

Masterarbeit

DIGITALE TRANSFORMATION VON MESSPROZESSEN

ausgeführt am



FACHHOCHSCHULE DER WIRTSCHAFT

Fachhochschul-Masterstudiengang
Automatisierungstechnik-Wirtschaft

von

Dipl.-Ing. Simon Zigala, BSc

2010322025

betreut und begutachtet von

FH-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Manfred Pauritsch

Graz, im Mai 2022

.....
Unterschrift

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benützt und die benutzten Quellen wörtlich zitiert sowie inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

.....

Unterschrift

DANKSAGUNG

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen Personen bedanken, die mir während der Erstellung meiner Masterarbeit mit Rat und Tat zur Seite gestanden sind.

Mein ganz besonderer Dank gilt dabei meiner Familie und insbesondere meiner Freundin, die mir trotz meines zweiten Masterstudiums stets den gleichen Rückhalt geboten hat.

Darüber hinaus möchte ich auch meinen Ansprechpartnern bei der Boehlerit GmbH & Co. KG, Dr. Ronald Weissenbacher sowie Herr Christian Mader, BSc, herzlich für die spannende Aufgabenstellung und den immerwährenden Support danken.

Mein Dank gilt weiters natürlich auch meinem akademischen Betreuer, Herrn FH-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Manfred Pauritsch, der mich im Zuge dieser Masterarbeit unterstützt hat.

KURZFASSUNG

Immer volatilere Märkte, stetig neue Kunden*innenanforderungen und erbitterte Preisschlachten mit Marktteilnehmern*innen und das alles in Kombination mit verkürzten Produktlebenszyklen. Wie soll sich das langfristig gerade für mittelständische Unternehmen ausgehen? Die digitale Transformation ist dahingehend ein omnipräsentes Thema in der Industrie, wird sie doch als Löser vieler dieser Probleme gesehen.

Doch es stellt gerade das erforderliche Know-How für die Durchführung von digitalen Transformationsprozessen insbesondere traditionelle Unternehmen vor wesentliche Herausforderungen. Aus diesem Grund verfolgt die vorliegende Masterarbeit das Ziel, genau solchen Unternehmen eine Unterstützung in Form eines Umsetzungsleitfadens, für die digitale Transformation von Messprozessen zu bieten. Es wird dabei anhand eines realen Unternehmens der produzierenden Industrie methodisch der Frage nachgegangen, wie gegenwärtig überwiegend analoge Messprozesse, mit hohem Grad an menschlicher Interaktion, systematisch digital transformiert werden können.

Hierzu wird zunächst eine fundierte Literaturrecherche betrieben, um dabei den Hintergrund und die Fachtermini digitaler Transformation sowie Digitalisierung zu klären. Im eigenen Kapitel der digitalen Transformation wird nochmals aus Managementsicht ein Blick auf dieses Thema geworfen, bevor im Kapitel zu modellbasierter digitaler Transformation konkret auf Vorgehensmodelle, Referenzmodelle und Reifegradmodelle eingegangen wird. Auf Basis der Erkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln wird im Kapitel fünf ein eigenes Reifegradassessment-Tool entwickelt, mit dem der digitale Reifegrad bestehender Prozesse erfasst werden kann. Im Anschluss daran erfolgt die praktische Anwendung dieses Tools durch eine konkrete Betrachtung mehrerer Messprozesse des Beispielunternehmens sowie einer konsekutiven Identifikation konkreter digitaler Transformationspotentiale. Das vorletzte Kapitel zeigt die praktische Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen an den Messprozessen des Unternehmens, bevor im abschließenden Kapitel die vorliegende Masterarbeit nochmals kritisch resümiert wird.

ABSTRACT

Increasingly volatile markets, constantly new customer requirements and fierce price battles with market participants, and all this in combination with shortened product life cycles. How is this supposed to work out in the long term, especially for medium-sized companies? The digital transformation is therefore an omnipresent topic in the industry, as it is seen as the solver of many of these problems.

However, it is precisely the know-how required for the implementation of digital transformation processes that presents traditional companies in particular with significant challenges. For this reason, this master's thesis pursues the goal of offering precisely such companies support in the form of an implementation guide for the digital transformation of measurement processes. Based on a real company of the manufacturing industry, the question of how currently predominantly analogous measurement processes with a high degree of human interaction can be systematically digitally transformed is methodically pursued.

For this purpose, a well-founded literature search is first conducted in order to clarify the background and the specialist terms of digital transformation, digitization and digitalization. The chapter on digital transformation takes another look at this topic from a management perspective, before the chapter on model-based

digital transformation looks specifically at process models, reference models and maturity models. Based on the findings from the previous chapters, chapter five develops a maturity assessment tool that can be used to measure the digital maturity of existing processes. This is followed by the practical application of this tool through a concrete examination of several measurement processes of the example company as well as a consecutive identification of concrete digital transformation potentials. The penultimate chapter shows the practical implementation of digital transformation measures in the company's measurement processes before the final chapter provides a critical summary of this master's thesis.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	1
1.1	Boehlerit GmbH & Co. KG	2
1.2	Ausgangssituation	3
1.3	Problemstellung	4
1.4	Zieldefinition & wissenschaftliche Fragestellung	5
2	Industrielle Produktion & digitale Transformation	6
2.1	Industrielle Produktion im stetigen Wandel	6
2.1.1	Vorindustrielle Produktion	6
2.1.2	Industrielle Produktion	7
2.2	Das Konzept Industrie 4.0 im Detail	10
2.2.1	Smart Factory	11
2.2.2	Strategische Nutzenpotentiale.....	13
2.2.3	Implikationen der Industrie 4.0.....	14
3	Digitale Transformation im Unternehmen	17
3.1	Definition	17
3.1.1	Gegenüberstellung digitale Transformation & Industrie 4.0	18
3.2	Finanzielle Chancen & Risiken	19
3.3	Potentialfelder digitaler Transformation	19
3.4	Digitale Transformationsstrategie	21
4	Modellbasierte digitale Transformation	25
4.1	Vorgehensmodelle digitaler Transformation	25
4.1.1	Ergebnisse systematische Literaturrecherche.....	26
4.1.2	Erkenntnisse zu Vorgehensmodellen	29
4.1.3	Entscheidung für ein konkretes Vorgehensmodell	30
4.2	Konkretes Vorgehensmodell nach Appelfeller/Feldmann im Detail	30
4.2.1	Schritt 1: Digitale Vision & Strategie	31
4.2.2	Schritt 2: IST-Zustand analysieren	31
4.2.3	Schritt 3: Zielzustand festlegen.....	32
4.2.4	Schritt 4: PDCA-Zyklus als Weg zum Zielzustand.....	32
4.2.5	Schritt 5: Vision & Strategie reflektieren	33
4.3	Konkretes Referenzmodell nach Appelfeller/Feldmann	33
4.3.1	Zehn Bausteine des digital transformierten Unternehmens	34
4.3.2	Operationalisierung des Referenzmodells nach Appelfeller/Feldmann.....	40
4.4	Reifegradmodelle digitaler Transformation.....	40
4.5	Konkretes Reifegradmodell nach Appelfeller/Feldmann	41
4.5.1	Operationalisierung des Reifegradmodells nach Appelfeller/Feldmann.....	42
4.5.2	Kritische Reflexion Reifegradmodell nach Appelfeller/Feldmann.....	44
4.6	Konkretes Reifegradmodell nach BITKOM.....	45
4.6.1	Erläuterung der Dimensionen	46

4.6.2	Operationalisierung des Reifegradmodells nach BITKOM	47
4.6.3	Kritische Reflexion Reifegradmodell nach BITKOM	48
4.7	Erkenntnisse zu modellbasierter digitaler Transformation	49
4.7.1	Weiterführende Vorgehensweise.....	50
5	Entwicklung des Reifegradassessment-Tools	52
5.1	Ausgangslage	52
5.2	Entwicklung der Leitfragen	53
5.2.1	Auflistung der finalen Leitfragen	55
5.3	Entwicklung des digitalen Reifegradassessment-Tools	55
5.4	Benötigte Komponenten	56
5.4.1	Python	56
5.4.2	Tkinter	57
5.4.3	Matplotlib.....	58
5.4.4	Entwicklungsumgebung.....	59
5.5	Finales Reifegradassessment-Tool	60
5.5.1	Workflow	60
5.5.2	Visualisierung der Ergebnisse	63
6	Messprozesse bei Boehlerit GmbH & Co. KG	65
6.1	Einführung & Begriffsbestimmung	65
6.1.1	Fertigungskontrollen/-prüfungen.....	65
6.1.2	Fertigungskontrollen/-prüfungen bei Boehlerit.....	66
6.2	Definition der digitalen Vision & Strategie	67
6.2.1	Weitere Vorgehensweise.....	67
6.3	Erläuterung konkreter Messprozesse.....	67
6.3.1	Messprozess Bauteilhöhe.....	68
6.3.1.1	Ablaufbeschreibung.....	68
6.3.1.2	Digitaler Reifegrad Messprozess Bauteilhöhe	69
6.3.2	Messprozess Sättigungsmagnetisierung.....	70
6.3.2.1	Ablaufbeschreibung.....	70
6.3.2.2	Digitaler Reifegrad Messprozess Sättigungsmagnetisierung.....	71
6.3.3	Messprozess Koerzitivfeldstärke	72
6.3.3.1	Ablaufbeschreibung.....	72
6.3.3.2	Digitaler Reifegrad Messprozess Koerzitivfeldstärke.....	74
6.3.4	Messprozess Rundlauf & Durchmesser	75
6.3.4.1	Ablaufbeschreibung.....	75
6.3.4.2	Digitaler Reifegrad Messprozess Rundlauf & Durchmesser	76
6.3.5	Messprozess Oberflächenrauheit	77
6.3.5.1	Ablaufbeschreibung.....	77
6.3.5.2	Digitaler Reifegrad Messprozess Oberflächenrauheit.....	78
6.4	Identifikation von Digitalisierungspotentialen.....	79
6.4.1	Fokussierung	80

6.5	Zielzustand festlegen & Maßnahmen ableiten	80
6.5.1	Ziele Messprozesse allgemein	81
6.5.2	Ziele Messprozess Sättigungsmagnetisierung	81
6.5.3	Ziele Messprozess Koerzitivfeldstärke	81
7	Umsetzung der praktischen Maßnahmen	83
7.1	Plattform zur Messwertablage/-archivierung	83
7.1.1	CAQ-Softwarelösung BabtecQ	83
7.1.2	Fertigungsprüfung in Babtec.FP	84
7.1.3	Prüfauftrag in Babtec.FP	85
7.1.4	Prüfung in Babtec.FP	86
7.2	Digitale Messwernerfassung Prozess Sättigungsmagnetisierung	87
7.2.1	Entwicklungsziele	87
7.2.2	Umsetzung	88
7.2.2.1	Verbindung zwischen PC und Sigmameter	88
7.2.2.2	Kommunikationsprotokoll & Befehle	89
7.2.2.3	Programmcode	90
7.2.3	Funktionsweise	91
7.3	Digitale Messwernerfassung Prozess Koerzitivfeldstärke	93
7.3.1	Entwicklungsziele	93
7.3.2	Umsetzung	93
7.3.2.1	Installation von Tesseract OCR	94
7.3.2.2	Nutzung mittels Python	94
7.3.2.3	Programmcode	95
7.3.3	Funktionsweise	96
8	Diskussion & Conclusio	99
8.1	Ausblick	100
	Literaturverzeichnis	101
	Abbildungsverzeichnis	107
	Tabellenverzeichnis	110
	Anhang 1: Fragenkatalog für Reifegradassessment	111

1 EINLEITUNG

Digitalisierung ist aus unserem täglichen Leben kaum mehr wegzudenken. Sie prägt nicht nur den privaten Alltag von Konsumenten*innen, sondern hat auch wesentliche Bereiche der industriellen Wertschöpfung branchenübergreifend erfasst.¹

Das kontinuierliche Aufkommen neuer, internetbasierter Technologien eröffnet Unternehmen eine breite Palette digitaler Verwertungspotentiale. Optimierte Produkte und Dienstleistungen, vernetzte Produktionen oder komplett neue Geschäftsmodelle bieten zahlreiche Möglichkeiten für Wachstum und Stärkung der nationalen wie internationalen Wettbewerbsfähigkeit.² Um diese Potentiale umfassend und nachhaltig zu nutzen muss jedoch das alltägliche unternehmerische Handeln, den neuen digitalen Gegebenheiten angepasst sein. Infolgedessen unterziehen sich immer mehr Unternehmen gegenwärtig einem ganzheitlichen, durch Digitalisierung getriebenen Wandel. Dieser Umbruch wird auch als digitale Transformation verstanden.

Eines dieser Unternehmen das sich aktuell einer digitalen Transformation unterzieht ist die Boehlerit GmbH & Co. KG mit Sitz im obersteirischen Kapfenberg. Als Produzent von Schneidstoffen und Sonderwerkzeugen für die industrielle Metallbearbeitung agiert sie in einer äußerst kompetitiven Branche mit vergleichsweise engen Gewinnspannen. Die zunehmende Ausbreitung der Industrie 4.0 (I4.0) lässt sie auch zusehends die Forderung des Marktes nach digitalen Lösungen vernehmen. Als Hauptpfeiler einer strategischen Digitalisierungs-Offensive wurden indessen Digitalisierungspotentiale innerhalb der Boehlerit GmbH & Co. KG identifiziert, auf denen die vorliegende Masterarbeit aufsetzt.

Die Herstellung hochpräziser Werkzeuge erfordert neben ausgereiften Produktionsprozessen auch verlässliche Qualitätsprüfungen. Auch wenn sie aus Sicht des Prozessmanagement oftmals als vermeintlich niederpriorie Unterstützungsprozesse gesehen werden, haben sie dennoch einen entscheidenden Anteil an der Qualität von Erzeugnissen. Als Hauptbestandteil eines jeden Qualitätsprüfprozesses gelten dabei industrielle Messprozesse. Angesichts der Tatsache, dass industrielle Messprozesse meist organisch gewachsen sind, in der Regel eine hohe Wiederholungshäufigkeit aufweisen und oftmals mit sehr viel menschlicher Interaktion gekoppelt sind, weisen sie hinlänglich Optimierungspotentiale auf, um im Sinne einer langfristigen Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens, mittels digitaler Transformation effektiver sowie effizienter gestaltet zu werden.

In diesem Sinne werden im Zuge der vorliegenden Masterarbeit Digitalisierungspotentiale industrieller Messprozessen an konkreten Beispielen der Boehlerit GmbH & Co. KG erhoben und mittels konsekutiver Digitalisierung aufgezeigt, wie wesentliche Prozesskennzahlen wie Prozesseffektivität oder Prozesseffizienz durch eine zielgerichtete digitale Transformation verbessert werden können. Neben den konkreten Prozessverbesserungen bei der Boehlerit GmbH & Co. KG soll die vorliegende Arbeit auch als strategischer Umsetzungsleitfaden zur digitalen Transformation von Messprozessen, Dritten einen Mehrwert bieten.

¹ Vgl. Bouée/Schaible (2015), S. 6.

² Vgl. Mittelstädt/Bayer (2015), Online-Quelle [15.08.2021].

1.1 Boehlerit GmbH & Co. KG

Die Boehlerit GmbH & Co. KG ist eine Entwicklerin sowie Produzentin von Schneidstoffen, Präzisionswerkzeugen und Werkzeugsystemen zum Fräsen, Drehen, Bohren und Umformen von Metallen, Holz sowie Kunststoff- und Verbundstoffen. Das Unternehmen ist weltweit mit vier eigenen Produktions- sowie zahlreichen Vertriebsstandorten tätig. Der Firmensitz befindet sich in der österreichischen Stadt Kapfenberg im Bundesland Steiermark. Die Anzahl aller weltweit für Boehlerit tätigen Mitarbeitern*innen umfasst derzeit rund 800. Etwa 500 Vollzeitbeschäftigte sind davon am Standort in Kapfenberg tätig.³



Abbildung 1: Blick auf die Unternehmenszentrale der Boehlerit GmbH & Co. KG in Kapfenberg. Quelle: Boehlerit GmbH & Co. KG (Hrsg.) (2021), Online-Quelle [25.07.2021].

Durch das neunzigjährige Bestehen (Gründungsjahr 1932) kann die Boehlerit GmbH & Co. KG mit fundiertem Domänenwissen in der Werkzeugauslegung sowie spezifischem Expertenwissen bei schwer zerspannbaren Materialien aufwarten. Neben der eigenen hausinternen Entwicklung, Produktion und dem Vertrieb bietet die Boehlerit GmbH & Co. KG auch als System- und Entwicklungspartnerin bekannter Werkzeughersteller*innen maßgeschneiderte Speziallösungen für die unterschiedlichsten Anforderungen und Einsatzgebiete. Die primären Branchen, die von der Boehlerit GmbH & Co. KG bedient werden, erstrecken sich dabei von der Lebensmittelindustrie über die Landwirtschaft, der Öl- und Gasindustrie bis hin zur klassischen Umformindustrie.⁴

Als durch Familienhand geführtes Unternehmen konnte die Boehlerit GmbH & Co. KG im Jahr 2020 einen Rekordumsatz von rund 190 Millionen Euro ausweisen.⁵ Gemäß einer Empfehlung der Europäischen Union

³ Vgl. Boehlerit GmbH & Co. KG (Hrsg.) (2021), Online-Quelle [25.07.2021].

⁴ Vgl. Leitz GmbH & Co. KG (2021), Online-Quelle [25.07.2021].

⁵ Vgl. Die Deutsche Wirtschaft GmbH (Hrsg.) (2021), Online-Quelle [25.07.2021].

(EU) kann sie damit als Großunternehmen klassifiziert werden.⁶ Ein Exportanteil von etwa 85 % unterstreicht die starke internationale Ausrichtung des Unternehmens. Zudem muss festgehalten werden, dass stets mindestens 5 % des Jahresumsatzes garantiert in Forschung und Entwicklung reinvestiert werden.

Eine wesentliche Säule dieser Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten besteht dabei aus engen Kooperationen mit nationalen sowie internationalen akademischen Bildungseinrichtungen sowie externen Forschungsgesellschaften. Im Zuge einer solchen Zusammenarbeit ist auch die vorliegende Masterarbeit entstanden.

1.2 Ausgangssituation

Die Boehlerit GmbH & Co. KG weist mit Stand Mai 2022 rund 800 Produkte in ihrem Portfolio aus. In der Produktion wird dabei stets größtes Augenmerk auf die Qualitätsanforderungen der Erzeugnisse gelegt. Es ist dahingehend weder verwunderlich, dass Boehlerit schon seit geraumer Zeit nach der gültigen ISO 9001:2015 Norm zertifiziert ist noch, dass die Erzeugnisse strengsten Qualitätskriterien unterliegen. Denn nur mittels organisierten und intensiven Betriebes von Qualitätsmanagement (QM) können die Leistungsansprüche der Kunden*innen, im Sinne eines konstant hohen Qualitätslevels, erfüllt werden.

Diese Leistungsansprüche führen in Kombination mit der hohen Variabilität innerhalb der Produktpalette zu dem Umstand, dass im Zuge der Qualitätskontrollen sehr viele unterschiedliche Messprozesse eingesetzt werden. Erschwerend kommt hinzu, dass die meisten dieser Messprozesse organisch mit dem Unternehmen gewachsen und daher äußerst stabil und beherrscht sind, im Gegenzug jedoch über die Jahre kaum Revisionen, respektive Geschäftsprozessoptimierungen (GPO), erfahren haben. Im Laufe der Zeit hat sich damit die gegenwärtige Ausgangssituation eingestellt, die nachfolgend erläutert wird.

Die Boehlerit GmbH & Co. KG weist mit Stand Mai 2022 allein am Produktionsstandort Kapfenberg für die kontinuierliche Qualitätssicherung (QS) mehr als 1.500 einfache Handmessmittel wie Messschieber, Messschrauben oder Prüfdorne auf. Hinzu kommen diverse analoge Messmittel wie Messuhren oder Messtaster. Partiiell werden auch digitale Messmittel mit Human-Machine-Interface (HMI), in Form einer digitalen Anzeige, eingesetzt. Darüber setzt Boehlerit auch komplette Messmaschinen wie beispielsweise 2D- und 3D-Messmikroskope, Dichtepfufwaagen oder Magnetfeldanalysegeräte ein.

Eine gesamtheitliche Betrachtung der genannten Messinstrumente lässt einen gemeinsamen Konsens erkennen. Die aktuellen Messprozesse weisen einen relativ geringen Digitalisierungsgrad auf. Dies ist zum einen dadurch begründet, dass gegenwärtig zahlreiche Messmittel eingesetzt werden, die Messwerte entweder rein analog erfassen oder aufgrund fehlender Schnittstellen keine Anbindung mittels Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) ermöglichen. Zum anderen kann es darauf zurückgeführt werden, dass von jenen Messgeräten, die die Fähigkeit aufweisen würden, Messwerte direkt im Prozess digital zu erfassen, zu transformieren und sie an dezidierten Speicherorten abzulegen, aufgrund der aktuellen Prozessführungen jedoch nicht das volle Digitalisierungspotential ausgeschöpft wird.

⁶ Vgl. Die Kommission der europäischen Gemeinschaften (Hrsg.) (2003), Online-Quelle [25.07.2021].

In der gegenwärtigen Situation werden stattdessen im Zuge einer Qualitätsprüfung erfasste Messwerte, unabhängig vom verwendeten Messmittel, stets händisch auf physischen Prüfblättern vermerkt. Die Prüfblätter sind Einzelerzeugnissen oder mehrteiligen Chargen-Stichproben eindeutig zugeordnet und fungieren somit als Laufkarten für jedwede Qualitätsprüfung innerhalb der Produktion.

Aus diesen Qualitätsprüfungen resultiert durch den Abgleich der IST-Werte mit den erlaubten Toleranzwerten schlussendlich die Anzahl der Gut-/Schlecht- sowie Nacharbeitsteile. Diese Informationen werden in weiterer Folge von den Mitarbeitern*innen, welche die Prüfung durchgeführt haben, in ein Betriebsdatenerfassungssystem (BDE) eingepflegt und für konsekutive Auswertungen & Analysen auf einem Server abgelegt. Die eigentlichen Messwerte (IST-Werte) jeder Einzelmessung werden bis auf wenige Ausnahmen jedoch nicht in ein IT-System übertragen, sondern durch Einsortierung der Prüfblätter an einem physischen Lagerort abgelegt.

Bei Auftreten von etwaigen Kundenreklamationen müssen die seit mehreren Wochen abgelegten und mit einer spezifischen Auftragsnummer verknüpften Prüfblätter zunächst händisch im physischen Lagerort gefunden und daraus entnommen werden, um die vermerkten Messwerte in weiterer Folge wiederum manuell in ein eigenes IT-System zur Reklamationsbearbeitung zu übertragen. Ähnlich verhält sich die Situation bei der Durchführung von Reports im Zuge des internen Controllings und Berichtwesens.

1.3 Problemstellung

Infolge der aktuell vorherrschenden Situation ergeben sich für die Boehlerit GmbH & Co. KG gegenwärtig mehrere Problemfelder, die nachfolgend erörtert werden.

Aufgrund der hohen Varianz der Erzeugnisse herrscht eine Vielzahl unterschiedlicher Messprozesse vor. Angesichts ihres Prozessdesigns erfordern diese Messprozesse gegenwärtig jedoch ein hohes Maß an menschlicher Interaktion, wodurch betriebswirtschaftliche Leistungskennzahlen, engl. Key Performance Indicator (KPI), wie beispielsweise die durchschnittlichen Prüfkosten (dPK) pro Teil oder die Durchlaufzeit (DLZ) maßgeblich negativ beeinflusst werden. Daneben birgt das manuelle Festhalten der Messwerte auf den analogen Prüfprotokollen die inhärente Gefahr einer fehlerhaften oder unzureichenden Eintragung.

Der Umstand, dass bis auf wenige Ausnahmefälle nur die Menge von Gut-/Schlecht- sowie Nacharbeitsteil in das betriebsinterne IT-Systeme zurückgemeldet werden und parallel dazu aufschlussreiche Messwerte nur analog auf den Prüfprotokollen eingetragen werden, lässt sehr viel Informationspotential ungenutzt. Im Sinne eines prospektiven Qualitätscontrollings ist damit ein umfassender historischer Überblick über erfasste Messwerte ebenso kaum realisierbar, wie die Erstellung von aussagekräftigen Messwerttrendsverläufen, die in kürzester Zeit Auskunft über kontinuierlich abgleitende Fertigungsprozesse geben würden. Zudem bilden die aktuell äußerst ressourcenintensiven Reklamationen und Reportings, durch die fehlende Integration der Messwerte in die bestehende Unternehmens-IT, einen wesentlichen Pain Point⁷ für das Unternehmen.

⁷ Bezeichnung in Anlehnung an das Value Proposition CANVAS-Modell nach Osterwalder.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der Großteil der bestehenden Messprozesse in der Qualitätssicherung bei der Boehlerit GmbH & Co. KG wesentliche Potentiale für Digitalisierungsmaßnahmen aufweisen. Durch eine systematische digitale Transformation dieser Messprozesse wird neben einer generellen Verschlinkung der Prozessführung auch eine Erweiterung des Funktionsumfanges, durch Schaffung einer digitalen Datenbasis, erwartet. Zudem sollen durch Digitalisierungsmaßnahmen die Effizienz sowie Effektivität bestimmter Prozesse erhöht werden.

1.4 Zieldefinition & wissenschaftliche Fragestellung

Das Ziel dieser Masterarbeit ist die Entwicklung einer generischen Methodik zur digitalen Transformation von Messprozessen sowie die Verifikation und Validierung dieser im Zuge einer praktischen Anwendung bei der Boehlerit GmbH & Co. KG.

In Anbetracht der gegenwärtig sehr zeit- und kostenintensiven Prozessschritte zur Messwerterfassung, -transformation, -ablage, -aufbereitung und -auswertung sollen dabei konkret bestehende, überwiegend analoge Messprozesse durch eine systematische digitale Transformation in allenfalls teildigitalisierte Messprozesse überführt werden.

Im Rahmen der Umsetzung dieses Vorhabens ergeben sich dabei die beiden zentralen Forschungsfragen:

Welche konkreten Umsetzungsschritte umfasst die digitale Transformation bestehender, überwiegend analoger Messprozesse?

In welchem Ausmaß beeinflusst die digitale Transformation eines Messprozesses Effizienz?

Zur Beantwortung dieser Fragen wird eine zweistufige Vorgehensweise gewählt, die sich in einen theoretischen sowie praktischen Teil unterteilt. Der hermeneutisch-wissenschaftliche Teil dient dem Erwerb des erforderlichen interdisziplinären Wissens zur Lösung der betrieblichen Aufgabenstellung. Auf den Erkenntnissen einer fachspezifischen Literaturrecherche aufbauend wird ein konkretes Vorgehensmodell zur digitalen Transformation der bestehenden Messprozesse erarbeitet.

Der anwendungsorientierte Praxisteil umfasst neben einer systematischen Auswahl und Bewertung relevanter Messprozesse ebenso die praktische Umsetzung von Maßnahmen zur digitalen Transformation. Am Ende dieser Arbeit sollen konkret zwei gegenwärtig überwiegend analoge Messprozesse aus theoretischer, wie aus praktischer Perspektive, in zumindest teildigitalisierte Messprozesse überführt werden.

2 INDUSTRIELLE PRODUKTION & DIGITALE TRANSFORMATION

Die in vielerlei Hinsicht stattfindende digitale Transformation nimmt neben vielen anderen Bereichen auch die industrielle Produktion zunehmend ein. Es gibt nur mehr eine äußerst begrenzte Anzahl an Branchen, deren Wertschöpfung ohne digitale Berührungspunkte auskommt. Obwohl in den meisten Fällen als Chancenbringer angesehen, bringt Digitalisierung per se nicht nur Benefits mit sich, sondern kann auch zu Schwierigkeiten und Konfusionen im Arbeitsalltag führen. Das nachfolgende Kapitel schafft dahingehend einen Einblick in die Hintergründe sowie die Implikationen der Digitalisierung sowie digitaler Transformation im Bereich industrieller Produktion.

2.1 Industrielle Produktion im stetigen Wandel

Um die Bedeutung der Digitalisierung sowie digitaler Transformation innerhalb der produzierenden Industrie zu verstehen, empfiehlt es sich zunächst die historische Entwicklung der industriellen Produktion zu betrachten. Aus produktionswirtschaftlicher Sicht wird die Historie häufig in zwei Epochen unterteilt, die als das **vorindustrielle Zeitalter** sowie das **industrielle Zeitalter** bezeichnet werden.

