

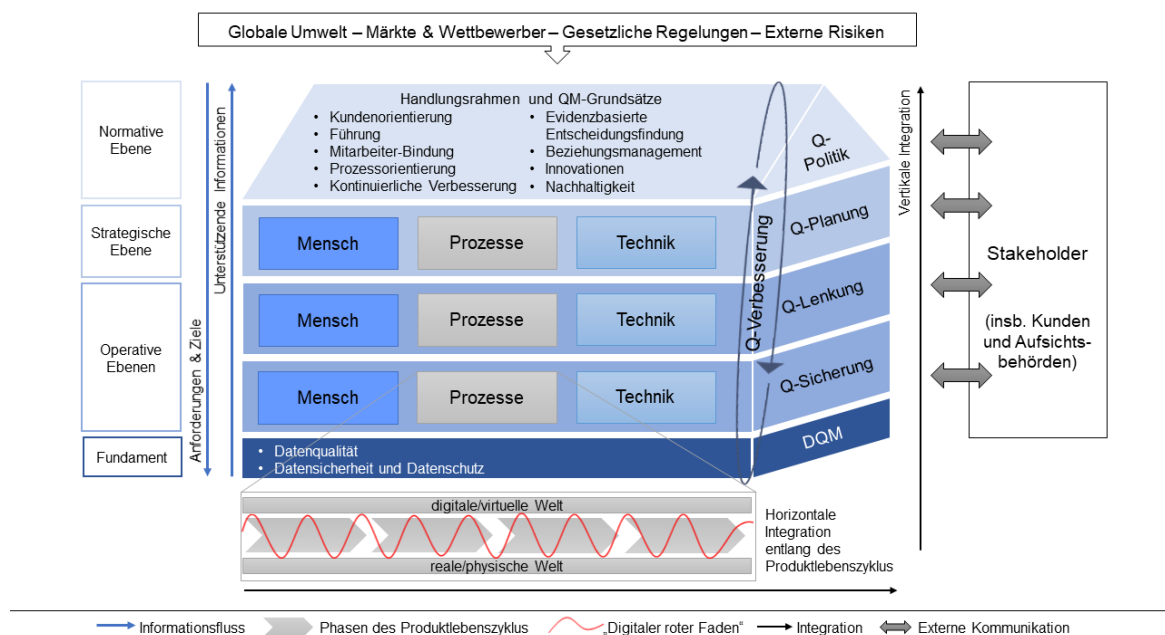
IWI Diskussionsbeiträge # 89 (5. März 2019)¹



ISSN 1612-3646

Einflüsse der Digitalisierung auf das Qualitätsmanagement und die Notwendigkeit einer integrierten Betrachtungsweise anhand eines Referenzmodells

Leonie Jürgens², Daniel Olivotti³ und Michael H. Breitner⁴



¹ Kopien oder eine PDF-Datei sind auf Anfrage erhältlich: Institut für Wirtschaftsinformatik, Leibniz Universität Hannover, Königsworther Platz 1, 30167 Hannover (www.iwi.uni-hannover.de).

² IT Manager und Alumni M.Sc. Wirtschaftswissenschaften an der Leibniz Universität Hannover

³ Doktorand am Institut für Wirtschaftsinformatik, Leibniz Universität Hannover (olivotti@iwi.uni-hannover.de)

⁴ Professor der Wirtschaftsinformatik und Leiter des Instituts für Wirtschaftsinformatik, Leibniz Universität Hannover (breitner@iwi.uni-hannover.de)

1 Einleitung

Die Disziplin des Qualitätsmanagements hat sich in den letzten Jahrzehnten zu einer elementaren und umfassenden Querschnittsfunktion im Unternehmen entwickelt und ist in der betrieblichen Praxis u.a. durch internationale Normen und Standards charakterisiert. Darüber hinaus verändern sich durch die Digitalisierung und die technologischen Fortschritte unter dem Schlagwort Industrie 4.0 sowohl die Unternehmensbeziehungen und -interaktionen in partnerschaftlichen Wertschöpfungsnetzwerken als auch die Qualitätsanforderungen an Produkte und Prozesse. Aus technischer Sicht entstehen vermehrt digitale, vernetzte und automatisierte Produktionsabläufe. Auch die Produkte selbst werden digital und intelligent. Dabei wandeln sich Daten und Informationen immer mehr zur wichtigsten Ressource im Unternehmen. Gleichmaßen ist auch das Qualitätsmanagement von diesen Trends der zunehmend vernetzten und globalisierten Wirtschaft betroffen. Die Inhalte von Industrie 4.0 und Qualitätsmanagement überschneiden sich thematisch, dennoch mangelt es bisher an einer kombinierten Betrachtungsweise. Industrie 4.0 zielt auf veränderte Produktionsprozesse ab. Dies hat wiederum Auswirkungen auf das prozessorientierte Qualitätsmanagement im Unternehmen. Da Prozesse verstärkt digital werden, ist eine logische Konsequenz die Digitalisierung des Qualitätsmanagements, um das erforderliche Qualitätsniveau weiterhin sicherzustellen. Durch den erweiterten Einsatz von IT-Systemen und digitalen Anwendungen werden immer mehr Daten erfasst und ausgewertet. Daraus folgt eine verbesserte Informationsversorgung, um einerseits eine fundierte Entscheidungsfindung sicherzustellen und andererseits Informationsasymmetrien entgegenzuwirken. Da somit mehr Daten und Informationen zur Beschaffenheit eines Produkts generiert werden, können die beteiligten Akteure die Qualität besser beurteilen.

Das zentrale Verbindungsstück zwischen Industrie 4.0 und dem Qualitätsmanagement ist der sogenannte digitale Zwilling, also das digitale Abbild eines Produkts oder einer Maschine. Die digitale Durchgängigkeit entlang des Produktlebenszyklus ist ein Kernkonzept von Industrie 4.0 und ermöglicht durch umfangreiche Datenanalysen neben vorausschauenden Wartungsmaßnahmen u.a. auch eine verbesserte Entscheidungsunterstützung hinsichtlich qualitätsrelevanter Fragestellungen. Des Weiteren besteht eine Verbindung zum Informationsmanagement, sodass der Wirtschaftsinformatik in Theorie und Praxis eine besondere Rolle zukommt. Durch integrierte und interdisziplinäre Betrachtungen sind Synergieeffekte erzielbar. Um schließlich zu analysieren, wie Digitalisierung und Vernetzung das Qualitätsmanagement beeinflussen, wird der folgenden Forschungsfrage nachgegangen:

Wie sieht ein Referenzmodell für ein Qualitätsmanagement unter dem Einfluss von Industrie 4.0 aus und welche kritischen Erfolgsfaktoren sind dabei zu berücksichtigen?

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wird die Methode des Design Science Research nach Peffers et al. (2007) verwendet. Innerhalb dieser Vorgehensweise werden weitere Methoden angewendet.

Dieser Beitrag ist wie folgt aufgebaut: Zunächst wird ein Überblick zur bestehenden Literatur gegeben (inkl. Forschungslücke) mittels Literaturanalyse nach Webster und Watson (2002). Anschließend wird im dritten Kapitel das entwickelte Referenzmodell beschrieben, welches mithilfe der Referenzmodellierung nach vom Brocke (2003) sowie der Auswertung qualitativer, semi-strukturierter Experteninterviews mittels inhaltsanalytischer Zusammenfassung nach Mayring (2002) konstruiert wurde. Im vierten Kapitel werden die Ergebnisse diskutiert. Darauf aufbauend werden im fünften Kapitel die kritischen Erfolgsfaktoren identifiziert. Abschließend wird im sechsten Kapitel ein Fazit gezogen.

2 Literaturüberblick

Zur Analyse der Literatur wird die Methode von Webster und Watson (2002) angewendet. Dies dient im Rahmen des Design Science Ansatzes als Startpunkt zur Problemidentifizierung. Um die zu untersuchende Literatur festzulegen, werden zunächst aktuelle relevante Artikel aus den führenden wissenschaftlichen Journalen mithilfe themenbezogener Schlüsselbegriffe ausgewählt. Zur Suche in den Datenbanken Google Scholar, AIS Electronic Library (AISEL), IEEE Xplore und Science Direct werden die folgenden Begriffe sowohl auf Deutsch als auch auf Englisch verwendet: „Qualitätsmanagement“, „Industrie 4.0“, „Digitalisierung“ sowie die Kombination „Modell Qualitätsmanagement Industrie 4.0“. Die untersuchten Artikel werden anschließend systematisch in eine sogenannte Konzeptmatrix eingeordnet (siehe Tabelle 1 im Anhang). Innerhalb der drei Oberkategorien „Qualitätsmanagement“, „Industrie 4.0“ und „Konzepte“ werden verschiedene Unter Aspekte betrachtet.

Das Qualitätsmanagement (QM) wird übereinstimmend als eigenständige, abteilungsübergreifende Funktion im Unternehmen (Querschnittsfunktion) und Teil der strategischen Ausrichtung des Unternehmens bezeichnet. Dabei lässt sich ein QM in vier Kernbereiche unterteilen. Im Rahmen der Qualitätsplanung werden qualitätsbezogene Ziele, Prozesse und Ressourcen festgelegt. Die Qualitätslenkung fokussiert die qualitätsbezogene, direkte Erfüllung der Forderungen. Die Qualitätssicherung beinhaltet die Sicherstellung des Vertrauens in die Qualitätsfähigkeit. Die Qualitätsverbesserung zielt schließlich auf eine Erhöhung der Qualitätsfähigkeit ab (vgl. Geiger und Kotte (2008)).

Laut ISO Norm umfasst ein QM sämtliche aufeinander abgestimmte Aktivitäten, die zum qualitätsbezogenen Lenken einer Organisation erforderlich sind (vgl. Grabner (2017)).

In der betrieblichen Praxis finden insbesondere die ISO-Standards der 9000er Reihe Anwendung, welche primär dem Zweck der Bereitstellung einer international gültigen normativen Grundlage für die Darlegung der Fähigkeit eines QM-Systems, sowie der Steigerung der Kundenzufriedenheit und der kontinuierlichen Verbesserung des QM-Systems dienen (vgl. Geiger und Kotte (2008)). Darüber hinaus ist in Europa der Ansatz der European Foundation for Quality Management, kurz EFQM, ein bekanntes Framework zur Einführung und Verbesserung eines Total Quality Managements (TQM) (vgl. Suárez et al. (2014)).

Einige Autoren heben die besondere Rolle von Informationen im Kontext von Qualitätsmanagement hervor. Barata und Cunha (2015) betrachten bspw. die Synergien von Qualitätsmanagement und Informationssystemen, die sich durch die gemeinsame bzw. integrierte Anwendung im Unternehmenskontext ergeben.

Gemäß Geiger und Kotte (2008) werden bei der Qualitätsplanung die relevanten Prozesse und Ressourcen definiert, die zur Erreichung der Qualitätsziele erforderlich sind. Dies erfolgt unter Beachtung der Qualitätsziele sowie der übergeordneten Qualitätspolitik des Unternehmens. Die Qualitätslenkung (im früheren Sprachgebrauch als Qualitätssteuerung bezeichnet) basiert auf den Resultaten der Qualitätsplanung und umfasst sowohl überwachende und korrektive als auch präventive Maßnahmen im Hinblick auf die Erfüllung der qualitätsbezogenen Anforderungen bei der Erstellung des Produkts oder Service. Hierbei kann zwischen einer unmittelbaren (betrifft die direkten Aktivitäten zur Verwirklichung der geforderten Beschaffenheit) sowie einer mittelbaren (betrifft zukünftige Realisierungen) Qualitätslenkung unterschieden werden. Die Qualitätssicherung wurde früher auch als QM-Darlegung bezeichnet und dient dem Aufbau sowie der Aufrechterhaltung von Vertrauen in die Erfüllung der Qualitätsanforderungen an das Produkt bzw. den Service. Dies umfasst bspw. die Durchführung von internen und externen Audits, wobei ein Vergleich von Soll- und Ist-Zustand von qualitätsbezogenen Prozessen durchgeführt wird. Hierbei spielt die Dokumentation eine bedeutende Rolle, u.a. in Form eines QM-Handbuches, Verfahrensanweisungen oder Prozessbeschreibungen, um die Fähigkeit des QMS nachweisen zu können. Auch die Durchführung von Schulungen dient zur Aufrechterhaltung des Qualitätsstandards. Dieses QM-Verständnis bildet die Basis der Untersuchung.

Industrie 4.0 wird auch als vierte industrielle Revolution bezeichnet und zielt u.a. darauf ab, transparentere und effizientere Wertschöpfungsprozesse zu realisieren und schließlich die Kundenzufriedenheit durch intelligente Produkte und Services zu steigern (vgl. Roth (2016)). Zwar gibt es bisher in der Literatur keine einheitliche Definition von Industrie 4.0, jedoch herrscht über die zugrunde liegenden Konzepte und Paradigmen weitgehend Konsens. Die vier Basiskonzepte von Industrie 4.0 sind demnach die intelligente Fabrik (Smart Factory), cyber-physische Systeme (CPS), das Internet der

Dinge (Internet of Things, IoT) und das Internet der Dienste (Internet of Services, IoS). Innerhalb einer Smart Factory, die modular aufgebaut ist, überwachen CPS die physischen Prozesse und erstellen ein virtuelles Abbild der realen Welt, um schließlich dezentrale Entscheidungen zu treffen. Durch das Internet der Dinge können die CPS nahezu in Echtzeit sowohl untereinander als auch mit Menschen kommunizieren und kooperieren. Durch das Internet der Dienste werden allen Beteiligten der Wertschöpfungskette interne wie auch unternehmensübergreifende Services bereitgestellt. (vgl. u.a. Hermann et al. (2015), Foidl und Felderer (2016)).

