kaizen und TQM*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. ISBN: 978-3-642-01120-7.
- Lechner, Wolfgang. „Anforderungen an digitale Assistenzsysteme in der Fertigung und Montage und die alter(n)sgerechte Gestaltung von entsprechenden Arbeitssystemen.“ Diplomarbeit, Institut für Managementwissenschaften Technische Universität Wien, 2016.
- Mattmann, Ilyas. *Modellintegrierte Produkt- und Prozessentwicklung*. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2017. ISBN: 978-3-658-19408-6.
- Mayrhofer, Walter, David Kames und Sebastian Schlund. *Made in Austria: Produktionsarbeit in Österreich 2019*. Studie, Technische Universität Wien, 2019. ISBN: 978-3-9504856-0-8.
- Merazzi, Jonas und Andreas Friedl. „Einteilung und Bewertung von Montageassistenzsystemen.“ *ZWF* 112, Nr. 6 (2017): 413–416.
- Niehaus, Jonathan. „Mobile Assistenzsysteme für Industrie 4.0: Gestaltungsoptionen zwischen Autonomie und Kontrolle.“ Forschungsinstitut für gesellschaftliche Weiterentwicklung FGW. 2017. Zuletzt geprüft am 02.09.2019. http://fgw-nrw.de/fileadmin/user_upload/Impuls-I40-04-Niehaus-A1-web.pdf.
- Nyendick, Monika. „Qualität 4.0 – IT-Rückgrat für einen fertigungsintegrierten Qualitätsmotor.“ *ZWF* 111, Nr. 4 (2016): 167–168.

- Optimum datamanagement solutions GmbH. „Audi Smart Factory: Schläuer Klaus unterstützt die Montage des neuen Audi A4.“ 2016. Zuletzt geprüft am 30.09.2019. https://www.optimum-gmbh.de/fileadmin/Bilder/referenzen/audi/Audi_Smart_Factory.pdf.
- Optimum datamanagement solutions GmbH. „Der schlaue Klaus: Das kamerabasierte Assistenzsystem für die manuelle Fertigung.“ 2019. Zuletzt geprüft am 30.09.2019. https://www.optimum-gmbh.de/fileadmin/Bilder/der-schlaue-klaus/Broschu__re_Optimum_f_DEU.pdf.
- Rathmayer, Sabine und Hans Pongratz, Hrsg. *Proceedings der Pre-Conference Workshops der 13. E-Learning Fachtagung Informatik*. 2015. ISBN: 1613-0073.
- Reisinger, Gerhard. „Kontinuierlicher Verbesserungsprozess - KVP 4.0: Fraunhofer KVP-App.“ Fraunhofer Austria Research GmbH. 2016. Zuletzt geprüft am 30.09.2019. https://www.fraunhofer.at/content/dam/austria/de/documents/FhA_KVPAPP_Foliensatz.pdf.
- Rojas, Raúl. *Theorie der neuronalen Netze: Eine systematische Einführung*. 4. Aufl. Springer-Lehrbuch. Berlin: Springer, 1996. ISBN: 978-3-540-56353-2.
- Romeike, Frank. *Risikomanagement*. Wiesbaden: Springer Gabler, 2018. ISBN: 978-3-658-13951-3.
- Romeike, Frank und Andreas Eicher. „Predictive Analytics: Der Blick in die Zukunft.“ Frankfurter Institut für Risikomanagement und Regulierung FIRM. 2016. Zuletzt geprüft am 13.09.2019. https://www.risknet.de/fileadmin/user_upload/Elibrary/Predictive-Analytics_Romeike_FIRM-Jahrbuch-2016_DEU.pdf.
- Ronniger, Curt. *Taschenbuch der statistischen Qualitäts- und Zuverlässigkeitsmethoden: Die wichtigsten Methoden und Verfahren für die Praxis*. 1. Aufl. München: CRGRAPH, 2013. ISBN: 978-3-000-43678-9.
- Rudow, Bernd und Hans-Christian Heidecke, Hrsg. *Betriebliche Informationssysteme in der Automobilproduktion: Soziotechnisches System, Nutzerpersönlichkeit, Nutzungserleben, Rollout und Betrieb, Fabriksteuerung, Informationen auf Shopfloor, IT-Nutzen*. München: De Gruyter Oldenbourg, 2014. ISBN: 978-3-486-80015-9.
- Russom, Philip. „Big Data Analytics: TDWI best practices report.“ 2011. Zuletzt geprüft am 15.08.2019. <https://tdwi.org/research/2011/09/best-practices-report-q4-big-data-analytics>.
- Schenk, Michael, Hrsg. *Produktion und Logistik mit Zukunft: Digital Engineering and Operation*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2015. ISBN: 978-3-662-48265-0.