2.1.1 Vorindustrielle Produktion

Die Geschichte der vorindustriellen Produktion reicht bis in die Mittelsteinzeit von 9.500 – 5.000 v.Chr. zurück. Bereits in dieser Frühphase begannen Menschen unterschiedliche Verfahren zu entwickeln mit denen die Herstellung von rudimentären Werkzeugen und Geräten des täglichen Gebrauches möglich war. Diese Methoden waren überwiegend durch den Einsatz menschlicher Muskelkraft geprägt. Der erste tiefgreifende Wandel in der Lebensweise erfolgte durch den Übergang von der aktiven Nahrungssuche zum systematischen Ackerbau, gepaart mit der Domestizierung von Tieren. Diese als neolithische Revolution bezeichnete Entwicklung kombinierte die Anstrengungen der Menschen mit denen der Tiere zum Zwecke der Produktion, des Transports sowie der Kommunikation. Mit fortschreiten der Zeit verbesserte sich die Nahrungsmittelproduktion, was wiederum das Bevölkerungswachstum beschleunigte und die Erschließung von bis dato unbewohnten Regionen bewirkte. Die Urbanisierung führte schließlich zur Entstehung von Städten, in denen sich im Mittelalter unterschiedlichste Handwerkskulturen ausbildeten. Aus produktionswissenschaftlicher Sicht prägten dabei hochspezialisierte manuelle Einzelfertigungen im Werkstattprinzip, sogenannte Manufakturen, das fertigungstechnische Geschehen bis zur Mitte der jüngeren Neuzeit, respektive dem Ende des 17. Jahrhunderts.⁸

Definitionsgemäß endet damit auch das vorindustrielle Zeitalter.

⁸ Vgl. Schwab (2016), S. 10.

2.1.2 Industrielle Produktion

Das Zeitalter der industriellen Produktion erstreckt sich vom 18. Jahrhunderts beginnend, bis in die gegenwärtige Zeit. Diese Epoche dauert damit immer noch an. Mit dem Zeitalter der industriellen Produktion sind auch die sogenannten vier industriellen Revolutionen untrennbar verbunden. Nachdem es jedoch keine strikte Definition zum Inhalt dieser Entwicklungsstadien gibt, haben sich im Laufe der Zeit unterschiedliche Lehrmeinungen hervorgerufen. An dieser Stelle sei festgehalten, dass im nachfolgenden Teil auf die ingenieurwissenschaftliche, respektive die gängigste, Interpretation der vier Phasen zurückgegriffen wird.

Erste industrielle Revolution – Industrie 1.0

Die erste industrielle Revolution wird von 1750 bis etwa 1850 datiert. Der revolutionäre Charakter dieser Phase wurde durch den Bau von Eisenbahnen sowie die Erfindung der Dampfmaschine durch Thomas Newcomen beziehungsweise James Watt gebildet. Durch diese Innovationen war es zum damaligen Zeitpunkt erstmals möglich Arbeit, die zuvor von menschlicher oder tierischer Muskelkraft ausgeführt wurde zu mechanisieren. Wesentlich beschleunigte und effektivere Produktionen waren die Folge. Neben der Herstellung von Gütern wurde auch das Transportwesen reformiert. Erzeugnisse konnten mittels Dampfschiffe oder Dampfzüge und deren Skaleneffekte (Economies of Scale)⁹ nicht nur signifikant günstiger, sondern auch wesentlich weiter transportiert werden. Durch die Verhinderung existenzieller Hungerskatastrophen kam es zu einer rapiden Zunahme der Bevölkerung, welche wiederum eine Expansion der Industrie in neue Gebiete nach sich zog.¹⁰

Zweite industrielle Revolution – Industrie 2.0

Die zweite industrielle Revolution wurde durch die Entdeckung der Elektrizität zum Ende des 19. Jahrhunderts eingeläutet. Die Nutzbarmachung elektrischer Energie führte zu wesentlichen Neuentwicklungen wie beispielsweise elektrische Antriebe, elektrische Beleuchtung aber auch zu Kommunikationsmitteln wie dem ersten Telefon. Infolgedessen erfuhr auch die produzierende Industrie einen zunehmenden Wandel. Jene großen mechanischen Antriebssysteme, die im Zuge der ersten industriellen Revolution Produktionshallen füllten, wurden durch ihre elektrisch betriebenen, platzsparenden Nachfolger ersetzt.¹¹

Die zweite industrielle Revolution zeigte jedoch auch im Sinne der Unternehmensorganisation revolutionären Charakter. Der Taylorismus¹² brachte unter anderem durch die strikte Trennung von Kopf- und Handarbeit sowie mit detaillierten Produktionsvorplanungen innovative Ansätze im Sinne der heutigen Arbeitswissenschaft auf. Der amerikanische Erfinder Henry Ford griff diese Ansätze auf und machte sie zur Grund-

⁹ Degression der Transportfixkosten pro Stück, durch erhöhte Transportmenge. Sinngleich auch für Produktionen anwendbar.

¹⁰ Vgl. Bauernhansl/Miehe (2020), S. 10 – 11.

¹¹ Vgl. Reinhart/Zühlke (2017), S. XXXI.

¹² Benannt nach dem amerikanischen Ingenieur Frederick Winslow Taylor.

lage seines innovativen Produktionskonzeptes der hochstandardisierten Fließbandfertigung. Das Ford Modell T steht dabei sinnbildlich für den hohen Standardisierungsgrad, die Auftrennung eines komplexen Produktionsprozesses in eine Vielzahl von trivialen Subprozessschritten sowie die große Fertigungstiefe für eine zielgerichtete Massenfertigung in der Automobilindustrie. Diese industrielle Produktionsweise wird in Anlehnung an Henry Ford daher auch als Fordismus bezeichnet.¹³

Dritte industrielle Revolution – Industrie 3.0

Die dritte industrielle Revolution, auch als digitale Revolution bezeichnet, wurde schließlich durch richtungsweisende Fortschritte in der Entwicklung von Elektronik in den 1960er Jahren begründet. Der Einsatz von ersten Großrechnern in Unternehmen in Kombination mit den rasanten Entwicklungsfortschritten integrierter Schaltkreise (IC) revolutionierte die industrielle Produktion durch die Möglichkeiten der Automatisierung von Produktionsabläufen. Prozesse die vormals zwar durch elektrische Energie angetrieben, jedoch hauptverantwortlich vom Menschen ausgeübt wurden, konnten nun durch den intelligenten Verbund von Software und Hardware automatisch von programmierten Maschinen ausgeführt werden. Der erweiterte Einsatz von Elektronik in der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) eröffnete der Produktion zudem fortwährende Potentiale zur Rationalisierung sowie Möglichkeiten wesentlich flexibler und variantenreicher, aber dennoch in hohen Stückzahlen zu produzieren.¹⁴

Mit der Erfindung der numerischen Maschinensteuerungen (NC) und der Verbreitung von speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) wurde die produzierende Industrie endgültig einem radikalen Umbruch unterworfen. Neben der eigentlichen Automatisierung der Arbeitsmaschinen konnten auch einzelne Maschinen softwaretechnisch vernetzt werden, um grundlegende Daten für eine erweiterte Produktionsplanung und -steuerung (PPS) bereitzustellen.¹⁵

Die stetig steigende Performanz der eingesetzten Rechner führte schlussendlich zur Integration weiterer entwicklungs- und planungsorientierter Softwaresysteme zur Unterstützung der Produktion. In dieser Zeit wurden die Grundsteine für die heute bekannten rechnergestützten Technologien wie computer-aided Design (CAD), computer-aided Manufacturing (CAM) oder computer-aided Planning (CAP) gelegt.¹⁶

Der nächste digitale Meilenstein in der Epoche der Industrie 3.0 wurde durch die Entwicklung und Einführung von Personal Computer (PC) in der produzierenden Industrie erreicht. Steigende Rechnerkapazität und die Einführung von Netzwerktechniklösungen ermöglichten es einzelne Arbeitsplätze digital an das Unternehmensnetzwerk anzubinden. Die Möglichkeit des bidirektionalen Datenaustausches zwischen Arbeitsplatz-PCs, Maschinensteuerungen und Großrechnern innerhalb des Unternehmensnetzwerkes war die Folge. Durch die Kommerzialisierung des Internets in den 1990er Jahren, war dies zunehmend auch

¹³ Vgl. Kellner/Lienland/Lukesch (2018), S. 37 – 39.

¹⁴ Vgl. Bauernhansl/Miehe (2020), S. 13 – 14.

¹⁵ Vgl. Krösbacher/Schwald/Markis (2018), S. 20 – 22.

¹⁶ Vgl. Zhuming/Wang (2020), S. 500 – 503.

über die Grenzen des Unternehmens hinweg möglich. Mit diesen Fortschritten wurde jäh eine technologische Lücke geschlossen, wodurch die Automatisierung in der Produktion nun auf eine neue, ganzheitlich vernetzte Ebene gehoben werden konnte, um dadurch die Effizienz und Flexibilität bestehender Produktionssysteme signifikant zu steigern. Infolgedessen wurde 1985 das Konzept des Computer Integrated Manufacturing (CIM) veröffentlicht, das bis heute als Überbegriff für die informationstechnische Vernetzung und Integration von computer-aided Design (CAD), computer-aided Planning (CAP), computer-aided Manufacturing (CAM), computer-aided Quality Assurance (CAQ), computerized numerical control (CNC) sowie der computergestützten Produktionsplanung und -steuerung (PPS) im Unternehmen steht. Getrieben durch die Vision einer effizienten, automatisierten und damit menschenleeren Fabrik wurden weltweit Forschungs- und Entwicklungsinitiativen ins Leben gerufen.¹⁷

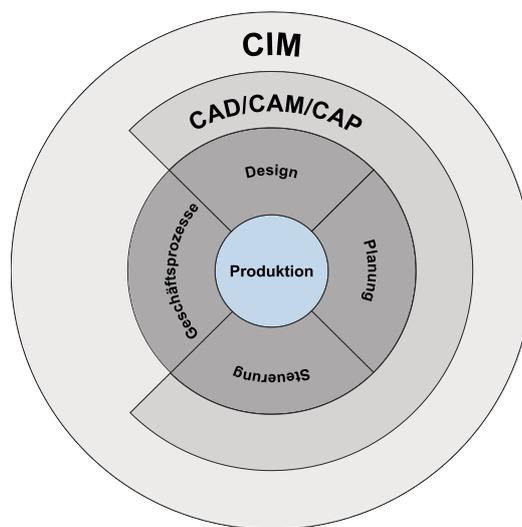


Abbildung 2: Anwendungsbereiche des Computer Integrated Manufacturing (CIM) sowie seiner zugehörigen CAx-Systeme, Quelle: Sreenivasulu/Chalamalasetti (2019), S. 25 (leicht modifiziert).

Retrospektiv betrachtet scheiterten die CIM-Initiativen im Sinne einer vollautomatisierten Produktion jedoch weitestgehend. Unter anderem aufgrund unzureichender Informations- und Kommunikationstechnologien sowie überaus kostenintensiver und störanfälliger Hardwarekomponenten in den Produktionsumgebungen wurden die einst postulierten Potentiale des CIM auch nach Jahren nur ansatzweise erschlossen. In einer Phase der Unklarheit erfuhr jedoch die Lean Production als neuartiges Produktionsparadigma einen signifikanten Aufschwung in der Phase der dritten industriellen Revolution. Durch den Einsatz von Lean Tools war es für produzierende Unternehmen folglich möglich, auch ohne umfassende Integration von Automatisierungstechnik, die Effizienz und Flexibilität ihrer Produktionen zu steigern.¹⁸

¹⁷ Vgl. Reinhart/Zühlke (2017), S. XXXI – XXXIII.

¹⁸ Vgl. Soder (2014), S. 85 – 87.

Vierte industrielle Revolution – Industrie 4.0

Zu Beginn des 21. Jahrhunderts erfolgte mit der Industrie 4.0 der bis heute letzte Schritt der industriellen Produktion. Es sei an diesem Punkt festgehalten, dass es bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt immer noch umstritten ist, ob es sich dabei um eine erneute Revolution oder doch um eine Evolution handelt, da die Industrie 4.0 sowohl revolutionäre wie auch evolutionäre Merkmale aufweist. Im Sinne der Stringenz dieser Arbeit wird weiterführend jedoch das Sinnbild einer Revolution verwendet.

Der Auslöser dieses vierten Umbruchs wird jedenfalls in der kontinuierlich steigenden Komplexität am Absatzmarkt gesehen. Im engeren Sinne werden dabei von Bauernhansl die Funktionalität und Diversität bestehender Leistungssysteme, gesteigerte Anforderungen hinsichtlich Lieferfähigkeit und Verfügbarkeit, wie auch die Preiselastizität und die Verlässlichkeit von Produkten als wesentliche Komplexitätstreiber identifiziert. In diesem Kontext sieht Bauernhansl ferner auch Flexibilitätssteigerungen in Unternehmen als unausweichlich an, um den vehementen kundenseitigen Forderungen nach unterschiedlichen Produktvarianten nachkommen zu können. Im Extremfall kann dies bis zu einer hundertprozentigen, kundenindividuellen Produktion in Losgröße eins führen. Als dritten, auslösenden Faktor benennt er die Dynamik in der Bereitstellung von Gütern. Neben der Tatsache, dass Kunden*innen damals wie heute erwarten ihre Produkte zeitnah zu erhalten, waren Absatzprognosen Anbeginn des 21. Jahrhunderts aufgrund der Volatilität des Absatzmarktes stets mit enormer Unsicherheit behaftet.¹⁹

Angesichts dieser Spannungsfelder am Absatzmarkt besteht immer noch die Herausforderung Produktionssysteme dahingehend weiterzuentwickeln, dass sie neben Mengenschwankungen (quantitative Flexibilität) auch völlig unterschiedliche Produkte (qualitative Flexibilität) in geringsten Stückzahlen zu niedrigen Stückkosten erzeugen können.²⁰

An der Spitze findet sich hiernach das Idealbild einer intelligenten Fabrik, in der mittels umfassender Digitalisierung eine durchgängige Vernetzung aller Maschinen, Produkte und Prozesse sowie vorgelagerten und nachgelagerten Akteuren*innen möglich ist, um flexibler, effizienter, automatisierter und im Endeffekt zu reduzierten Kosten produzieren zu können. Dieser Zielvorstellung zugrunde liegend wurde das Konzept der Industrie 4.0 ins Leben gerufen.

2.2 Das Konzept Industrie 4.0 im Detail

Ihre namentliche Herkunft findet die Industrie 4.0 in der Gründung der sogenannten Plattform Industrie 4.0, welche durch die deutsche Bundesregierung in Kooperation mit Fachverbänden aus der Telekommunikations-, Elektronik-/Elektrotechnik- sowie der Maschinenbauindustrie erfolgte. Diese Organisation bestehend aus Politikern*innen, Experten*innen und Unternehmern*innen hat sich bei ihrer Gründung im Jahre 2013 dem Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit des Wirtschaftsstandortes Deutschland, durch die digitale

¹⁹ Vgl. Bauernhansl (2014), S. 14.

²⁰ Vgl. Kellner/Lienland/Lukesch (2018), S. 279.

Transformation der produzierenden Industrie, verschrieben. In Österreich findet sich seit dem Jahr 2015 eine identische Organisation mit dem Namen Plattform Industrie 4.0 Österreich.

Auch wenn in diesem konkreten Fall Gleichnamigkeit herrscht, ist unter dem Konzept Industrie 4.0 keine Organisation zu verstehen. Es handelt sich dabei vielmehr um einen integrierten und vernetzenden Ansatz zur Modernisierung, in dessen Mittelpunkt Kunden*innen mit stark veränderten Rollen stehen.²¹

2.2.1 Smart Factory

Der Leitgedanke der Industrie 4.0 ist untrennbar mit der Idee der Smart Factory, zu Deutsch intelligente Fabrik, verbunden. Es handelt sich dabei um das Zielbild der Vision nach einer durchgängig und nachhaltig verzahnten Produktion, welche durch Einsatz und Vernetzung modernster Informations- und Kommunikationstechnologien erreicht wird. Die rapide voranschreitende Digitalisierung von Wirtschaft und Gesellschaft wirkt dabei als wesentlicher Innovationstreiber.

Die technologische Basis der Smart Factory wird konkret von intelligenten und digital vernetzten Systemen gebildet, die optimal eingesetzt eine überwiegend selbststeuernde Produktion ermöglichen. Im Hinblick auf die Akteure finden sich auch in einer Smart Factory typischerweise Produktionsmaschinen. Im Gegensatz zu konventionellen Fabriken agieren Maschinen in einer Smart Factory jedoch als cyber-physische Systeme (CPS), also als Verbund von Informationstechnik, Software und mechanischen sowie elektronischen Komponenten. Produktionsmaschinen können dadurch nicht nur klassisch betrieben, sondern vielmehr vollumfänglich als ein Produktionsnetzwerk eingebettet werden. Es wird dahingehend bei einem solchen Verbund von einem cyber-physischen Produktionssystem (CPPS) gesprochen. Die postulierte Intelligenz, welche cyber-physische Systeme von ihren klassischen Pendanten unterscheidet, ermöglicht es ihnen sich auch in hochdynamischen Umgebungen, an die jeweiligen Erfordernisse der Produktion anzupassen. Die digitale Vernetzung zur Kommunikation mit und zur Steuerung von CPS basiert auf performanten Netzwerken, wobei hierbei erwähnt sei, dass diese nicht immer zwingend das Internet einschließen müssen. Nicht selten werden diese Netzwerke nur durch Zusammenschluss lokaler Netze gebildet.²²

Den intelligenten Produktionsmaschinen stehen Personal, Betriebs- und Transportmittel sowie Produkte innerhalb der Smart Factory gegenüber, die über das Industrial Internet of Things (IIoT) als Smart Devices physisch wie digital miteinander interagieren und kommunizieren.²³

Durch den hohen Vernetzungsgrad aller Akteure können in der Smart Factory ganze, intelligente Wertschöpfungsketten geschaffen werden, in denen alle Phasen des Produktlebenszyklus digital begleitet werden. Von der ersten Produktidee über die Entwicklung, Produktion und Nutzung bis hin zu Wartung, Reparatur und dem Recycling am Lebensende. Dadurch können die vielfältigen Bedürfnisse der Kunden*innen bereits von der initialen Produktidee ausgehend über alle Lebensphasen hinweg effektiver berücksichtigt

²¹ Vgl. Borgmeier/Grohmann/Gross (2017), S. 110.

²² Vgl. Broy (2010), S. 21 – 22.

²³ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2016), Online-Quelle [07.08.2021]

werden. Die gesamte Erzeugung von Produkten erfolgt dadurch nicht nur mit hoher Kundenorientierung, sondern soll laut Experten auch zu geringeren Kosten als heute möglich sein.

Durch die Bereitstellung von Informationen in Echtzeit, kann eine Smart Factory zum Beispiel frühzeitig auf eine sich ändernde Verfügbarkeit bestimmter Rohstoffe reagieren. Cloud-Technologien analysieren dabei entsprechende Daten und simulieren unterschiedliche Produktionsszenarien. Ein autarkes und dezentral gesteuertes cyber-physisches Produktionssystem (CPPS) ändert unter Einhaltung bestimmter Randbedingungen das Produktionsprogramm dynamisch auf das ideale Szenario ab, um so Prozesse unternehmensübergreifend optimal zu steuern sowie notwendige Ressourcen effizient einzusetzen.²⁴

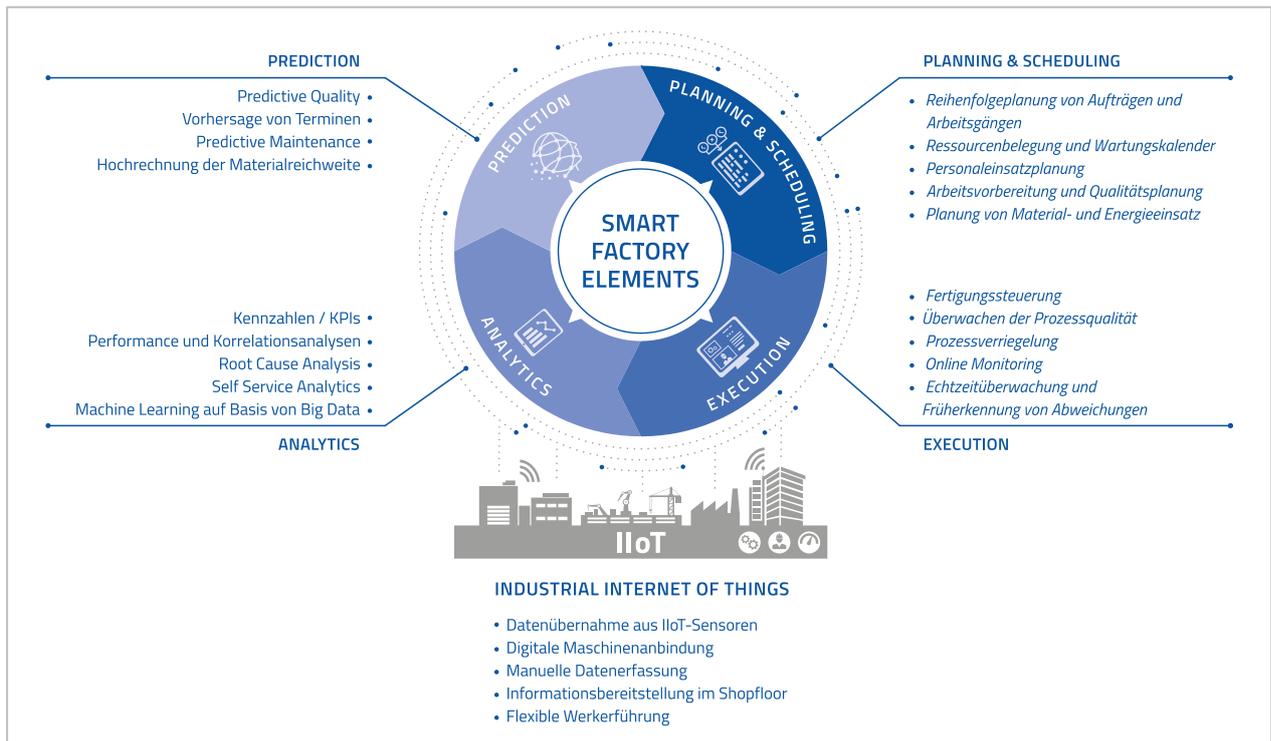


Abbildung 3: Elemente und exemplarische Fähigkeiten der Smart Factory, Quelle: MPDV Mikrolab GmbH (Hrsg.) (2021), Online-Quelle [25.08.2021].

Roth ist der kritischen Meinung, dass die Charakteristika der Smart Factory eigentlich auf eine konsequente Weiterentwicklung bestehender Konzepte der Automation, dem Computer Integrated Manufacturing beziehungsweise des Lean Managements zurückzuführen sind. Jedoch betont er auch, dass erst das umfassende Zusammenwirken dieser Technologien durch Digitalisierung es ermöglicht, diese Konzepte konsequent und durchgängig integriert umzusetzen.²⁵

Eine Smart Factory weist durch ihren hohen Digitalisierungsgrad eine Vielzahl von Potentialfeldern auf. Nachfolgend werden jene die für die vorliegende Arbeit am wesentlichsten erscheinen ausgeführt.

²⁴ Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2015), Online-Quelle [07.08.2021]

²⁵ Vgl. Roth (2016), S. 6.

2.2.2 Strategische Nutzenpotentiale

Die in Abschnitt 2.2 und 2.2.1 angeführten Aspekte eröffnen neben dem bereits angeführten primären Potential den Konflikt zwischen Flexibilisierung und Rationalisierung zu lösen, noch weitere strategische Potentialfelder, die sich zu klaren Erfolgsfaktoren im Unternehmen entwickeln können. Nachfolgendes entnommen aus:²⁶

Minimierung der Durchlaufzeit

Die Durchlaufzeit eines Produktes, also jene Zeit, die zwischen Beginn des ersten bis zur Vollendung des finalen Arbeitsschrittes vergeht, ist eines der ersten Betätigungsfelder für Optimierungsmaßnahmen. Sie wird durch die Summe von Durchführungszeiten für Rüsten und Bearbeiten, aus Übergangszeiten für Warten und Transportieren sowie unplanbaren Zusatzzeiten für störungsbedingte Unterbrechungen bestimmt.²⁷

Durch Echtzeitinformationen bezüglich Personal- und Maschinenauslastung, Fertigungsprozess sowie Lagerbestände werden dynamische Anpassungen innerhalb der Produktion möglich. Infolgedessen können Rüst-, Bearbeitungs- und Wartezeiten so weit optimiert werden, dass sich die Durchlaufzeit von Produkten signifikant verkürzt.

Dynamik entlang der Lieferkette

Eine unzureichende Kommunikation entlang der Lieferkette verursacht häufig ineffiziente Bestellvorgänge, welche sich gemäß dem Bullwhip-Effekt bis nach vorne hin aufschaukeln.²⁸ Zudem führt eine fehlende Synchronisierung von Bestellprozessen zu erhöhter Variabilität und Verlust von Verhandlungsmacht im Zuge von Bestellungen. Dies ist auch als Burbidge-Effekt bekannt.²⁹

Durch Echtzeitinformationen über aktuelle Lagerstände sowie intelligente Analysen ist es jedoch möglich Sicherheitsbestände in der Produktion so weit zu optimieren, dass sowohl Bullwhip-Effekte als auch Burbidge-Effekte minimiert werden können und faktisch kaum mehr negativen Einfluss nehmen.³⁰

Verbesserung der Prozessqualität

Die Prozessqualität ist eine maßgebliche Kennzahl zur Bewertung Produktionsprozessen. Unternehmen mit hoher Prozessqualität schaffen es innerhalb des Unternehmens (funktions- und bereichsübergreifend)

²⁶ Vgl. Kellner/Lienland/Lukesch (2018), S. 279.; vgl. Bauernhansl (2014), S. 30 – 33.

²⁷ Vgl. Pohl (2014), S. 65.

²⁸ Vgl. Lee/Padmanabhan/Whang (1997), S. 546 – 549.

²⁹ Vgl. Kuhn/Hellingrath (2002), S. 19 – 20.

³⁰ Vgl. Forstner/Dümmler (2014), S. 200.

wie außerhalb der Unternehmensgrenzen (Kunden*innen und Lieferanten*innen) die richtigen Aktivitäten in der richtigen Reihenfolge zu setzen, sodass sich eine hohe Ergebnisqualität in effektiver und effizienter Art und Weise erzielen lässt.³¹

Beispielsweise wird es durch Vernetzung einzelner Arbeitsstationen möglich, Qualitätsdaten aufzunehmen und in Echtzeit bereitzustellen oder sie unternehmensübergreifend auszutauschen. Im Bedarfsfall kann dadurch zeitnah mit Gegensteuerungsmaßnahmen in (Produktions-)Prozesse eingegriffen werden. Durch eine digital unterstützte Prozessführung können beispielsweise auch unwirtschaftliche, redundante Mehrfachmessungen vermieden werden. Durch die Implementierung echtzeitnaher Qualitätsregelkreise ist nach Bauernhansl dahingehend eine Reduktion von Qualitätskosten zwischen 10 – 20 Prozent möglich.³²

Neue Geschäftsmodelle

Die Digitalisierung im Unternehmen macht es möglich die klassische Wertschöpfungskette³³ nach Porter durch digitale Elemente zu ergänzen.

Zum einen kann damit das bestehende Leistungsportfolio durch neue Wertschöpfungsvarianten ausgeweitet werden. Exemplarisch sei hier ein/eine Maschinenhersteller*in erwähnt, der/die neben seinem/ihrer Kerngeschäft, dem Vertrieb von Maschinen, auch zusätzlich Hardware & Software zur Überwachung der Maschine vertreibt.

Zum anderen kann dies auch eine Strategie sein, um sich von einem/von einer reinen Produkthanbieter*in zu einem/einer Lösungsanbieter*in einer intelligenten Produkt-Dienstleistungskombination zu entwickeln. Als Beispiel sei hier der/die Maschinenhersteller*in angeführt, der/die ergänzend zum Vertrieb von Maschinen, durch Erfassung industrieller Sensordaten, auch anlassbezogene Wartungstätigkeiten bei seinen Kunden*innen durchführt.³⁴

Der Zenit der digitalen Wertschöpfungskette wird demzufolge vom Digital Business gebildet. Diese Endausbaustufe tritt ein, wenn die Digitalisierung das gesamte Geschäftsmodell durchdrungen hat.³⁵ Als Beispiel sei hier ein/eine Maschinenhersteller*in angeführt, der/die sich weg von einem/einer klassischen Maschinenbauer*in hin zum/zur Experten*in im Bereich des Energiemonitorings von Maschinen entwickelt.

2.2.3 Implikationen der Industrie 4.0

Durch die in Abschnitt 2.2.2 genannten strategischen Potentialfelder der Industrie 4.0 können vielfältige Effizienz- und Effektivitätsreserven im Zuge der Wertschöpfung realisiert werden. Zweifelsohne findet sich

³¹ Vgl. Sternad/Mödritscher (2018), S. 183.

³² Vgl. Bauernhansl (2014), S. 31 – 32.

³³ Vgl. Porter (1985), S. 37.

³⁴ Vgl. Roth (2016), S. 8.

³⁵ Vgl. Schwertner (2017), S. 389.

der Ausgangspunkt, wie auch bei den drei industriellen Revolutionen zuvor, in der Erzeugung von Gütern. Es ist jedoch deutlich zu kurz gegriffen, die Industrie 4.0 ausschließlich mit der industriellen Fertigungsebene zu assoziieren. Das Konzept der Industrie 4.0 weist durch die bereits mehrfach erwähnte, durchgängige Digitalisierung vielmehr wesentliche Implikationen für das gesamte Unternehmen auf.

Diese lassen sich insbesondere durch die Schemata der vertikalen und horizontalen Integration von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) im Unternehmen darstellen.

