

Industrie 4.0 orientiertes Qualitätsmanagement für Flugzeugturbinen

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Science (M. Sc.)“ im Studiengang
Wirtschaftswissenschaft der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leibniz Universität
Hannover

vorgelegt von

Name: Jürgens



Vorname: Leonie



Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Hannover, den 22. September 2017

INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungsverzeichnis	vi
Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	vii
1. Einleitung	1
1.1 Motivation und Relevanz	1
1.2 Zielsetzung und Struktur der Arbeit	2
2. Theoretische Grundlagen	3
2.1 Qualitätsmanagement	3
2.2 Industrie 4.0	8
2.3 Besonderheiten der Luftfahrtindustrie.....	12
3. Forschungsdesign	16
4. Entwicklung eines Referenzmodells für ein Industrie 4.0 orientiertes Qualitätsmanagement	21
4.1 Problemidentifizierung und -definition.....	21
4.1.1 Methodik: Literaturanalyse nach Webster und Watson.....	21
4.1.2 Ergebnisse der Literaturlauswertung.....	23
4.1.3 Relevante Modelle und Ansätze des QMs und Industrie 4.0.....	34
4.2 Entwicklung des Artefakts	41
4.2.1 Methodik: Referenzmodellierung nach vom Brocke.....	41
4.2.2 Anforderungen und Ziele des Artefakts	45
4.2.3 Darstellung und Erläuterung des Referenzmodells „QM-Haus 4.0“	48
4.3 Evaluation des Artefakts durch Experteninterviews	58
4.3.1 Methodik: Qualitative, semi-strukturierte Interviews nach Mayring	58
4.3.2 Ergebnisse der Experteninterviews	61
4.3.3 Implikationen und Anpassung des Referenzmodells „QM-Haus 4.0“	68
5. Diskussion der Ergebnisse und Ableitung von Handlungsempfehlungen	70
5.1 Reflexion des Referenzmodells „QM-Haus 4.0“.....	70
5.2 Chancen und Herausforderungen	74
5.3 Kritische Erfolgsfaktoren und Handlungsempfehlungen	77
6. Kritische Würdigung und Limitationen	80
7. Fazit und Ausblick	82
Literaturverzeichnis	viii

Anhang	xvi
A) Interview-Leitfaden.....	xvi
B) Zusammenfassendes Protokoll von Interview 1.....	xvii
C) Zusammenfassendes Protokoll von Interview 2.....	xx
D) Zusammenfassendes Protokoll von Interview 3.....	xxii
E) Zusammenfassendes Protokoll von Interview 4.....	xxiv
F) Zusammenfassendes Protokoll von Interview 5.....	xxvi
Ehrenwörtliche Erklärung	xxviii

1. EINLEITUNG

1.1 MOTIVATION UND RELEVANZ

Seit Anbeginn der Menschheit spielt *Qualität* eine bedeutende Rolle. 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. Gleichermaßen 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.

Die Digitalisierung betrifft auch die Luftfahrtbranche, die aufgrund des hohen technologischen Know-hows als Schlüsselindustrie gilt. Zudem bestehen im Vergleich zu anderen Branchen besonders strenge regulative Vorgaben. Luftfahrttechnische Produkte wie z.B. Flugzeugtriebwerke sind äußerst komplexe und sicherheitskritische Systeme. Vor diesem Hintergrund ist ein Qualitätsmanagement für Flugzeugturbinen besonders relevant.

Das digitale Abbild eines Triebwerks wird als *digitaler Zwilling* bezeichnet und ist das zentrale Verbindungsstück zwischen Industrie 4.0 und dem Qualitätsmanagement in der Luftfahrt. 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 den beiden folgenden Forschungsfragen nachgegangen:

- 1) Wie sieht ein Referenzmodell für ein Qualitätsmanagement unter dem Einfluss von Industrie 4.0 aus?
- 2) Welche kritischen Erfolgsfaktoren sind für ein Industrie 4.0 orientiertes Qualitätsmanagement zu berücksichtigen?

Die erste Forschungsfrage zielt darauf ab, ein Referenzmodell zu entwickeln, das alle relevanten Industrie 4.0 Komponenten in die Architektur eines Qualitätsmanagements integriert und somit die Zusammenhänge und Wechselwirkungen strukturiert darstellt. Darauf aufbauend wird mithilfe der zweiten Forschungsfrage das Ziel verfolgt, kritische Erfolgsfaktoren zu identifizieren, die für ein wirksames Qualitätsmanagement im Kontext von Industrie 4.0 relevant sind.