- Schlund, Sebastian, Walter Mayrhofer und Patrick Rupprecht. „Möglichkeiten der Gestaltung individualisierbarer Montagearbeitsplätze vor dem Hintergrund aktueller technologischer Entwicklungen.“ *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, Nr. 72 (2018): 276–286.
- Spath, Dieter, Hrsg. *Produktionsarbeit der Zukunft - Industrie 4.0: Studie*. Unter Mitarbeit von Oliver Ganschar et al. Stuttgart: Fraunhofer Verlag, 2013. ISBN: 978-3-8396-0570-7.
- TÜV SÜD Management Service GmbH. „IATF 16949 – Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie.“ 2018. Zuletzt geprüft am 13.05.2019. <https://www.tuev-sued.de/uploads/images/1547653695133423131081/whitepaper-de-iatf16949.pdf>.
- Venkatesh, Viswanath und Hillol Bala. „Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions.“ *Decision Sciences* 39, Nr. 2 (2008): 273–315.
- Verein Deutscher Ingenieure. *VDI 5600: Fertigungsmanagementsysteme (Manufacturing Execution Systems – MES)*. 2016, VDI 5600 Blatt 1.
- Vogel-Heuser, Birgit, Thomas Bauernhansl und Michael ten Hompel, Hrsg. *Handbuch Industrie 4.0 Bd.1: Produktion*. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg, 2017. ISBN: 978-3-662-45278-3.
- Vogel-Heuser, Birgit, Thomas Bauernhansl und Michael ten Hompel, Hrsg. *Handbuch Industrie 4.0 Bd.2: Automatisierung*. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg, 2017. ISBN: 978-3-662-53247-8.
- Vogel-Heuser, Birgit, Thomas Bauernhansl und Michael ten Hompel, Hrsg. *Handbuch Industrie 4.0 Bd.4: Allgemeine Grundlagen*. 2. Aufl. Berlin: Springer Vieweg, 2017. ISBN: 978-3-662-53253-9.
- Volkswagen AG. „Wir schalten die Industrie 4.0 live.“ 2019. Zuletzt geprüft am 20.08.2019. <https://www.volkswagenag.com/de/news/stories/2019/03/volkswagen-industrial-cloud.html>.
- Wandke, H. „Assistance in human–machine interaction: a conceptual framework and a proposal for a taxonomy.“ *Theoretical Issues in Ergonomics Science* 6, Nr. 2 (March-April 2005): 129–155.
- Weidner, Robert und Athanasios Karafillidis, Hrsg. *Technische Unterstützungssysteme, die die Menschen wirklich wollen: Dritte Transdisziplinäre Konferenz*. Hamburg: Helmut-Schmidt-Universität, 2018. ISBN: 978-3-86818-246-0.
- Weidner, Robert, Tobias Redlich und Jens P. Wulfsberg, Hrsg. *Technische Unterstützungssysteme*. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg, 2015. ISBN: 978-3-662-48382-4.

Werdich, Martin, Hrsg. *FMEA - Einführung und Moderation: Durch systematische Entwicklung zur übersichtlichen Risikominimierung (inkl. Methoden im Umfeld)*. 2. Aufl. Wiesbaden: Springer Vieweg, 2012. ISBN: 978-3-8348-1787-7.