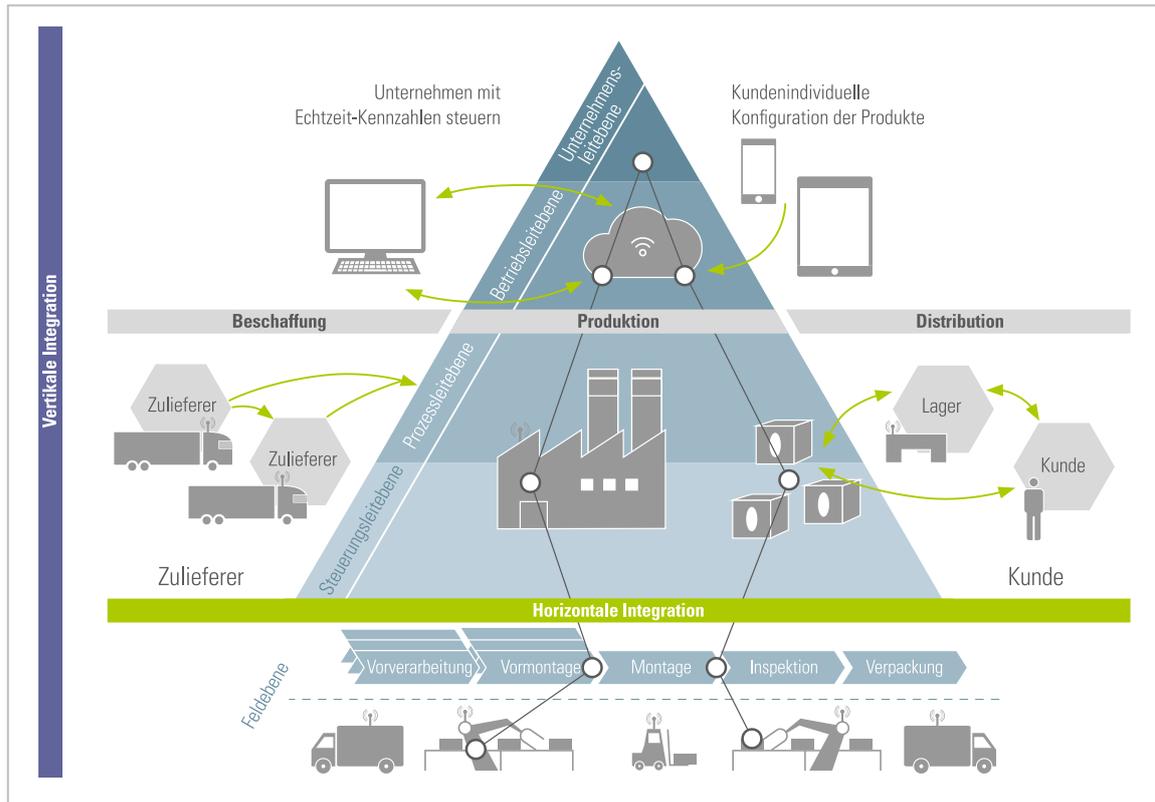


Abbildung 4: Darstellung der horizontalen und vertikalen Integration von IKT im Unternehmen sowie deren variabler Implikationspfade auf Basis der ANSI/ISA-95 Norm, Quelle: Dumitrescu (2016), S. 206 (leicht modifiziert).

Vertikale Integration

Aus Sicht der vertikalen Integration erstrecken sich die Implikationen der Industrie 4.0 über verschiedene Hierarchieebenen im Unternehmen. Zur Darstellung dieser Zusammenhänge wird gewöhnlich auf die ANSI/ISA-95 Norm für die Integration von Unternehmens- und Betriebsleitenebene, umgangssprachlich auch als Automatisierungspyramide bezeichnet, zurückgegriffen (siehe Abbildung 4). Ausgehend von der Feldebene finden sich übergelagert die Steuerungsleitenebene und die Prozessleitenebene. Darüber sind wiederum die Betriebsleitenebene und die Unternehmensleitenebene eingegliedert. Daten werden im eigentlichen Produktionsprozess erfasst und bottom-up an die übergelagerten Ebenen weitergeleitet. Im Zuge dieses Weiterleitungspfades werden die erhobenen Daten vom Shopfloor ausgehend flexibel transformiert, um daraus Informationen zu erzeugen. Durch Speicherung, Verarbeitung und Verknüpfung von Informationen wird schlussendlich Wissen generiert. Auf Basis dieses Wissens können in weiterer Folge top-down strategische

Planungs- und Steuerungsprozesse angestoßen werden, die sich im Einzelfall von der obersten Unternehmensleitebene, durch alle darunterliegenden Ebenen hindurch, bis auf die Feldebene auswirken können.

Horizontale Integration

Angesichts der horizontalen Integration finden sich wie in Abbildung 4 ersichtlich Implikationen entlang der Lieferkette, engl. Supply-Chain. Demnach werden durch die Bereiche Beschaffung, Produktion und Distribution gleichermaßen vorgelagerte Zulieferer, unternehmensinterne Akteure wie Personal, Maschinen, Produkte, Betriebs- und Transportmittel sowie nachgelagerte distribuierende Logistikunternehmen ganzheitlich miteinander vernetzt. Besonderer Schwerpunkt liegt dabei auf den Kunden*innen, stehen sie doch am Ende der Lieferkette als Bezieher*innen der produzierten Leistung. Entlang der klassischen Lieferkette bewegen sich von den Lieferanten*innen über die Produzenten*innen bis zu den Kunden*innen überwiegend physischen Waren oder Dienstleistungen. Durch horizontale Integration von IKT wird diese klassische Supply-Chain jedoch vorwärts- und rückwärtsintegrativ mit Daten- und Informationsflüssen ergänzt (siehe grüne Pfeile), um wesentlich vernetzter zu agieren.

Synthese im Unternehmen

Zur Verwirklichung einer fusionierten durchgängigen Vernetzung, vertikal wie horizontal im Unternehmen, bedarf es jedoch einer klaren Strategie und der Bereitschaft zum ganzheitlichen Wandel. Natürlich ist es stets zu jeder Zeit möglich inkrementelle Verbesserungen im Unternehmen zu implementieren. Demnach können im Sinne der Digitalisierung sehr wohl sukzessive Digitalisierungsprojekte auf einzelnen vertikalen oder horizontalen Stufen umgesetzt werden. Von digitalen Insellösungen mit einer scharfen Trennung zum restlichen Unternehmen sei jedoch abgeraten.

Um eine umfassende Ausschöpfung der postulierten Potentiale der Digitalisierung, respektive der Industrie 4.0, zu betreiben, bedarf es vielmehr einer fundierten und begleiteten digitalen Transformation innerhalb des Unternehmens.

3 DIGITALE TRANSFORMATION IM UNTERNEHMEN

Die digitale Transformation ist neben der Industrie 4.0 einer der meistgebrauchten Begriffe auf Konferenzen, Tagungen und Seminaren, die sich mit Digitalisierung in der Industrie befassen. Kaum eine Thematik scheint Forscher*innen wie Manager*innen gleichermaßen zu beschäftigen. Jedoch scheint die digitale Transformation auch zu einer zu häufig verwendeten Worthölse geworden zu sein, die stellvertretend für alles „Neue“ und „Digitale“ im Kontext von „Veränderung“ gebraucht wird.³⁶

3.1 Definition

Der Zusammenhang zwischen Digitalisierung und digitaler Transformation, speziell im Unternehmenskontext, ist daher oftmals diffus. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass es gegenwärtig keine normierte Definition für den Terminus der digitalen Transformation gibt. Es gibt vielmehr unterschiedliche Ansätze diese zu beschreiben. Nachfolgendes in Anlehnung an:³⁷

Bowersox, Closs und Drayer definieren die *Digital Business Transformation* als Vorgehen, ein unternehmerisches Geschäft neu aufzustellen, bestehende Prozesse zu digitalisieren und Beziehungen über mehrere Wertschöpfungsstufen hinweg zu erweitern.³⁸

Das Consultingunternehmen Capgemini versteht unter *Digital Transformation* den Einsatz von Technologien, um die Leistung oder die Reichweite von Unternehmen zu erhöhen. Die Technologien definieren dabei das Ausmaß, respektive die Dimensionen. Als Betätigungsfelder werden primär Betriebsprozesse, Kundenerlebnisse und Geschäftsmodelle genannt.³⁹

Mazzone definiert die *Digital Transformation* als die kontinuierliche digitale Evolution eines gesamten Unternehmens oder zumindest seines Geschäftsmodells. Ebenso kann die digitale Transformation laut ihm aber auch an einer Idee, einem Prozess oder einer Methode im Unternehmen angewandt werden. Mazzone wählt die Betrachtungsweise inhaltlich bewusst sehr unscharf, denn die digitale Transformation kann laut ihm neben der inhaltlichen auch aus zeitlicher Sicht sowohl strategisch als auch taktisch erfolgen.⁴⁰

Kreutzer versucht aufzuzeigen, dass die digitale Transformation auf unterschiedlichen Ebenen stattfindet und hält dahingehend fest, dass die umfassende Digitalisierung von Produkten, Dienstleistungen und Prozessen in jeglichen Branchen als Grundlage für eine Neuausrichtung der Geschäftsmodelle dient. Dieser ganzheitliche Weg der Neuausrichtung wird von ihm als *digitale Transformation* bezeichnet. Digitalisierung

³⁶ Vgl. Locher (2018), S. 175.

³⁷ Vgl. Schallmo/Rusnjak (2017), S. 3 – 5.

³⁸ Vgl. Bowersox/Closs/Drayer (2005), S. 22 – 25.

³⁹ Vgl. Westerman/Calméjane/Bonnet/Ferraris/McAfee (2011), S. 5 – 7.

⁴⁰ Vgl. Mazzone (2014), S. 8.

selbst treibt dabei die erforderlichen und tiefgreifenden Veränderungsprozesse im Unternehmen. Unter Ausnutzung der neugeschaffenen Möglichkeiten werden innovative Wertschöpfungspotentiale frei.⁴¹

Infolge dieser unterschiedlichen Definitionen kann jedenfalls der gemeinsame Konsens festgehalten werden, dass digitale Transformation:

Im engeren Sinne eine Digitalisierung bestimmter Strukturen im Unternehmen repräsentiert. Diese Strukturen umfassen beispielsweise Produkte, Dienstleistungen oder Prozesse und werden im Zuge der digitalen Transformation von überwiegend analogen in digitale Objekte umgewandelt, sprich digitalisiert.⁴² Als exemplarisches Beispiel sei hierbei die Ablösung papierbasierter Dokumente durch digitale Pendants festgehalten.

Im weiteren Sinne für eine Veränderung traditioneller Geschäftsmodelle durch Einsatz neuester digitaler Technologien steht. Während sich die vorher genannte Ausprägung auf abgegrenzte Bereiche des Unternehmens konzentriert, zielt diese erweiterte Form hingegen auf multidimensionale Bereiche der Wertschöpfung ab. Zweifelsohne passiert dies nicht zum Selbstzweck, sondern soll nachhaltig dazu beitragen, strategische Vorteile hinsichtlich Kosten und/oder Differenzierung gegenüber Mitbewerber*innen zu generieren.

3.1.1 Gegenüberstellung digitale Transformation & Industrie 4.0

Der allgemeine Zusammenhang zwischen Digitalisierung und digitaler Transformation sei hiernach geklärt, an dieser Stelle muss jedoch für das weitere Verständnis noch eine Gegenüberstellung mit dem im Abschnitt 2.2 erläuterten Konzept der Industrie 4.0 erfolgen.

Bei näherer Betrachtung der beiden Forschungsfelder werden reichlich Similaritäten zwischen digitaler Transformation und der postulierten vierten industriellen Revolution erkennbar. Dies liegt darin begründet, dass das Konzept der Industrie 4.0 gemeinsprachlich als Synonym für die digitale Transformation verwendet wird. Es ist jedoch zwingend zu berücksichtigen, dass dies nur dann so erfolgen kann, wenn der Betrachtungsbereich ausschließlich Industrie umfasst.⁴³

Denn digitale Transformation findet sich gleichsam in konträren Bereichen wie dem Energie- oder Bildungsbereich wieder. Unter den Schlagwörtern Energiewirtschaft 4.0⁴⁴ oder Bildung 4.0⁴⁵ werden dort ebenso Themenstellungen behandelt, die durch den rapiden Fortschritt der Digitalisierung begründet sind. Trotz begrifflicher Verwandtschaft, muss hier dennoch eine klare Abgrenzung getroffen werden.

⁴¹ Vgl. Kreutzer (2017), S. 33.

⁴² Vgl. Schumann u. a. (2017), S. 645 – 646.

⁴³ Vgl. Obermaier (2019), S. 12.

⁴⁴ Vgl. Baumann u. a. (2020), S. 903 – 917.

⁴⁵ Vgl. Wahlmüller-Schiller (2017), S. 382.

In diesem Sinne kann die digitale Transformation jedenfalls als Hyperonym sowie die Industrie 4.0 als definierte Ausprägungsrichtung, respektive Hyponym, verstanden werden.

3.2 Finanzielle Chancen & Risiken

Die digitale Transformation verändert existierende Arbeitsabläufe, gewohnte Muster der Kollaboration sowie Strukturen der Informationsbeschaffung, des Datenaustausches und der Kommunikation und führt dadurch zu erheblichen Eingriffen in bestehenden Betrieben.⁴⁶

Die fundierte Umsetzung wird dabei zur unternehmerischen Gestaltungsaufgabe. Sind bestehende Unternehmen nicht in der Lage sich digital zu transformieren, droht ein massiver Wertschöpfungsverlust bis hin zur Insolvenz. Bekannte Negativbeispiele, die Opfer der sogenannten digitalen Disruption wurden, sind demnach der Mobilfunkanbieter Nokia, der Fotografieausrüster Kodak oder das Versandhaus Quelle.⁴⁷ Alle Unternehmen verbindet, dass sie es verabsäumt haben sich zeitnah mit der digitalen Transformation und ihren Implikationen auseinanderzusetzen. Infolgedessen verloren die einstigen Branchen-Krösen kontinuierlich Marktanteile und entwickelten sich schlussendlich zu Marktteilnehmern mit untergeordneter Bedeutung. Im Falle von Kodak und Quelle gipfelte dieser Umstand sogar in der Insolvenz.

Bei genauer Betrachtung wird jedoch ersichtlich, dass nicht nur einzelne Unternehmen, sondern ganze Wirtschaftszweige gefährdet werden. Die Unternehmensberatung Roland Berger bezifferte das Verlustpotential für die produzierende Industrie in Europa auf rund 605 Milliarden Euro im Zeitraum der Jahre 2015 bis 2025, sollte die digitale Transformation nicht ausreichend erfolgen. Dem gegenüber steht aber ein potenzieller Zuwachs von etwa 1,25 Billionen Euro industrieller Wertschöpfung, insofern ihr Potential umfassend ausgeschöpft wird.⁴⁸

3.3 Potentialfelder digitaler Transformation

Digitale Transformation weist als Querschnittsthematik unterschiedlichste Potentialfelder auf. Eine mehrjährige, internationale Studie des Massachusetts Institute of Technology (MIT) Center for Digital Business und Capgemini Consulting, in der 157 Führungskräfte aus 50 Unternehmen unterschiedlicher Branchen befragt wurden liefert die Erkenntnis, dass digitale Transformation im Unternehmen von den drei großen Bausteinen Kundenerfahrung, betriebliche Prozesse und Geschäftsmodell gebildet wird.

⁴⁶ Vgl. Obermaier (2019), S. 5.

⁴⁷ Vgl. Reinhardt (2020), S. 2.

⁴⁸ Vgl. Bouée/Schaible (2015), S. 7.



Abbildung 5: Bausteine digitaler Transformation, Quelle: Westerman u. a. (2011), S. 17 (leicht modifiziert).

Diese Bausteine sind auch als primäre Betätigungsfelder digitaler Transformation im Unternehmen zu verstehen. Da diese Darstellung alleinstehend allenfalls zu allgemein gefasst wäre, finden sich pro Baustein jeweils drei spezifische Ausprägungen (siehe Abbildung 5). Diese Haupt- sowie Subelemente werden von einem Fundament, bestehend aus digitalen Grundfertigkeiten, getragen. Abbildung 5 soll dahingehend neben der Repräsentation der Ausprägungen ebenso zeigen, dass erst durch Existenz entsprechender digitaler Enabler, wie eben den digitalen Grundfertigkeiten, überhaupt eine digitale Transformation in Unternehmen möglich ist.

Aufgrund der Tatsache, dass diese Form der Darstellung für konkrete Aussagen jedoch immer noch zu holistisch ist, wurden die neun definierten Ausprägungen im Zuge der Studie noch weiter präzisiert. Als Ergebnis konnten schlussendlich 23 konkrete Potentialfelder digitaler Transformation im Unternehmen identifiziert werden, welche den Querschnittscharakter dieser Thematik abermals verdeutlichen. Die in Abbildung 6 angeführten Potentialfelder können dahingehend auch als anzustrebende Ziele digitaler Transformation verstanden werden, zu deren Erreichung definierte Initiativen gesetzt werden müssen.



Abbildung 6: Die Studienergebnisse zeigen 23 konkrete Potentialfelder digitaler Transformation, Quelle: Westerman u. a. (2011), S. 17 (leicht modifiziert).

Es sei an diesem Punkt nochmals festgehalten, dass es sich bei Abbildung 6 um Ergebnisse einer Studie des MIT Center for Digital Business und Capgemini Consulting und nicht um allgemeingültige oder normierte Begriffsbestimmungen handelt. Nach aktuellem Forschungsstand gibt es, wie auch unter Punkt 3.1 angedeutet, weder geltende Normen noch allgemein gültige Definitionen, welche die digitale Transformation und ihre dezidierten Potentialfelder eindeutig bestimmen. Auf Basis dieser Ergebnisse kann jedoch jedenfalls geschlussfolgert werden, dass digitale Transformation ein interdisziplinäres Anforderungsprofil, mit einer beträchtlichen Anzahl unterschiedlichster Potentialfelder, aufweist.

Es wird in weiterer Folge bewusst darauf verzichtet, jedes einzelne Potentialfeld der Studie zu beleuchten, da dies für die gegenständliche Masterarbeit nicht zweckdienlich ist. Sehr wohl sei jedoch der Fokus explizit auf die Potentialfelder **einheitliche Daten & Prozesse** im Fundament **digitale Grundfertigkeiten**, sowie auf die Felder **Produktivitätssteigerung** und **neue Funktionen** in der Kategorie **Digitalisierung betrieblicher Prozesse** gelegt, denn diese Felder sind für das weitere Vorgehen in dieser Arbeit von hoher Relevanz.

Insbesondere aufgrund des breiten Spektrums der Themen empfehlen Westerman u.a. jedenfalls Unternehmen sich auf für sie strategisch relevante Potentialfelder zu fokussieren, anstatt überstürzt zu versuchen mehrere Ziele parallel zu verfolgen.⁴⁹ Denn eine mangelhafte, einheitliche Stoßrichtung gilt als einer der Hauptgründe, warum Digitalisierungsprojekte scheitern.⁵⁰ Vor diesem Hintergrund ist es von besonders hoher Bedeutung, digitale Transformation im Unternehmen strategisch begleitet durchzuführen.

3.4 Digitale Transformationsstrategie

Die Entwicklung einer digitalen Transformationsstrategie⁵¹ gilt als Grundvoraussetzung, um bestehende Unternehmen nachhaltig in ein digitales Zeitalter zu überführen. Definitionsgemäß handelt es sich laut Gabler Wirtschaftslexikon bei einer Strategie im unternehmerischen Kontext, um eine langfristig angelegte Verhaltensweise, im Zuge derer mittels konkreter, zielgerichteter Maßnahmenbündel langfristig angestrebte Ziele erreicht werden sollen.⁵²

Die Strategieentwicklung ist dabei ein wesentlicher Bestandteil erfolgreichen Unternehmertums. Wie in Abbildung 7 ersichtlich, werden Strategien de facto in jeder organisatorisch-hierarchischen Planungsebene eingesetzt. Die Integration kann dabei sowohl von oben herab (top-down) als auch von unten herauf (bottom-up) erfolgen. In der Praxis findet jedoch überwiegend der erste Ansatz Anwendung.

⁴⁹ Vgl. Westerman u.a. (2011), S. 41 – 42.

⁵⁰ Vgl. Frank (2020), Online-Quelle [22.01.2022].

⁵¹ In der Fachliteratur ist auch häufig das Synonym Digitalstrategie vorzufinden.

⁵² Vgl. Gillenkirch (2018), Online-Quelle [22.01.2022].

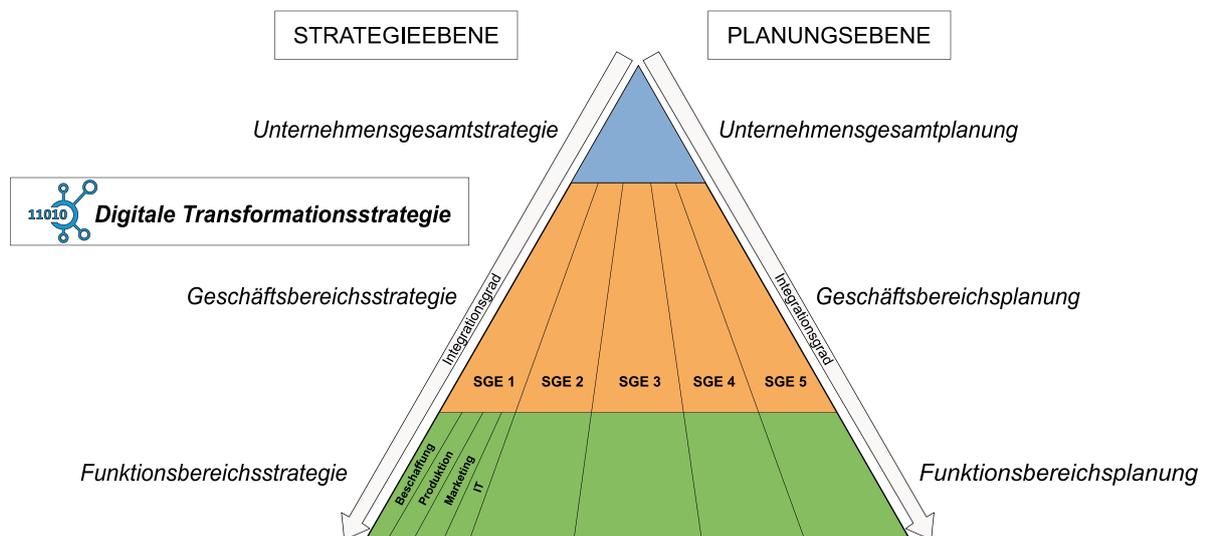


Abbildung 7: Hierarchisches Strategiekonzept nach organisatorischen Ebenen gegliedert, Quelle: Welge/Al-Laham/Eulerich (2017), S. 470 (leicht modifiziert).

Um die unterschiedlichen Eingliederungsvarianten einer digitalen Transformationsstrategie im Unternehmen zu verstehen, muss zunächst ein Blick auf die hierarchischen Strategie- und Planungsebenen geworfen werden. Hierzu wird auf das abgebildete archetypische Strategiekonzept in Abbildung 7 zurückgegriffen. Es ist naheliegend, dass in der unternehmerischen Praxis eine Vielzahl unterschiedlicher Konstrukte Anwendung finden, die im Einzelfall nur mehr eingeschränkt mit dem nachfolgend diskutierten in Beziehung stehen. Trotzdem eignet sich dieser Archetyp besonders, um gerade Wirkungszusammenhänge zwischen einzelnen Strategie- und Planungselementen nach organisatorischen Ebenen zu erläutern.

Über dem gesamten unternehmerischen Wirkungsbereich steht die Unternehmensgesamtstrategie⁵³ beziehungsweise ihr planerisches Pendant, die Unternehmensgesamtplanung. Beide Elemente legen fest, in welchen Bereichen und zu welchem Ausmaß das Unternehmen tätig ist beziehungsweise wie die Unternehmensleitung vorhandene Ressourcen (Kapital, Personal, etc.) gesamtheitlich einsetzt, um langfristig wettbewerbsfähig zu sein. Auf dieser obersten Unternehmensebene wird in der Regel von Stabilisierungs-, Wachstums-, Schrumpfungs- oder Rückzugsstrategien gesprochen, welche die langfristige Ausrichtung des Unternehmens definieren sollen.⁵⁴

Von dieser holistischen Ebene ausgehend wird nach dem top-down Ansatz im Zuge der Geschäftsbereichsplanung für jedes eigenständige Geschäftsfeld eine eigene Geschäftsbereichsstrategie abgeleitet.

⁵³ Die unternehmerische Vision & Mission sowie ihre Werte, welche üblicherweise oberhalb der Unternehmensgesamtstrategie angesiedelt sind, wurden in obiger Darstellung bewusst reduziert, um den Fokus auf das Strategiekonstrukt selbst zu legen.

⁵⁴ Vgl. Welge/Al-Laham/Eulerich (2017), S. 468.

Unter Geschäftsbereichen und Geschäftsfeldern werden strategische Geschäftseinheiten (SGE) subsumiert, die unabhängig von anderen Divisionen agieren und dabei gewöhnlich ein abgegrenztes Marktsegment mit spezifischen Produkten bedienen. In der unternehmerischen Praxis wird vielfach auch der englische Begriff *strategic business units* (SBU) verwendet. Die Untergliederung des Unternehmens in Subelemente ermöglicht die Implementierung unterschiedlicher Strategien pro SGE. Während spezifische Geschäftsbereiche eines Unternehmens beispielsweise Differenzierungsstrategien verfolgen, können andere zur gleichen Zeit durchaus eine Kosten-, Qualitäts- oder Technologieführerschaftsstrategie umsetzen. Im Rahmen der Strategiearbeit muss jedenfalls hinterfragt werden welche Strategie, die gegenwärtig passende für die spezifische SGE ist und ob die Bündelung der Einzelstrategien aller SGE am Ende auch eine gemeinsame strategische Stoßrichtung im Sinne der Unternehmensgesamtstrategie ergibt.⁵⁵

Aus den Geschäftsbereichsstrategien werden schließlich im Rahmen der Funktionsbereichsplanung dezidierte Funktionsbereichsstrategien abgeleitet. Unter betrieblichen Funktionsbereichen werden in diesem Kontext einzelne Abteilungen wie beispielsweise Beschaffung, Produktion, Marketing oder IT, einzelner SGE verstanden. Nachdem diese funktionalen Bereiche wesentliche Kernelemente der täglichen unternehmerischen Wertschöpfung repräsentieren, fokussieren sich auch die korrespondierenden Beschaffungs-, Produktions-, Marketing- und IT-Strategien darauf, wie operative Tätigkeiten langfristig effektiv und effizient durchgeführt werden müssen, um damit einen Beitrag zur Geschäftsbereichsstrategie zu leisten. Im Gegensatz zur darüberliegenden Ebene, in der die Elemente weitestgehend unabhängig voneinander agieren, gibt es in der funktionalen Ebene sehr wohl Interdependenzen zwischen den Elementen, die jedenfalls synergetisch genutzt werden sollten. So ist es durchaus sinnvoll Produktions- und IT- oder auch Produktions- und Marketingstrategien zu koppeln, anstatt sie gesondert voneinander zu betreiben.⁵⁶

Wie in Abbildung 7: Hierarchisches Strategiekonzept nach organisatorischen Ebenen gegliedert, Quelle: , S. 470 (leicht modifiziert). Abbildung 7 dargestellt, wird heute eine digitale Transformationsstrategie im Unternehmen häufig als Begleitwerk und nicht als integrierter Teil der Unternehmensgesamtstrategie verstanden. In der Regel wird dies dadurch begründet, dass strategische Digitalisierungsprojekte vermehrt isoliert unter der Leitung spezieller Führungsstrukturen, wie beispielsweise eines Chief Digital Officers (CDO), umgesetzt werden. Diese Führungsposition hat dabei Entscheidungsverantwortung über den Charakter, wie auch den Integrationslevel der konkreten Maßnahmen. Mit zunehmender Bedeutung von Digitalisierung im Unternehmen ist dieser Bruch jedoch längerfristig nicht zielführend. Erst die Bündelung einer digitalen Transformationsstrategie mit der Unternehmensgesamtstrategie ermöglicht es Digitalisierung nachhaltig auf allen Ebenen sowie Subbereichen im Unternehmen auszurollen.⁵⁷

Es ist dabei nicht ungewöhnlich, dass ein solcher Wandel nicht friktionsfrei vollzogen werden kann und verantwortliche Personen regelmäßig auf unterschiedlichste Widerstände und Probleme stoßen. Neben dem Umfang und dem langfristigen Nutzen einer konkreten Digitalisierungsmaßnahme sind auch deren

⁵⁵ Vgl. Kozyk/Zalutka (2017), S. 45 – 47.

⁵⁶ Vgl. Alkhafaji/Nelson (2003), S. 44 – 46, 143.

⁵⁷ Vgl. Bharadwaj/El Sawy/Pavlou (2013), S. 473 – 475.

konkrete Auswirkungen für betroffene Protagonisten*innen häufig gänzlich unklar. Eine grundsätzliche Ablehnungshaltung, begleitet von unterschiedlichsten Sorgen, bis zur manifestierten Angst, dass der/die Mitarbeiter*in durch Digitalisierung seine/ihre Anstellung verlieren könnte, sind typische Begleiterscheinungen bei der Umsetzung digitaler Transformationsstrategien.⁵⁸ Diese sozial begründeten Komplikationen können allenfalls als kritische Erfolgsfaktoren angesehen werden, welche die Digitalisierungsprojekte nicht nur in ihrer Umsetzung massiv ausbremsen, sondern auch gänzlich zum Scheitern bringen können. Umso wichtiger ist es, die Umsetzung gefährdenden Stolpersteine, möglichst zeitnah und umfassend zu adressieren.⁵⁹ Experten*innen empfehlen daher ausdrücklich, digitale Transformationsstrategien niemals ohne systematisches Change Management umzusetzen.