Darüber hinaus ist laut Kagermann et al. (2013) und Siepmann (2016) das Gesamtkonzept von Industrie 4.0 durch die Schlüsselaspekte vertikale und horizontale Integration, durchgängiges digitales Engineering sowie dezentrale Intelligenz und Steuerung gekennzeichnet. Auch die ganzheitliche Darstellung und Beurteilung von Industrie 4.0 Anwendungen anhand von Lebenszyklusmodellen sind als Kernaspekte anzusehen (vgl. Zollondz et al. (2016)).

Als ein weiteres grundlegendes Industrie 4.0 Konzept ist das des digitalen Zwillings zu nennen, welches bspw. bereits bei Triebwerken in der Luftfahrtindustrie zum Einsatz kommt. Strube et al. (2017) präsentieren dabei die Metapher eines digitalen roten Fadens, der den Datenfluss entlang des Produktlebenszyklus darstellt. Auch das Referenzarchitekturmodell für Industrie 4.0, kurz RAMI4.0, deutet den digitalen Zwilling an, indem der Produktlebenszyklus zweifach (einmal virtuell und einmal real) abgebildet wird.

Somit wird deutlich, dass Industrie 4.0 nicht nur eine Reihe technischer Veränderungen hervorbringt, sondern auch bedeutsame organisationale Anpassungen erforderlich sind (vgl. Lasi et al. (2014)).

Durch die Literaturanalyse wird zudem deutlich, dass Konzepte und Modelle in beiden Themenbereichen eine wesentliche Rolle spielen. Sowohl die ISO-Normen der 9000er Reihe als auch der EFQM-Ansatz enthalten Prozessmodelle zur Beurteilung und Verbesserung der Qualität in Unternehmensprozessen und können demnach nicht nur als Referenzmodelle, sondern auch als Reifegradmodelle eingestuft werden (vgl. Schönenberg (2010)). Referenz- und Reifegradmodelle scheinen in der Literatur beliebte und gleichermaßen nützliche Artefakte zu sein. Die weite Verbreitung von Referenzmodellen kann auch dadurch begründet werden, dass sie nützlich sind, um darauf aufbauend weitere, spezifische Modelle oder Anwendungssysteme zu entwickeln.

Laut Foidl und Felderer (2016) bietet Industrie 4.0 auch großes Potential für die Bereiche des Qualitätsmanagements durch eine Verbesserung der Produkt-, Prozess- und Servicequalität. Produkte werden intelligent und somit zum Schlüsselbestandteil in der

Informationsinfrastruktur eines Unternehmens. Dies ermöglicht bspw. automatisches Monitoring und zunehmende Kontextsensitivität, was wiederum zur Performancesteigerung von IT-Systemen beitragen kann. Das QM kann diese neuen Daten und Informationen für bessere Evaluationen und letztendlich zur Entscheidungsunterstützung nutzen. Dabei bedeutet ein modernes QM nicht einfach nur weniger Fehler zu machen, sondern insgesamt die Effizienz der Unternehmensprozesse zu erhöhen. Des Weiteren beschäftigen sich Foidl und Felderer mit den Chancen und Herausforderungen von Industrie 4.0 für das Qualitätsmanagement, welche sich aus der horizontalen und vertikalen Integration sowie der Durchgängigkeit des digitalen Engineerings ergeben. Die Kombination und Aggregation von Daten aus zahlreichen, teils unterschiedlichen Quellen bieten neue Möglichkeiten zur Nutzung dieser Informationen für das QM. So können z.B. neue Key-Performance-Indicators zum Monitoring und Nachvollziehen der Produktionsprozesse entwickelt werden. Die Kenntnis von Maschinenzuständen erlaubt die Durchführung von vorausschauender Wartung (predictive maintenance). Durch Simulationen und Modellierungen können Prozesse vorab virtuell optimiert werden, bevor sie in der Realität umgesetzt werden (Fehlervermeidung). Darüber hinaus können die Mitarbeiter des QMs durch Industrie 4.0 Assistenzsysteme (augmented reality) unterstützt werden. Eine Herausforderung ist es dabei jedoch, die Daten transparent und für den Anwender verständlich darzustellen. Eine dichte horizontale Integration ermöglicht eine kundenspezifische Koordination aller Aktivitäten entlang der Wertschöpfungskette sowie die Eingliederung der Lieferanten. Durch Industrie 4.0 Konzepte können sich die Maschinen mit cloudbasierten Plattformen verbinden und relevante Informationen (z.B. Funktionsdaten) herunterladen, oder auch nach Experten suchen, die predictive maintenance durchführen. Dennoch ist es weiterhin eine große Herausforderung, Qualität entlang der globalen Wertschöpfungsketten zu managen, da die einzelnen Teilnehmer unterschiedliche Qualitätsziele und Kapazitäten haben (vgl. Foidl und Felderer (2016)). Somit wird deutlich, dass Rahmenbedingungen zu etablieren sind, die ein unternehmensübergreifendes QM innerhalb von Wertschöpfungsnetzwerken ermöglichen.

Die bisherige Literatur enthält bereits einige Ansätze und Konzepte, jedoch sind diese meist isoliert, d.h. entweder im Bereich QM oder Industrie 4.0. Aus der Literaturanalyse wird zudem deutlich, dass bisher kein Modell existiert, welches die Themenbereiche abdeckt und die Zusammenhänge, Wechselwirkungen und Einflüsse darstellt. Auch die Aspekte eines unternehmensübergreifenden Qualitätsmanagements, welches in Zeiten der voranschreitenden Digitalisierung und Vernetzung zunehmend an Relevanz gewinnt, finden bisher nur wenig Beachtung.

Es wird deutlich, dass vielfältige Relationen zwischen den einzelnen Elementen existieren, die zudem teilweise sehr komplex sind. Es ist ersichtlich, dass das zentrale Verbindungsstück dabei der digitale Zwilling ist: Dieses Kern-Konzept basiert auf Industrie 4.0 Elementen und bietet vielfältige Potentiale für ein digitalisiertes und wirksames QM. Sowohl die ISO-Normen zum Qualitätsmanagement als auch der EFQM-Ansatz sind weit verbreitete und anerkannte Konzepte in der betrieblichen Praxis. Sie werden regelmäßig überarbeitet und an neue Anforderungen und Entwicklungen angepasst. So wurde bspw. ein Risikomanagement für Prozesse in die ISO 9001:2015 integriert. Dennoch sind weder im Prozessmodell der ISO-Norm noch im EFQM-Modell Aspekte der Digitalisierung vorhanden. Auch die vier grundlegenden Konzepte von Industrie 4.0 sind bisher nicht Bestandteil von QMS. Für die Querschnittsdisziplin Qualitätsmanagement spielen zudem die horizontale und vertikale Integration sowie die digitale Durchgängigkeit des Engineerings eine bedeutsame Rolle. Somit ist ein besonderer Faktor der intra- und auch inter-organisationalen Ausbau der Kooperation (horizontale Integration), und zwar nicht nur im Bereich von Produktion und Logistik, sondern insbesondere auch in der Domäne des QMs. Durch eine verstärkte Kooperation im Wertschöpfungsnetzwerk lässt sich folglich ein unternehmensübergreifendes QM realisieren. Aus diesen Erkenntnissen erschließt sich somit die Motivation zur Entwicklung eines Referenzmodells, um die verflochtene und unübersichtliche Realität in komplexitätsreduzierter Form abbilden und kritische Erfolgsfaktoren ableiten zu können. Die Literaturanalyse hat eine Forschungslücke bzgl. einer kombinierten Betrachtung eines (unternehmensübergreifenden) Qualitätsmanagements im Industrie 4.0 Kontext sowie ihrer Wirkzusammenhänge aufgedeckt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass

- die QM-Prinzipien aus der ISO Normenreihe und dem EFQM-Ansatz,
- das Konzept des digitalen Zwillings und der damit einhergehende digitale rote Faden sowie
- die Fokussierung auf den Produktlebenszyklus

besonders relevante Aspekte darstellen und als Input für das zu entwickelnde Referenzmodell dienen. Schließlich erfolgt somit eine Einordnung von Industrie 4.0 in die einzelnen Bestandteile eines Qualitätsmanagements, das unternehmensübergreifend ausgerichtet ist.

3 Referenzmodell "QM-Haus 4.0"

Wie jedes Modell stellt auch ein Referenzmodell ein vereinfachtes Abbild der realen Welt und somit eine Reduzierung komplexer Wirkzusammenhänge dar. Referenzmodelle dienen insbesondere der inhaltsbezogenen Unterstützung bei der Konstruktion von konkreten Anwendungsmodellen. Daher ist die Wiederverwendbarkeit der enthaltenen Informationen ein zentraler Aspekt (vgl. vom Brocke (2003), Schlagheck (2000)).

Aus den Erkenntnissen der Literaturlauswertung ergeben sich einige Anforderungen an das Referenzmodell. Da der Faktor Information eine immer wichtigere Rolle einnimmt, ist es erforderlich, konkrete Informationsbedarfe festzulegen, also welche Information in welcher Form hinsichtlich Aktualität und Güte notwendig ist (vgl. Lachenmaier et al. (2015)). Des Weiteren gilt es die QM-Prinzipien und Grundsätze von Industrie 4.0 zu berücksichtigen. Zudem sind Planungs-, Dokumentations- und Steuerungskomponenten sinnvoll, um ein ganzheitliches QM-System abzubilden (vgl. Hoffmann (1999)). Darüber hinaus stellt die Kompatibilität zu bereits etablierten QM-Systemen eine wichtige Anforderung dar.

Um die aufgedeckte Forschungslücke zu schließen, zielt das zu entwickelnde Referenzmodell darauf ab, eine verbesserte Informationsstruktur sowie Qualitätssteigerung zu ermöglichen und Erfolgsfaktoren sowie Optimierungspotenziale zu identifizieren.

Bei der Entwicklung des Referenzmodells finden die Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung nach Becker (1995)/Schütte (1998) sowie die Konstruktionstechniken gemäß vom Brocke (2003) Beachtung und Anwendung. Zunächst wird der Modellrahmen erstellt, der die Bestandteile des Referenzmodells enthält. Darauf aufbauend wird die Modellstruktur bestimmt, wobei die zuvor aufgestellten Modellanforderungen als Grundlage dienen.

Das entwickelte Referenzmodell wird anschließend verschiedenen Experten aus der Praxis in semi-strukturierten Interviews vorgestellt und erläutert. Basierend auf dieser Evaluation werden schließlich einige Anpassungen am Modell vorgenommen.

Das final entwickelte Referenzmodell „QM-Haus 4.0“ ist in Abbildung 1 dargestellt und zeigt den Aufbau eines Industrie 4.0 orientierten Qualitätsmanagements. Die Darstellung in Form eines Hauses ist eine gängige Illustration, um Ebenen und Hierarchien zu veranschaulichen: Es enthält eine normative Ebene, die die übergeordnete Qualitätspolitik (Q-Politik) eines Unternehmens umfasst und somit als Dach bezeichnet werden kann. Die Q-Politik stellt den Handlungsrahmen dar, um bspw. die Qualitätsziele festzulegen.

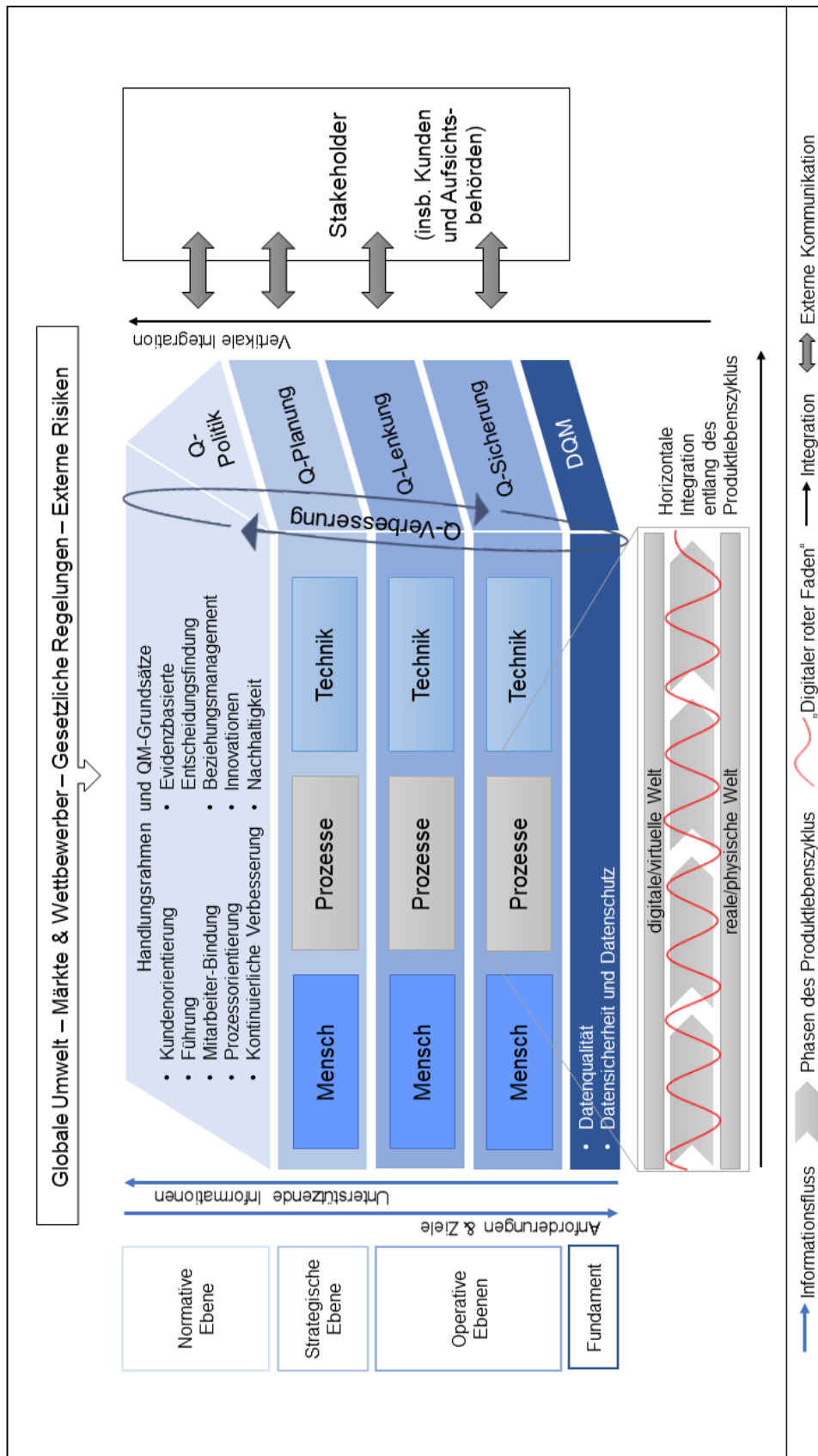


Abbildung 1: Referenzarchitekturmodell "QM-HAUS 4.0"

Zudem beinhaltet diese Ebene die QM-Grundsätze Kundenorientierung, Führung, Mitarbeiter-Bindung, Prozessorientierung, Kontinuierliche Verbesserung, evidenzbasierte Entscheidungsfindung, Beziehungsmanagement, Innovationen und Nachhaltigkeit.