1.2 ZIELSETZUNG UND STRUKTUR DER ARBEIT

Die Ziele dieser Arbeit bestehen in der Entwicklung eines Referenzarchitekturmodells und darauf aufbauend in der Darlegung der kritischen Erfolgsfaktoren für ein wirksames Qualitätsmanagement im Industrie 4.0 Umfeld am Beispiel von Flugzeugturbinen. Hierbei dienen die beiden aufgestellten Forschungsfragen als Grundlage. Des Weiteren wird darauf abgezielt, relevante Handlungsempfehlungen sowohl für die Wissenschaft und Forschung als auch für die Praxis abzuleiten. Das zu entwickelnde Referenzmodell soll dazu dienen, die Bestandteile des Qualitätsmanagements strukturiert darzustellen und in Beziehung zu einander zu setzen. Dabei werden die grundlegenden Industrie 4.0 Elemente und Konzepte integriert.

Um die beiden Forschungsfragen beantworten zu können, ist diese Arbeit wie folgt strukturiert: Zunächst werden in Kapitel 2 die theoretischen Grundlagen von Qualität und Qualitätsmanagement, Industrie 4.0 sowie der Luftfahrtindustrie und Triebwerken vermittelt. Im dritten Kapitel wird das dieser Arbeit zugrundeliegende Forschungsdesign präsentiert. Die darauffolgenden Kapitel zur *Entwicklung eines Referenzmodells für ein Industrie 4.0 orientiertes Qualitätsmanagement* sind an die Struktur und den Ablauf der verwendeten Forschungsmethode des sogenannten „Design Science Research“-Ansatzes angelehnt. Somit wird zunächst im Abschnitt 4.1 eine ausführliche Literaturlauswertung durchgeführt, um die Problematik darzustellen und die Forschungslücke aufzudecken. Anschließend werden in Kapitel 4.2 die Anforderungen und Ziele festgelegt und darauf aufbauend das Referenzmodell „QM-Haus 4.0“ entwickelt und gründlich erläutert. Eine Evaluation des konstruierten Modells erfolgt in Kapitel 4.3 anhand von semi-strukturierten Experteninterviews. Gleichzeitig wird damit ein Bezug zur Praxis hergestellt. Basierend auf den Erkenntnissen des vierten Kapitels erfolgt die Diskussion der Ergebnisse sowie die Ableitung von Implikationen für Theorie und Praxis in Kapitel 5. Hierbei wird zunächst das entwickelte Referenzarchitekturmodell reflektiert, bevor die Chancen und Herausforderungen eines Industrie 4.0 orientierten Qualitätsmanagements dargestellt werden. Darauf aufbauend werden schließlich die kritischen Erfolgsfaktoren identifiziert und daraus resultierende Handlungsempfehlungen gegeben. Eine kritische Würdigung findet im sechsten Kapitel statt, indem die Limitationen dieser Arbeit aufgezeigt werden. Abschließend wird im letzten Kapitel ein zusammenfassendes Fazit gezogen sowie ein Ausblick für zukünftige Forschung in diesem Themenbereich gegeben.

7. FAZIT UND AUSBLICK

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden die drei Themenbereiche *Qualitätsmanagement*, *Industrie 4.0* und *Flugzeugturbinen* zusammengeführt, die bisher nahezu separat in der Literatur betrachtet wurden. Flugzeugtriebwerke sind erhöhten Sicherheits- und Qualitätsanforderungen ausgesetzt. Daraus leitet sich die grundlegende Motivation ab, die Einflüsse der Digitalisierung und Vernetzung auf das Qualitätsmanagement von Flugzeugturbinen zu untersuchen. Es wurde deutlich, dass zahlreiche Wirkzusammenhänge 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.

Das Referenzmodell wurde anschließend durch Expertenbefragungen nach der Methode von MAYRING evaluiert und modifiziert. Der Fokus lag dabei auf der Phase der Instandhaltung von Triebwerken. Die Ziele der Flugzeuginstandhaltung sind äußerst sicherheits- und qualitätsrelevant. Zudem liegen hier große Optimierungspotentiale, z.B. hinsichtlich vorausschauender Wartung oder der Optimierung von Sensorik und Ersatzteillagerhaltung. Insgesamt zeigte sich, dass in der Praxis zahlreiche Projekte initiiert wurden, um die Digitalisierung umzusetzen. Jedoch wurden auch einige Diskrepanzen zwischen Theorie und Praxis deutlich. So ist bspw. die angestrebte unternehmensübergreifende Ausrichtung des Qualitätsmanagements nicht ohne Weiteres umsetzbar.

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.

Das Referenzmodell wurde aufgrund der Evaluation durch die Expertenbefragungen zwar bereits leicht modifiziert, dennoch sind zukünftig 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 zu ermöglichen. Somit wäre auch die Ausweitung auf andere Branchen realisierbar, deren Produkte und Prozesse anderen Anforderungen und Zielen unterliegen. 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.