Digitalisierungsszenarien sind zweifellos mit Veränderung gekoppelt. Um digitale Technologien, Methoden und Verhaltensweisen dauerhaft und erfolgreich in der gesamten Organisation zu etablieren, bedarf es neben einer Begleitung durch Veränderungsmanagement jedoch weiterer Werkzeuge, um das Umsetzungsrisiko entsprechend zu minimieren.

Als besonders erfolgsversprechend gilt dahingehend, wie in anderen Managementbereichen auch, ein Rückgriff auf bereits bewährte Vorgehensweisen. Best-Practice-Beispiele aus der Industrie sowie branchenspezifische Leitfäden führen, sofern überhaupt vorhanden, nicht zwingend zum gewünschten Erfolg. Öffentlich zugängliche Umsetzungsexempel digitaler Transformation sind oftmals bewusst unspezifisch formuliert, sodass zwar Werbewirkung nach außen hin erzielt wird, aber gleichzeitig nicht zu viel Wettbewerbsvorteil für das konkrete Unternehmen verloren geht, indem es ihm Nachahmer mit weniger Kapitaleinsatz gleich tun können. Hinzukommend muss berücksichtigt werden, dass jedes Unternehmen eigens beschaffen ist und sich bewährte Vorgehensweisen des einen Unternehmens daher schon von Natur aus nicht auf andere anwenden lassen. Es damit unbestritten, dass digitale Transformation ein höchst individueller Wandlungsprozess für ein konkretes Unternehmen ist. Demgemäß können Repräsentanten daher nur unter bestimmten Voraussetzungen spiegelbildlich angewendet werden.⁶⁰

Demgemäß rücken automatisch Methoden mit höherem Abstraktionsgrad in den Fokus, die der Polymorphie industrieller Unternehmen in ausreichendem Maße begegnen. Im Rahmen digitaler Transformation werden dahingehend modellbasierte Ansätze als besonders zweckdienlich angesehen.

⁵⁸ Vgl. Falkenreck (2019), S. VII.

⁵⁹ Vgl. Reinhardt (2020), S. 204 – 205.

⁶⁰ Vgl. Seiter (2016), S. 11.

4 MODELLBASIERTE DIGITALE TRANSFORMATION

Definitionsgemäß wird unter einem Modell die abstrakte Repräsentation eines bestimmten Aspekts der Realität verstanden. Modelle finden typischerweise überall dort Anwendung, wo die Realität zu komplex oder ungeeignet ist, um Lösungen unmittelbar dort zu entwickeln. Es sei festgehalten, dass es sich hierbei jedoch nicht zwingend nur um technische Systeme handeln muss. Auch in sozialwissenschaftlichen Forschungsfeldern, wie beispielsweise der Sozioökonomie, werden aufgrund der Komplexität der Realität vermehrt Modellen eingesetzt.⁶¹

Um Elemente eines komplexen, realen Systems in einem Modell abbilden zu können, ist eine Reduzierung erforderlich, durch die nur mehr ausgewählte Eigenschaften des realen Systems wiedergegeben werden. Auf unerhebliche Merkmale der Realität wird dabei im Modell verzichtet. Dies führt zu dem Umstand, dass Funktionen, die für den eigentlichen Zweck nicht relevant sind, in der Modellbildung bewusst abstrahiert werden können. Indessen sei jedoch Vorsicht geboten, dies extensiv zu betreiben, da die wesentliche Struktur der Wirklichkeit jedenfalls erhalten bleiben muss, um eine gewisse Kausalität zwischen Realität und Modell zu wahren.

Im Rahmen modellbasierter digitaler Transformation finden sich in der Fachliteratur überwiegend drei branchenneutrale Archetypen genannt Vorgehensmodell, Referenzmodell und Reifegradmodell wieder. Das Vorgehensmodell repräsentiert hiernach abstrahierte Umsetzungsaktivitäten im Zuge einer systematischen digitalen Transformation im Unternehmen. Das Referenzmodell bildet das Vergleichsobjekt, an dem die digitale Transformation vollzogen wird, während das Reifegradmodell zur Erfassung der aktuellen IST-Situation sowie zur Ableitung konkreter Maßnahmen zur Erreichung einer dezidierten Zielsituation herangezogen wird. Die drei genannten Modelle sind koexistent und weisen wechselseitige Interdependenzen auf.

4.1 Vorgehensmodelle digitaler Transformation

Im Kontext digitaler Transformation werden Vorgehensmodelle verwendet, um einen systematischen und zielgerichteten Wandel zu vollziehen. Gemäß Namensgebung unterstützen sie die Umsetzung, indem sie das gesamte Transformationsvorhaben, von der Idee bis zur Zielerreichung, modellhaft abbilden. Die Komplexität wird durch die Zerlegung der Gesamtaufgabe in überschaubare Teilaufgaben deutlich reduziert. Vorgehensmodelle erleichtern allgemein mit klaren Abfolgeschemata die Planung, Umsetzung sowie das begleitende Projektcontrolling in jeder Phase der digitalen Transformation.⁶²

Harwardt konkretisiert in wenigen Worten Vorgehensmodelle und ihre Benefits. Laut ihm werden Vorgehensmodelle dadurch charakterisiert, dass:⁶³

- die Gesamtaufgabe der Transformation in Teilaufgaben gegliedert wird,

⁶¹ Vgl. Partsch (2010), S. 35 – 36.

⁶² Vgl. Leimeister (2020), S. 90 – 91

⁶³ Vgl. Harwardt (2022), S. 156 – 159.

- Transformationsinitiativen aufeinander aufbauend umgesetzt werden,
- Fortschritte nachvollziehbar und dokumentiert sind,
- durch standardisiertes Vorgehen ein einheitliches Verständnis von digitaler Transformation im Unternehmen vorherrscht,
- Abläufe iterativ wiederholt werden können.

4.1.1 Ergebnisse systematische Literaturrecherche

In der einschlägigen Fachliteratur finden sich unterschiedliche Vorgehensmodelle zur digitalen Transformation. Im Zuge einer systematischen Literaturrecherche wurde dabei deutsch- sowie englischsprachige Publikationen erhoben und nach Nutzen für die vorliegende Masterarbeit betrachtet.

Es wird nachfolgend ein hermeneutischer Einblick in die recherchierten Vorgehensmodelle geboten, wenngleich nicht im Detail auf jedes einzelne Modell eingegangen werden kann, da dies den Rahmen dieser Masterarbeit weitaus übersteigen würde.

An dieser Stelle sei noch festgehalten, dass im Umfeld des Begriffes Vorgehensmodell vermehrt auch die Begriffe **Prozessmodell**, **Procedure Model** und **Roadmap** anzufinden sind. Aus den Erkenntnissen der durchgeführten Literaturrecherche kann der Schluss gezogen werden, dass es sich im Sinne digitaler Transformation bei allen vier Fachbegriffen um synonym zu verstehende Begrifflichkeiten handelt. Diesem Umstand zugrundeliegend wurde infolge der Literaturrecherche auch systematisch nach diesen Begriffen recherchiert. Ergänzend dazu wurde die Recherche nicht nur auf den Begriff digitale Transformation eingeschränkt, sondern durch den klaren industriellen Charakter der Transformation (siehe Abschnitt 3.1.1), auch um den Suchbegriff **Industrie 4.0** erweitert.

Bezeichnung	Autor(en)	Jahr	Beschreibung
Roadmap für Industrie 4.0	Brossardt	2014	Die Roadmap für Industrie 4.0 nach Brossardt umfasst vier Einzelphasen. Initial soll sich das Unternehmen grundsätzlich mit der Thematik Industrie 4.0 auseinandersetzen, um in diesem Bereich Fuß zu fassen. Konsekutiv sollen Kontaktaufnahmen mit Unternehmen erfolgen, die bereits Industrie 4.0-Lösungen umgesetzt haben und ggf. auch am Markt anbieten. In Phase drei erfolgt auf Basis der beiden vorgelagerten Schritte eine Identifikation unternehmensinterner Digitalisierungspotentiale. Phase vier repräsentiert die Erstellung eines Handlungskonzeptes für die Umsetzung von Digitalisierung im Unternehmen. Der Rückgriff auf unternehmensexterne Expertise sei dabei empfohlen. ⁶⁴

⁶⁴ Vgl. Brossardt (2014), Online-Quelle [07.01.2022], S. 4.

<p>Roadmap Industrie 4.0</p>	<p>Seiter u.a.</p>	<p>2016</p>	<p>Die Roadmap Industrie 4.0 nach Seiter u.a. legt ihr Augenmerk auf die Analyse und Bewertung von Digitalisierungspotentialen. Die Roadmap besteht konkret aus vier Schritten. Im Zuge der Bestandsaufnahme soll die IST-Situation im Unternehmen erhoben werden. Im Schritt Potenziale identifizieren erfolgt eine konkrete Identifikation von Digitalisierungspotentialen. Im darauffolgenden Schritt sollen spezifische Potenziale ausgewählt und mehreren Gesichtspunkten bewertet werden. Schritt vier mündet in der Erstellung einer konkreten Umsetzungsroadmap.⁶⁵</p>
<p>Leitfaden Industrie 4.0</p>	<p>VDMA Forum Industrie 4.0</p>	<p>2015</p>	<p>Der Leitfaden Industrie 4.0 des Verbands Deutscher Maschinen- und Anlagenbauer (VDMA) verkörpert ein Vorgehensmodell zur digitalen Transformation bestehend aus den fünf konsekutiven Schritten Vorbereitung, Analyse, Kreativität, Bewertung und Einführung. Als wesentliche Bausteine des Modells fungieren die sogenannten Werkzeugkästen, welche Reifegradmodelle repräsentieren. Durch sie können vorhandene Kompetenzen im Unternehmen eruiert sowie Maßnahmen zur Schöpfung von Digitalisierungspotentialen abgeleitet werden.⁶⁶</p>
<p>Vorgehensmodell Industrie 4.0</p>	<p>Erol u.a.</p>	<p>2016</p>	<p>Das Vorgehensmodell Industrie 4.0 nach Erol u.a. greift auf einen dreistufigen Ansatz zurück. Stufe 1 – Envision umfasst dabei die Definition einer individuellen Digitalisierungs-Vision. Stufe 2 – Enable fokussiert sich auf die Identifikation von Erfolgsfaktoren. Stufe 3 – Enact umfasst die konkrete Maßnahmenplanung sowie die Umsetzung von Digitalisierungsprojekten.⁶⁷</p>
<p>Vorgehensmodell für die Industrie 4.0-Migration</p>	<p>Fraunhofer IPA</p>	<p>2014</p>	<p>Das Vorgehensmodell für die Industrie 4.0-Migration des Fraunhofer Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) umfasst sieben Phasen digitaler Transformation. Das Modell gliedert sich dabei in drei Hauptphasen, umfassend die Aufnahme und Analyse der zu betrachtenden Prozesse, die Ermittlung der Industrie 4.0-Readiness sowie die Umsetzungsplanung. Im Zuge der drei Hauptphasen werden zunächst wesentliche Geschäftsprozesse ermittelt, dokumentiert und auf Verbesserungspotenziale hinsichtlich Digitalisierung geprüft. Anschließend werden in Phase zwei die erhobenen Prozesse einer Überprüfung der Industrie 4.0-</p>

⁶⁵ Vgl. Seiter (2016), S.11 – 14.

⁶⁶ Vgl. VDMA Forum Industrie 4.0 (2015), Online-Quelle [07.01.2022], S. 10 – 12.

⁶⁷ Vgl. Erol/Schumacher/Siehn (2016), S. 254 – 262.

			<p>Readiness zugeführt, um deren IST-Reifegrad zu ermitteln. Durch einen systematischen Abgleich der IST-Situation mit Standardanwendungsfällen können Maßnahmen identifiziert und Pilotprojekte geplant werden. Final werden im Rahmen der dritten Hauptphase bewusste Iterationsschleifen durchgeführt, um Gefährdungspotentiale zeitnah zu erkennen und zu minimieren. In einer Nachbetrachtung werden die Pilotprojekte der ursprünglichen Planung gegenübergestellt. Aus den Lessons Learned der Pilotprojekte wird in weiterer Folge eine konkrete Umsetzungs-Roadmap erstellt.⁶⁸</p>
<p>Vorgehensmodell Industrie 4.0</p>	<p>Merz</p>	<p>2016</p>	<p>Das von Merz publizierte Vorgehensmodell Industrie 4.0 umfasst drei konkrete Schritte, die welche chronologisch von einer strategischen, über eine taktische zu einer operativen Betrachtungsebene durchlaufen werden. Die strategische Betrachtungsebene wird dabei von einer IST-Analyse repräsentiert, in der der aktuelle Status sowie die Eignung des Unternehmens hinsichtlich Digitalisierung analysiert wird. Die taktische Betrachtungsebene besteht aus der Ableitung von Zielbildern, respektive SOLL-Szenarien. In dieser Phase werden die konkreten Projekte definiert. Die operative Betrachtungsebene umfasst die Maßnahmenumsetzung der geplanten Maßnahmen im Zuge von Projekten.⁶⁹</p>
<p>Vorgehensmodell digitale Transformation</p>	<p>Strategy & Transformation Consulting GmbH</p>	<p>2017</p>	<p>Das Vorgehensmodell zur digitalen Transformation der Strategy & Transformation Consulting GmbH besteht aus drei aufeinander aufbauenden Phasen. Phase 1 umfasst eine digitale Statusbestimmung mittels selbstentwickeltem Digital Maturity Assessment. Dieses Assessment besteht seinerseits aus marktbezogenen Analysen sowie unternehmensbezogenen Analysen aus Business wie aus IT-Sicht, beinhaltend sechzehn verschiedene Themengruppen und mehr als 200 Fragestellungen. Phase 2 fixiert die Digitalisierungsstrategie. In diesem Abschnitt erfolgt die Zieldefinition, die Maßnahmenableitung sowie die Festlegung einer konkreten Roadmap. Phase 3 fokussiert sich auf die Business Transformation bestehend aus den Elementen Programm- und Projektmanagement, Change Management, Sofortmaßnahmen sowie begleitendem Controlling inklusive Frühwarnsystem und KPI.⁷⁰</p>

⁶⁸ Vgl. Bildstein/Seidelmann (2014), S. 588 – 592.

⁶⁹ Vgl. Merz (2016), S. 96 – 108.

⁷⁰ Vgl. Strategy & Transformation Consulting GmbH (2017), Online-Quelle [08.01.2022].

<p>Vorgehensmodell für digitale Transformation</p>	<p>Appelfeller/ Feldmann</p>	<p>2018</p>	<p>Das Vorgehensmodell für digitale Transformation nach Appelfeller/Feldmann beruht auf fünf konsekutiven Phasen. In der initialen Phase ist eine digitale Vision & Strategie zu entwickeln, um damit einen erstrebenswerten Idealzustand zu versinnbildlichen. In der zweiten Phase wird der gegenwärtige digitale IST-Zustand des Unternehmens anhand mehrerer Reifegradanalysen festgestellt. Konkret werden dabei die zehn Elemente eines digital transformierten Unternehmens betrachtet, welche von Appelfeller/Feldmann in einem eigenen Referenzmodell festgehalten wurden. Die erfassten Reifegrade zugrundeliegend wird in der dritten Phase ein eindeutiger Zielzustand sowie Maßnahmen dorthin, für jedes der zehn Elemente, definiert. Phase vier repräsentiert die praktische Handlungsphase, in der die Maßnahmen nach dem Plan-Do-Check-Act (PDCA)-Prinzip umgesetzt werden. In Phase fünf erfolgt eine Reflektion und Bewertung der umgesetzten Maßnahmen anhand der eingangs definierten digitalen Vision & Strategie.⁷¹</p>
---	----------------------------------	-------------	--

Tabelle 1: Ergebnisse der systematischen Literaturrecherche zu Vorgehensmodellen für digitale Transformation in der Industrie, Quelle: eigene Darstellung.

4.1.2 Erkenntnisse zu Vorgehensmodellen

Wie durch Tabelle 1 ersichtlich wird, gibt es unterschiedliche Empfehlungen, wie digitale Transformation modellbasiert durchgeführt werden kann. Neben der Verwendung unterschiedlicher Begrifflichkeiten und der Anzahl der einzelnen Umsetzungsschritte unterscheiden sich die angeführten Vorgehensmodelle vor allem auch hinsichtlich ihrer Flughöhe. Manche Autoren*innen erklären digitale Transformation zu einem reinen Thema der Managementebene. Andere sehen in ihren Modellen dagegen einen top-down Ansatz vor, der Maßnahmen vom Management ausgehend hinunter auf den Shopfloor bringt und Erkenntnisse iterativ ins Management zurückträgt.

Worin sich die angeführten Vorgehensmodelle jedoch jedenfalls decken, ist die Tatsache, dass es im Zuge digitaler Transformation allenfalls einer Erfassung der IST-Situation bedarf, um davon ausgehend konkrete Maßnahmen zur Erreichung eines Zielzustandes (SOLL-Situation) abzuleiten. Der Weg dorthin wird mittels konkreten Maßnahmenplan definiert. Die Umsetzung der Maßnahmen erfolgt durch gezielte Einbringung von Ressourcen des Unternehmens. Der digitale Wandel wird dabei durch Managementmaßnahmen (Projekt-, Change-, Risikomanagement, etc.) und Controlling begleitet.

Die Bandbreite der unterschiedlichen Modelle erschwert sinngemäß deren Auswahl. Welches Vorgehensmodell für ein konkretes Szenario am geeignetsten ist, muss daher spezifisch für den Anwendungsfall entschieden werden. Es sei hiernach jedenfalls festgehalten, dass trotz intensiver Recherche keine publizierte

⁷¹ Vgl. Appelfeller/Feldmann (2018), S. 16 – 18.

Metrik, Technik oder ähnliches gefunden wurde, die den Auswahlprozess eines Vorgehensmodells systematisieren würde.

4.1.3 Entscheidung für ein konkretes Vorgehensmodell

Als Repräsentant anwendungsorientierter Forschung weist das Vorgehensmodell von Appelfeller/Feldmann im Vergleich zu anderen Vorgehensmodellen einen äußerst hohen Praxisbezug auf und liefert durch seinen eng verzahnten Transfer zwischen Theorie und Praxis eine solide Grundlage für eine digitale Transformation im Unternehmen. Die fünf einzelnen Phasen erscheinen schlüssig und durchgängig anwendbar. Der starke Modellcharakter ermöglicht einen erhöhten Abstraktionsgrad im Vergleich zu anderen Modellen der Tabelle 1.

Aufgrund dieser Alleinstellungsmerkmale wurde in Abstimmung mit der Boehlerit GmbH & Co. KG entschieden, im Zuge dieser Masterarbeit weiterführend das Vorgehensmodell nach Appelfeller/Feldmann forcieren.

Es wird nachfolgend nochmals im Detail auf das ausgewählte Vorgehensmodell eingegangen, um seinen Aufbau sowie die Anwendung nochmals umfassender zu erläutern.

4.2 Konkretes Vorgehensmodell nach Appelfeller/Feldmann im Detail

Das Vorgehensmodell zur digitalen Transformation nach Appelfeller/Feldmann repräsentiert einen gesamtheitlich modellgestützten Umsetzungsleitfaden für digitale Transformation. Das gegenständliche Vorgehensmodell wird dabei durch ein selbstentwickeltes Referenzmodell sowie ein Reifegradmodell ergänzt. Das Referenzmodell, im konkreten Fall das vollständig digital transformierte Unternehmen, agiert dabei als Best Practice-/Leitobjekt, von dem konkrete Maßnahmen zur digitalen Transformation abgeleitet werden können. Das Reifegradmodell wird konkret für die IST-Analyse des Unternehmens herangezogen.

Grundsätzlich weist das Vorgehensmodell nach Appelfeller/Feldmann wie in Tabelle 1 erwähnt, fünf Umsetzungsstufen auf.

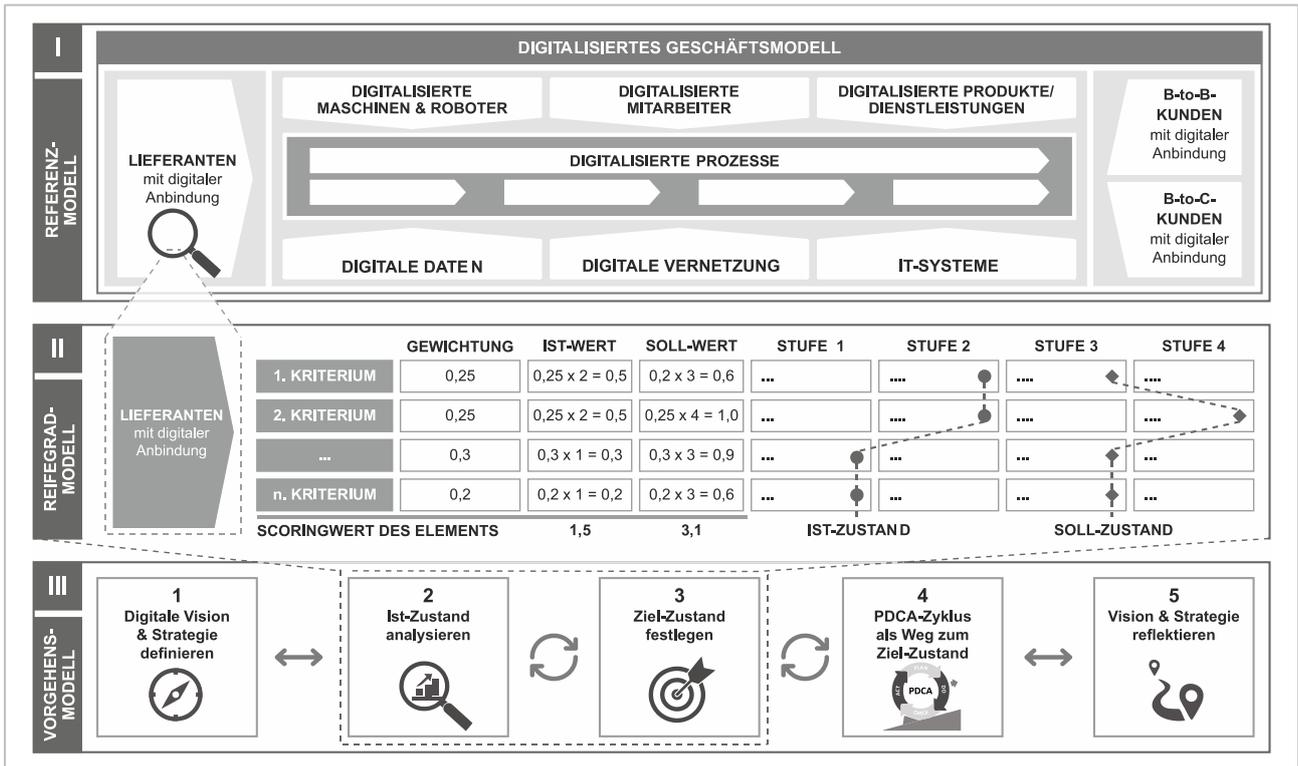


Abbildung 8: Vorgehensmodell für digitale Transformation nach Appelfeller/Feldmann, Quelle: Appelfeller/Feldmann (2018), S. 14 (leicht modifiziert).

4.2.1 Schritt 1: Digitale Vision & Strategie

In der chronologisch ersten Phase wird zunächst eine digitale Vision & Strategie definiert. Ziel ist es, ein gemeinsames Verständnis eines Idealzustandes zu erlangen, zu erarbeiten und diesen festzuhalten. Das Zielbild soll dabei gleichermaßen fordernd wie innovativ sein. Für die zukünftig beteiligten Mitarbeiter*innen muss klar sein, dass es sich für sie wie das Unternehmen lohnt, den Aufwand einer digitalen Transformation zu betreiben. Eine solche Vision könnte nach Ansicht von Appelfeller/Feldmann beispielsweise das papierlose Unternehmen darstellen.

4.2.2 Schritt 2: IST-Zustand analysieren

Im Schritt zwei erfolgt die IST-Zustandsanalyse, um den gegenwärtigen Transformationsstatus des Unternehmens zu erheben. Diese Erfassung ist untrennbar mit der Anwendung eines Reifegradmodells (siehe Abschnitt 4.4) gekoppelt. Im Zuge der Reifegraduntersuchung wird dabei auf das Referenzmodell nach Appelfeller/Feldmann zurückgegriffen, indem an jedem der zehn Elemente eines digitalen Unternehmens (siehe Abschnitt 4.3) einzeln eine Reifegraderhebung durchgeführt wird. Schritt zwei ist als wiederkehrende Maßnahme zu verstehen, denn eine Analyse des IST-Zustandes sollte nicht nur einmalig zu Beginn von Umsetzungsmaßnahmen erfolgen. Die resultierenden Reifegrade werden in der Regel für das Unternehmen wirksam visualisiert und dienen gleichzeitig dem nächsten Schritt als Input.

4.2.3 Schritt 3: Zielzustand festlegen

Aus den Ergebnissen der Reifegradanalysen werden im Schritt drei für jedes der zehn Elemente korrespondierende Zielzustände entwickelt. Durch einen Abgleich zwischen den IST-Zuständen aus den Reifegradanalysen mit den Best Practice Beispielen aus dem Referenzmodell werden Lücken erkennbar. Diese Lücken sollen in weiterer Folge durch konkrete Maßnahmen geschlossen werden. Dieser Zielzustand ist hiernach aber nicht mit der zuvor definierten Vision zu verwechseln, denn bei einem konkreten Zielzustand handelt es sich vielmehr um ein Zwischenziel auf dem Weg zur Erreichung der Vision. Appelfeller/Feldmann empfehlen sich mit überschaubaren Teilschritten der Vision anzunähern und nicht zu versuchen die gesamte digitale Vision auf einmal umzusetzen, denn das Risiko des Scheiterns wäre durch die hohe Komplexität der Aufgabenstellung hiernach viel zu groß. Stattdessen sollten sich Unternehmen viel eher mit sukzessiven Maßnahmen beziehungsweise Digitalisierungsprojekten nachhaltig und inkrementell digital transformieren.⁷²

4.2.4 Schritt 4: PDCA-Zyklus als Weg zum Zielzustand

In Anlehnung daran repräsentiert Schritt vier des Vorgehensmodells die Umsetzung konkreter Maßnahmen nach dem japanischen Managementprinzip Kaizen. Grundsätzlich wird unter Kaizen eine Philosophie verstanden, in der sich jeder/jede Protagonist*in zum Ziel setzt, Dinge stetig und überall zu verbessern. So sollen viele kleine Verbesserungen langfristig zu großen Erfolgen für das Unternehmen führen. Im Sinne des Schrittes vier des hier diskutierten Vorgehensmodells wird darunter verstanden, dass die Schritte zwei und drei in iterativen Schleifen durchlaufen werden, um langfristig die digitale Vision zu erreichen. Mit dem Kaizen Gedanken stets untrennbar verbunden ist der Plan-Do-Check-Act-Zyklus (PDCA) nach Deming. Hinter diesem Kreislauf steht im Grunde die gleiche Idee, wie hinter Kaizen, jedoch lässt sich der PDCA-Zyklus im Vergleich wesentlich besser systematisieren.

Im konkreten Fall bedeutet das für Vorgehensmodell nachfolgende Ausführungen:⁷³

Phase	Bedeutung	Tätigkeit
PLAN	Planen	Rollierende Definition des in Schritt drei festgelegten Zielzustandes. Ableitung von geeigneten Transformationsmaßnahmen.
DO	Umsetzen	Umsetzung der Maßnahmen durch konkrete Umsetzungspläne. In der Regel handelt es sich bei den Maßnahmen um konkrete Projekte mit entsprechendem Projektmanagement und -controlling.

⁷² Vgl. Appelfeller/Feldmann (2018), S. 17.

⁷³ Vgl. Appelfeller/Feldmann (2018), S. 18.

CHECK	Überprüfen	Iterative Bewertung der neuen IST-Situation sowie Abgleich mit dem angestrebten Zielzustand.
ACT	Reagieren	Entscheidung über den nächsten Schritt tätigen. Auf Basis der Ergebnisse aus Phase CHECK, entweder weitere Digitalisierungsmaßnahmen verfolgen oder bei Bedarf in aktuelle gegensteuernd eingreifen. Anschließend den PDCA-Zyklus von neuem starten.

Tabelle 2: PDCA-Zyklus als integraler Bestandteil des Vorgehensmodells nach Appelfeller/Feldmann, Quelle: eigene Darstellung.

4.2.5 Schritt 5: Vision & Strategie reflektieren

Das Unternehmen unterliegt ständig neuen Bedingungen, Chancen und Risiken. Es ist daher durch den langen Zeitbezug im Rahmen digitaler Transformation von hoher Wichtigkeit, die initial festgelegten Visionen und Strategien in gewissen Abständen kritisch zu reflektieren und durch geänderte Rahmenbedingungen zu adaptieren.⁷⁴

Nachdem das Vorgehensmodell nach Appelfeller/Feldmann ausführlich erläutert wurde, wird in den nachfolgenden zwei Abschnitten auf das, bis hierhin nur kurz erwähnte, Referenzmodell sowie das Reifegradmodell der gleichen Autoren eingegangen.