Auf der darunterliegenden Ebene, die die Managementprozesse enthält, wird eine strategische Perspektive eingenommen. Hier werden im Rahmen der Qualitätsplanung (Q-Planung) die erforderlichen qualitätsbezogenen Ressourcen und Prozesse mittelfristig geplant. Dabei erfolgt eine detaillierte Ermittlung der Kundenanforderungen, wofür eine unternehmensübergreifende Zusammenarbeit mit den beteiligten Akteuren notwendig ist. So ist z.B. die Vernetzung über eine Plattform denkbar, die Tools zur Ressourcenplanung zur Verfügung stellt. Die relevanten Daten der am Prozess beteiligten Unternehmen könnten dort gebündelt werden und für unternehmensübergreifende Zwecke zur Verfügung gestellt werden. Durch Prognosen können bspw. etwaige Engpässe frühzeitig erkannt werden und durch die Partnerunternehmen im Netzwerk abgemildert werden. Des Weiteren ist auch der Einsatz von neuartigen Industrie 4.0 Komponenten sowie der Einsatz neuer Software strategisch und qualitätsbezogen zu planen, um die Implementierung zu unterstützen und erforderliche Voraussetzungen zu schaffen. Die Einführung neuer IT-Systeme ist aufwändig und erfordert eine frühzeitige und umfassende Planung inkl. Schnittstellenanalyse. Dabei sind u.a. Umstrukturierungen, veränderte Prozesse und Workflows sowie Schulungen für das Personal zu berücksichtigen.

Die darunterliegenden Ebenen stellen die operative Sichtweise dar und dienen der kurzfristigen Umsetzung von Geschäftsprozessen auf der Qualitätslenkungs-Ebene (Q-Lenkung) bzw. von Unterstützungsprozessen auf der Qualitätssicherungs-Ebene (Q-Sicherung).

Die Q-Lenkung umfasst neben korrektiven Qualitätsmaßnahmen insbesondere auch präventive und vorausschauende Aktivitäten in allen Phasen des Produktlebenszyklus, z.B. durch Prognosen und Simulationen. Dies ermöglicht sowohl Vor- als auch Rücksprünge zwischen den Lebenszyklusphasen. Da in den einzelnen Phasen unterschiedliche Akteure beteiligt sind, sind die Aktivitäten zum einen innerbetrieblich und zum anderen auch unternehmensübergreifend auszurichten.

Die Q-Sicherung umfasst qualitätssichernde Maßnahmen wie bspw. die QM-Dokumentationen sowie Mitarbeiterschulungen, Audits und Zertifizierungen. Die Digitalisierung bietet hier neue Möglichkeiten der Verwaltung und Archivierung der Dokumente, z.B. durch digitale Akten, auf die schnell und jederzeit zugegriffen werden kann.

Die kontinuierliche Verbesserung der Qualitätsfähigkeit (Q-Verbesserung) erfolgt einerseits entlang des Produktlebenszyklus und andererseits über alle Ebenen des QM-Hauses hinweg. Vor dem Hintergrund von Digitalisierung und Industrie 4.0 gilt es also zu prüfen, inwiefern durch den Einsatz von Industrie 4.0 Anwendungen Qualitätsverbesserungen zu erzielen sind.

Die Basis bildet schließlich ein Datenqualitätsmanagement (DQM), da Daten ein elementarer Bestandteil aller Unternehmensprozesse sind. In der heutigen Informationsgesellschaft ist eine hohe Qualität der Daten unerlässlich. Folglich muss ein DQM alle Dimensionen der Datenqualität unterstützen. Die grundlegenden Aspekte sind dabei die Korrektheit, Konsistenz (d.h. Widerspruchsfreiheit), Vollständigkeit, Aktualität und Verfügbarkeit der Daten (vgl. Otto und Österle (2016)). Die Datenqualitätsdimensionen lassen sich zudem um die Merkmale Zuverlässigkeit, Genauigkeit, Relevanz, Einheitlichkeit, Eindeutigkeit, Verständlichkeit und Redundanzfreiheit ergänzen (vgl. Zollondz et al. (2016)). Die Datenqualität ist auf allen Ebenen zu gewährleisten, damit eine fundierte Entscheidungsfindung möglich. Da die relevanten Daten oftmals aus verschiedenen IT-Systemen und -Anwendungen stammen, sind geeignete Schnittstellen erforderlich, um Datenverluste zu vermeiden und die Daten integriert aufzubereiten und für die geforderten Zwecke auf den anderen Ebenen zur Verfügung stellen zu können. Dafür sind bspw. ETL-Prozesse festzulegen, um die Daten in eine Datenbank zu laden und dort zu verwalten.

Wie anhand der vertikalen Pfeile zu erkennen ist, kommunizieren die Ebenen miteinander: Die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Ebenen bestehen in Form von Informationsflüssen. Dabei werden die Anforderungen und Ziele „von oben nach unten“ vorgegeben. In der entgegengesetzten Richtung dienen die Daten und Informationen zur Unterstützung der Q-Politik und Zielerreichung. Die Aspekte der horizontalen und vertikalen Integration werden ebenfalls durch Pfeile dargestellt. Darüber hinaus erfolgt eine externe Kommunikation mit den relevanten Stakeholdern, insbesondere mit den Kunden und Aufsichtsbehörden. Dabei sind die unterschiedlichen Interessen der verschiedenen Stakeholder in Betracht zu ziehen. Durch die voranschreitende Digitalisierung und Vernetzung werden Unternehmens-Kooperationen in Wertschöpfungsnetzwerken wichtiger denn je. Dabei erfolgt eine Abgrenzung zu anderen Netzwerken, so dass die Konkurrenz mehr und mehr zwischen verschiedenen Partnerschaftsnetzwerken besteht als zwischen einzelnen Unternehmen. Damit einhergehend steigt auch die Relevanz der externen Kommunikation zwischen den zahlreichen beteiligten Unternehmen. Aus der bisherigen Erläuterung der einzelnen Ebenen wird deutlich, dass die Aspekte der Kooperation und des Einbezugs der relevanten Stakeholder auf jeder Q-Ebene existieren.

Schließlich ist das gesamte QM eines Unternehmens auch den Einflüssen der sonstigen Umwelt sowie externen Risiken ausgesetzt. Aktivitäten der Konkurrenz und Entwicklungen des Marktes sind stets zu berücksichtigen, um die eigenen Aktivitäten anzupassen und hinsichtlich Qualitäts- und Industrie 4.0-bezogenen Themen nicht abgehängt zu werden. Darüber hinaus besteht eine Vielzahl an externen, teils unvorhersehbaren Risiken, die mittels eines geeigneten Risikomanagements im Einklang mit dem QM zu behandeln sind.

Sowohl auf der strategischen Ebene als auch auf den operativen Ebenen sind jeweils die drei Kategorien Mensch, Prozesse und Technik abgebildet. Im Bereich *Mensch* ist bspw. festzulegen, welche Fähigkeiten (Hard Skills und Soft Skills) die Mitarbeiter zur Erfüllung ihrer Aufgaben benötigen. Ein weiterer Aspekt sind gezielte Schulungen und Trainings zum Themenkomplex Industrie 4.0 und Qualitätsmanagement. Mit der Kategorie *Prozesse* wird die Prozessorientierung unterstützt, insbesondere auf den Ebenen der Q-Planung, Q-Lenkung und Q-Sicherung. Der Produktlebenszyklus bildet dabei das Herzstück des Modells. Der digitale rote Faden dient als kontinuierliche Verbindung zwischen realer und virtueller Welt und unterstützt damit das zentrale Konzept des digitalen Zwillings. Zudem gibt der digitale rote Faden auch das Industrie 4.0 Konzept der digitalen Durchgängigkeit des Engineerings über alle Phasen des Produktlebenszyklus wieder. Hierbei findet auch eine unternehmensübergreifende Betrachtung statt, da in den unterschiedlichen Phasen unterschiedliche Unternehmen und Akteure beteiligt sind. Die Kategorie *Technik* beinhaltet schließlich die IT-Systeme und Industrie 4.0 Anwendungen, die in den verschiedenen Phasen des Produktlebenszyklus eingesetzt werden und das QM unterstützen. Insgesamt handelt es sich somit bei einem Industrie 4.0 orientierten QM um ein sozio-technisches System, d.h. Mensch und Technik setzen „gemeinsam“ die Prozesse entlang des Lebenszyklus um. Die daraus resultierenden Erkenntnisse (z.B. durch Auswertung der Daten) dienen dem gesamten QM und unterstützen die Entscheidungsfindung hinsichtlich qualitätsrelevanter Sachverhalte und Problemstellungen.

4 Diskussion

Um die Anwendbarkeit beispielhaft zu verdeutlichen, können Triebwerke betrachtet werden. Diese weisen eine hohe technische Komplexität auf und in der gesamten Luftfahrtbranche herrschen äußerst hohe Sicherheits- und Qualitätsanforderungen.

Die Referenzarchitektur „QM-Haus 4.0“ wurde als Ebenen-Modell konstruiert, um hierarchische Zusammenhänge darzustellen und die einzelnen QM-Elemente in verschiedene Perspektiven (operativ, strategisch, normativ) einzuordnen. Auf den Ebenen sind dann die jeweiligen Einzelheiten zu bestimmen. Zudem wird durch die Modellierung der Ebenen die Prozessorientierung unterstützt: Während auf der strategischen Ebene die übergeordneten Managementprozesse stattfinden, beinhalten die beiden operativen Ebenen die Geschäfts- und Unterstützungsprozesse. Den Kern des Modells bildet dabei die Einbindung des gesamten Lebenszyklus eines Produkts oder einer Maschine in das QM-System. Zwar sind die vertikale und horizontale Integration elementare Konzepte im Industrie 4.0 Umfeld und folglich auch im Rahmen eines umfassenden QMs zu berücksichtigen, jedoch stellen die Schnittstellen, technisch wie auch personell (d.h. zwischen verschiedenen Fachbereichen), potentielle Gefahren dar, bspw. in Form von Informationsverlusten. Ein Aspekt, der auf allen Ebenen auftritt, ist die Notwendigkeit, die Kooperation mit anderen Unternehmen aus dem Wertschöpfungsnetzwerk auszubauen und die Interessen aller Stakeholder einzubeziehen, um u.a. Konsens über die Q-Politik und Q-Ziele zu erreichen. Eine essentielle Voraussetzung dafür ist jedoch die Kommunikations- und Kooperationsfähigkeit der beteiligten Unternehmen. Folglich liegt der Fokus beim Beziehungsmanagement auf der Gegenseitigkeit des Nutzens. Daher muss ein Unternehmen analysieren, inwiefern es bereit ist, sein Wissen mit anderen zu teilen. Dabei wird es wichtiger denn je, Vertrauen zu schaffen, um sicherstellen zu können, dass Daten nicht zum Nachteil eines Unternehmens „ausgenutzt“ werden. Darüber hinaus verursacht ein umfassendes Beziehungsmanagement entlang des Lebenszyklus einen hohen Koordinationsaufwand, der mit Kosten verbunden ist. Folglich ist hier eine Abwägung in Form einer Kosten-Nutzen-Analyse zu treffen, wobei der Nutzen jedoch häufig nicht eindeutig quantifizierbar ist.

Die strategische Qualitätsplanung ist durch den Einbezug von Industrie 4.0 Komponenten zu erweitern und ebenfalls auf den gesamten Produktlebenszyklus auszurichten. So ist bspw. die Anforderungsanalyse nicht nur hinsichtlich der Qualitätsbedarfe durchzuführen, sondern auch im Hinblick auf Anforderungen und Voraussetzungen für den Einsatz von IT-Systemen und Industrie 4.0 Anwendungen. Folglich sind IT-Experten und –Berater in die Planungen mit einzubeziehen.

Im Rahmen der Q-Lenkung entlang des Produktlebenszyklus zeigt sich das größte Potential in der Instandhaltungsphase, da u.a. durch die Auswertung von Zustandsdaten

Optimierungspotentiale aufzudecken sind, bspw. hinsichtlich Sensoranzahl und -position sowie Lagerhaltung von Ersatzkomponenten. So belaufen sich z.B. die Instandhaltungsmaßnahmen an Flugzeugtriebwerken auf etwa 30% der gesamten Instandhaltungskosten eines Flugzeugs (Vgl. Mensen (2013)). Demnach sind die Instandhaltungstätigkeiten ein lohnenswerter Ansatzpunkt für das QM, um bspw. die Wartungskosten zu senken und die Qualität zu steigern.