Zäh, M., M. Wiesbeck, F. Engstler, F. Friesdorf, A. Schubö, A. Stork, A. Bannat und F. Wallhoff. „Kognitive Assistenzsysteme in der manuellen Montage: Adaptive Montageführung mittels zustandsbasierter, umgebungsabhängiger Anweisungsgenerierung.“ *wt Werkstattstechnik online* 97, Nr. 9 (2007): 644–650.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das Polylemma der Produktion	20
Abbildung 2: Das Kano-Modell der Kundenzufriedenheit	21
Abbildung 3: Traditioneller vs. moderner Ansatz zur Qualitätskostenrechnung	23
Abbildung 4: Risikomanagementprozess nach IEC/ISO 31010	26
Abbildung 5: Beispiel einer Risikomatrix	31
Abbildung 6: Elemente eines Assistenzsystems für analytische Prozesse	37
Abbildung 7: Beispiel eines HMD für AR-Anwendungen: Microsoft HoloLens 2	46
Abbildung 8: Einordnung von MES in die Unternehmens-IT	49
Abbildung 9: Aufbau einer Qualitätsregelkarte	52
Abbildung 10: Big Data Analytics, Data Mining und Predictive Analytics	58
Abbildung 11: Modell eines Meta-Assistenzsystems	62
Abbildung 12: Der KVP-App unterstützte Prozess für Verbesserungsvorschläge	65
Abbildung 13: Qualitätsprüfung per Gestensteuerung im BMW Werk Landshut	67
Abbildung 14: Honmaschine im VW Werk Salzgitter	68
Abbildung 15: Der schlaue Klaus im Einsatz bei der Türmontage des Audi A4	69
Abbildung 16: AR-gestütztes Training in der Motoren-Montage	70
Abbildung 17: Übersicht Volkswagen Industrial Cloud	72
Abbildung 18: Erfasste Beschädigung an der Heckklappe in FMS	89
Abbildung 19: FMS Auswertung der Heckklappe zur Darstellung von Fehlerschwerpunkten	90
Abbildung 20: Schemenhafte Darstellung der FMS Benutzeroberfläche der Montage des BMW Werk München am Beispiel des BMW G20	90
Abbildung 21: Der FMS Prozess	91
Abbildung 22: IPS-Q Nacharbeitserfassungsmaske	92
Abbildung 23: Schulungsunterlage FMS Fehlererfassung	93
Abbildung 24: Schulungsunterlage FMS Nacharbeitserfassung	94

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die ISO 9000 Normenreihe	7
Tabelle 2: Methoden zur Risikoidentifikation,-analyse und Bewertung	28
Tabelle 3: Logik des zusammengesetzten Gesamtrisikos	96
Tabelle 4: Bewertungsskala der Risikomatrix	96
Tabelle 5: Risikobewertungstabelle	108

Abkürzungsverzeichnis

3D	Drei Dimensionen
AG	Aktiengesellschaft
AR	Augmented Reality
BMW	Bayerische Motoren Werke
CAD	Computer-aided Design
CAQ	Computer-aided Quality
CPS	Cyber-physisches System
CRM	Customer Relationship Management
DIN	Deutsches Institut für Normung
e.V.	Eingetragener Verein
EG	Europäische Gemeinschaft
EN	Europäische Norm
ERP	Enterprise Resource Planning
EU	Europäische Union
EUS	Entscheidungsunterstützungssystem
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
FMEA	Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse
GmbH	Gesellschaft mit begrenzter Haftung
HLS	High Level Structure
HMD	Head Mounted Display
IATF	International Automotive Task Force
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	International Organization for Standardization
IT	Informationstechnik
KI	Künstliche Intelligenz
KVP	Kontinuierlicher Verbesserungsprozess
LCD	Liquid Crystal Display
LED	Light Emitting Diode
MES	Manufacturing Execution System
OLED	Organic Light Emitting Diode
PDCA	Plan Do Check Act
ProdHaftG	Produkthaftungsgesetz
QM	Qualitätsmanagement
QMS	Qualitätsmanagementsystem
RFID	Radio Frequency Identification
RPZ	Risikoprioritätszahl
SCM	Supply Chain Management
SPC	Statistic Process Control
TFT	Thin Film Transistor
TQM	Total Quality Management
TU	Technische Universität
VPN	Virtual Private Network
VR	Virtual Reality
VW	Volkswagen