4.3 Konkretes Referenzmodell nach Appelfeller/Feldmann

Ein Referenzmodell ist ein abstrakter Rahmen für das Verständnis von Beziehungen zwischen Entitäten einer bestimmten Domäne. Gekennzeichnet durch ein minimales Bündel einheitlicher Begriffe, Beziehungen und Verbindungen, ist ein Referenzmodell grundsätzlich unabhängig von konkreten Details wie Standards, Technologien oder sonstigen Spezifika. Von diesem abstrakten idealtypischen Muster ausgehend, werden gewöhnlich konkrete, spezifische Modelle abgeleitet.⁷⁵

Referenzmodelle eignen sich durch ihre abstrahierten Eigenschaften besonders als Best Practice Leitobjekte, in dem eine erfasste IST-Situation mit der SOLL-Situation abgeglichen wird, um daraus Verbesserungsmaßnahmen abzuleiten. Es sei hier noch festgehalten, dass es gleichermaßen auch möglich ist, Referenzmodelle als dezidierte Ausgangspunkte einer Eigenentwicklung zu nutzen, indem beispielsweise von einem generischen Unternehmensreferenzmodell ausgehend, unternehmensspezifische Modelle generiert werden (top-down Ansatz).

⁷⁴ Vgl. Harwardt (2022), S. 160.

⁷⁵ Vgl. MacKenzie u. a. (2021), Online-Quelle [30.08.2021]

Appelfeller und Feldmann haben dahingehend in ihrer anwendungsorientierten Forschungsarbeit ein aussagekräftiges Referenzmodell eines generischen digital transformierten Unternehmens erstellt. Es dient dies dazu, einzelne Bausteine im Zuge digitaler Transformation entsprechend zu strukturieren, die Wirkungsbeziehungen zwischen den Elementen aufzuzeigen und ferner auch, um eine einheitliche Begriffswelt zu schaffen.

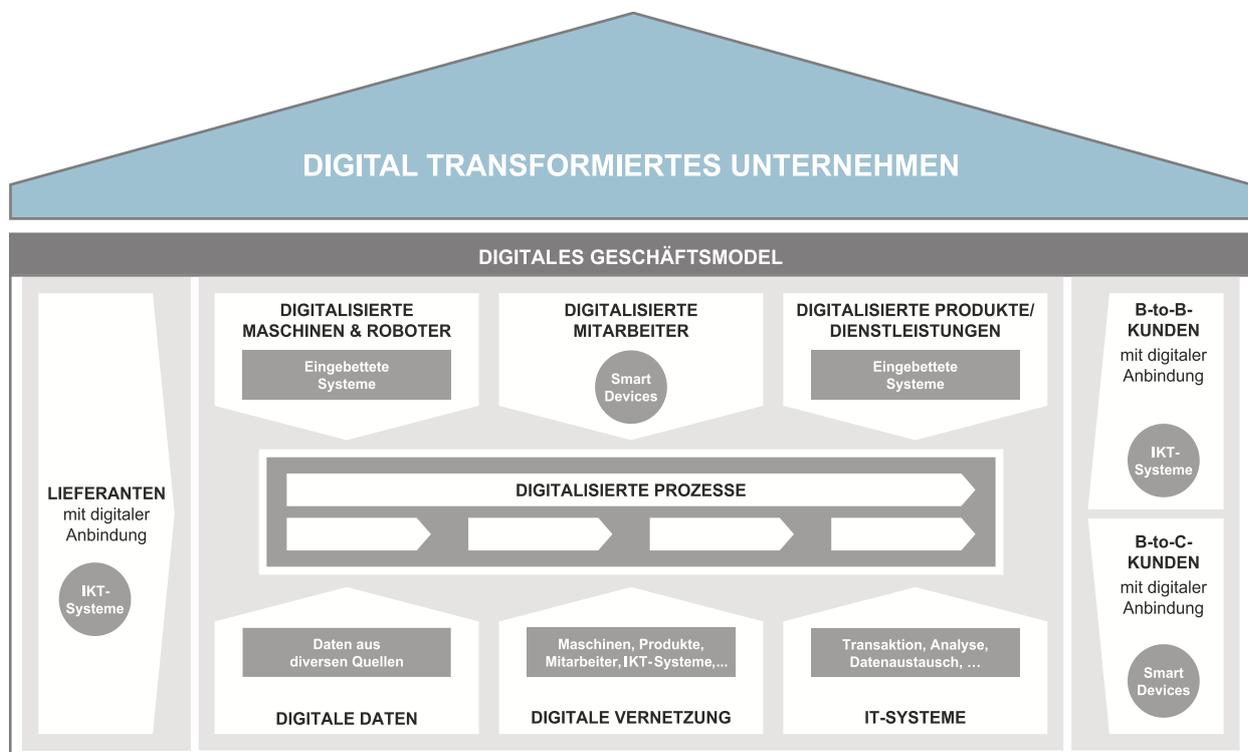


Abbildung 9: Das digital transformierte Unternehmen bestehend aus zehn Einzelementen, Quelle: Appelfeller/Feldmann (2018), S. 4 (leicht modifiziert).

Das Referenzmodell nach Appelfeller/Feldmann wird von zehn Einzelementen gebildet, die im Zuge der Transformation entweder selbst digitalisiert werden oder zumindest die entsprechenden Voraussetzungen schaffen, um eine Transformation zu realisieren. Am Ende einer ganzheitlichen, digitalen Transformation steht final ein **vollständig** digitales Geschäftsmodell, das laut den beiden Autoren mit einem vollständig digital transformierten Unternehmen gleichzusetzen ist.

4.3.1 Zehn Bausteine des digital transformierten Unternehmens

Für das weitere Verständnis werden die zehn Elemente des Referenzmodells eines digital transformierten Unternehmens nach Appelfeller und Feldmann genauer erläutert. Es wird dabei versucht jedes Element zu erläutern sowie dessen Idealzustand, sprich dessen Status nach erfolgter digitaler Transformation, darzustellen. Ergänzend wird auch auf die Hintergründe und Ziele der Einzelemente eingegangen, um die Zwecke der potenziellen Maßnahmen zu verdeutlichen.

Die nachfolgenden zehn Aufzählungspunkte werden überwiegend entnommen aus:⁷⁶

Digitalisierte Prozesse

Im Zentrum des digital transformierten Unternehmens stehen digitalisierte Geschäftsprozesse. Wie in jedem nicht transformierten Unternehmen auch, bilden Geschäftsprozesse das Herzstück der Wertschöpfung, indem sie diese entweder direkt realisieren oder zumindest indirekt unterstützen. Exemplarisch seien hier Produktions-, Beschaffungs- oder Vertriebsprozess als Beispiele angeführt. Die Zielsetzung der digitalen Transformation von Prozessen besteht darin, Prozesse effektiver und effizienter zu gestalten. Bewerkstelligt wird dies durch Implementierung digitaler Technologien sowie durch eine Erhöhung von Integrations- oder Automatisierungsgrad.

Die Innolytics AG sieht in der Digitalisierung bestehender Abläufe und Prozesse den initialen Schritt in der digitalen Transformation des Unternehmens. Jene Tätigkeiten, die bisher in der analogen Welt durch klare Verfahrensvorschriften und Formulare organisiert waren, werden durch schlanke digitale Workflows abgelöst. Jedoch können die meist organisch gewachsenen, analogen Geschäftsprozesse gewöhnlich nicht einfach spiegelbildlich in die digitale Welt übernommen werden. Im Zuge der Digitalisierung von Geschäftsprozessen gilt daher das Augenmerk nicht nur auf die technologischen Aspekte zu legen, sondern Geschäftsprozesse durch die erweiterten Potentiale der Digitalisierung auch gelegentlich radikal neu zu denken. Solche digitalen Prozessinnovationen gehen dabei nicht selten mit einer grundlegenden Neustrukturierung der Prozesse einher, in deren Rahmen neben zeitgemäßer Aufgabengebiete, auch neue Rollen und Zuständigkeiten für Mitarbeiter*innen entstehen.⁷⁷

Definitionsgemäß gilt eine Aktivität in einem Prozess dann als digitalisiert, wenn sie mit Unterstützung eines IKT-Systems durchgeführt wird. Dabei können Input und Output, respektive die eingehenden und ausgehenden Daten, des Prozesses entweder **vollständig analog, digital und analog** oder **vollständig digital** sein.⁷⁸

Unter Betrachtung ihres Digitalisierungsgrades lassen sich digitale Geschäftsprozesse sogar noch feingranularer unterteilen. Der Digitalisierungsgrad ist dabei im konkreten Fall ein Maß dafür, wie viel Prozent des gesamten Prozesses IKT-gestützt erfolgen beziehungsweise wie Prozessinput und Prozessoutput beschaffen sind. Werden demnach jegliche Prozessschritte IKT-gestützt durchgeführt und liegen alle Daten im Prozess in digitaler Form vor wird von **volldigitalisierten Prozessen** gesprochen. Erfolgen nur einige Aktivitäten im Geschäftsprozess mit IKT-Unterstützung oder sind nicht alle Daten im Prozess digital vorrätig, so wird von **teildigitalisierten Prozessen** gesprochen. Im Falle, dass keine Prozessschritte einen IKT-Bezug aufweisen und damit auch keine Daten digital aufliegen, werden diese als **analoge Prozesse** bezeichnet.⁷⁹

⁷⁶ Vgl. Appelfeller/Feldmann (2018), S. 3 – 9.

⁷⁷ Vgl. Innolytics AG (2017), Online-Quelle [15.01.2022].

⁷⁸ Vgl. Appelfeller/Feldmann (2018), S. 28.

⁷⁹ Vgl. Appelfeller/Feldmann (2018), S. 21 – 22, 28.

Es sei hiernach jedoch festgehalten, dass diese Definition lediglich den beiden Autoren Appelfeller/Feldmann entstammt und keine allgemein gültige Definition darstellt. Wie im Abschnitt 4.6 beschrieben, können auch andere Klassifizierungen herangezogen werden.

Digitale Daten

Digitale Daten sind untrennbar mit digitalisierten Geschäftsprozessen verbunden. Sie werden durch den Einsatz spezifischer Technologien bedingt oder gehen mit der Überführung analoger in digitale Größen einher. Im Unternehmenskontext werden unter analogen Größen meist die noch vielfach in Papierform vorliegenden Daten wie Zahlen, Texte, Prüfblätter oder Zeichnungen verstanden. Es bedarf gewöhnlich eines erhöhten Aufwandes und Ressourceneinsatzes, um diese analogen Daten in Unternehmenssysteme aufzunehmen, zu managen, persistent zu halten und sinnvoll zu nutzen.

Digitale Daten werden hingegen vielfach ohne menschliche Interaktion via Schnittstellen direkt in IKT-Systeme eines Unternehmens übernommen. Kommt es zur Speicherung digitaler Daten, erfolgt diese gewöhnlich in klaren Strukturen mit festgelegtem Datentyp und definierter Größe. Man spricht dabei von einer normalisierten Datenstruktur. Gerade mit der fortwährenden Ausbreitung der Industrie 4.0 bekommen digitale Daten jedoch erhöhte Relevanz, produzieren doch digitalisierte Maschinen, cyber-physische Systeme und Smart Devices ihrerseits Unmengen an digitalen Daten. Im Kontrast zu der stark strukturierten Form, fallen diese Daten jedoch größtenteils semistrukturiert⁸⁰ oder unstrukturiert⁸¹ und zudem in erheblichen Mengen an. In diesem Zusammenhang wird auch von Big Data gesprochen. Nachdem viele Unternehmenssoftwares üblicherweise Schwierigkeiten haben unstrukturierte Daten zu verarbeiten, ist deren Nutzungspotential jedoch entsprechend eingeschränkt.

In Anlehnung daran ist das Ziel der Digitalisierung von Daten, analoge Daten in digitale Daten überzuführen beziehungsweise diese so weit zu transformieren und aufzubereiten, dass sie direkt durch IKT-Systeme verarbeitet werden können. Hierdurch ergeben sich vielfältige Potentiale zur Steigerung von Effizienz und Effektivität.

Digital angebundene Lieferanten*innen

Auf Seite der Beschaffung erfolgt mittels digitalisierter Geschäftsprozesse eine bewusste Vernetzung zwischen Produzenten*innen und Lieferanten*innen. Diese Anbindung hat zur Folge, dass relevante Informationen zu beispielsweise Lagerständen oder Bestellungen unmittelbar und in kürzester Zeit zwischen ERP-Systemen ausgetauscht werden. Folglich ist die digitale Lieferantenanbindung maßgeblich für Effizienzsteigerungen in der Beschaffung. Der Fokus wird dabei jedoch nicht nur auf interne, sondern auch auf unternehmensübergreifende Beschaffungsprozesse (siehe Abschnitt 2.2.3) gerichtet.

⁸⁰ Semistrukturierte Daten weisen neben einem klaren Dateityp auch eine gewisse Grundstruktur auf.

⁸¹ Unstrukturierte Daten weisen lediglich einen klaren Dateityp auf. Einzelne Datum innerhalb der Datei liegen jedoch als Fragmente ohne definierte Abhängigkeit auf.

Digital angebundene Kunden*innen

Auf Seite des Vertriebs erfolgt durch digitalisierte Geschäftsprozesse eine bewusste Vernetzung mit Kunden*innen. Aufgrund ihrer traditionell unterschiedlichen Anforderungen wird jedoch zwischen Business-to-Customer (B2C) und Business-to-Business (B2B) Kunden*innen differenziert. Bei den erstgenannten Privatkunden*innen steht ein flexibler, digitaler Kundenzugang mit Smart Devices, respektive mobiler Endgeräte, im Fokus. Dieser soll jederzeit und von überall aus möglich sein. Die digitale Anbindung von Geschäftskunden*innen verfolgt vielmehr einen integrativen Gedanken, um jederzeit einen personalisierten Daten- und Informationsaustausch zwischen Produzent*in und Kunde*in zu betreiben. Bei B2B-Kunden*innen zielt die digitale Anbindung ebenso auf eine Steigerung der Effizienz im Sinne der Abwicklung unternehmensübergreifender Prozesse ab. Bei B2C-Kunden*innen steht durch die digitalbasierte Befriedigung von Kundenbedürfnissen vielmehr die Zielgröße Effektivität im Fokus. Bei beiden Typen sollen durch die bewusste digitale Verknüpfung jedenfalls die Kunden*innen-Lieferanten*innen-Beziehung gestärkt werden.

Digitalisierte Mitarbeiter*innen

Konventionelle Mitarbeiter*innen des Unternehmens werden durch Ausstattung mit Smart Devices wie Smartphones, Tablets oder Head-mounted Displays (HMD) zu digitalisierten Mitarbeitern*innen. Infolgedessen sollen die Angestellten durch die zusätzliche IKT-Unterstützung in ihrer täglichen Arbeit effizienter werden. Die Möglichkeit des mobilen, orts- und zeitunabhängigen Zugriffs auf Daten- und Informationssysteme führt zudem dazu, dass sich Personal flexibler einsetzen lässt. Beispielsweise bedarf es bei Reparaturen damit nicht immer eines/einer Fachexperten*in, da durch den Einsatz von HMDs auch unbedarftere Mitarbeiter*innen, durch Fernwartung geleitet, bestimmte Reparaturarbeiten durchführen können.

Digitalisierte Produkte/Dienstleistungen

Die Digitalisierung im Bereich der Produkte erfolgt durch deren Durchdringung mit digitalen Technologien. Dies können neben Prozessoren, Peripherie oder Speicherchips insbesondere auch Schnittstellen sein, die sowohl an ihrem Einsatzort einen bidirektionalen Datenaustausch ermöglichen als auch im Sinne der Smart Factory mit Personal, Maschinen, Betriebs- und Transportmitteln kommunizieren. Infolgedessen können auch grundsätzlich triviale Produkte wie beispielsweise Staubsauger, durch Ergänzung mit digitalen Technologien, um smarte Funktionen wie einer adaptiven Saugleistungsregelung oder einer Anzeige für den verbleibenden Akkustand, erweitert werden.⁸² Durch Digitalisierung wird ferner auch die Entwicklung hybrider Produkte möglich. Es handelt sich dabei um eine Kombination aus einem physischen Produkt, das durch Digitalisierung, um eine spezifische Dienstleistung erweitert wird. Ein Beispiel hierfür wäre eine Fertigungsmaschine, die adaptiv auf Basis von Sensordaten anlassbezogene Wartungstätigkeiten auslöst (siehe Abschnitt 2.2.2). Digitale Dienstleistungen haben den Vorteil, dass sie im Vergleich zu physischen Produkten in der Regel wesentlich weniger Ressourceneinsatz für die Leistungserstellung erfordern, eine hohe Skalierbarkeit aufweisen und meist zeit- sowie ortsunabhängig vollzogen werden können. Ein Beispiel

⁸² Vgl. King/Lawson Mclean (2021), Weltpatent WO 2021/099757 A1, S. 2 – 6.

hierfür sind Clouddienstleister*innen, die Kunden*innen entsprechende Software, Infrastruktur oder ganze Plattformen als Dienstleistung offerieren. Diese Modelle gewinnen als Software-as-a-Service (SaaS), Infrastructure-as-a-Service (IaaS) oder Platform-as-a-Service (PaaS) immer mehr Popularität, lassen sie sich durch ihren hohen Digitalisierungsgrad doch auch mit beiderseitig flexiblen und modernen Geschäftsmodellen wie pay-per-use koppeln.⁸³

Grundsätzlich haben digitalisierte Produkte und Dienstleistungen das Ziel das Leistungsportfolio des Unternehmens zu erweitern, indem sie Kund*innen einen charakteristischen Mehrwert bieten. Dies trifft insbesondere bei digitalisierten Dienstleistungen zu. Angesichts des vertikalen, bidirektionalen Datenaustausches im Sinne der Smart Factory, sind digitalisierte Produkte aber ebenso wichtige Bausteine von Effizienz- und Effektivitätssteigerungen **innerhalb** des Unternehmens.

Digitalisierte Maschinen

Analoge Maschinen werden durch Installation ergänzender Hardware und Software, meist durch eingebettete Systeme, digitalisiert. Dieser Schritt kann entweder im Zuge der Herstellung der Maschine (Greenfield-Ansatz) durch Hersteller*innen oder durch ein nachträgliches Digital Retrofitting der Maschine (Brownfield-Ansatz) durch Anwender*innen erfolgen. Die digitale Anbindung der Maschinen, respektive ihre Evolution hin zu einem cyber-physischen System (CPS), soll dabei dem Regeln, Steuern und Überwachen von Maschinen dienen. Zudem können Daten direkt von der Maschine am Shopfloor auch bei der Lenkung der Produktion äußerst zweckdienlich sein.⁸⁴ An der Spitze der Entwicklung digitalisierter Maschinen steht jedenfalls ein sich selbststeuernder Produktionsprozess, der eine wirtschaftliche Produktion kleinster Stückzahlen bis hin zur Losgröße eins erlaubt (siehe Abschnitt 2.1.2).

Digitale Vernetzung

Das Element digitale Vernetzung ermöglicht es 1 – n Elemente des digitalen Unternehmens miteinander zu vernetzen, um Daten und Informationen auszutauschen. Erfolgt diese Übertragung auf digitalen Kanälen, wird von digitaler Vernetzung gesprochen. Grundsätzlich ist die digitale Vernetzung nichts, das erst durch digitale Transformation hervorgerufen wurde. Der Austausch von Daten zwischen IKT-Systemen wird seit der Einführung des Internetvorläufers ARPANET 1969 betrieben.⁸⁵ Die fortschreitende Digitalisierung ermöglicht es jedoch eine Vielzahl unterschiedlicher Assets im Unternehmen miteinander zu vernetzen. Das Interesse liegt folglich nicht mehr nur auf dezidierten IKT-Systemen, sondern vielmehr auf allen Elementen des digitalen Unternehmens, bei denen ein Austausch von Daten sinnvoll sein kann. Den Produktionsfaktoren Personal, Maschinen, Betriebs- und Transportmittel sowie den Produkten wird dabei

⁸³ Vgl. Krüger/Rosenstrauch/Hügler/Fechteler/Blankenburg (2017), S. 90 – 91.

⁸⁴ Vgl. Zigala/Tantscher (2022), S. 88 – 89.

⁸⁵ Vgl. Krösbacher/Schwald/Markis (2018), S. 22.

im Sinne des Internet of Things (IoT) besondere Aufmerksamkeit zuteil, gelten sie doch als Enabler selbststeuernder Produktionsprozesse. Das Element der digitalen Vernetzung bildet demnach durch Protokolle, Standards und Übertragungstechnologien den funktionalen Rahmen dieser allumfassenden Konnektivität.

Das oberste Ziel der digitalen Vernetzung im Unternehmen besteht ebenso aus einer Steigerung von Effektivität und Effizienz, die beispielsweise durch einen gemeinsamen unternehmensweiten Datenbestand, respektive die Vermeidung von falschen oder redundanten Eingaben, erreicht werden sollen.

IKT-Systeme

IKT-Systeme gelten als zentrale Elemente des digitalen Unternehmens. Der Ausbau bestehender sowie die Einführung neuer IKT-Systeme sind kritische Erfolgsfaktoren der digitalen Transformation. Bisher standen insbesondere Business Lösungen für Enterprise Resource Planning (ERP), Supply-Chain-Management (SCM), Supplier-Relationship-Management (SRM) oder Customer-Relationship-Management (CRM) im Fokus. Durch ihren wesentlichen Beitrag in der Durchführung von operativen sowie strategischen betriebswirtschaftlichen Geschäftsprozesse, werden sie auch zukünftig von hoher Bedeutung sein. Die fortschreitende Digitalisierung stößt jedoch Veränderungen an. Nachdem die genannten Softwares bisher überwiegend auf unternehmenseigener, lokaler Infrastruktur (on-premise) installiert wurden, zeigt der Trend klar Richtung cloudbasierter Lösungen. Durch das kontinuierliche Wachstum mobiler Anwendungen werden auch bestehende IKT-Systeme herausgefordert sich stetig zu optimieren. Neben entsprechender Performance zum Handling des erhöhten Datenaufkommens ist es auch essenziell, dass sie passende Softwarekonzepte für einen schnellen und sicheren bidirektionalen Datenaustausch zwischen ihnen und unterschiedlichsten Subsystemen bereitstellen.

Die Hauptziele von IKT-Systemen sowie deren digitalen Ausbau sind, Prozesse schneller und sicherer abwickeln zu können und dabei gleichsam fundierte Grundlagen für unternehmerische Entscheidungen zu gewährleisten.

Digitalisiertes Geschäftsmodell

An der Spitze eines digital transformierten Unternehmens steht dessen vollständig digitales Geschäftsmodell. Hierbei wird das volle Spektrum der Digitalisierung im Unternehmen genutzt, um das Leistungsportfolio des Unternehmens zu erweitern. Im Extremfall fußt dabei jedwede Geschäftsidee und Wertschöpfung direkt auf Digitalisierung. Appelfeller und Feldmann nennen dabei Airbnb oder Lieferando als exemplarische Beispiele, da diese Unternehmen lediglich durch digitale Zusammenführung von Anbieter*innen und Nachfrager*innen Umsatz generieren. In der Praxis finden sich heutzutage aber eher hybride Geschäftsmodelle, die ihrerseits aus einer Kombination von klassischer Wertschöpfung und Wertschöpfung auf digitaler Basis bestehen.

4.3.2 Operationalisierung des Referenzmodells nach Appelfeller/Feldmann

Das vorgestellte Referenzmodell nach Appelfeller/Feldmann dient wie in Abschnitt 4.3 erwähnt als Leitobjekt zur Ableitung von Maßnahmen im Sinne der digitalen Vision und Strategie. Um hierfür aber konkrete Initiativen setzen zu können, bedarf es zunächst des Bewusstseins über den aktuellen IST-Zustand. Nur durch diese Evaluierung können Lücken zielgerichtet identifiziert und mittels konkreter Maßnahmen geschlossen werden. Wie in Abschnitt 4.2.2 erläutert, wird dahingehend für jedes der zehn Elemente des Referenzmodells der entsprechende digitale Reifegrad erhoben. Demgemäß wurde von Appelfeller/Feldmann ein eigenes Reifegradmodell entwickelt und systematisiert, mit dem Element für Element analysiert werden kann. Es wird dieses Reifegradmodell im nachfolgenden Abschnitt erläutert und anschließend einem zweiten Reifegradmodell gegenübergestellt.

4.4 Reifegradmodelle digitaler Transformation

Reifegradmodelle dienen der Zustandserhebung und Zielbestimmung im Rahmen digitaler Transformation. Sie werden als nützliches Instrument verstanden, mit dessen Hilfe die abstrakte Größe Reife quantifiziert und durch einen Vektor in einem n-dimensionalen Reiferaum beschrieben werden kann. Reifegradmodelle bestehen aus mehreren Dimensionen, die in beliebig viele Reifestufen mit gleicher Skalierung unterteilt werden.⁸⁶

Der Aufbau von Reifegradmodellen ist in der Regel sehr ident. Es werden gewöhnlich spezifische Anforderungen an das zu untersuchende Objekt gestellt, welche mit unterschiedlich hohen Reifegraden korrespondieren. Die Anforderungen sind dabei Mindestvoraussetzung, um einen bestimmten Reifegrad zu erreichen.⁸⁷ An einem fiktiven Beispiel erklärt bedeutet das, dass ein Unternehmen mit Erfüllung der Anforderungen A & B & C den Reifegrad II eines hypothetischen Reifegradmodells erreicht. Nachdem Anforderung D, welche neben A, B und C Grundvoraussetzung für Reifegrad III ist, nur zum Teil erfüllt ist, bleibt das Unternehmen auf der aktuellen Stufe. Nach erfolgreicher Umsetzung weiterer Digitalisierungsmaßnahmen ist eine erneute Reifegradevaluierung durchzuführen, um damit zu überprüfen, ob Anforderung D nun gänzlich erfüllt wurde und der nächsthöhere Reifegrad somit erreicht werden kann.

Im Kontext der Reifegraderhebung gibt es unterschiedliche, aber dennoch klare Methoden der Evaluierung. Neben quantitativen Erhebungsformen mit Zahlen, Daten und Fakten als Grundlage finden auch qualitative Methoden mittels gezielter Befragung Anwendung.

In der Fachliteratur wird im Kontext von Reifegradmodellen auch vermehrt der Begriff **Kompetenzmodell** vorgefunden. In englischsprachigen Quellen wird der Begriff **Maturity Model** verwendet. Alle drei Begriffe sind jedenfalls synonym zu verstehen.

⁸⁶ Vgl. Flore/Uslar (2020), S. 676.

⁸⁷ Vgl. Altendorfer-Kaiser (2016), S. 172.

Infolge der in Abschnitt 4.1.3 angeführten Begründung, dass im Zuge dieser Arbeit nach dem Vorgehensmodell nach Appelfeller/Feldmann verfahren wird, ist es naheliegend, dass auch deren Reifegradmodell folglich erläutert wird. Im Kontrast dazu wird ihm jedoch ein zweites, stark prozessorientiertes Reifegradmodell gegenübergestellt, dem im Zuge der Literaturrecherche auch hohes Nutzenpotential für diese Arbeit zugeschrieben wurde.

Für eine fundierte Auflistung allgemeiner Reifegradmodelle sei weiterführend auf die **Übersicht von Reifegradmodellen zur Bewertung der Digitalen Transformation** der Plattform Industrie 4.0 Österreich verwiesen.⁸⁸

Nachdem sich die vorliegende Masterarbeit mit der digitalen Transformation von Messprozesse befasst, beziehen sich auch die in weiterer Folge diskutierten Reifegraduntersuchungen, ausschließlich das Element **digitalisierte Prozesse** des Referenzmodells.

4.5 Konkretes Reifegradmodell nach Appelfeller/Feldmann

Das Reifegradmodell publiziert von Appelfeller/Feldmann besteht aus vier einzelnen Reifegradstufen. Elemente eines Reifegrades = 1 sind dabei in vollständig analoger Ausprägung vorhanden, Elemente mit Reifegrad = 4 sind hingegen vollständig digitalisiert. Innerhalb dieser Extrema unterscheiden die beiden Autoren zwischen Elementen, die teilweise digital sind und somit auf Stufe zwei angesiedelt werden und jenen, die als überwiegend digital gelten und sich damit auf Stufe drei wiederfinden.⁸⁹

Für jedes Element des Referenzmodells wurde eine eigene Matrix mit Kriterien aufgestellt, in deren Spalten die Anforderungen für die Reifegradstufen von eins bis vier stehen.

ELEMENT DIGITALISIERTE PROZESSE						
		Reifegrad Stufe 1	Reifegrad Stufe 2	Reifegrad Stufe 3	Reifegrad Stufe 4	Gew.-Faktor
KRITERIUM	VAR.	y = 1	y = 2	y = 3	y = 4	g
Digitalisierungsgrad	X ₁	0 – 25 % (weitgehend) analog	25 – 50 % gering digitalisiert	50 – 75 % überwiegend digitalisiert	75 – 100 % (fast) volldigitalisiert	0,25
Digitaler Automatisierungsgrad	X ₂	0 – 25 % (weitgehend) manuell	25 – 50 % gering automatisiert	50 – 75 % überwiegend automatisiert	75 – 100 % (fast) vollautomatisiert	0,25
Digitaler Integrationsgrad	X ₃	0 – 25 % (weitgehend) isoliert	25 – 50 % gering integriert	50 – 75 % überwiegend integriert	75 – 100 % (fast) voll integriert	0,25

⁸⁸ Vgl. Verein Industrie 4.0 Österreich (2022), Online-Quelle [12.02.2022]

⁸⁹ Vgl. Harwardt (2022), S. 156.