Die Q-Sicherung kann ebenfalls durch Industrie 4.0 Komponenten unterstützend ergänzt werden, um in erster Linie das Qualitätsimage des Unternehmens zu fördern und Vertrauen zu schaffen. Auch hinsichtlich der hohen Dokumentationsanforderungen ist die Fokussierung auf den gesamten Produktlebenszyklus hilfreich. Dabei ist die Vermeidung von Medienbrüchen eine essentielle Voraussetzung für eine „Qualitätssicherung 4.0“ (Vgl. Artischewski (2014)). Des Weiteren lassen sich bspw. durch Remote-Audits Kosten und Zeitaufwand des Auditpersonals reduzieren. Zudem kann durch die digitale Aufzeichnung im Anschluss direkt eine digitale Auswertung erfolgen. Es ist dabei jedoch notwendig, Anforderungen zur Durchführbarkeit von Remote-Audits festzulegen, um die Datensicherheit und auch den Datenschutz sicherzustellen.

Für die Stabilität des QM-Hauses ist ein solides Fundament essentiell. Die Prozesse und Ergebnisse auf den darüberliegenden Ebenen hängen in hohem Maße von der Beschaffenheit der Daten und Informationen ab. In der heutigen Informationsgesellschaft haben Informationen für das QM eine besonders hohe Relevanz. Dabei zeigt sich sowohl in der Theorie als auch in der Praxis, dass dafür ein Datenmanagement eine fundamentale Voraussetzung ist und als Erfolgsfaktor für Industrie 4.0 bezeichnet wird. Hierfür sind Standards für einen informationsverlustfreien Datenaustausch, sowohl intern als auch unternehmensübergreifend, zu definieren. Zur Sicherstellung einer adäquaten Datenqualität und -sicherheit ist zudem eine interdisziplinäre Zusammenarbeit mit dem IT-Bereich erforderlich. So sind bspw. die unterschiedlichen IT-Systeme innerhalb eines Unternehmens sowie auch zwischen Unternehmen aufeinander abzustimmen bzw. mit möglichst wenig Informationsverlust an den Schnittstellen zu integrieren. Dabei gilt es auch festzulegen, welche Informationen geteilt werden sollen.

Es bleibt festzuhalten, dass die normative sowie die strategische Ebene am wenigsten durch die Industrie 4.0 Entwicklungen beeinflusst werden. Die Hauptpotentiale liegen in den operativen Prozessen (Geschäftsprozesse und Unterstützungsprozesse), um die Tätigkeiten zu unterstützen und schließlich Produktqualität zu realisieren und gewährleisten. Die Fokussierung auf den Lebenszyklus ist ein zentraler Aspekt von Industrie 4.0. Die Prozessorientierung ist Kernelement von ISO Norm und EFQM-Ansatz. In Kombination ergibt sich daraus die Relevanz, die Prozesse entlang des Lebenszyklus als Kernstück des Modells darzustellen. Dies wurde im Referenzmodell umgesetzt, indem

der Lebenszyklus in die Ebenen der Qualitätsplanung, -lenkung und -sicherung integriert wurde. Des Weiteren wurden die QM-Bestandteile bzw. Ebenen durch die Bausteine Mensch und Technik, die über die Prozesse mit einander verbunden sind, selbst als sozio-technische Systeme modelliert. Durch die Prozessorientierung entlang des Lebenszyklus eines Produkts findet zudem eine unternehmensübergreifende Kooperation aller beteiligten Akteure statt. Der Fokus liegt insgesamt auf der horizontalen Integration, auch über Unternehmensgrenzen hinweg.

Im Hinblick auf die Anforderungen, die vorab an das Referenzmodell gestellt wurden, ist zu konstatieren, dass die geforderten Planungs-, Steuerungs- und Dokumentationskomponenten als Bestandteile des QMs sowie externe Einflüsse im Referenzmodell berücksichtigt werden. Dass Daten und Informationen eine Schlüsselrolle spielen und die Informationsbedarfe auf jeder Ebene zu identifizieren und definieren sind, wird ebenfalls im Modell berücksichtigt. ETL-Prozesse wurden hingegen nicht explizit dargestellt

Die Chancen aus der Kombination von Industrie 4.0 und QM, d.h. aus dem Einsatz von Industrie 4.0 Anwendungen im QM wie (z.B. für Flugzeugturbinen) sind vielfältig. Zum einen kann eine verbesserte Entscheidungsunterstützung, bspw. hinsichtlich Qualitätsmaßnahmen, durch die Auswertung von qualitätsbezogenen Daten erreicht werden. Durch das permanente und allgegenwärtige Vorhandensein von Daten können die Reaktionen schneller und nahezu in Echtzeit erfolgen. Zum anderen kann die Qualität und Effizienz eines Triebwerks in der Nutzungsphase verbessert oder mindestens aufrechterhalten werden, indem durch eine vorausschauende Wartung mittels Simulationen frühzeitige Maßnahmen eingeleitet werden können. Darüber hinaus wird in der Literatur wie auch in der Praxis die Chance gesehen, die Mitarbeiter mit Industrie 4.0 Assistenzsystemen auszustatten, um den Fokus auf die Kerntätigkeit zu lenken und schließlich die Qualität aufgrund weniger Ablenkung und Schreibarbeiten zu steigern.

Das Konzept des digitalen Zwillings findet auch insbesondere in der Luftfahrtpraxis Anwendung und ist ein wichtiger Bestandteil eines Industrie 4.0 orientierten QMs. Auch hierfür ist ein Datenmanagement erforderlich, da integrierte Daten und Informationen die Voraussetzung für einen digitalen Zwilling darstellen. Potentiale ergeben sich bspw. dadurch, virtuelle Flüge durchzuführen (Kostensparnis), um die Auswirkungen auf die Triebwerke zu simulieren und Intentionen für die Entwicklung daraus abzuleiten. Des Weiteren können durch die Auswertung von aktuellen Zustandsdaten eines Triebwerks unnötige Wartungsarbeiten vermieden und die Wartungszyklen optimiert werden, wovon sowohl die Instandhaltungsunternehmen als auch die Kunden (z.B. Fluggesellschaften) profitieren. Darüber hinaus können die anfallenden Daten genutzt werden, um die Prozesse effizienter zu gestalten. In der Praxis bestehen zudem vielfältige Optimierungsprobleme (z.B. in Bezug auf die Sensorik oder Lagerhaltung von Ersatzkomponenten), die mittels digitaler Technologien und Analysen gelöst werden können.

Weitere Chancen ergeben sich bspw. auch durch neue, digitale QM-Methoden wie Remote-Audits.

Aufgrund der Integration des Produktlebenszyklus in den Kontext des QMs liegt der Fokus auf dem gesamten Lebenszyklus eines Triebwerks, um alle Beteiligten in den unterschiedlichen Phasen der Entwicklung, Fertigung, Nutzung und Instandhaltung einzubeziehen. Durch verstärkte Kooperation auf allen Ebenen, sowohl intern bzw. fachbereichsübergreifend als auch extern bzw. unternehmensübergreifend können Synergieeffekte realisiert werden, bspw. durch die Weitergabe von Wissensinhalten.

Darüber hinaus wird durch die Digitalisierung der Prozesse eine verbesserte Effizienz sowie eine erhöhte Transparenz erreicht, z.B. durch eine Produktrückverfolgbarkeit, die jederzeit möglich ist. Damit lassen sich auch neue Qualitätsservices entwickeln, die für Mitarbeiter und Kunden einen Mehrwert bieten.

Den aufgeführten Chancen stehen auch einige Herausforderungen gegenüber, die bei der Planung und Umsetzung eines Industrie 4.0 orientierten QMs zu beachten sind. Eine große Herausforderung ist die Abstimmung und Gewährleistung von Qualität entlang der globalen Wertschöpfungsketten bzw. in Wertschöpfungsnetzwerken über einzelne Unternehmensgrenzen hinweg. Dabei stellt die Bereitschaft der Unternehmen, interne Planungsdetails zu offenbaren eine erhebliche Hürde bei der Ausweitung der zwischenbetrieblichen Kooperationen dar. Auch Mängel in den Bereichen Datensicherheit und Datenschutz wirken sich negativ auf die Kooperationsfähigkeit aus. Darüber hinaus erfordert eine verstärkte Kooperation auch eine höhere Koordination der Tätigkeiten, was wiederum mit zusätzlichem Aufwand verbunden ist. Eine grundlegende Voraussetzung für den Einbezug und die Umsetzung von Industrie 4.0 Anwendungen ist eine adäquate IT-Infrastruktur. Die Infrastruktur muss bei allen beteiligten Unternehmen vorhanden sein, bspw. für den Datentransfer oder die Durchführbarkeit von Remote-Audits. Hier sind Investitionen erforderlich, sowohl zur Einführung neuer als auch zur Pflege und Aufrechterhaltung bestehender IT-Systeme. Eine Barriere kann dabei die Zögerlichkeit von Unternehmen darstellen, in IT-Systeme zu investieren, besonders wenn der zukünftige Nutzen nicht genau quantifizierbar ist

Im Hinblick auf die Zunahme und Ausweitung von sozio-technischen Systemen und der voranschreitenden Verschmelzung von realer und digitaler bzw. virtueller Welt sind die sogenannten Human Factors weiterhin besonders relevant. Der Mensch stellt einen Risikofaktor dar und sollte daher auch weiterhin im Fokus einer digitalisierten Industrie stehen. Darüber hinaus können Akzeptanzprobleme der Mitarbeiter gegenüber neuen Technologien, Anwendungen und Prozessen bestehen. Hier kann bspw. mittels geeigneter Schulungen entgegengewirkt werden. Zudem werden sowohl Triebwerke als auch die IT-Systeme immer komplexer und somit auch fehleranfälliger.

Die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung führt zu einer steigenden Interdisziplinarität. Zwar ist das QM selbst auch bereits als Querschnittsfunktion ausgerichtet, jedoch entsteht durch die voranschreitende digitale Vernetzung eine neue Form bzw. Intensität der fachbereichsübergreifenden Zusammenarbeit. Dabei liegt eine erhebliche Herausforderung darin, die anfallenden Daten zu integrieren, um eine hohe Konsistenz und Redundanzfreiheit zu erreichen.

Zwar können durch die verstärkte Kooperation im Netzwerk Synergieeffekte erzielt werden, jedoch sind die höheren Koordinationsaufwände sowie Transaktionskosten zu berücksichtigen. Darüber hinaus besteht das Risiko, dass Partnerunternehmen netzwerk-internes Wissen nach außen tragen.

Schließlich lässt sich festhalten, dass sowohl Chancen als auch Herausforderungen mit der Implementierung und Ausführung eines Industrie 4.0 orientierten QMs verbunden sind, die die Unternehmen abwägen müssen.

Das entwickelte Referenzmodell stellt eine Grundlage dar und kann als Unterstützung bei der Digitalisierung eines QM-Systems genutzt werden. Dennoch gibt es einige Limitationen zu beachten, denen die angewandten Forschungsmethodiken unterliegen. Die Grundlage dieser Arbeit bildete der problemorientierte Design Science Research-Ansatz zur Konstruktion eines Artefakts. Die Ausgestaltung der einzelnen Phasen innerhalb der Design Science Vorgehensweise wurde durch die Auswahl bestimmter Methoden konkretisiert, die wiederum ebenfalls einigen Limitationen unterliegen.

Zur Problemdefinition und -beschreibung wurde eine strukturierte Literaturanalyse nach der Methode von Webster und Watson durchgeführt. Hierbei stellt die Festlegung der deutschen und englischen Suchbegriffe eine erste Beschränkung dar. Der verwendete Suchbegriff „Modell“ wurde bewusst so allgemein gehalten, um das Auffinden von unterschiedlichen Modellarten (wie bspw. Vorgehens-, Reifegrad- oder Referenzmodell) zu ermöglichen und einen umfassenden Überblick existierender Modelle zu erhalten. Es ist denkbar, dass darüber hinaus weitere themenrelevante Begriffe und Synonyme zur Auffindung von signifikanter Literatur erforderlich sind. Ferner ist zu beachten, dass aufgrund der gewählten Suchbegriffe nur deutsch- und englischsprachige Literatur berücksichtigt wurde. Zudem können Artikel dem Suchraster entgangen sein, die andere länderspezifische Begriffe verwenden. Das Schlagwort „Industrie 4.0“ ist hauptsächlich im deutschsprachigen Raum verbreitet, wohingegen im englischsprachigen Bereich eher die Bezeichnungen *Digitization* und *Industrial Internet* Verwendung finden anstelle von „Industry 4.0“. Somit gibt die Literaturanalyse nur einen Ausschnitt wieder und kann keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben. Bezüglich der analysierten Literatur zum Qualitätsmanagement ist zu beachten, dass die Normen und Standards sowie die Ansätze zur Umsetzung sehr praxisnah sind und vor allem auf

Best-Practice Erfahrungen beruhen (insbesondere der EFQM-Ansatz), sodass es teilweise an wissenschaftlicher Fundierung mangelt. Dennoch eignete sich die Literaturanalyse zur Problemdefinition, indem eine Forschungslücke aufgedeckt werden konnte.

Für die Konstruktion des Artefakts wurde die Referenzmodellierung nach vom Brocke gewählt. Dabei wurde das Referenzarchitekturmodell „QM-Haus 4.0“ durch eine Kombination aus Aggregation, Konfiguration und Spezialisierung sowie durch die Gestaltung neuer Elemente entwickelt. Es gilt jedoch zu beachten, dass ein Referenzmodell, wie jedes Modell, lediglich ein vereinfachtes Abbild der Realität wiedergibt. Die Wirklichkeit bzw. betriebliche Praxis gestaltet sich durchaus komplexer. Dennoch können durch die Komplexitätsreduktion des Modells die Wirkzusammenhänge strukturiert anhand von verschiedenen Ebenen dargestellt werden. So findet einerseits eine Betrachtung des „großen Ganzen“ statt. Andererseits erfolgt eine Konkretisierung und Spezifizierung auf den einzelnen Prozessebenen. Schließlich kann festgehalten werden, dass das entwickelte Referenzmodell insgesamt seinen Zweck erfüllt und eine Beantwortung der aufgestellten Forschungsfragen ermöglicht und unterstützt hat.

5 Kritische Erfolgsfaktoren

Nachfolgend wird auf die kritischen Erfolgsfaktoren eingegangen, die für die Realisierung eines effektiven Industrie 4.0 orientierten Qualitätsmanagements zu berücksichtigen sind. Darauf aufbauend werden schließlich Handlungsempfehlungen für die Praxis abgeleitet. Dabei kann zwischen den Ansatzpunkten Mensch, Prozesse und Technik unterschieden werden, wie in Abbildung 2 dargestellt.

Ein grundlegender Faktor ist, dass den beteiligten Akteuren die Relevanz der Verschmelzung von einem umfassenden Qualitätsmanagement mit Industrie 4.0 Anwendungen bewusst ist. Daher sind die im Rahmen dieser Arbeit aufgezeigten Zusammenhänge und Wechselwirkungen der Themenbereiche zur Verdeutlichung hilfreich. Um eine unternehmensübergreifende Orientierung des QMs zu realisieren, sind die Existenz von gegenseitigem Vertrauen und die Ausweitung der zwischenbetrieblichen Kooperationen im Wertschöpfungsnetzwerk essentiell. Dafür bedarf es einer deutlichen Verbesserung der Kommunikation, sowohl intern zwischen Fachbereichen als auch extern mit den Stakeholdern. Darüber hinaus gilt es, die Kooperationsbereitschaft und -fähigkeit der Unternehmen zu fördern. Hierfür sind dauerhafte Rahmenbedingungen zu etablieren, die eine frühzeitige (d.h. vom Beginn des Lebenszyklus) und durchgängige Zusammenarbeit ermöglichen und unterstützen. Dies lässt sich z.B. mittels Internet-Plattform oder Workshop zur gemeinsamen Abstimmung der Q-Ziele realisieren.

Des Weiteren sind die Kompetenzen und Fähigkeiten der Mitarbeiter als weiterer Erfolgsfaktor zu bezeichnen. Hier besteht Handlungsbedarf hinsichtlich der Stärkung der

Mitarbeiterqualifikation. Es gilt, die Mitarbeiter zu befähigen, mit den Industrie 4.0 Anwendungen umgehen zu können.

Auf Prozessebene ist die Fokussierung auf den gesamten Produktlebenszyklus als kritischer Erfolgsfaktor zu nennen. Um das Industrie 4.0 Konzept der digitalen Durchgängigkeit umsetzen zu können, gilt es, den Lebenszyklus in die IT-Systeme zu integrieren.

Digitale und transparente Prozessabläufe ermöglichen darüber hinaus, dass die Qualität überwachbar und jederzeit überprüfbar ist. So können Optimierungspotentiale schneller und einfacher erkannt und realisiert werden. Um die Transparenz der Unternehmensprozesse zu erreichen, ist es erforderlich, ein wirkungsvolles und möglichst transparentes QMS zu implementieren und international anerkannte Standards, wie die ISO-Normen oder den EFQM-Ansatz, zu befolgen. Des Weiteren ist ein Dokumentenmanagementsystem für die umfangreiche Verwaltung, d.h. Erfassung, Speicherung und Bereitstellung, von Informationen empfehlenswert, um die Geschäftsprozesse zu unterstützen. Folglich spielt der Einsatz geeigneter Software eine wesentliche Rolle, um transparente Prozesse zu verwirklichen. Die Transparenz fördert die Nachvollziehbarkeit und das Vertrauen, sowohl für Mitarbeiter als auch für Kunden und andere Geschäftspartner. Zudem kann durch die Prozesstransparenz die Q-Lenkung verbessert werden.

Des Weiteren ist eine adäquate Informationsversorgung für den Unternehmenserfolg unerlässlich. Die anfallenden Datenmengen müssen effizient gemanagt werden, um schließlich wertvolle Informationen zu generieren, die die Entscheidungsfindung unterstützen. Mehr Informationen bedeuten weniger Unsicherheit und somit eine bessere Entscheidungsfindung. Ein Industrie 4.0 orientiertes QM ist folglich ein sozio-technisches Entscheidungsunterstützungssystem. Dafür ist es notwendig, die IT-Infrastruktur auszubauen, sodass eine orts- und zeitunabhängige Verfügbarkeit der relevanten Daten ermöglicht wird. Ein weiterer Ansatzpunkt liegt in der Ausweitung der Sensorik, sodass mehr CPS entstehen, deren Daten wiederum zur Analyse verwendet werden können. Zudem besteht Handlungsbedarf hinsichtlich eines integrierten Qualitäts- und Informationsmanagements. Folglich dient es als wertvolle Unterstützung des QMs, auch im Hinblick auf die Erfüllung der Q-Ziele. Potentielle Fehlerquellen durch eine unzureichende Daten- und Informationsqualität werden reduziert, was wiederum die Prozess- und Produktqualität fördert.

Der fundamentale Erfolgsfaktor aus technischer Perspektive ist ein standardisierter Datenaustausch, sodass an den Schnittstellen Informationsverluste vermieden werden. Dafür gilt es, die Schnittstellen sowohl in Bezug auf IT-Systeme als auch hinsichtlich der verschiedenen Fachbereiche eines Unternehmens im Vorfeld zu analysieren und weitgehend zu standardisieren.

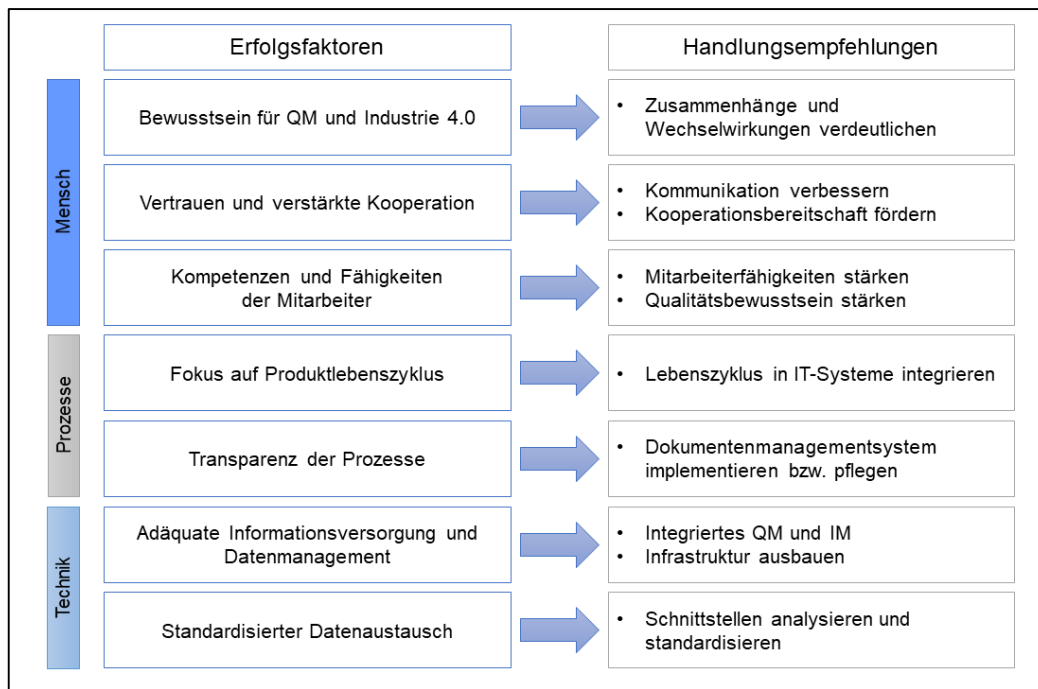


Abbildung 2: Erfolgsfaktoren und Handlungsempfehlungen für ein Industrie 4.0 orientiertes Qualitätsmanagement

Es ist deutlich geworden, dass in der Theorie und Literatur oftmals eher abstrakte Aspekte und Konzepte behandelt werden, wie z.B. die Ausweitung von Kooperationen und der Aufbau von Vertrauen, die in der Praxis jedoch (noch) nicht direkt umsetzbar sind. Da Industrie 4.0 bisher nicht eindeutig definiert wurde, existieren zudem unterschiedliche Vorstellungen in den Unternehmen. Des Weiteren ist der Nutzen von neuartigen Systemen oftmals nicht exakt quantifizierbar. Um die Diskrepanz zwischen Theorie und Praxis zu reduzieren, ist eine verstärkte Zusammenarbeit von Forschung und Praxis anzustreben, um gemeinsam Industrie 4.0 Konzepte zu entwickeln, die sich in ein QMS integrieren lassen. Aus operativer Sicht sind die etablierten QM-Methoden hinsichtlich Industrie 4.0 zu bewerten und anzupassen. Insgesamt besteht das Ziel darin, das QM gänzlich, auf allen Ebenen in adäquatem Maße zu digitalisieren.

Abschließend ist zu beachten, dass die hier dargestellten Handlungsempfehlungen als nicht endgültig zu betrachten sind. Vielmehr zeigen sie, basierend auf den identifizierten Erfolgsfaktoren, mögliche Handlungsfelder und -potentiale für Unternehmen auf.

6 Fazit

Im Rahmen dieses Diskussionsbeitrags wurde deutlich, dass zahlreiche Wirkzusammenhänge zwischen QM und Industrie 4.0 bestehen. Dabei ist das Konzept des digitalen Zwillings als zentrales Bindeglied anzusehen. Um den Aufbau eines Industrie 4.0 orientierten Qualitätsmanagements strukturiert abzubilden, wurde das Referenzarchitekturmodell „QM-Haus 4.0“ nach der Methode von vom Brocke entwickelt. Bestehende und etablierte Konzepte sowie Grundsätze dienten hierbei als Modellierungsbasis, um u.a. eine Kompatibilität mit internationalen Normen und Standards zu erreichen. Diese wurden anhand einer umfangreichen Literaturlauswertung nach der Methode von Webster und Watson identifiziert. Das Kernelement des Modells ist der integrierte Produktlebenszyklus in den Bereichen der Q-Planung, Q-Lenkung und Q-Sicherung. Der Datenfluss durch alle Phasen des Lebenszyklus wird als digitaler roter Faden dargestellt und unterstützt somit das Konzept des digitalen Zwillings. Die einzelnen Ebenen stehen durch Informationsflüsse in Verbindung miteinander. Zudem ist eine externe Kommunikation mit den Stakeholdern dargestellt. Als Fundament dient ein Datenqualitätsmanagement, um Datenqualität und -sicherheit zu gewährleisten. Das Referenzmodell zielte darauf ab, die Komplexität zu reduzieren, indem die Bestandteile eines Industrie 4.0 orientierten Qualitätsmanagements systematisch mit ihren Wechselwirkungen dargestellt wurden. Somit bietet das „QM-Haus 4.0“ einen ersten, generischen Ansatzpunkt sowie eine Grundlage zur Entwicklung weiterer Modelle und Anwendungssysteme aufgrund der angestrebten Wiederverwendbarkeit. Es wurde schließlich gezeigt, dass ein Industrie 4.0 orientiertes Qualitätsmanagement ein sozio-technisches System ist, das interdisziplinär und unternehmensübergreifend ausgerichtet ist.

Schließlich wurden die kritischen Erfolgsfaktoren für ein Industrie 4.0 orientiertes Qualitätsmanagement identifiziert. Für das Gelingen eines Qualitätsmanagements unter Industrie 4.0 Einflüssen sind besonders die Kompetenzen der Mitarbeiter sowie eine verstärkte Kooperation zwischen verschiedenen Fachbereichen und Partnerunternehmen wichtig. Darüber hinaus sind transparente Prozesse entlang des gesamten Lebenszyklus anzustreben. Aus einer technischen Perspektive gilt es, eine adäquate Informationsversorgung sicherzustellen sowie einen standardisierten Daten- und Informationsaustausch aufzubauen. Basierend auf den dargelegten Erfolgsfaktoren wurden schließlich Handlungsempfehlungen für die Praxis abgeleitet.

Zukünftig sind weitere Anpassungen möglich. Denkbar ist hier bspw. entsprechend der hohen Interdisziplinarität für die beteiligten Fachbereiche verschiedenen Sichten im Modell zu gestalten. Darüber hinaus könnte die Modularität ausgeweitet werden, um

eine einfache Anpassbarkeit hinsichtlich verschiedener Anforderungen und Anwendungsbereiche bzw. Branchen zu ermöglichen. Des Weiteren könnte das Referenzmodell zur Entwicklung eines Reifegradmodells genutzt werden, indem z.B. auf jeder Ebene verschiedene Reifestufen konstruiert werden. Hinsichtlich der Fragestellung, wie digitalisiert und vernetzt das Unternehmen bzw. der einzelne Fachbereich ist, könnten verschiedene Kategorien entwickelt werden. Denkbar wäre auch die Konzeptionierung eines Vorgehensmodells, um das bisherige Qualitätsmanagement zu digitalisieren und an die Industrie 4.0 induzierten Veränderungen anzupassen. Konkrete, operative QM-Methoden waren nicht Bestandteil dieser Betrachtung, sodass auch hier noch weiterer Forschungs- und Handlungsbedarf besteht.