Digitaler Selbststeuerungsgrad	X_4	0 – 25 % (weitgehend) fremdgesteuert	25 – 50 % gering selbstgesteuert	50 – 75 % überwiegend autonom	75 – 100 % (fast) vollautonom	0,25
EINZELREIFEGRAD	Subreifegrad $y(x_i) = \frac{\sum \text{Prozessschritte} \mid x_i = 1}{\sum \text{Prozessschritte}}$					
GESAMTREIFEGRAD	Gesamtreifegrad $y_{\text{ges}} = \sum_{i=1}^n y(x_i) \cdot g_i$					

Tabelle 3: Reifegradmodell für das Element digitalisierte Prozesse, Quelle: Appelfeller/Feldmann (2018), S.25 (modifiziert).

Im konkreten Fall des Elementes digitalisierte Prozesse wird der Gesamtreifegrad aus vier gewichteten Subreifegraden gebildet. Es werden hierzu die Kriterien Digitalisierungsgrad, digitaler Automatisierungsgrad, digitaler Integrationsgrad und digitaler Selbststeuerungsgrad herangezogen. Wie in den Spalten der Tabelle 3 ersichtlich, sind den vier Reifegradstufen über alle vier Kriterien hinweg Prozentwerte hinterlegt. Die Intervallbreite ist dabei gleichmäßig gewählt. Im Bedarfsfall könnten noch zusätzliche Reifegradstufen ergänzt werden, für die meisten Anwendungen sollten jedoch laut Appelfeller/Feldmann die vier Intervalle ihres Modells ausreichen.

4.5.1 Operationalisierung des Reifegradmodells nach Appelfeller/Feldmann

Im Zuge der Reifegradermittlung wird jedenfalls der zu untersuchende Prozess von Fachexperten*innen Schritt für Schritt anhand der vier genannten Kriterien betrachtet und evaluiert. Nachdem die Autoren mit ihrem Modell einen quantitativen Ansatz verfolgen, müssen jene Prozessschritte, die ein bestimmtes Kriterium erfüllen, addiert und durch die Summe aller Schritte im Prozess dividiert werden. Die Ergebnisse werden in der Größeneinheit Prozent dargestellt und dienen der klassifizierten Einordnung in die Subreifegradmatrix von 1 – 4. Zur Ermittlung des Gesamtreifegrades werden abschließend die Subreifegrade für jedes Kriterium mit dem spezifischen Gewichtungsfaktor des Kriteriums multipliziert. Im Falle der durch die Autoren vorgeschlagenen, vier Kategorien gleicher Gewichtung ergibt sich damit ein Multiplikator von 0,25.

Demnach würde ein fiktiver Beispielprozess der 20 Prozessschritte aufweist in denen

- 10 Prozessschritte digitalisiert erfolgen,
- 5 Prozessschritte automatisiert sind,
- 8 Prozessschritte Interaktionen mit anderen IKT-Systemen aufweisen,
- 2 Prozessschritte autonom, ohne zentrale Steuerung vonstattengehen,

einen Gesamtreifegrad von **1,5** aufweisen (siehe Tabelle 4).

ELEMENT DIGITALISIERTE PROZESSE						
		Reifegrad Stufe 1	Reifegrad Stufe 2	Reifegrad Stufe 3	Reifegrad Stufe 4	Gew.- Faktor
KRITERIUM	VAR.	y = 1	y = 2	y = 3	y = 4	g
Digitalisierungsgrad	X ₁	-	$\frac{10}{20} = 0,5 = 50 \%$	-	-	0,25
Digitaler Automatisierungsgrad	X ₂	$\frac{5}{20} = 0,25 = 25 \%$	-	-	-	0,25
Digitaler Integrationsgrad	X ₃	-	$\frac{8}{20} = 0,4 = 40 \%$	-	-	0,25
Digitaler Selbststeuerungsgrad	X ₄	$\frac{2}{20} = 0,1 = 10 \%$	-	-	-	0,25
EINZELREIFEGRAD		Subreifegrad $y(x_1) = y_2 = 2$ Subreifegrad $y(x_2) = y_1 = 1$ Subreifegrad $y(x_3) = y_2 = 2$ Subreifegrad $y(x_4) = y_1 = 1$				
GESAMTREIFEGRAD		$y_{ges} = y_2 \cdot g_1 + y_1 \cdot g_2 + y_2 \cdot g_3 + y_1 \cdot g_4$ $y_{ges} = 2 \cdot 0,25 + 1 \cdot 0,25 + 2 \cdot 0,25 + 1 \cdot 0,25 = 1,5$				

Tabelle 4: Fiktiver Prozess zur Demonstration der Reifegradermittlung, Quelle: eigene Darstellung.

Doch der Gesamtreifegrad ist nur ein Ergebnis der Evaluierung. Die kriterienweise Bestimmung der Subreifegrade lässt eine Profillinie erkennen, die den gegenwärtigen IST-Zustand des Elements widerspiegelt. Im Rahmen der konsekutiven Zielformulierung und Maßnahmenableitung ist dem IST-Profil inklusive IST-Reifegraden ein entsprechendes SOLL-Profil mit SOLL-Reifegraden gegenüberzustellen. Hinsichtlich Darstellungsweise verweisen die Autoren dabei eben auf eine SOLL-Profillinie in obiger Tabelle. Laut Appelfeller/Feldmann lassen sich somit in Kombination mit dem Referenzmodell eindeutige Entwicklungslücken identifizieren und pro Element spezifische Entwicklungspfade der digitalen Transformation ableiten. Im Zuge dieser Ableitungen ist jedoch zu berücksichtigen, dass die einzelnen Kriterien eines Elementes in der Regel nicht gänzlich isoliert zu betrachten sind, sondern Interdependenzen aufweisen. Auf das Beispiel der digitalisierten Prozesse umgesetzt, bedarf es beispielsweise zuvor eines bestimmten Grades an Digitalisierung, bevor überhaupt Automatisierungs- und Integrationsinitiativen gesetzt werden können.⁹⁰

⁹⁰ Vgl. Appelfeller/Feldmann (2018), S. 13.

4.5.2 Kritische Reflexion Reifegradmodell nach Appelfeller/Feldmann

Das Reifegradmodell nach Appelfeller/Feldmann ermöglicht es Reifegrade für jedes der zehn Elemente des digital transformierten Unternehmens zu erheben. Seine Einbettung in das fünfphasige Gesamtprozedere inklusive der logischen Verbindungen zum bereits erläuterten Vorgehens- sowie Referenzmodell, lassen eine eindeutige Stringenz in der Vorgehensweise erkennen. Der quantitative Charakter der Evaluierung ist vorteilhaft, lässt er doch durch seine strikten Regeln wenig Spielraum für unerwünschte Interpretationen seitens der Anwender*innen. Dem konkreten Referenzmodell kann damit deterministisches Verhalten sowie eine hohe Wiederholgenauigkeit zugeschrieben werden. Beide Faktoren sind als wesentlich für eine solche Art von Modellen anzusehen. Die Möglichkeit der Skalierung, respektive der feineren Untergliederung der Subreifegradstufen, ist zudem besonders vorteilhaft, um eine flexible Abwandlung des Reifegradmodells für spezielle Anwendungsfälle zu bewerkstelligen. Das Reifegradmodell nach Appelfeller/Feldmann bietet dahingehend ein profundes Werkzeug für digitale Transformation. Dennoch weist es in seiner Ausgestaltung auch signifikante Schwachstellen auf.

Die Anwendung des Modells ist durch seine vielen Zwischenschritte im Vergleich zu anderen Reifegradmodellen als aufwendig anzusehen. Zusätzlich könnte die Darstellungsweise von IST- und SOLL-Zustand ebenso zeitgemäßer erfolgen. Auch die sich rein auf Prozessdokumente gestützte Form der Evaluierung wurde nicht gerade allumfassend gedacht. Ergänzend muss dazu kritisch angemerkt werden, dass diese Form der Evaluierung ohnehin nur bei exzellentem Prozessmanagement Sinn macht. Denn werden Prozesse real nicht so gelebt, wie sie in der Prozessdokumentation geplant wurden, ergibt sich stets ein unwahrer Reifegrad. Die Gefahr der Ableitung völlig falscher Maßnahmen ist in solchen Fällen inhärent. In Anlehnung daran muss auch festgehalten werden, dass der Reifegrad durch den quantitativen Ansatz, stark mit der Anzahl der Prozessschritte korreliert. Konkret bedeutet das, dass der Reifegrad bei Prozessen mit wenigen Schritten tendenziell höher ist als bei Prozessen mit mehreren. Dies ist dadurch begründet, weil der Anteil jener Schritte, die ein bestimmtes Kriterium erfüllen, durch eine geringe Anzahl von Gesamtschritten, wesentlich mehr Gewicht bekommt als im Falle einer hohen Anzahl. Die Granularität der Prozesse wird damit zum wesentlichen Einflussfaktor, da eine Änderung der allgemeinen Prozessauflösung stets den Reifegrad eines Prozesses mitbeeinflusst. Es sei hiernach Vorsicht geboten, denn unterschiedliche Feinheitsgrade können insbesondere im Zuge von Benchmarking und Prozessvergleichen zu falschen Erkenntnissen führen.

Zuletzt sei noch erschwerend angeführt, dass der quantitative Ansatz von Appelfeller/Feldmann keine Unterschiede zwischen den eingesetzten Technologien, Systemen, Werkzeugen, etc. macht, dies im Sinne einer Reifegraderhebung aber sinnvoll wäre. Konkret bedeutet das, dass es laut den Autoren keinen Unterschied macht, ob dezidierte Prozessschritte beispielsweise über einfaches Excel Makro oder mittels kollaborativem Roboter erfolgen. Beide Varianten steigern den Automatisierungsgrad, denn aufgrund dieses Ansatzes wird lediglich die Anzahl der automatisierten Schritte, nicht die Qualität oder Tiefe der Automatisierung berücksichtigt. Gleiches gilt für den Integrationsgrad. Sofern nur irgendeine Form der digitalen Vernetzung vorherrscht, ist ein Prozessschritt laut Appelfeller/Feldmann als integriert anzusehen. Es macht dabei keinen Unterschied, ob beispielsweise digitale Log-Daten von einer Maschine mittels physischen Speichermedium auf einen PC transferiert und dort weiterverarbeitet werden oder ob die gleichen Daten

kontinuierlich über eine moderne IoT-Infrastruktur und fortschrittlichem Übertragungsprotokoll, wie beispielsweise OPC-UA, ausgetauscht werden. In beiden Fällen gilt der Prozessschritt laut Konvention als integriert.

Aufgrund dieser nicht unerheblichen Schwachstellen rückten im Zuge der Recherche damit Reifegradmodelle mit qualitativem Ansatz in den Fokus. Das nachfolgend erläuterte Reifegradmodell nach BITKOM ist als solches zu verstehen.

4.6 Konkretes Reifegradmodell nach BITKOM

Das Reifegradmodell für digitale Geschäftsprozesse publiziert vom Branchenverband der deutschen Informations- und Telekommunikationsbranche BITKOM⁹¹ ist das Ergebnis wissenschaftlicher Forschungsarbeit sowie Experten*innenwissens. Wie der Name bereits vorwegnimmt, liegt Fokus dieses Reifegradmodells klar auf Geschäftsprozessen. Dies schärft nicht nur die Anwendbarkeit des Modells, durch Verwendung eines qualitativen Erhebungsansatzes versprechen die Autoren*innen zusätzlich eine Reifegradanalyse, unter Einbringung von überschaubarem Aufwand.

Das Reifegradmodell ist kreisförmig und damit symmetrisch aufgebaut. Es besteht inhaltlich aus vier Hauptdimensionen, die durch jeweils drei zugehörige Subdimensionen bestimmt werden. Diese Subkategorien weisen jeweils eine bestimmte digitale Ausprägung auf, die durch je zwei Antworten im Zuge der Evaluierung gebildet wird.⁹² Im konkreten Fall greifen die Autoren*innen für die Ausprägungen auf eine fünfstufige Likert-Skala, respektive fünf unterschiedliche Reifegradstufen, zurück.

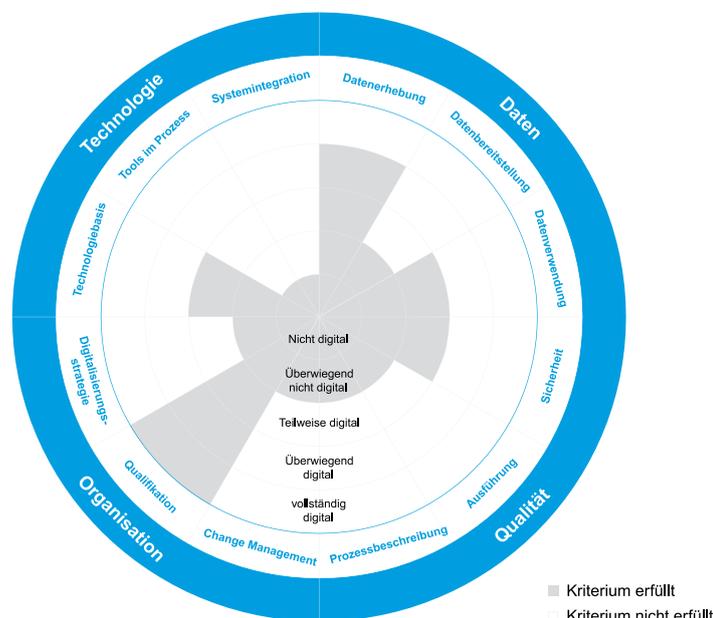


Abbildung 10: Reifegradmodell für digitale Geschäftsprozesse nach BITKOM, Quelle: BITKOM e.V. (2020), Online-Quelle [12.02.2022], S. 8.

⁹¹ BITKOM ist einer jener Fachverbände die maßgeblich an der Entwicklung der Industrie 4.0 mitgewirkt haben siehe Abschnitt 2.2.

⁹² Vgl. BITKOM e.V. (2020), Online-Quelle [12.02.2022], S. 8.

4.6.1 Erläuterung der Dimensionen

Wie im äußersten Ring erkennbar, werden die vier Hauptkategorien des Modells aus den Dimensionen Technologie, Daten, Qualität und Organisation gebildet. Es wird ersichtlich, dass ein digitalisierter Geschäftsprozesse wesentlich mehr umfasst als nur rein technologische oder datenbasierte Gesichtspunkte.⁹³ Nachfolgendes teilweise entnommen aus:⁹⁴

Technologiedimension

Die Technologiedimension repräsentiert das technologische Umfeld des Geschäftsprozesses. Die Subdimension Technologiebasis betrachtet dabei inwieweit Input- und Outputkanäle analog beziehungsweise digitalisiert sind. Das Element Prozesstools repräsentiert den Einsatz von Digitalisierungswerkzeugen im Prozess. Die Dimension Systemintegration gibt Auskunft darüber, inwieweit im Prozess eingesetzt IKT-Lösungen miteinander interagieren.

Datendimension

Die Datendimension beschäftigt sich mit der Frage, wie datenbasiert der Geschäftsprozess von statten geht. Es stehen dabei die Datenerhebung, Datenbereitstellung und Datenverwendung als Subdimensionen im Fokus. Dabei wird in einem ersten Schritt analysiert, ob die vorhandene Datenbasis überhaupt eine nutzbar ist. Darauffolgend wird evaluiert, ob diese Daten auch aufbereitet werden, um sie für entsprechende Auswertungen zu nutzen. Hinsichtlich Datenverwendung wird betrachtet, für welche prozessinternen und -externen Zwecke vorhandene Daten genutzt werden.

Qualitätsdimension

Die Qualitätsdimension zielt auf den Geschäftsprozess selbst ab. BITKOM unterstreicht die Wichtigkeit der Prozessqualität mit dem treffenden Beispiel, dass aus einem schlechten Prozess infolge von Digitalisierungsmaßnahmen auch nur ein schlechter digitaler Prozess resultieren kann. Es ist daher von besonderer Wichtigkeit, dass die Prozessqualität in das Reifegradmodell einfließt. Die Subdimension Prozessbeschreibung klärt dabei, ob der Geschäftsprozess auch entsprechend definiert ist. Das Element Ausführung befasst sich mit der Einsicht sowie Stabilität des Prozesses. Nachdem auch die Themen Informationssicherheit sowie Datenschutz untrennbar mit Digitalisierung verbunden sind, finden sich diese im Kriterium Prozesssicherheit wieder.

⁹³ Vgl. Jeston/Nelis (2014), S. 162.

⁹⁴ Vgl. BITKOM e.V. (2020), Online-Quelle [12.02.2022], S. 8 – 9.

Organisationsdimension

Die Organisationsdimension evaluiert den organisatorischen Rahmen des Geschäftsprozesses. Es wird dahingehend analysiert, ob der konkrete Geschäftsprozess mit der Digitalisierungsstrategie des Unternehmens übereinstimmt. In der Kategorie Qualifikationen wird eruiert, ob die prozessbeteiligten Personen über entsprechende Kompetenzen verfügen, den Prozess auszuführen und weiterzuentwickeln. Die abschließende Subdimension Change Management geht der Frage nach, ob Mitarbeiter*innen im Hinblick auf den konkreten Prozess auch in Veränderungen eingebunden werden.

4.6.2 Operationalisierung des Reifegradmodells nach BITKOM

Die Operationalisierung des Reifegradmodells erfolgt durch ein Assessment. Zur Erhebung des entsprechenden IST-Zustandes wird dabei auf Basis einer Checkliste vorgegangen. BITKOM stellt zur einfacheren Anwendbarkeit hierfür ein entsprechendes Excel-Tool zur Verfügung. Dieses ist im Zuge einer jeden Prozessuntersuchung erneut zu befüllen. Im Zuge des Assessments wird jedenfalls anhand der Checkliste Subdimension für Subdimension durchgegangen. Dem/Der Anwender*in werden dabei Statements vorgelegt, denen er/sie für den entsprechenden Prozess das zutreffendste Attribut der Auswahl **vollständig digital, überwiegend digital, teilweise digital, überwiegend nicht digital** und **nicht digital** zuweisen soll. Diese Attribute sind direkt mit den einzelnen Reifegraden von 1 – 5 verlinkt und ermöglichen somit die Bestimmung der Einzelreifegrade für die Subdimensionen. Es wird dabei pro Subdimension das arithmetische Mittel zwischen den beiden vergebenen Attributen ermittelt. Nachdem die Klassifizierung dem/der Anwender*in obliegt, muss auch in diesem Reifegradmodell sichergestellt werden, dass es sich dabei um Prozessexperten*innen mit entsprechend fundierter Expertise über den Prozess handelt.

Am Ende des Assessments wird auf Basis der abgegebenen Antworten ein Reifegraddiagramm erstellt. Wie in Abbildung 11 ersichtlich, findet sich auf der linken Seite eine Tabelle mit den Einzelreifegraden pro Subdimension. Rechtsseitig wurde daraus zur besseren Visualisierung ein Netz- bzw. Radardiagramm generiert.

Dimension		
1) Technologie	Technologiebasis	4
	Tools im Prozess	3
	Systemintegration	1,5
2) Daten	Datenerhebung	3
	Datenbereitstellung	3
	Datenverwendung	2,5
3) Qualität	Prozessbeschreibung	4
	Ausführung	2
	Sicherheit	3
4) Organisation	Digitalisierungsstrategie	3
	Qualifikation	3
	Change Management	2,5
	Digitalisierungsgrad des Prozesses	2,87

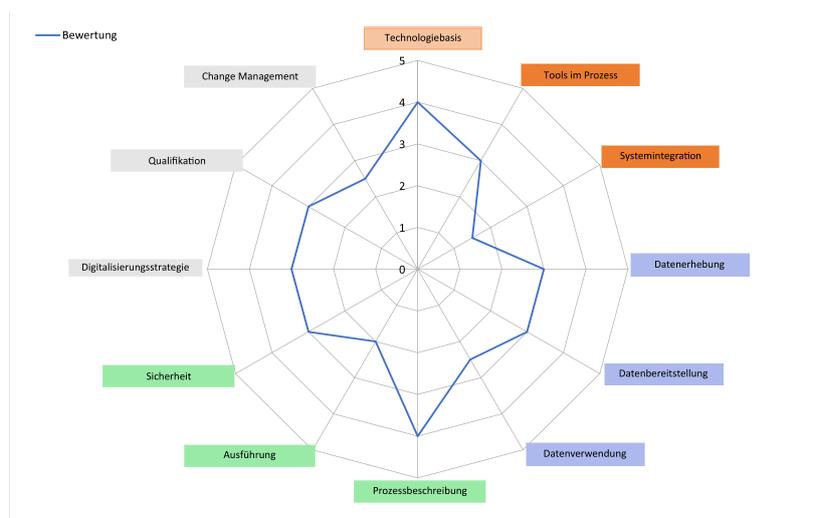


Abbildung 11: Reifegraddiagramm im Excel-Tool als Ergebnis des Reifegrad-Assessments nach BITKOM, Quelle: BITKOM e.V. (2020), Online-Quelle [22.02.2022] (leicht modifiziert).

Diese Darstellungsweise bietet einen schnellen Überblick über den gegenwärtigen digitalen Reifegrad eines Geschäftsprozesses. Nach Abschluss des Assessments können anhand der erfassten IST-Reifegrade in Kombination mit den Subdimensionen die erwünschten SOLL-Reifegrade entwickelt werden. Grundsätzlich sei dabei empfohlen immer jene Bereiche zuerst anzugreifen, die das größte Defizit aufweisen. Anhand des Graphen im Diagramm können diese unterdurchschnittlichen Bereiche vergleichsweise trivial identifiziert werden. Bei der Verwendung dieses Reifegradmodells sei aber stets zu beachten, dass es sich lediglich um ein deskriptives Modell handelt, das von sich aus keine aktiven Handlungsempfehlungen zur Erreichung eines angestrebten SOLL-Zustandes liefert. Eine abschließende Bewertung und Priorisierung von potenziellen Maßnahmen obliegen stets den Anwendern*innen selbst.

4.6.3 Kritische Reflexion Reifegradmodell nach BITKOM

Das Reifegradmodell nach BITKOM weist durch die Umsetzung der Reifegradermittlung in Form eines Assessments einen komfortablen Weg, um den digitalen Reifegrad von Geschäftsprozessen zu erheben. Der qualitative Charakter der Evaluierung ist dabei der Durchführbarkeit äußerst zuträglich. Die auf wissenschaftlichen Erkenntnissen beruhende Vorgehensweise ist klar sowie schlank und weist dadurch keine unnötigen Zwischenschritte auf. Es bedarf dadurch auch keiner umfassenden Einführung oder erweiterter Expertise in digitaler Transformation, um dieses Modell zu nutzen. Als in sich geschlossene Methodik lässt sich das Reifegradmodell auch flexibel in andere Vorgehensmodelle integrieren. Ein weiterer, nicht außer Acht zulassender Vorzug dieses Modells ist, dass BITKOM bereits ein abgeschlossenes, operationalisiertes Werkzeug zur Verfügung stellt. Das erläuterte Excel-Tool kann nicht nur kostenlos bezogen, sondern auch unmittelbar ohne zeitliche Einschränkungen angewandt sowie beliebig oft vervielfältigt werden. Es sei hierbei dennoch kritisch festgehalten, dass das final erzeugte Reifegradmodell des Excel-Tools zwar inhaltlich, jedoch nicht optisch mit dem publizierten, deutlich ansprechenderen Modell aus Abbildung 10 übereinstimmt.

Wie bereits der Bezeichnung zu entnehmen, fokussiert sich das Reifegradmodell für digitale Geschäftsprozesse nach BITKOM deutlich mehr Prozess als sein Pendant von Appelfeller/Feldmann. Dies spiegelt sich auch in den betrachteten Einflussfaktoren auf den Prozess wider. Sind es bei Appelfeller/Feldmann vier Dimensionen, die einen digitalen Prozess definieren, betrachtet BITKOM den Prozess dagegen mit zwölf Elemente wesentlich ganzheitlicher. Nichtsdestotrotz weist auch dieses Reifegradmodell Verbesserungspotentiale auf.

BITKOM verzichtet in seinem Reifegradmodell, ob gewollt oder ungewollt, auf griffige Beispiele. Es ist damit für Anwender*innen jedoch schwer zu beurteilen, ob ein konkreter Prozess beispielsweise hinsichtlich eingesetzter Tools im Prozess nun als vollständig digital oder als überwiegend digital zu bewerten ist. Die qualitative Einstufung der einzelnen Reifegrade, ohne konkrete Referenzbeispiele, birgt dahingehend die Gefahr eines verfälschten Reifegrades. Auch der Trenngrad zwischen den einzelnen Reifegraden erscheint nicht zwingend scharf. Die fünf Reifegrade sind in sich konsistent, doch wird eine Unterscheidung zwischen überwiegend nicht digital sowie teilweise digital, gerade auch durch fehlende griffige Exempel, erschwert.

Im Laufe der Recherche sowie der Anwendung des Reifegradmodell nach BITKOM entwickelte sich der Eindruck, dass dem Modell klare Regeln fehlen. Es kann dies sicher teilweise dem qualitativen Ansatz geschuldet sein, da dieser vielmehr auf gezielte Frage- und Antworttechniken setzt, anstatt auf eine zahlenbasierte Evaluierung, wie es beim quantitativen Ansatz der Fall ist. Im Vergleich zu anderen Reifegradmodellen⁹⁵ wird jedoch ersichtlich, dass dieser Umstand deutlich entschärft werden könnte, indem die zu bewertenden Statements, in Leitfragen mit griffigen Beispielen umgewandelt werden würden.

4.7 Erkenntnisse zu modellbasierter digitaler Transformation

Wie eingangs dieses Kapitels angeführt, werden Modelle überall dort verwendet, wo die Realität zu komplex ist, um Lösungen direkt an ihr zu entwickeln. Die digitale Transformation kann dahingehend zweifelsfrei als ein solches hochkomplexes und interdisziplinäres Feld angesehen werden, für dessen Weiterentwicklung der Einsatz von Modellen durchaus sinnvoll ist.

Im Zuge des Kapitels 3 wurden daher unterschiedliche Modelle vorgestellt, die im Rahmen digitaler Transformation Verwendung finden. Die Modelle unterscheiden sich dabei nicht nur in ihrer Komplexität, sondern auch darin, wie tief sie in einen digitalen Transformationsprozess integriert sind. Gesamtheitliche Vorgehensmodelle begleiten Transformationsprozesse von der Idee, über die konkreten Stufen der Umsetzung bis hin zur nachträglichen Analyse, um zu identifizieren ob und welche Maßnahmen erfolgreich waren. Einzelne Reifegradmodelle fokussieren sich hingegen viel mehr auf Detailfragen, wie der Erhebung des digitalen IST-Zustandes sowie der Ableitung konkreter Maßnahmen, um einen angestrebten SOLL-Zustand zu erreichen. Doch auch bei den spezialisierten Modellen finden sich merkbare Unterschiede. Während Appelfeller/Feldmann mit ihrem Reifegradmodell einen quantitativen Ansatz mit festen Regeln bei der

⁹⁵ siehe hierzu Verein Industrie 4.0 Österreich (2022), Online-Quelle [12.02.2022].

Durchführung verfolgen (siehe Abschnitt 4.5), setzt BITKOM hingegen mit ihrem qualitativen Erhebungsansatz auf eine praktische Durchführbarkeit mittels gezielter Fragetechniken.

Es kann damit festgehalten werden, dass es trotz der relativ kurzen Zeitspanne, in der digitale Transformation besteht, dennoch eine nicht unerhebliche Anzahl unterschiedlicher Modelle gibt. Ein spannendes, aber nicht unerhebliches Detail ist dabei die Tatsache, dass die meisten der recherchierten Vorgehens- wie auch Reifegradmodelle in den Jahren 2014 – 2020 publiziert wurden. Es spiegelt dies den regelrechten Wettlauf um die Erforschung dieses Themas in jener Zeit wider. In Anlehnung daran kann daraus geschlossen werden, dass wir uns demnach gegenwärtig in einer Zeit der Anwendung und Evaluierung dieser Modelle befinden. Welche Modelle garantiert zum nachhaltigen Erfolg digitaler Transformation im Unternehmen führen, respektive welche konkreten Modelle für ein bestimmtes Szenario zu verwenden sind, kann auf Basis des gegenwärtigen Forschungsstandes nicht mit Sicherheit gesagt werden. Eine allgemeingültige Aussage ist durch fehlende wissenschaftliche Erkenntnisse hiernach nicht möglich. Für den konkreten Einzelfall bedeutet das, dass auf Basis der zur Verfügung stehenden Informationen und im Hinblick auf die Erwartungen des Unternehmens individuell entschieden werden muss, welche konkreten Werkzeuge für eine digitale Transformation zur Anwendung kommen.