Im Rahmen der Design Science Methode basiert diese Arbeit auf rein qualitativer Forschung. Zukünftige Untersuchungen könnten vermehrt quantitative Forschung betreiben, um bspw. Korrelationen aufzudecken oder durch vermehrte Rückmeldung aus der Praxis weitere Modellanpassungen anzustoßen. Darüber hinaus gilt es, in Zusammenarbeit von Forschung und Praxis die rahmengebenden Standards und Regelwerke des Qualitätsmanagements hinsichtlich der Digitalisierung zu überarbeiten und anzupassen. Die Wirtschaftsinformatik stellt dabei eine unterstützende Schlüsselposition dar, indem sie als Schnittstelle zwischen den verschiedenen Fachbereichen, dem Qualitätsmanagement und dem IT-Bereich fungiert.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass das Vorgehen zur Beantwortung der Forschungsfragen rein qualitativ gewesen ist. Jedoch konnte im Rahmen des Design Science Research-Ansatzes das Ziel erreicht werden, neue Handlungspotentiale durch die Entwicklung eines Artefakts zu generieren. Allerdings wurde mit dem Referenzmodell keine konkrete technologiegestützte Lösung präsentiert. Zwar lassen sich die Erkenntnisse nicht ohne Weiteres generalisieren, dennoch sind die dargelegten Erfolgsfaktoren äußerst relevant und bieten Orientierung und einen Ansatzpunkt für weitere Untersuchungen. Somit ist auch das entwickelte Referenzmodell als Start- und Ansatzpunkt zu verstehen. Schließlich dient es dazu, ein Bewusstsein dafür zu schaffen, sich mit dem QM-Verständnis zu beschäftigen und Anpassungen unter dem Einfluss von Industrie 4.0 vorzunehmen.

Referenzen

- Artischeckski, Felix (2014): Qualitätssicherung 4.0. Moderne Ansätze und Anforderungen der Qualitätssicherung im Kontext von Industrie 4.0. Online verfügbar unter https://www.dgq.de/wp-content/uploads/2014/03/DGQQualitaessicherung4_0.pdf
- Barata, João; Cunha, Paulo Rupino (2015): Synergies between quality management and information systems. A literature review and map for further research. In: *Total Quality Management & Business Excellence* 28 (3-4), S. 282–295. DOI: 10.1080/14783363.2015.1080117.
- Becker, Jörg; Rosemann, Michael; Schütte, Reinhard (1995): Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung. In: *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 37 (5), S. 435–445.
- Bookjans, Martin (2011): Virtuelles Qualitätsmanagement. Strategien für den Aufbau abweichungsbetrachtender Simulationsmodelle und die Entwicklung virtueller Qualitätsmanagementtechniken.
- Brugger-Gebhardt, Simone (2016): Die DIN EN ISO 9001:2015 verstehen. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Brunner, Franz J.; Wagner, Karl Werner (2016): Qualitätsmanagement. Leitfaden für Studium und Praxis. 6., überarb. Aufl. München: Hanser. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.3139/9783446448407>.
- Burger, Ansgar; Lang, Andreas; Müller, Yannis (2017): Mögliche Veränderungen von System-Architekturen im Bereich der Produktion. In: Volker P. Andelfinger und Till Hänisch (Hg.): Industrie 4.0. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 57–68.
- Dale, Barrie G.; Bamford, David; van der Wiele, Ton (2016): Managing quality. An essential guide and resource gateway. Sixth edition. Chichester, West Sussex, United Kingdom: Wiley.
- Domingues, Pedro; Sampaio, Paulo; Arezes, Pedro (2015): Integrated Management Systems: A Model for Maturity Assessment. In: Marta Peris-Ortiz, José Álvarez-García und Carlos Rueda-Armengot (Hg.): Achieving Competitive Advantage through Quality Management. Cham: Springer International Publishing, S. 171–189.
- Foidl, Harald; Felderer, Michael (2016): Research Challenges of Industry 4.0 for Quality Management. In: Michael Felderer, Felix Piazzolo, Wolfgang Ortner, Lars Brehm und Hans-Joachim Hof (Hg.): Innovations in enterprise information systems management and engineering. 4th International Conference, ERP Future 2015 - Research, Munich, Germany, November 16-17, 2015 : revised papers. Cham: Springer (Lecture notes in business information processing, 245), S. 121–137.
- Gabor, Thomas; Belzner, Lenz; Kiermeier, Marie; Beck, Michael Till; Neitz, Alexander: A Simulation-Based Architecture for Smart Cyber-Physical Systems. In: 2016 IEEE International Conference on Autonomic Computing (ICAC). Wuerzburg, Germany, S. 374–379.
- Geiger, Walter; Kotte, Willi (2008): Handbuch Qualität. Grundlagen und Elemente des Qualitätsmanagements: Systeme, Perspektiven. 5., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlag | GWV Fachverlage GmbH Wiesbaden (Praxis und Studium). Online verfügbar unter http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok_id/17332.
- Gerke, Kerstin; Tamm, Gerrit (2009): Qualitätsmanagement zur Steuerung von IT-Prozessen auf der Basis von Referenzmodellen und Process Mining. In: *HMD* 46 (2), S. 43–51. DOI: 10.1007/BF03340342.
- Gilchrist, Alasdair (2016): Industry 4.0. Berkeley, CA: Apress.

- Grabner, Thomas (Hg.) (2017): Operations Management. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Grabner, Thomas (2017): Qualitätsmanagement. In: Thomas Grabner (Hg.): Operations Management. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 285–323.
- Grieves, Michael; Vickers, John (2017): Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In: Franz-Josef Kahlen, Shannon Flumerfelt und Anabela Alves (Hg.): Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. Cham: Springer International Publishing, S. 85–113.
- Hermann, Mario; Pentek, Tobias; Otto, Boris (2015): Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. Technische Universität Dortmund (Working Paper, No. 01 / 2015). Online verfügbar unter http://www.snom.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/Design-Principles-for-Industrie-4_0-Scenarios.pdf
- Hinsch, Martin (2012): Industrielles Luftfahrtmanagement. Technik und Organisation luftfahrt-technischer Betriebe. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Hinsch, Martin (2016): Qualitätsmanagement in der Luftfahrtindustrie. Die EN 9100:2016 verständlich erklärt. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Hinsch, Martin; Olthoff, Jens (Hg.) (2013): Impulsgeber Luftfahrt. Industrial Leadership durch luftfahrtspezifische Aufbau- und Ablaufkonzepte. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Hoffmann, Wolfgang (1999): Objektorientiertes Qualitätssystem. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag.
- Hohberger, Stefan; Damlachi, Hellmut (2017): Performancesteigerung im Qualitätsmanagement. In: Stefan Hohberger und Hellmut Damlachi (Hg.): Performancesteigerung im Unternehmen. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 311–320.
- Hohberger, Stefan; Damlachi, Hellmut (Hg.) (2017): Performancesteigerung im Unternehmen. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Kagermann, Henning; Wahlster, Wolfgang; Helbig, Johannes (Hg.) (2013): Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0. Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0
- Kaufmann, Timothy (2015): Geschäftsmodelle in Industrie 4.0 und dem Internet der Dinge. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Khan, Ateeq; Turowski, Klaus (2016): A Survey of Current Challenges in Manufacturing Industry and Preparation for Industry 4.0. In: Ajith Abraham, Sergey Kovalev, Valery Tarassov und Václav Snášel (Hg.): Proceedings of the First International Scientific Conference "Intelligent Information Technologies for Industry" (IITI'16), Bd. 450. Cham: Springer International Publishing (Advances in Intelligent Systems and Computing), S. 15–26.
- Kiem, René (2016): Qualität 4.0. QM, MES und CAQ in digitalen Geschäftsprozessen der Industrie 4.0. München: Hanser (Praxisreihe Qualitätswissen). Online verfügbar unter <http://www.hanser-fachbuch.de/9783446447363>.
- Lachenmaier, Jens; Lasi, Heiner; Kemper, Hans-Georg (2015): Entwicklung und Evaluation eines Informationsversorgungskonzepts für die Prozess- und Produktionsplanung im Kontext von Industrie 4.0. In: Thomas O. und F. Teuteberg (Hg.): Proceedings der 12. Internationalen Tagung Wirtschaftsinformatik (WI 2015). Osnabrück, S. 1–15.
- Lasi, Heiner; Fettke, Peter; Kemper, Hans-Georg; Feld, Thomas; Hoffmann, Michael (2014): Industrie 4.0. In: *Wirtschaftsinf* 56 (4), S. 261–264. DOI: 10.1007/s11576-014-0424-4.

- Ludwig, Helmuth; Orchard, Alastair (2017): Driving the Digital Enterprise in the Aerospace Industry. In: Klaus Richter und Johannes Walther (Hg.): Supply Chain Integration Challenges in Commercial Aerospace. Cham: Springer International Publishing, S. 221–234.
- Mayring, Philipp (2002): Einführung in die qualitative Sozialforschung. Eine Anleitung zu qualitativem Denken. 5., überarb. und neu ausgestattete Aufl. Weinheim: Beltz (Beltz-Studium).
- Meentken, Felix (2016): Entwicklung eines Vorgehensmodells zur Einführung eines globalen Qualitätsmanagementsystems. Stuttgart: Fraunhofer Verlag (Berichte aus dem Produktionstechnischen Zentrum Berlin).
- Möller, Dietmar P. F. (2016): Digital Manufacturing/Industry 4.0. In: Dietmar P.F Möller (Hg.): Guide to Computing Fundamentals in Cyber-Physical Systems. Cham: Springer International Publishing (Computer Communications and Networks), S. 307–375.
- Möller, Dietmar P.F (Hg.) (2016): Guide to Computing Fundamentals in Cyber-Physical Systems. Cham: Springer International Publishing (Computer Communications and Networks).
- Otto, Boris; Österle, Hubert (2016): Corporate Data Quality. Voraussetzung erfolgreicher Geschäftsmodelle. Springer. Online verfügbar unter <http://www.doab-ooks.org/doab?func=fulltext&rid=19124>.
- Peffer, Ken; Tuunanen, Tuure; Rothenberger, Marcus A.; Chatterjee, Samir (2007): A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. In: *Journal of Management Information Systems* 24 (3), S. 45–77. DOI: 10.2753/MIS0742-1222240302.
- Pfützinger, Elmar (2002): Der Weg von DIN EN ISO 9000 ff. zu Total Quality Management (TQM). 2., veränd. Aufl. Berlin: Beuth.
- Reimann, Grit (2016): Successful quality management according to ISO 9001:2015. Solutions for practical implementation - sample texts, templates, checklists. 1st English edition. Berlin, Wien, Zürich: Beuth Verlag GmbH (Practice). Online verfügbar unter <http://www.beuth.de/cmd?level=tpl-langanzeige&webservice=vlb&smoid=248888855>.
- Rosen, Roland; Wichert, Georg von; Lo, George; Bettenhausen, Kurt D. (2015): About The Importance of Autonomy and Digital Twins for the Future of Manufacturing. In: *IFAC-PapersOnLine* 48 (3), S. 567–572. DOI: 10.1016/j.ifacol.2015.06.141.
- Roth, Armin (2016): Industrie 4.0 – Hype oder Revolution? In: Armin Roth (Hg.): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 1–15.
- Roth, Armin (Hg.) (2016): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Russell, Steve (2000): ISO 9000:2000 and the EFQM Excellence Model: Competition or co-operation? In: *Total Quality Management* 11 (4-6), S. 657–665. DOI: 10.1080/09544120050008039.
- Schlagheck, Bernhard (2000): Objektorientierte Referenzmodelle für das Prozess- und Projektcontrolling. Grundlagen - Konstruktion - Anwendungsmöglichkeiten. Gabler Edition Wissenschaft. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag (Informationsmanagement und Controlling). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-663-07993-4>.
- Schlechtendahl, Jan; Keinert, Matthias; Kretschmer, Felix; Lechler, Armin; Verl, Alexander (2015): Making existing production systems Industry 4.0-ready. In: *Prod. Eng. Res. Devel.* 9 (1), S. 143–148. DOI: 10.1007/s11740-014-0586-3.

- Schönenberg, Ulrich (2010): Prozessmanagement und Qualitätsmanagement. In: Ulrich Schönenberg (Hg.): Prozessexzellenz im HR-Management. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 11–17.
- Schönenberg, Ulrich (Hg.) (2010): Prozessexzellenz im HR-Management. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Schuh, Günther; Kampker, Achim (Hg.) (2011): Strategie und Management produzierender Unternehmen. Handbuch Produktion und Management 1. 2., vollst. neu bearb. und erw. Aufl. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg (VDI-Buch). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-14502-5>.
- Schütte, Reinhard (1998): Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung. Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle. Wiesbaden, s.l.: Gabler Verlag (Neue Betriebswirtschaftliche Forschung, 233). Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-663-10233-5>.
- Seghezzi, Hans Dieter; Fahrni, Fritz; Friedli, Thomas (2013): Integriertes Qualitätsmanagement. Das St. Galler Konzept. 4., vollst. überarb. Aufl. München: Hanser.
- Sendler, Ulrich (2016): Die Initiative in Deutschland. In: Ulrich Sendler (Hg.): Industrie 4.0 grenzenlos. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Xpert.press), S. 53–70.
- Sendler, Ulrich (Hg.) (2016): Industrie 4.0 grenzenlos. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg (Xpert.press).
- Siepmann, David (2016): Industrie 4.0 – Grundlagen und Gesamtzusammenhang. In: Armin Roth (Hg.): Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, S. 17–82.
- Sommerhoff, Benedikt (2013): Das EFQM Excellence Modell 2013. Deutsche Gesellschaft für Qualität e. V. Online verfügbar unter <https://www.dgq.de/dateien/EFQM-Excellence-Modell-2013.pdf>
- Song, Zhiting; Sun, Yanming; Wan, Jiafu; Liang, Peipei (2016): Data quality management for service-oriented manufacturing cyber-physical systems. In: *Computers & Electrical Engineering*. DOI: 10.1016/j.compeleceng.2016.08.010.
- Strube, Gernot; Eloit, Karel; Griessmann, Nadine; Dhawan, Rajat; Ramaswamy, Sree (2017): Trends in the Commercial Aerospace Industry. In: Klaus Richter und Johannes Walther (Hg.): Supply Chain Integration Challenges in Commercial Aerospace. Cham: Springer International Publishing, S. 141–159.
- Suárez, Eva; Roldán, José L.; Calvo-Mora, Arturo (2014): A structural analysis of the EFQM model. An assessment of the mediating role of process management. In: *Journal of Business Economics and Management* 15 (5), S. 862–885. DOI: 10.3846/16111699.2013.776627.
- Sun, Hongyi; Li, Sapphire; Ho, Karis; Gertsen, Frank; Hansen, Poul; Frick, Jan (2004): The trajectory of implementing ISO 9000 standards versus total quality management in Western Europe. In: *Int J Qual & Reliability Mgmt* 21 (2), S. 131–153. DOI: 10.1108/02656710410516952.
- Tarí, Juan José; Molina, José Francisco; Castejón, Juan Luis (2007): The relationship between quality management practices and their effects on quality outcomes. In: *European Journal of Operational Research* 183 (2), S. 483–501. DOI: 10.1016/j.ejor.2006.10.016.
- Tarí, Juan José; Molina-Azorín, José F. (2010): Integration of quality management and environmental management systems. In: *The TQM Journal* 22 (6), S. 687–701. DOI: 10.1108/17542731011085348.

- Tricker, Ray (2016): ISO 9001 2015 audit procedures. Fourth edition. London, New York: Routledge Taylor & Francis Group.
- Uhlemann, Thomas H.-J.; Lehmann, Christian; Steinhilper, Rolf (2017): The Digital Twin. Realizing the Cyber-Physical Production System for Industry 4.0. In: *Procedia CIRP* 61, S. 335–340. DOI: 10.1016/j.procir.2016.11.152.
- Vogel-Heuser, Birgit; Kegel, Gunther; Bender, Klaus; Wucherer, Klaus (2009): Global Information Architecture for Industrial Automation. Online verfügbar unter http://www.namur.net/fileadmin/media/Pressespiegel/atp/atp_01_2009_Architecture.pdf
- Vom Brocke, Jan (2003): Referenzmodellierung. Gestaltung und Verteilung von Konstruktionsprozessen. Zugl.: Münster, Univ., Diss., 2002. Berlin: Logos (Advances in information systems and management science, 4).
- Wang, Shiyong; Wan, Jiafu; Di Li; Zhang, Chunhua (2016): Implementing Smart Factory of Industrie 4.0. An Outlook. In: *International Journal of Distributed Sensor Networks* 12 (1), S. 3159805. DOI: 10.1155/2016/3159805.
- Webster, Jane; Watson, Richard T. (2002): Analyzing the Past to Prepare for the Future. Writing a Literature Review. In: *MIS Quarterly* 26 (2), S. xiii–xxiii.
- Westkämper, Engelbert; Spath, Dieter; Constantinescu, Carmen; Lentjes, Joachim (Hg.) (2013): Digitale Produktion. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.
- Woźny, Piotr; Błachnio, Józef (2014): Quality Requirements Regarding Aircraft Maintenance and Repair Services. In: *Research Works of Air Force Institute of Technology* 35 (1), S. 53–66. DOI: 10.1515/afit-2015-0004.
- Zech, Rainer (2015): Qualitätsmanagement und gute Arbeit. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Zollenkop, Michael; Lässig, Ralph (2017): Digitalisierung im Industriegütergeschäft. In: Daniel Schallmo, Andreas Rusnjak, Johanna Anzengruber, Thomas Werani und Michael Jünger (Hg.): Digitale Transformation von Geschäftsmodellen. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 59–95.
- Zollondz, Hans-Dieter; Ketting, Michael; Pfundtner, Raimund (2016): Lexikon Qualitätsmanagement. Handbuch des modernen Managements auf Basis des Qualitätsmanagements. 2., komplett überarbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Boston: De Gruyter Oldenbourg (Edition Management).

Anhang

Tabelle 1: Konzeptmatrix der analysierten Literatur

Autor (Jahr)	Qualitätsmanagement					Industrie 4.0						Konzepte							
	Definition	Prozessorientierung	ISO 9000ff.	Total Quality Management	EFQM-Ansatz	Datenmanagement / Daten-QM	"Qualität 4.0"	Definition	Internet of Things/Services	Cyber-physische Systeme	Smart Factory	Horizontale Integration	Vertikale Integration	Digitales Engineering	"Digital Twin"	Referenzmodell	Vorgehensmodell	Reifegradmodell	Informationssystem
Artischeckski (2014)						x	(x)	x	x		x	x			(x)				
Barata & Cunha (2015)		x	x	x		x													x
Bookjans (2011)		x					(x)									x			
Brugger-Gebhardt (2016)		x	x															x	
Brunner & Wagner (2016)	x	x	x	x	x													x	
Burger et al. (2017)							x		x	x	x	x			(x)				
Dale et al. (2016)	x	x	x	x														x	
Domingues et al. (2015)			x															x	
Foidl & Felderer (2016)	x	x	x				(x)	x	x	x	x	x	x	x					
Gabor et al. (2016)									x						x				
Geiger & Kotte (2008)	x	x	x												(x)				
Gerke & Tamm (2009)		x													x	x	x		
Gilchrist (2016)						(x)		x	x	x	x	x	x	x	(x)				
Grabner (2017)	x	x	x	x	x													x	
Grieves & Vickers (2017)															x				x
Hermann et al. (2015)								x	x	x	x	x	x	x					
Hinsch (2012) / (2016)	x	x	x			x									x				
Hinsch und Olthoff (2013)*		x	x			(x)									(x)	(x)			
Hoffmann (1999)		x	x	x											x				x
Hohberger & Damlachi (2017)		x	(x)	x	x													x	
Kagermann et al. (2013)								x	x	x	x	x	x	x	x				
Kaufmann (2015)								x	x		x				(x)	x	x	x	
Khan & Turowski (2016)						(x)		x	x	x	x	(x)	(x)	(x)					
Kiem (2016)		x	x				x	x	x	x									
Lachenmaier et al. (2015)								x		x		(x)							x
Lasi et al. (2014)								x	x	x	x	x	x		x				x
Ludwig & Orchard (2017)														x					
Meentken (2016)	x	x	x	x													x		
Möller (2016)								x	x	x	x	x	x						
Otto & Österle (2016)					x	x		x	x	x		(x)	(x)		x	x	x	x	
Pfritzing (2002)	x	x	x	x	x													x	
Reimann (2016)	x	x	x																
Rosen et al. (2015)						(x)		(x)	x	x					x	(x)			
Roth (2016)*						(x)		x	x	x	x	x	x	x	x	x			
Russel (2000)		x	x	x	x														x
Schlechtendahl et al. (2015)									x	x		x			x				
Schönenberg (2010)		x	x		x				x										x
Schuh & Kampker (2011)*	x	x	x	x	x														
Seghezzi et al. (2013)	x	x	x	x	x										x				
Sendler (2016)*								x	x	x	x	x	x	x	x				
Sommerhoff (2013)				(x)	x										x			(x)	
Song et al. (2016)		x				x				x									
Suárez et al. (2014)				x	x														
Sun et al. (2004)		x	x	x	x														
Tari & Molina-Azorin (2010)						x													
Tari et al. (2007)		x	x	x	x														
Tricker (2016)	x	x	x														x	x	
Uhlemann et al. (2017)								x		x		x	x	x	x				
Vogel-Heuser et al. (2009)												x	x	x					(x)
Wang et al. (2016)								x	x	x	x	x	x	x					
Westkämper et al. (2013)*						(x)		x	x	x	x	x	x	(x)	x				
Woźny & Błachnio (2014)			x																x
Zech (2015)	x	x	x	x	x														x
Zollenkop & Lässig (2017)								x	x	x	(x)	x	x						
Zollondz et al. (2016)	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x				

* Sammelwerk

x = erfüllt; (x) = teilweise erfüllt

IWI Discussion Paper Series/Diskussionsbeiträge

ISSN 1612-3646

- Michael H. Breitner, *Rufus Philip Isaacs and the Early Years of Differential Games*, 36 S., #1, 22. Januar 2003.
- Gabriela Hoppe und Michael H. Breitner, *Classification and Sustainability Analysis of e-Learning Applications*, 26 S., #2, 13. Februar 2003.
- Tobias Brüggemann und Michael H. Breitner, *Preisvergleichsdienste: Alternative Konzepte und Geschäftsmodelle*, 22 S., #3, 14. Februar 2003.
- Patrick Bartels und Michael H. Breitner, *Automatic Extraction of Derivative Prices from Webpages using a Software Agent*, 32 S., #4, 20. Mai 2003.
- Michael H. Breitner und Oliver Kubertin, *WARRANT-PRO-2: A GUI-Software for Easy Evaluation, Design and Visualization of European Double-Barrier Options*, 35 S., #5, 12. September 2003.
- Dorothee Bott, Gabriela Hoppe und Michael H. Breitner, *Nutzenanalyse im Rahmen der Evaluation von E-Learning Szenarien*, 14 S., #6, 21. Oktober 2003.
- Gabriela Hoppe und Michael H. Breitner, *Sustainable Business Models for E-Learning*, 20 S., #7, 05. Januar 2004.
- Heiko Genath, Tobias Brüggemann und Michael H. Breitner, *Preisvergleichsdienste im internationalen Vergleich*, 40 S., #8, 21. Juni 2004.
- Dennis Bode und Michael H. Breitner, *Neues digitales BOS-Netz für Deutschland: Analyse der Probleme und mögliche Betriebskonzepte*, 21 S., #9, 05. Juli 2004.
- Caroline Neufert und Michael H. Breitner, *Mit Zertifizierungen in eine sicherere Informationsgesellschaft*, 19 S., #10, 05. Juli 2004.
- Marcel Heese, Günter Wohlers und Michael H. Breitner, *Privacy Protection against RFID Spying: Challenges and Countermeasures*, 22 S., #11, 05. Juli 2004.
- Liina Stotz, Gabriela Hoppe und Michael H. Breitner, *Interaktives Mobile(M)-Learning auf kleinen Endgeräten wie PDAs and Smartphones*, 31 S., #12, 18. August 2004.
- Frank Köller und Michael H. Breitner, *Optimierung von Warteschlangensystemen in Call Centern auf Basis von Kennzahlenapproximationen*, 24 S., #13, 10. Januar 2005.
- Phillip Maske, Patrick Bartels und Michael H. Breitner, *Interactive M(obile)-Learning with UbiLearn 0.2*, 21 S., #14, 20. April 2005.
- Robert Pomes und Michael H. Breitner, *Strategic Management of Information Security in State-run Organizations*, 18 S., #15, 05. Mai 2005.
- Simon König, Frank Köller und Michael H. Breitner, *FAUN 1.1 User Manual*, 134 S., #16, 04. August 2005.
- Christian von Spreckelsen, Patrick Bartels und Michael H. Breitner, *Geschäftsprozessorientierte Analyse und Bewertung der Potentiale des Nomadic Computing*, 38 S., #17, 14. Dezember 2006.
- Stefan Hoyer, Robert Pomes, Günter Wohlers und Michael H. Breitner, *Kritische Erfolgsfaktoren für ein Computer Emergency Response Team (CERT) am Beispiel CERT-Niedersachsen*, 56 S., #18, 14. Dezember 2006.
- Christian Zietz, Karsten Sohns und Michael H. Breitner, *Konvergenz von Lern-, Wissens- und Personalmanagementssystemen: Anforderungen an Instrumente für integrierte Systeme*, 15 S., #19, 14. Dezember 2006.
- Christian Zietz und Michael H. Breitner, *Expertenbefragung „Portalbasiertes Wissensmanagement“: Ausgewählte Ergebnisse*, 30 S., #20, 05. Februar 2008.
- Harald Schömburg und Michael H. Breitner, *Elektronische Rechnungsstellung: Prozesse, Einsparpotentiale und kritische Erfolgsfaktoren*, 36 S., #21, 05. Februar 2008.
- Halyna Zakhariya, Frank Köller und Michael H. Breitner, *Personaleinsatzplanung im Echtzeitbetrieb in Call Centern mit Künstlichen Neuronalen Netzen*, 35 S., #22, 05. Februar 2008.

IWI Discussion Paper Series/Diskussionsbeiträge

ISSN 1612-3646

Jörg Uffen, Robert Pomes, Claudia M. König und Michael H. Breitner, *Entwicklung von Security Awareness Konzepten unter Berücksichtigung ausgewählter Menschenbilder*, 14 S., #23, 05. Mai 2008.

Johanna Mählmann, Michael H. Breitner und Klaus-Werner Hartmann, *Konzept eines Centers der Informationslogistik im Kontext der Industrialisierung von Finanzdienstleistungen*, 19 S., #24, 05. Mai 2008.

Jon Sprenger, Christian Zietz und Michael H. Breitner, *Kritische Erfolgsfaktoren für die Einführung und Nutzung von Portalen zum Wissensmanagement*, 44 S., #25, 20. August 2008.

Finn Breuer und Michael H. Breitner, *„Aufzeichnung und Podcasting akademischer Veranstaltungen in der Region D-A-CH“: Ausgewählte Ergebnisse und Benchmark einer Expertenbefragung*, 30 S., #26, 20. August 2008.

Harald Schömburg, Gerrit Hoppen und Michael H. Breitner, *Expertenbefragung zur Rechnungseingangsbearbeitung: Status quo und Akzeptanz der elektronischen Rechnung*, 40 S., #27, 15. Oktober 2008.