4.7.1 Weiterführende Vorgehensweise

Aufgrund der Tatsache, dass es keine eindeutige Metrik zur Auswahl des bestgeeigneten Modells für digitale Transformation gibt, musste auch im Zuge dieser Masterarbeit eine individuelle Entscheidung für das weitere Vorgehen getroffen werden. Wie im Abschnitt 4.1.3 angeführt wurde in Abstimmung mit der Boehlerit GmbH & Co. KG entschieden, mit dem Vorgehensmodell nach Appelfeller/Feldmann zu verfahren, da dies einen hohen Praxisbezug aufweist und digitale Transformation modellbasiert von Beginn an begleitet. Die kritische Reflexion des Vorgehensmodells legte jedoch offen, dass das Reifegradmodell der gleichen Autoren, welches in das Vorgehensmodell integriert ist, hinsichtlich Operationalisierung und Aussagekraft hinter den Erwartungen bleibt. Der Boehlerit GmbH & Co. KG war es zudem ein großes Anliegen, dass die modellbasierte Transformation mit entsprechender Transparenz und zielgerichtet durchgeführt werden kann. In Anbetracht dieser Tatsache, erscheint insbesondere das Reifegradmodell nach Appelfeller/Feldmann als ungeeignet.

Im Zuge eines gemeinsamen Workshops wurde dahingehend führenden Vertretern der Forschungs- und Entwicklungsabteilung sowie Vertretern des Qualitätsmanagements die oben diskutierten Modelle inklusive konkretem Anwendungsprozedere und möglicher Resultate präsentiert sowie Vor- und Nachteile kritisch aufgezeigt. Als Ergebnis wurde im Zuge dieses Entscheidungsmeetings wurde aufgrund der bereits genannten Punkte beschlossen, zwar weiterführend auf das Vorgehensmodell inklusive Referenzmodell nach Appelfeller/Feldmann zurückzugreifen, jedoch das Reifegradmodell der beiden Autoren unmittelbar durch jenes von BITKOM zu ersetzen. Es stellt dies aus Sicht der Anwendbarkeit kein Hindernis dar, denn das Reifegradmodell nach BITKOM lässt sich als alleinstehende Methodik, flexibel in beliebig in andere Vorgehensmodelle integrieren. Aus Sicht des konkreten Vorgehensmodells ist eine solche Integration nicht nur möglich, sondern auch anzuraten, denn so werden die zehn Elemente des digital transformierten Unternehmens durch wesentlich mehr und vor allem die stets gleichen beeinflussenden Faktoren betrachtet. Es

führt dies neben der klaren Standardisierung der Vorgehensweise auch einer höheren Vergleichbarkeit sowie zu Synergieeffekten, insbesondere wenn allgemeine Subdimensionen optimiert werden.

Die Entscheidung für das Reifegradmodell nach BITKOM hat jedoch noch weitere Implikationen. Wie im Abschnitt 4.6.3 angeführt, fehlen den einzelnen Statements im Zuge des Assessments griffige Beispiele zu den einzelnen Reifegradausprägungen. Zudem bergen die Bezeichnungen der fünf Reifegrade der Likert-Skala durch ihre offensichtliche Ähnlichkeit, ebenso die inhärente Gefahr, für bestimmte Assessmentanwender*innen missverständlich zu sein. Es wurde daher mit der Boehlerit GmbH & Co. KG abgestimmt, dass die bestehenden Statements des Reifegradmodelles nach BITKOM herangezogen und mit Beispielen ergänzt werden, um damit die reinen Aussagen, in Leitfragen mit konkreten Antwortmöglichkeiten zu konvertieren.

Für die nachfolgenden Teile dieser Masterarbeit bedeutet dies, dass zunächst ein eigenes Assessment auf Basis des Reifegradmodelles nach BITKOM entwickelt wurde, um den digitalen Reifegrad bestehender Geschäftsprozesse der Boehlerit GmbH & Co. KG zu bestimmen. Diesem IST-Zustand zugrundeliegend werden auf Basis der digitalen Vision & Strategie sowie dem angestrebten SOLL-Zustand nachfolgend konkrete Maßnahmen zur Steigerung des digitalen Reifegrades dieser Prozesse abgeleitet. Die darauffolgende praktische Umsetzung der konkreten Maßnahmen bildet dabei den Weg zum angestrebten Zielzustand des digital transformierten Prozesses. Abschließend erfolgt noch eine Verifikation & Validierung der entwickelten Lösungen im Sinne einer Reflektion.

5 ENTWICKLUNG DES REIFEGRADASSESSMENT-TOOLS

Wie am Ende des vorangegangenen Kapitels angemerkt bezieht sich das nachfolgende Kapitel auf die Entwicklung eines anwendbaren Reifegradassessment-Tools. Das nachfolgend dargestellte Instrument referenziert auf das Reifegradmodell nach BITKOM, welches im Abschnitt 4.6 umfassend erläutert wurde. Es wird daher nachfolgend auf theoretische Erläuterungen weitestgehend verzichtet.

5.1 Ausgangslage

Um das Reifegradmodell an Geschäftsprozessen einsetzen zu können, hat BITKOM die Modelldimensionen bekanntlich durch Subdimensionen (Kriterien) sowie Statements (Operationalisierung) konkretisiert, um die Durchführungskomplexität zu reduzieren.

Dimension	Kriterium	Operationalisierung
Technologie	Technologiebasis	1.1 Alle eingehenden Informationen für den Prozess sind vollständig digital. 1.2 Alle ausgehenden Informationen für den Prozess sind vollständig digital.
	Tools im Prozess	1.3 Es wird eine Software-Lösung zur vollständigen Modellierung und Analyse des Geschäftsprozesses eingesetzt. 1.4 Der Geschäftsprozess ist mit einer Software-Lösung vollständig automatisiert.
	Systemintegration	1.5 Alle im Prozess verwendeten Software-Lösungen sind vollständig integriert. 1.6 Der Prozess läuft vollständig ohne unnötige Medienbrüche.
Daten	Datenerhebung	2.1 Prozessdaten werden vollständig automatisiert erhoben. 2.2 Prozessdaten werden vollständig digital archiviert.
	Datenbereitstellung	2.3 Die Bereitstellung von Daten zu internen Zwecken ist vollständig digital. 2.4 Die visuelle Darstellung von Daten erfolgt strukturiert und nutzerfreundlich.
	Datenverwendung	2.5 Daten können vollständig durch eine Schnittstelle für die externe Nutzung durch weitere Anwendungen wie z.B. BI bereitgestellt werden. 2.6 Daten sind immer Grundlage zur Verbesserung des Geschäftsprozesses.
Qualität	Prozessbeschreibung	3.1 Der Prozess ist mithilfe von Standards (z.B. BPMN, EPK oder UML) vollständig dokumentiert (Fokus: Dokumentation) 3.2 Der Prozess ist mithilfe von Standards vollständig beschrieben (Fokus: Arbeitsablaufbeschreibung)
	Ausführung	3.3 Der Status des Prozesses ist jederzeit von außen (d.h. extern aus Kundensicht & intern aus Sicht eines anderen Bereiches) einsehbar. 3.4 Die Stabilität der Prozessdurchläufe ist auch bei Lastspitzen sichergestellt.
	Sicherheit	3.5 Der Prozess beinhaltet Kontrollen und Prüfinstanzen, um die Einhaltung der regulatorischen Anforderungen sicherzustellen (intern). 3.6 Der Prozess stellt die regulatorischen Anforderungen an Datenschutz und Datensicherheit vollständig sicher (extern).
Organisation	Digitalisierungsstrategie	4.1 Es gibt eine eindeutig definierte Digitalisierungsstrategie im Unternehmen. 4.2 Die Digitalisierungsstrategie wird im Prozess vollständig umgesetzt.
	Qualifikation	4.3 Es steht vollständige digitale Kompetenz (intern oder extern) zur Verfügung, um den Prozess erfolgreich weiterzuentwickeln. 4.4 Die im Prozess involvierten Mitarbeiter besitzen die Qualifikation, um den Prozess erfolgreich durchzuführen.
	Change Management	4.5 In der Organisation werden wirksame Maßnahmen ergriffen, um die Akzeptanz von digitalen Prozessen zu fördern. 4.6 Die im Prozess beteiligten Menschen begrüßen die Digitalisierung des betrachteten Prozesses vollständig.

Tabelle 5: Übersicht über die Dimensionen, Kriterien sowie die Operationalisierung des Reifegradmodells nach BITKOM, Quelle: BITKOM e.V. (2020), Online-Quelle [12.02.2022], S. 10.

Wie jedoch schon in Abschnitt 4.6.3 kritisch angemerkt wurde, lassen die Statements entsprechend prägnante Beispiele vermissen, die eine Zuweisung der entsprechenden Reifegradausprägung erleichtern würden. Zudem sollten auch die Bezeichnungen der fünfstufigen Reifegrade selbst überarbeitet werden, denn hier jedenfalls kein scharfer Trenngrad vor. Nachdem es seitens BITKOM ein frei zugängliches und uneingeschränkt nutzbares digitales Assessment auf Excel-Basis gibt, bestünde die Möglichkeit auf dieses zurückzugreifen und es entsprechend auszubauen. Da es sich bei dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel jedoch um ein proprietäres Microsoft-Produkt handelt, das zudem nicht ohne kommerziell erworbene Lizenzen genutzt werden kann, wurde bewusst entschieden, das Assessment in ein lizenzunabhängiges, aber dennoch digitales, Format zu bringen.

Im folgenden Abschnitt wird die Entwicklung der Leitfragen skizziert sowie deren prozessuale Einbettung in das Assessment dargestellt. Des Weiteren werden die Entwicklung des digitalen Assessments zur Reifegradbewertung sowie die dafür benötigten Softwarekomponenten erläutert.

5.2 Entwicklung der Leitfragen

Im Zuge der Entwicklung der Leitfragen wurde auf die vorhandene Arbeit von BITKOM zurückgegriffen. Hiernach wurde die in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** angeführte Grundlage mit den vorhandenen fünf Reifegradstufen gekoppelt. Anstatt den/die Anwender*in einzelne Reifegrade nicht digital, überwiegend nicht digital, teilweise digital, überwiegend digital und vollständig digital direkt spezifischen Statements zuordnen zu lassen wurde stattdessen versucht diese Statements als Fragen auszugestalten und dem/der Anwender*in eindeutige Antwortmöglichkeiten zu bieten. Es wird dieses Vorgehen am nachfolgenden Beispiel der Subdimension Datenerhebung genauer erklärt.

Im Modell nach BITKOM findet sich in der Dimension Daten sowie weiterführend in der Subdimension Datenerhebung unter 2.1 das Statement **Prozessdaten werden automatisiert erhoben**. Im Rahmen des Assessments muss diesem Statement im Hinblick auf den zu betrachteten Prozess ein entsprechender Reifegrad zugeordnet werden. Die Reifegrade sind gleichzeitig mit einer Zahl verknüpft, mit der die quantitative Ausprägung im abschließenden Diagramm definiert wird.

STATEMENT	REIFEGRADE	LIKERT-SKALA
2.1 Prozessdaten werden vollständig automatisiert erhoben.	nicht digital	1
	überwiegend nicht digital	2
	teilweise digital	3
	überwiegend digital	4
	vollständig digital	5

Tabelle 6: Beispiel aus dem Reifegrad-Assessment nach BITKOM, Quelle: eigene Darstellung.

Die von einem einfachen Statement in eine Leitfrage transformierte und mit neuen Reifegraden ausgestattete Version des gleichen Statements 2.1 ist nachfolgend ersichtlich.

Wie werden relevante Prozessdaten erhoben?	REIFEGRADE NACH BITKOM	REIFEGRADE NEU	LIKERT-SKALA
Es werden keine Prozessdaten erhoben.	nicht digital	–	1
Die Prozessdatenerhebung ist rein analog und manuell (z.B. papierbasiert, mündliche Weitergabe, etc.).	überwiegend nicht digital	nicht digital/ analog	2
Die Prozessdatenerhebung ist überwiegend analog und manuell (z.B. papierbasiert, mündliche Weitergabe, etc.). Vereinzelt werden jedoch relevante Prozessdaten (z.B. Auftragsnummer, Ausschuss, DLZ, etc.) bereits digital und/oder automatisiert erhoben.	teilweise digital	teilweise digital	3
Die Prozessdatenerhebung ist überwiegend digital und automatisiert. Es gibt nur noch vereinzelt analoge Elemente im Prozess (z.B. papierbasiert, mündliche Weitergabe, etc.).	überwiegend digital	überwiegend digital	4
Sämtliche Prozessdaten werden digital und automatisiert erhoben.	vollständig digital	vollständig digital	5

Tabelle 7: Entwicklung der Leitfragen am Beispiel des Statements 2.1, Quelle: eigene Darstellung.

Durch Umwandlung des ursprünglichen Statements in eine Frage sowie die Modifikation der Antwortmöglichkeiten, fällt es Anwendern*innen leichter diese entsprechend zu beantworten. Inhaltlich bilden Frage und Antwortmöglichkeiten jedoch immer das Ausgangsszenario ab. Hinsichtlich Bewertungsmetrik wird auch im adaptierten Fall auf fünf unterschiedliche Reifegrade zurückgegriffen. Im Vergleich zu jenen von BITKOM wurde jedoch ein Reifegrad zu Beginn eingezogen, der den durchaus möglichen Fall repräsentiert, wenn weder (teil-)digitalisierte noch analoge Szenarien vorliegen. Im Beispiel würde dies der Situation entsprechen, wenn gegenwärtig keine Prozessdaten, weder digital noch analog, erfasst werden. BITKOM hat auf diesen in ihrem Modell nämlich gänzlich verzichtet. Kritisch hinterfragt, lässt sich natürlich darüber diskutieren, ob diese Situation besser mit einer 0 in der Likert Skala zu bewerten wäre. Im Hinblick auf die abschließende Visualisierung wurde jedoch die Entscheidung getroffen, die 1 als symbolischen Wert zu belassen, diesen jedoch im Diagramm entsprechend bewusst zu kennzeichnen (siehe Abschnitt 0). Im Vergleich zum ursprünglichen Modell nach BITKOM wird außerdem noch ersichtlich, dass eine eindeutige Trennung zwischen den einzelnen Reifegradbegriffen geschaffen wurde, in dem für die Einführung des ersten Reifegrades, eine Zwischenstufe entfernt wurde. Die Differenz zwischen den Stufen **teilweise digital** und **überwiegend digital** ist damit wesentlich eindeutiger.

5.2.1 Auflistung der finalen Leitfragen

Die Auflistung finalen 24 Leitfragen, so wie sie schlussendlich auch in das Reifegradassessment-Tool übergeführt wurden, findet sich im Anhang 1 dieser Arbeit. Es wurde bewusst darauf verzichtet sie in den Fließtext einzubauen, um keinen bewussten Bruch in der Stringenz dieser Arbeit zu erzeugen.

Ergänzend sei noch erwähnt, dass den 24 Assessmentfragen noch fünf allgemeine hinzugefügt wurden. Es handelt sich dabei um Metafragen zum Prozess beziehungsweise den/der Anwender*in. Die Antworten auf diese Fragen werden in weiterer Folge für eine besser Visualisierung der Ergebnisse benötigt.

5.3 Entwicklung des digitalen Reifegradassessment-Tools

Eine Anforderungsanalyse vor der Entwicklung hat ergeben, dass spezifische Erwartungen an das Reifegradassessment-Tool bestehen, die im Zuge der Entwicklung möglichst gedeckt werden sollten. Es wurden hierzu systematische Befragungen von acht potenziellen, zukünftigen Verwendern*innen geführt und aufbereitet. Als Ergebnis finden sich eine Vielzahl ähnlicher Antworten, aus denen nachfolgende Cluster gebildet wurden.

ANFORDERUNGSTYP	CLUSTER	NENNUNGEN
nichtfunktional	Programm-/Abfolgelogik	3
	Anwender*innenfreundlichkeit	6
	Erweiterbarkeit	2
	Portierbarkeit	3
	Wartbarkeit	3
	Verlässlichkeit	4
funktional	lizenzfreie Verwendung	5
	zeitlich uneingeschränkte Nutzbarkeit	3
	Betriebssystemunabhängigkeit	3
	Grafische Benutzeroberfläche (GUI)	6
	Einfache Dateneingabe	5
	Datenablage	4
	Vergleichbarkeit der Ergebnisse	3

Tabelle 8: Ergebnis der systematischen Befragung zu Anforderungen an das Reifegradassessment-Tool, Quelle: eigene Darstellung.

Wie in Tabelle 8 ersichtlich ist, werden neben typischen nichtfunktionalen Anforderungen an die das Assessment auch sehr spezifische funktionale Anforderungen gestellt. Im Rahmen der Entwicklung wurde entsprechend versucht, all jene Anforderungen einfließen zu lassen.

5.4 Benötigte Komponenten

Die Kombination der nichtfunktionalen und funktionalen Anforderungen führte schlussendlich zu dem Entschluss, eine gänzliche Eigenentwicklung anzustreben. Im Zuge einer jeden Softwareentwicklung stellt sich dabei initial stets die Frage, welche Programmiersprache beziehungsweise welche Komponenten dafür herangezogen werden. Es findet sich nachfolgend eine Auflistung der verwendeten Hauptkomponenten für das Reifegrad-Assessmenttool. Für einen detaillierten Einblick, wie beispielsweise welche konkreten Programmbibliotheken verwendet wurden, sei hiernach auf das Pythonskript am Speichermedium des physischen Anhangs dieser Masterarbeit verwiesen.

5.4.1 Python

Hinsichtlich Programmiersprache wurde initial entschieden, dabei auf Python zurückzugreifen. Python ist eine universell einsetzbare, höhere Programmier-/Skriptsprache.⁹⁶ Sie weist eine gewisse Artverwandtschaft zu den vielen gängigen Programmiersprachen auf, wurde aber mit dem Ziel größter Einfachheit und Übersichtlichkeit entworfen. Das Augenmerk Pythons liegt auf einem gut lesbaren und dennoch knappen Programmierstil. Steyer nennt in seinem Buch das klassische Beispiel, dass Code nicht durch geschweifte Klammern, wie es sonst in fast allen C-basierenden Sprachen üblich ist, sondern durch zwingende Einrückungen strukturiert wird.⁹⁷

Wegen seiner klaren Syntax gilt Python als einfach zu lernen und flexibel anzuwenden. Vor allem auch aufgrund der Tatsache, dass Python mit vergleichsweise wenig Schlüsselwörtern auskommt. Die Schlankheit des Programmcodes führt zu verminderter Ressourcenbindung zur Laufzeit. Aus diesem Grund ist Python auch insbesondere für Anwendungen mit vielen Datensätzen, wie sie in Big Data Bereich zu finden sind, attraktiv.

Python ist lizenzfrei nutzbar⁹⁸ und wird von der Open Source Initiative unterstützt. Aus diesem Grund ist es auch naheliegend, dass Python eine große Entwickler*innencommunity aufweist, die nicht nur Python selbst sondern auch entsprechende Python-Zusatzpakete oder Programmbibliotheken unentgeltlich weiterentwickeln. Finalisierte Pythonskripte sind mit entsprechenden Interpretern und Compilern direkt am PC ausführbar. Es ist jedoch auch möglich, aus einzelnen Skripten unmittelbar ausführbare .EXE-Dateien zu

⁹⁶ Höhere Programmiersprache bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Abstraktionslevel des geschriebenen Programmcodes im Vergleich zum Maschinencode, in den er final umgesetzt wird, hoch ist. Programmcode in höheren Programmiersprachen ist in der Regel leichter nachzuvollziehen.

⁹⁷ Vgl. Steyer (2018), S. 3.

⁹⁸ Dies gilt auch für kommerzielle Zwecke.

erzeugen, welche schlussendlich als Pack-and-Go-Konstrukte⁹⁹ auch auf Geräten ausgeführt werden können, auf denen weder Pythoninterpreter noch -compiler installiert wurde.

Python selbst hat defaultmäßig keine Fähigkeiten, grafische Elemente in einem Programm einzubauen. Jegliche Ein- oder Ausgaben für Anwender*innen passieren dabei über die Kommandozeile. Für die Umsetzung von grafischen Benutzeroberflächen bedarf es dahingehend zusätzlicher Komponenten.

5.4.2 Tkinter

Bei Tkinter handelt es sich um ein GUI-Toolkit, mit dem grafische Benutzeroberflächen auf Basis von Python entwickelt werden können. Die Abkürzung Tk steht dabei für Toolkit, Inter ist die Kurzform für Interface. Mit Tkinter ist es möglich plattformübergreifend grafische Anwendungen zu entwickeln. Dadurch kann Code auf allen gängigen Betriebssystemen wie Windows, Linux und macOS ausgeführt werden. Tkinter kann als hochentwickelt angesehen werden, zumal es sich im Vergleich zu anderen GUI-Toolkits automatisch um sehr viele Detailthemen kümmert. Programmierer*innen können sich damit auf die eigentliche Aufgabenstellung konzentrieren. Für Roseman ist es das GUI-Tool der ersten Wahl sowohl für persönliche Projekte als auch für firmeninterne Anwendungen.¹⁰⁰

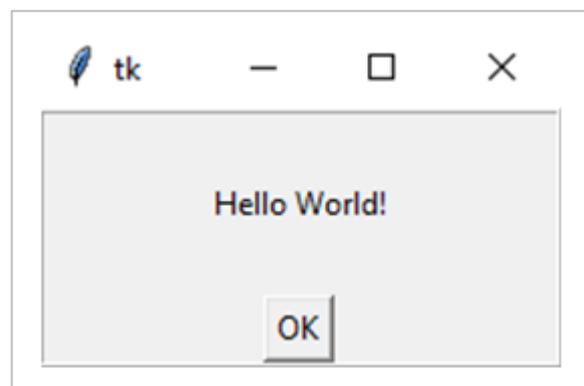


Abbildung 12: Tkinter Beispiel für unterschiedliche grafische Elemente, Quelle: eigene Darstellung

Tkinter bringt eine Vielzahl unterschiedlicher Bedienelemente mit. Typische Komponenten wie Textboxen, Buttons, Abbildungen oder geometrische Figuren können einfach platziert und in ihrem Erscheinungsbild (Größe, Farbe, Schriftart, Platzierung, etc.) konfiguriert werden. Besonders bedeutsam ist dabei die Fähigkeit des Zusammenwirkens von klassischem Python und Tkinter. Dadurch wird es zum Beispiel möglich, pythontypische Aufgaben wie Datenanalysen zu betreiben und parallel dazu Häufigkeiten etwa in einer grafischen Benutzeroberfläche mittels Farbbalken zu symbolisieren.

⁹⁹ Es werden dabei alle Pythonskripte inklusive verwendeter Pakete und Bibliotheken in einen portierbaren Ordner gepackt.

¹⁰⁰ Vgl. Roseman (2021), S. 16.

So umfangreich Tkinter auch zu sein scheint, ist es nicht allumfassend. Gerade für Spezialanwendungen, die gehobene Grafiken erfordern, bedarf es anderer, wesentlich spezialisierterer Programmbibliotheken für Python.

5.4.3 Matplotlib

Die Visualisierung ist ein wichtiges Werkzeug für die Untersuchung und Kommunikation von Ergebnissen aller Art. Durch grafische Darstellungen lassen sich für den Menschen im Gegensatz zu reinen Zahlen, wesentlich einfacher Erkenntnisse ableiten. In den wissenschaftlich-konnotierten Bereichen von Python gibt es eine Reihe hochwertiger Visualisierungsbibliotheken. Das beliebteste Allzweck-Visualisierungstool ist dabei die Programmbibliothek Matplotlib, welche sich bestens für die Erzeugung statischer, animierter und interaktiver 2D- und 3D-Diagramme eignet. Viele andere Bibliotheken konzentrieren sich auf Nischenbereiche der Visualisierung, wohingegen Matplotlib ein breites Spektrum der Diagrammtypen für die unterschiedlichsten Anwendungen zur Verfügung stellt.¹⁰¹

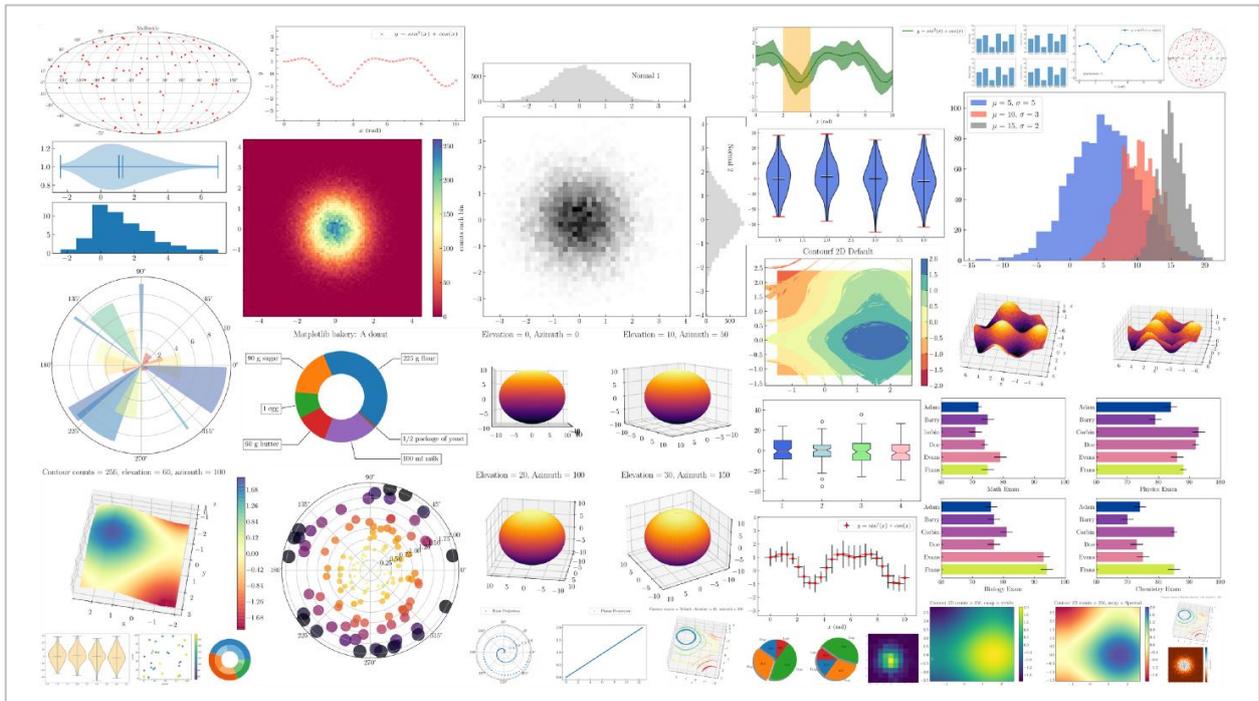


Abbildung 13: Übersicht über klassische Diagrammtypen, welche durch Kombination von Matplotlib und Python möglich sind, Quelle: Nurhidayat (2020), Online-Quelle [16.03.2022].

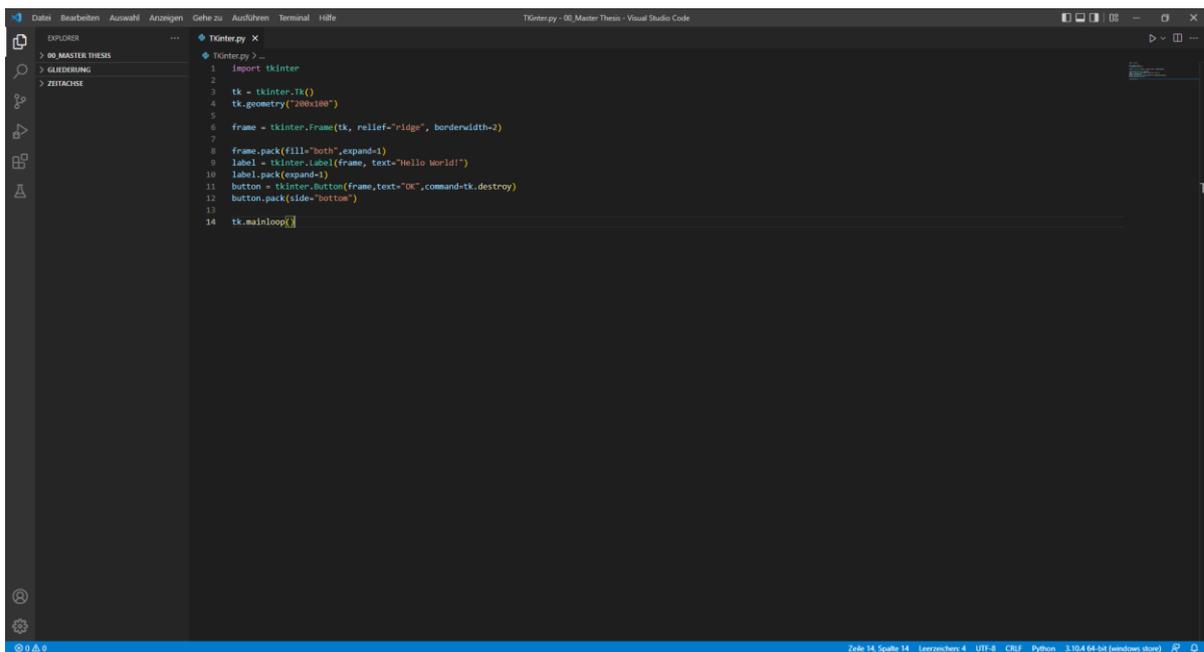
Ein Diagramm ist in Matplotlib durch Ableitung einer Instanz vom hierarchisch höchsten Objektes **Figure** erzeugbar. Eine solche Ableitung weist stets eine oder mehrere Achsen-Instanzen auf, welche sowie das abgeleitete Objekt selbst auch durch konfiguriert werden kann. Infolgedessen wird ersichtlich, dass die Programmbibliothek Matplotlib streng hierarchisch und stringent aufgebaut ist. Dieses Paradigma bietet insofern den Vorteil, dass zu visualisierende Daten von Pythonseite sauber aufbereitet, anschließend flexibel und ohne erhöhten Aufwand in beliebige Diagramme überführt werden können.