Hans-Jörg von Mettenheim, Matthias Paul und Michael H. Breitner, *Akzeptanz von Sicherheitsmaßnahmen: Modellierung, Numerische Simulation und Optimierung*, 30 S., #28, 16. Oktober 2008.

Markus Neumann, Bernd Hohler und Michael H. Breitner, *Bestimmung der IT-Effektivität und IT-Effizienz serviceorientierten IT-Managements*, 20 S., #29, 30. November 2008.

Matthias Kehlenbeck und Michael H. Breitner, *Strukturierte Literaturrecherche und -klassifizierung zu den Forschungsgebieten Business Intelligence und Data Warehousing*, 10 S., #30, 19. Dezember 2009.

Michael H. Breitner, Matthias Kehlenbeck, Marc Klages, Harald Schömburg, Jon Sprenger, Jos Töller und Halyna Zakhariya, *Aspekte der Wirtschaftsinformatikforschung 2008*, 128 S., #31, 12. Februar 2009.

Sebastian Schmidt, Hans-Jörg v. Mettenheim und Michael H. Breitner, *Entwicklung des Hannoveraner Referenzmodells für Sicherheit und Evaluation an Fallbeispielen*, 30 S., #32, 18. Februar 2009.

Sissi Eklun-Natey, Karsten Sohns und Michael H. Breitner, *Buildung-up Human Capital in Senegal - E-Learning for School drop-outs, Possibilities of Lifelong Learning Vision*, 39 S., #33, 01. Juli 2009.

Horst-Oliver Hofmann, Hans-Jörg von Mettenheim und Michael H. Breitner, *Prognose und Handel von Derivaten auf Strom mit Künstlichen Neuronalen Netzen*, 34 S., #34, 11. September 2009.

Christoph Polus, Hans-Jörg von Mettenheim und Michael H. Breitner, *Prognose und Handel von Öl-Future-Spreads durch Multi-Layer-Perceptrons und High-Order-Neuronalnetze mit Faun 1.1*, 55 S., #35, 18. September 2009

Jörg Uffen und Michael H. Breitner, *Stärkung des IT-Sicherheitsbewusstseins unter Berücksichtigung psychologischer und pädagogischer Merkmale*, 37 S., #36, 24. Oktober 2009.

Christian Fischer und Michael H. Breitner, *MaschinenMenschen – reine Science Fiction oder bald Realität?* 36 S., #37, 13. Dezember 2009.

Tim Rickenberg, Hans-Jörg von Mettenheim und Michael H. Breitner, *Plattformunabhängiges Softwareengineering eines Transportmodells zur ganzheitlichen Disposition von Strecken- und Flächenverkehren*, 38 S., #38, 11. Januar 2010.

Björn Semmelhaack, Jon Sprenger und Michael H. Breitner, *Ein ganzheitliches Konzept für Informationssicherheit unter besonderer Berücksichtigung des Schwachpunktes Mensch*, 56 S., #39, 03. Februar 2009.

Markus Neumann, Achim Plückebaum, Jörg Uffen und Michael H. Breitner, *Aspekte der Wirtschaftsinformatikforschung 2009*, 70 S., #40, 12. Februar 2010.

Markus Neumann, Bernd Hohler und Michael H. Breitner, *Wertbeitrag interner IT – Theoretische Einordnung und empirische Ergebnisse*, 38 S., #41, 31. Mai 2010.

Daniel Wenzel, Karsten Sohns und Michael H. Breitner, *Open Innovation 2.5: Trendforschung mit Social Network Analysis*, 46 S., #42, 01. Juni 2010.

Naum Neuhaus, Karsten Sohns und Michael H. Breitner, *Analyse der Potenziale betrieblicher Anwendungen des Web Content Mining*, 44 S., #43, 08. Juni 2010.

IWI Discussion Paper Series/Diskussionsbeiträge

ISSN 1612-3646

Ina Friedrich, Jon Sprenger und Michael H. Breitner, *Discussion of a CRM System Selection Approach with Experts: Selected Results from an Empirical Study*, 22 S., #44, 15. November 2010.

Jan Bührig, Angelica Cuylen, Britta Ebeling, Christian Fischer, Nadine Guhr, Eva Hagenmeier, Stefan Hoyer, Cornelius Köpp, Lubov Lechtchinskaia, Johanna Mählmann und Michael H. Breitner, *Aspekte der Wirtschaftsinformatikforschung 2010*, 202 S., #45, 03. Januar 2011.

Philipp Maske und Michael H. Breitner, *Expertenbefragung: Integrierte, interdisziplinäre Entwicklung von M(obile)-Learning Applikationen*, 42 S., #46, 28. Februar 2011.

Christian Zietz, Jon Sprenger und Michael H. Breitner, *Critical Success Factors of Portal-Based Knowledge Management*, 18 S., #47, 04. Mai 2011.

Hans-Jörg von Mettenheim, Cornelius Köpp, Hannes Munzel und Michael H. Breitner, *Integrierte Projekt- und Risikomanagementunterstützung der Projektfinanzierung von Offshore-Windparks*, 18 S., #48, 22. September 2011.

Christoph Meyer, Jörg Uffen und Michael H. Breitner, *Discussion of an IT-Governance Implementation Project Model Using COBIT and Val IT*, 18 S., #49, 22. September 2011.

Michael H. Breitner, *Beiträge zur Transformation des Energiesystems 2012*, 31 S., #50, 12. Februar 2012.

Angelica Cuylen und Michael H. Breitner, *Anforderungen und Herausforderungen der elektronischen Rechnungsabwicklung: Expertenbefragung und Handlungsempfehlungen*, 50 S., #51, 05. Mai 2012.

Helge Holzmann, Kim Lana Köhler, Sören C. Meyer, Marvin Osterwold, Maria-Isabella Eickenjäger und Michael H. Breitner, *Plinc. Facilitates linking. – Ein Accenture Campus Challenge 2012 Projekt*, 98 S., #52, 20. August 2012.

André Koukal und Michael H. Breitner, *Projektfinanzierung und Risikomanagement Projektfinanzierung und Risikomanagement von Offshore-Windparks in Deutschland*, 40 S., #53, 31. August 2012.

Halyna Zakhariya, Lubov Kosch und Michael H. Breitner, *Concept for a Multi-Criteria Decision Support Framework for Customer Relationship Management System Selection*, 14 S., #55, 22. Juli 2013.

Tamara Rebecca Simon, Nadine Guhr und Michael H. Breitner, *User Acceptance of Mobile Services to Support and Enable Car Sharing: A First Empirical Study*, 19 S., #56, 01. August 2013.

Tim A. Rickenberg, Hans-Jörg von Mettenheim und Michael H. Breitner, *Design and implementation of a decision support system for complex scheduling of tests on prototypes*, 6 S. #57, 19. August 2013.

Angelica Cuylen, Lubov Kosch, Valentina, Böhm und Michael H. Breitner, *Initial Design of a Maturity Model for Electronic Invoice Processes*, 12 S., #58, 30. August 2013.

André Voß, André Koukal und Michael H. Breitner, *Revenue Model for Virtual Clusters within Smart Grids*, 12 S., #59, 20. September 2013.

Benjamin Küster, André Koukal und Michael H. Breitner, *Towards an Allocation of Revenues in Virtual Clusters within Smart Grids*, 12 S., #60, 30. September 2013.

My Linh Truong, Angelica Cuylen und Michael H. Breitner, *Explorative Referenzmodellierung interner Kontrollverfahren für elektronische Rechnungen*, 30 S., #61, 01. Dezember 2013.

Cary Edwards, Tim Rickenberg und Michael H. Breitner, *Innovation Management: How to drive Innovation through IT – A conceptual Mode*, 34 S., #62, 29. November 2013.

Thomas Völk, Kenan Degirmenci und Michael H. Breitner, *Market Introduction of Electric Cars: A SWOT Analysis*, 13 S., #63, 11. Juli 2014.

Cary Edwards, Tim A. Rickenberg und Michael H. Breitner, *A Process Model to Integrate Data Warehouses and Enable Business Intelligence: An Applicability Check within the Airline Sector*, 14 S., #64, 11. November 2014.

Mina Baburi, Katrin Günther, Kenan Degirmenci und Michael H. Breitner, *Gemeinschaftsgefühl und Motivationshintergrund: Eine qualitative Inhaltsanalyse im Bereich des Elektro-Carsharing*, 53 S., #65, 18. November 2014.

IWI Discussion Paper Series/Diskussionsbeiträge

ISSN 1612-3646

Mareike Thiessen, Kenan Degirmenci und Michael H. Breitner, *Analyzing the Impact of Drivers' Experience with Electric Vehicles on the Intention to Use Electric Carsharing: A Qualitative Approach*, 22 S., #66, 2. Dezember 2014.

Mathias Ammann, Nadine Guhr und Michael H. Breitner, *Design and Evaluation of a Mobile Security Awareness Campaign – A Perspective of Information Security Executives*, 22 S., #67, 15. Juni 2015.

Raphael Kaut, Kenan Degirmenci und Michael H. Breitner, *Elektromobilität in Deutschland und anderen Ländern: Vergleich von Akzeptanz und Verbreitung*, 75 S., #68, 29. September 2015.

Kenan Degirmenci und Michael H. Breitner, *A Systematic Literature Review of Carsharing Research: Concepts and Critical Success Factors*, 12 S., #69, 29. September 2015.

Theresa Friedrich, Nadine Guhr und Michael H. Breitner, *Führungsstile: Literaturrecherche und Ausblick für die Informationssicherheitsforschung*, 29 S., #70, 29. November 2015.

Maximilian Kreutz, Phillip Lüpke, Kathrin Kühne, Kenan Degirmenci und Michael H. Breitner, *Ein Smartphone-Bonussystem zum energieeffizienten Fahren von Carsharing–Elektrofahrzeugen*, 11 S., #71, 09. Dezember 2015.

Marc-Oliver Sonneberg, Danny Wei Cao und Michael H. Breitner, *Social Network Usage of Financial Institutions: A SWOT Analysis based on Sparkasse*, 12 S., #72, 14. Januar 2016.

Jan Isermann, Kathrin Kühne und Michael H. Breitner, *Comparison of Standard and Electric Carsharing Processes and IT-Infrastructures*, 21 S., #73, 19. Februar 2016.

Sonja Dreyer, Sören C. Meyer und Michael H. Breitner, *Development of a Mobile Application for Android to Support Energy-Efficient Driving of Electric Vehicles*, 15 S., #74, 29. Februar 2016.

Claudia M. König und Michael H. Breitner, *Abschlussbericht des KIQS-Projekts „Verbesserung der Koordination von, der Interaktion Studierende- Lehrende in und der Integration aller Lehrinhalte in sehr großer/n Lehrveranstaltungen im Bachelor Grundstudium“*, 45 S., #75, 17. April 2016.

Wilhelm G. N. Jahn, Kenan Degirmenci und Michael H. Breitner, *Portallösungen für Elektro-Carsharing: Stakeholderanalyse und Konzepte*, 94 S., #76, 12. Mai 2016.

Mareike Thiessen, Kenan Degirmenci und Michael H. Breitner, *Electric Carsharing Usage and Shifting Effects between Public Transport, Car Ownership, Carsharing, and Electric Carsharing: A Data Mining Analysis and a Survey of Electric Carsharing Users*, 188 S., #77, 12. Mai 2016.

Bjarne Neels, Marc-Oliver Sonneberg und Michael H. Breitner, *IKT-basierte Geschäftsmodellinnovationen im Gütertransport: Marktübersicht und Analyse*, 38 S., #78, 6. Oktober 2016.

Ines Thurk, Nadine Guhr und Michael H. Breitner, *Unterstützung des Wissensmanagements mit Electronic Learning – Eine Literaturanalyse*, 22 S., #79, 30. Oktober 2016.

Vi Kien Dang, Marc-Oliver Sonneberg und Michael H. Breitner, *Analyse innovativer Logistikkonzepte für urbane Paketdienstleister*, 66 S., #80, 3. November 2016.

Christoph Thermann, Marc-Oliver Sonneberg und Michael H. Breitner, *Visualisierung von Verkehrsdaten der Landeshauptstadt Hannover*, 16 S., #81, 17. Februar 2017.

Rouven-B. Wiegard, Kenan Degirmenci und Michael H. Breitner, *What Influences the Adoption of Electronic Medical Record Systems? An Empirical Study with Healthcare Organizations Executives*, 28 S., #82, 30. Mai 2017.

Jens Passlick, Sonja Dreyer, Daniel Olivotti, Benedikt Lebek und Michael H. Breitner, *Assessing Research Projects: A Framework*, 13 S., #83, 5. Februar 2018.

Michael Stieglitz, Marc-Oliver Sonneberg und Michael H. Breitner, *TCO-Comparison of Fuel and Electric Powered Taxis: Recommendations for Hannover*, 30 S., #84, 2. Juni 2018.

Levin Rühmann, Oliver Werth, Nadine Guhr und Michael H. Breitner, *Cyber-Risiko – Aktuelle Bedrohungslage und mögliche Lösungsansätze*, 36 S., #85, 14. November 2018.

IWI Discussion Paper Series/Diskussionsbeiträge

ISSN 1612-3646

Ines Stoll, Daniel Olivotti und Michael H. Breitner, *Digitalisierung im Einkauf: Eine Referenzarchitektur zur Veränderung von Organisation und Prozessen*, 34 S., #86, 22. Dezember 2018

Madlen Dürkoop, Max Leyerer und Michael H. Breitner, *Lastenfahrräder im urbanen Wirtschaftsverkehr: Anforderungen von Handwerkern und Apothekern*, 37 S., #87, 5. März 2019

Philip Blacha, Marvin Kraft, Marc-Oliver Sonneberg, Maximilian Heumann und Michael H. Breitner, *Analysis of Augmented Reality Applications within the German Automotive Industry*, 42 S., #88, 5. März 2019