¹⁰¹ Vgl. Johansson (2019), S. 135 – 136.

5.4.4 Entwicklungsumgebung

Neben dem Integrated Development and Learning Environment (IDLE), das seit jeher als Standard-Pytho-
nentwicklungswerkzeug gilt, gibt es noch weitere leistungsfähige Entwicklungsumgebungen mit denen sich
Pythonskripte entwickeln lassen. Neben rein auf die Programmiersprache Python spezialisierten Editoren
gibt es auch größere Entwicklungsumgebungen, die Python als eine von mehreren Programmiersprachen
implementiert haben. Je nach Präferenz, können einfache Pythonskripte auch mit online Tools entwickelt
werden. Bei der Auswahl eines Tools seien jedenfalls monetäre sowie funktionelle Aspekte zu berücksich-
tigen. Nicht jede Entwicklungsumgebung für Python ist kostenlos verfügbar. Zudem muss stets berücksich-
tigt werden, ob eine spezifische Entwicklungsumgebung auch fähig ist, potenziell gebrauchte Bibliotheken
einzubinden.

In der vorliegenden Masterarbeit wurde jedenfalls auf den Quelltexteditor Visual Studio Code (VS Code)
von Microsoft zurückgegriffen. VS Code unterstützt neben Python noch eine Vielzahl anderer, typischer
Programmiersprachen. Trotz der Tatsache, dass Visual Studio Code vom kommerziellen Unternehmen
Microsoft (weiter-)entwickelt wird, steht es als quelloffenes Programm unter Open Source-Lizenz zum kos-
tenlosen Download auf der Plattform GitHub zur Verfügung.



```
1 import tkinter
2
3 tk = tkinter.Tk()
4 tk.geometry("200x100")
5
6 frame = tkinter.Frame(tk, relief="ridge", borderwidth=2)
7
8 frame.pack(fill="both", expand=1)
9 label = tkinter.Label(frame, text="Hello World")
10 label.pack(expand=1)
11 button = tkinter.Button(frame, text="OK", command=tk.destroy)
12 button.pack(side="bottom")
13
14 tk.mainloop()
```

Abbildung 14: Ausschnitt aus der Entwicklungsumgebung Visual Studio Code, Quelle: eigene Darstellung.

5.5 Finales Reifegradassessment-Tool

Das finale Reifegradassessment-Tool wurde wie erwähnt an das bestehende Vorgehen des Branchenverbands BITKOM angelehnt. Hierzu wurden in einem Pythonskript die 29 Fragen (5 Metafragen + 24 Assessmentfragen) sowie die jeweils fünf möglichen Antwortmöglichkeiten mittels Tkinter eingepflegt. Der/die Anwender*in wird somit mittels grafischer Benutzeroberfläche durch die Befragung des Assessments geleitet.

5.5.1 Workflow

Nach dem Starten der Software öffnet sich der Startbildschirm in einer Größe von 225 x 125 Pixel. Dem/Der Anwender*in wird zunächst ausführlich erklärt, was im nachfolgenden Assessment vorstattengeht und was seine/ihre konkreten Aufgaben darin sind. Mit Betätigung des Buttons „BEENDEN“ kann das Assessment abgebrochen und die Software geschlossen werden. Durch Betätigung des Buttons „START“ wird mit dem Assessment fortgefahren.

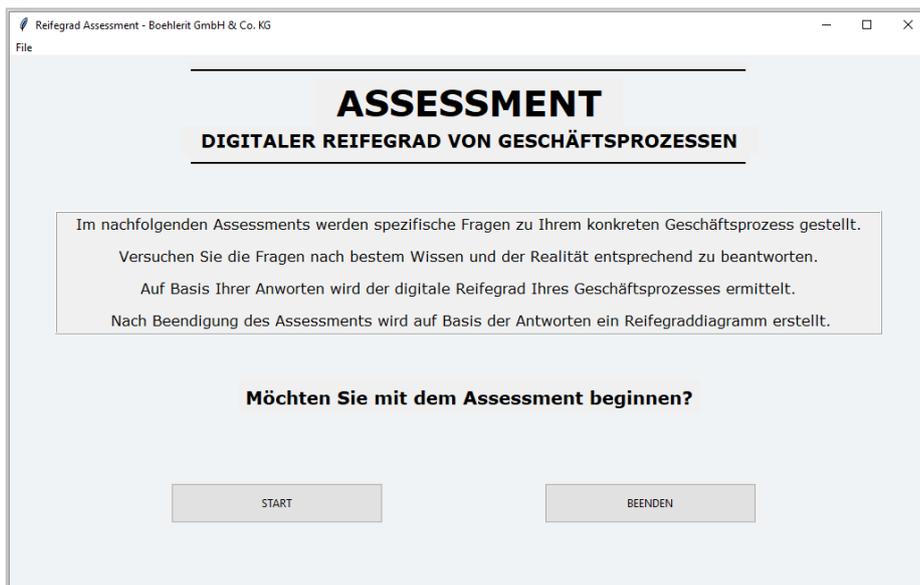


Abbildung 15: Startbildschirm des Reifegradassessment-Tools, Quelle: eigene Darstellung.

Im darauffolgenden Part werden dem/der Anwender*in die fünf Metafragen zum Prozess gestellt. Die Beantwortung erfolgt entweder mittels Tastatureingabe oder durch Anwahl eines Optionsfeldes/Radiobuttons. Die getätigten Eingaben werden zur Laufzeit in dafür vorgesehenen Programmvariablen gespeichert und anschließend Matplotlib als Inputvariablen des Diagrammes zugeführt.

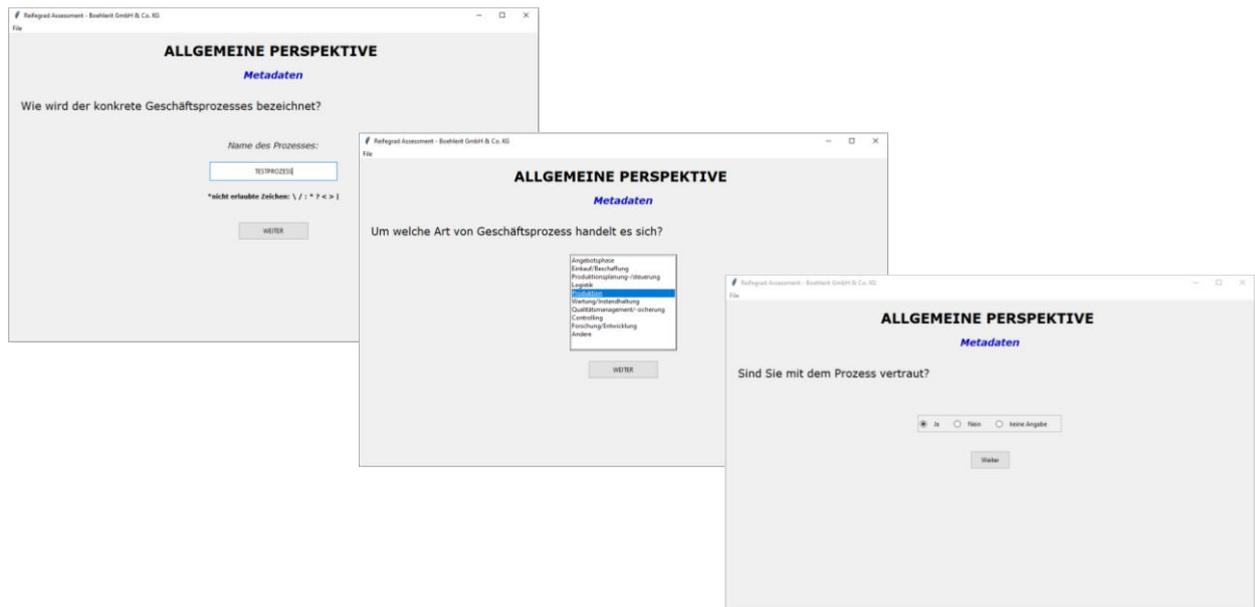


Abbildung 16: Exemplarische Beispiele der Metafragen des Assessments, Quelle: eigene Darstellung.

Nachdem die Metafragen beantwortet wurden, wird zu den eigentlichen Assessmentfragen übergegangen. Die Beantwortung erfolgt hierbei nur mehr durch Anwahl eines Optionsfeldes/Radiobuttons. Pro Frage wird auch hier die getätigte Eingabe zur Laufzeit in einer zugehörigen ganzzahligen Variablen gespeichert.

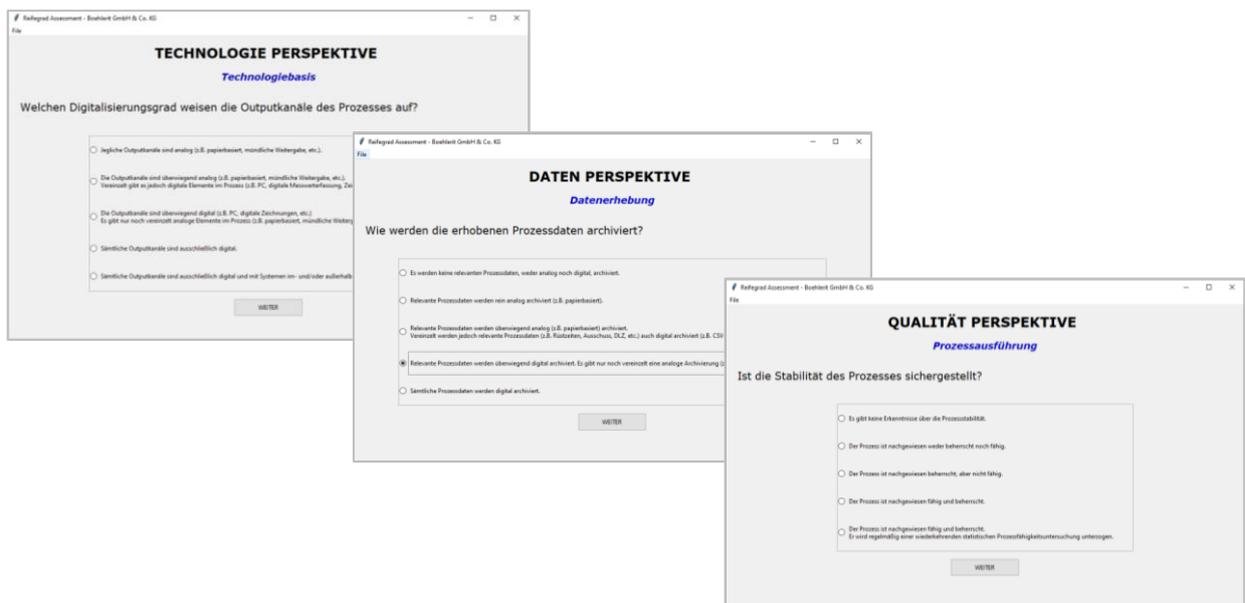


Abbildung 17: Exemplarische Beispiele der konkreten Assessmentfragen, Quelle: eigene Darstellung.

Im Zuge des Assessments ist es bewusst nicht möglich, eine bereits gegebene Antwort zu widerrufen beziehungsweise Fragen zu überspringen oder erneut zu beantworten. Es wird dieses Vorgehen gezielt nicht unterstützt, da damit erreicht werden möchte, dass der/die Anwender*in sehr wohl reflektiert, aber dennoch

nach seiner/ihrer ersten Intention heraus antwortet. Ergänzend sei hier auch erwähnt, dass es nicht möglich ist keine Antwort im Zuge der Befragung abzugeben. Sobald dieser Fall eintritt, gibt es eine Aufforderung eine entsprechende Antwort auszuwählen, bevor das Assessment weitergeführt werden kann.

Um die durch den/die Anwender*in abgegebenen Antworten auch nach Beendigung des Assessment in digitaler Form (z.B. für konsekutive Analysen) verfügbar zu haben, wird der Variableninhalt nach Beantwortung der letzten Frage automatisch in eine Textdatei des Formates comma-separated values (CSV) überführt. Diesem CSV-File wird bei der Namensgebung jener Prozessname übergeben, der im Zuge des Assessments durch den/die Anwender*in angegeben wurde. Zusätzlich werden das aktuelle Datum sowie die Uhrzeit dem Dateinamen angefügt, um so Transparenz und Nachverfolgbarkeit zu schaffen. Es findet sich dieses CSV-File gemeinsam mit dem finalen Assessment in einem eigenen, durch das Pythonskript erzeugten Ordner, dessen Ordnerbezeichnung ebenso der Prozessname sowie Datum und Uhrzeit der Durchführung mitgegeben werden.

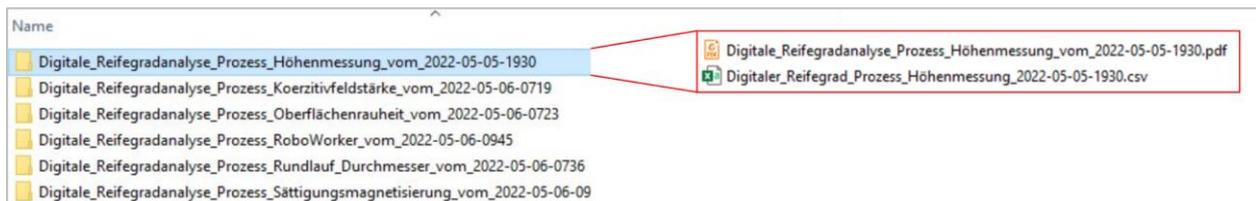
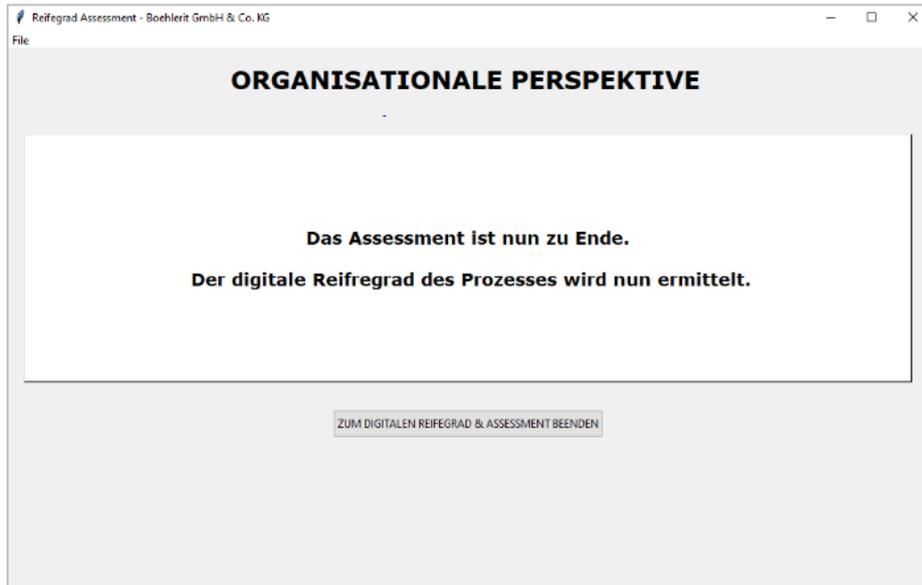


Abbildung 18: Erzeugung eigener Ordner mit Prozessnamen inklusive Datum & Uhrzeit, Quelle: eigene Darstellung.

Es ist jederzeit möglich das Assessment durch Betätigung des Beendigungsbuttons in der rechten oberen Ecke zu beenden. Hierbei sei jedoch festgehalten, dass die Antworten damit verworfen werden, denn nur abgeschlossene Assessments werden auch in das CSV-File, respektive in das finale Reifegraddiagramm überführt. Nach Beendigung des Assessments wird die befragte Person darüber informiert, dass das Assessment hiermit vorbei ist und der entsprechende Reifegrad ermittelt wird. Wie die Bezeichnung schon vorweg nimmt, führt der Button „ZUM DIGITALEN REIFEGRAD & ASSESSMENT BEENDEN“ dazu, dass am Ende des Assessments das fertige Reifegraddiagramm angezeigt wird.



5.5.2 Visualisierung der Ergebnisse

Zur Darstellung der Ergebnisse erfolgt die Visualisierung mittels Radardiagramm unter Verwendung von Matplotlib. Diese Form wurde so auch von BITKOM gewählt, eignet sie sich doch optimal, um einen fundierten Überblick über die erreichten Reifegrade zu erlangen und gleichzeitig auch Schwachstellen zu identifizieren. Im Vergleich zum Evaluierungstool auf Excel Basis von BITKOM wurde jedoch eine deutlich professionellere Form des Radardiagrammes angestrebt. Aus diesem Grund erfolgte final die Implementierung eines radialen Balkendiagrammes zur Darstellung der Assessmentergebnisse. Neben der Benennung der Hauptdimensionen sowie der dazugehörigen Subkategorien, ist es mit entsprechendem Pythoncode in

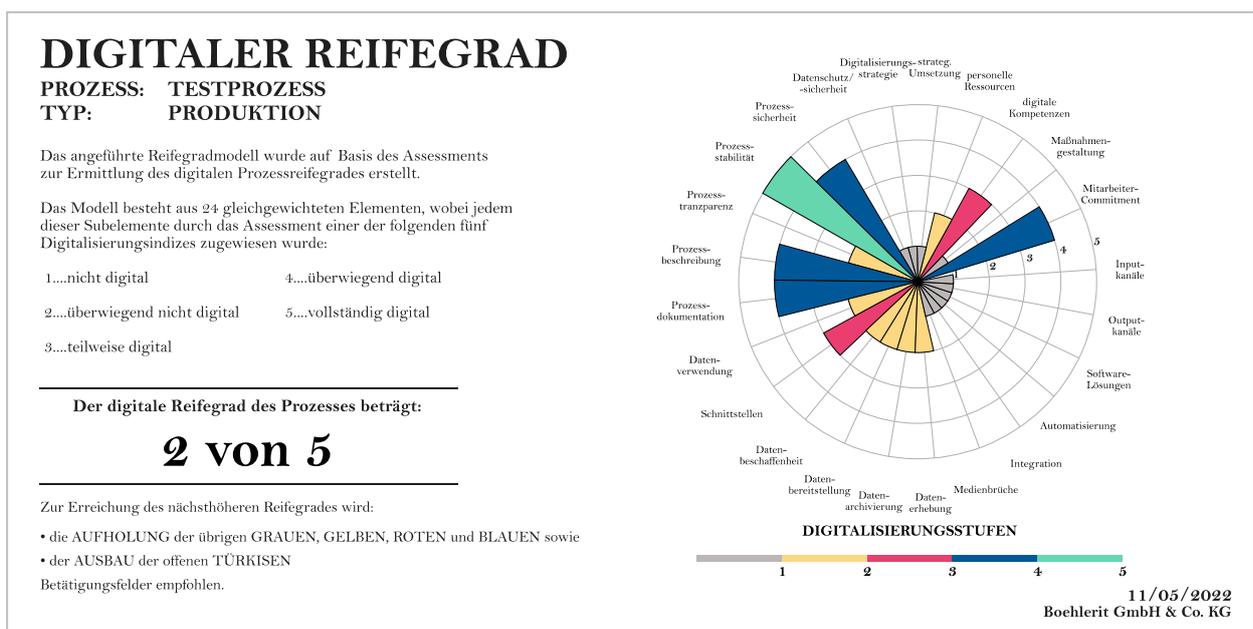


Abbildung 19: Visualisierung des digitalen Reifegrades anhand eines radialen Balkendiagramms, Quelle: eigene Darstellung.

Matplotlib auch möglich, die unterschiedlichen Reifegrade in diesem Diagramm durch farbliche Unterscheidung deutlich hervorzuheben.

Wie in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ersichtlich finden sich linksseitig Informationen zum konkreten Prozess. Die Prozessbezeichnung und der Prozesstyp werden dabei direkt aus den Antworten des/der Anwenders*in entnommen und hier eingepflegt. Darunter folgen Informationen, wie sich das Reifegradmodell zusammensetzt.

Anschließend wird der Gesamtreifegrad des betrachteten Prozesses visualisiert. Es wird hierzu das arithmetische Mittel der Einzelreifegrade gebildet und auf eine Ganzzahl gerundet. Direkt unterhalb des Gesamtreifegrades finden sich ergänzend Empfehlungen, welche Kategorien zwingend verbessert werden müssen, damit der nächsthöhere Reifegrad erreicht werden kann. Rechtsseitig findet sich das Reifegraddiagramm in Radarform. Die 24, im Zuge der Evaluierung befragten Elemente, sind außerhalb des Radarfeldes konzentrisch angeordnet. Innerhalb des Radarfeldes finden sich die abgegebenen Antworten gemäß Likert-Skala als Ausprägung zwischen 1 – 5 farblich eindeutig markiert. Unterhalb des Diagrammes befindet sich eine Legende, die dem Verständnis zuträglich sein soll. Final wird auf der rechten unteren Ecke das Datum der Durchführung sowie in diesem Fall die statische Information des durchführenden Unternehmens hinterlegt. Das Radardiagramm wird durch Matplotlib vollständig als Vektorgrafik erzeugt und kann somit beliebig groß beziehungsweise klein skaliert werden. Hinsichtlich Dateiformat wird das Reifegraddiagramm mittels Pythoncode bewusst im plattformunabhängigen Portable Document Format (PDF) gespeichert. Es findet sich dieses PDF-File ebenso im extra dafür erzeugten Ordner, wo auch das CSV-File abgelegt wurde. Hinsichtlich Dateinamen wird auch hier die Konvention verfolgt, dass die von dem/der Anwender*in eingegebene Prozessbezeichnung sowie Datum und die Uhrzeit der Durchführung hinsichtlich Nachverfolgbarkeit, automatisch in den Dateinamen des Files übernommen werden.

Das Reifegradassessment-Tool wurde im Zuge seiner Entwicklung iterativen Verbesserungsschleifen unterworfen. Hierzu wurden Anwender*innentests mit fünf unterschiedlichen Personen durchgeführt. Im Zuge dessen wurde nicht nur versucht funktionale Fehler, die in der Entwicklung des Tools gemacht wurden, mit einer entsprechend größeren Anzahl von Testpersonen zu identifizieren, sondern auch wertvolles Feedback hinsichtlich Anwendbarkeit und optischer Erscheinung durch unterschiedliche Testpersonen einzuholen.

Nach abgeschlossener Einarbeitung des Feedbacks wurde das Reifegradassessment-Tool als ausführbare EXE-Datei exportiert und für die nachfolgenden Schritte dieser Masterarbeit unmittelbar praktisch angewandt.

6 MESSPROZESSE BEI BOEHLERIT GMBH & CO. KG

Nachdem bis hierhin jegliche Rahmenbedingungen zur digitalen Transformation von Prozessen detailliert erläutert und auch aktiv geschaffen wurden, wird nachfolgend der Fokus auf die Messprozesse und deren Transformation selbst gelegt.

6.1 Einführung & Begriffsbestimmung

Die Boehlerit GmbH & Co. KG betreibt als Produzentin von Schneidstoffen, Präzisionswerkzeugen und Werkzeugsystemen aus Hartmetallen ein konsequentes Qualitätsmanagement. Vielmehr noch hat sich Boehlerit selbst höchste Qualitätsanforderungen auferlegt, zumal ein wesentlicher Teil der Unternehmensstrategie daraus besteht, als Qualitätsführer in einem äußerst kompetitiven Markt zu agieren. Selbstverständlich ist das Unternehmen daher auch schon seit mehreren Jahren nach der ISO 9001:2015 Norm für Qualitätsmanagementsysteme zertifiziert. Eine eigene Qualitätsmanagementabteilung im Umfang 20 Personen befasst sich daher täglich mit der Verbesserung der Qualität im Unternehmen.

Der Integrationsgrad von Qualität im Unternehmen ist spürbar hoch. Über die jegliche Produktionsprozesse hinweg finden sich eine Vielzahl unterschiedlichster, qualitätsfördernder Maßnahmen. Im nachfolgenden Teil wird der Fokus jedoch auf die objektiven und messbaren Elemente des Qualitätsmanagements gelegt. Nach der gültigen Norm ISO 9000:2015 3.3.6 ist nämlich die Qualitätssicherung der Teil des Qualitätsmanagements, der auf das Erzeugen von Vertrauen gerichtet ist, dass Qualitätsanforderungen auch entsprechend erfüllt werden.¹⁰² Gemäß dem bekannten Leitsatz „Kontrolle schafft Vertrauen“ kann die Tätigkeit der Qualitätskontrolle/-prüfung in diesem Kontext als der Befähiger der Qualitätssicherung gesehen werden. Wird der Begriff Qualitätssicherung noch feiner aufgegliedert findet sich darin neben den Elementen Erstbemusterung, Wareneingangsprüfung, Lieferantenbewertung oder Prüfmittelmanagement auch die **Fertigungskontrolle** wieder.

6.1.1 Fertigungskontrollen/-prüfungen

Die Fertigungskontrolle befasst sich ihrerseits jedenfalls mit jeglichen Prüfungen innerhalb der Produktionsprozesse eines Unternehmens. Das erklärte Ziel der Fertigungskontrolle ist es zu bewerten, ob es sich bei einem bestimmten Prüfobjekt um ein Gut- oder Schlechttteil beziehungsweise, wenn Schlechttteil, um ein Nacharbeitsteil oder Ausschuss handelt. Die Fertigungskontrolle bedient sich dabei bestimmter Prüfverfahren, welche manuell oder maschinengestützt, automatisiert mit hoher menschlicher Interaktion erfolgen können. Die Anzahl jener Objekte, die in einer dezidierten Prüfung begutachtet werden, kann dabei je nach Notwendigkeit von einem einzelnen Objekt (100 %-Prüfung) über n-Objekte (Stichprobenprüfungen) bis hin zu einer stets gleichen Anzahl (Losprüfungen) reichen.

¹⁰² Vgl. ISO 9000:2015 (2015), S. 24.

Für gewöhnlich kommen in Prüfprozessen auch Prüfmittel¹⁰³ unterschiedlichster Art zum Einsatz, die bei einzelnen Fertigungsprüfungen die attributive Bewertung des Prüfobjektes erleichtern beziehungsweise diese überhaupt erst ermöglichen. Auch wenn es laut Norm nicht exakt ist, werden den Prüfprozessen für gewöhnlich auch das Messen, respektive die dazugehörigen Messmittel, zugeordnet. Im technischen Sinne handelt es sich beim Messen eigentlich um eine Quantifizierung von Ergebnissen. Erst der Vergleich der erfassten Messwerte mit entsprechenden Referenzwerten ermöglicht eine Aussage, ob das Objekt akzeptiert wird oder nicht. Somit kann streng genommen eigentlich nur der Schritt des Vergleichens als Prüfung bezeichnet werden. Üblicherweise fällt jedoch der gesamte Messprozess im Sinne einer Fertigungskontrolle unter die Bezeichnung Prüfung.¹⁰⁴ Dahingehend wird dieser Begriff auch in dieser Masterarbeit synonym verwendet.

6.1.2 Fertigungskontrollen/-prüfungen bei Boehlerit

Die Fertigungsprüfungen bei der Boehlerit GmbH & Co. KG am Standort Kapfenberg weisen in Summe rund 2200 Messwerkzeuge auf. Diese reichen von einfachen Handmessmitteln, über digitale Pendants bis hin zu autonomen Messmaschinen. Trotz dieser quantitativ hohen Anzahl von unterstützenden Werkzeugen, ist der menschliche Interaktionsgrad im Zuge der einzelnen Messprozesse dennoch vergleichsweise hoch. Es liegt dies darin begründet, dass die gegenwärtigen Messprozesse organisch mit dem Unternehmen gewachsen sind. Dadurch sind sie äußerst stabil und beherrscht, was im Sinne der Qualität als angestrebter Zielzustand angesehen werden kann. Hinsichtlich ihrer Effizienz weisen sehr viele der Prozesse jedoch deutliches Verbesserungspotential auf. Der hohe Grad an manuellen Tätigkeiten in den Prozessabläufen führt infolgedessen zu unnötig gebundenen Ressourcen. Es wiegt dies schwer, zumal die menschliche Arbeitskraft, respektive die Personalkosten, gewöhnlich einen großen, wenn nicht sogar den größten Anteil an den Prüfkosten ausmachen. Jede Minute, die ein/eine Mitarbeiter*in bei Boehlerit unnötig mit manuellen Tätigkeiten in einem Prüfprozess gebunden ist, führt zu einem Anstieg der variablen Kosten des Prüflings. In weiterer Folge sinkt damit auch der Deckungsbeitrag des Einzelerzeugnisses, welcher aus betriebswirtschaftlicher Sicht jedoch als wesentliche Optimierungsgröße gilt.

Dieser Umstand ist dahingehend nicht nur suboptimal, sondern vielmehr entbehrlich. Denn durch Integration von Digitalisierungs- sowie Automatisierungslösungen lassen sich solche verlorenen Zeiten nicht nur aufholen, sondern im Sinne der Kosten-/Leistungsrechnung ganzheitlich optimieren.

¹⁰³ es kann dies auch der Mensch mit seinen Sinnesorganen sein – siehe hierzu optische oder haptische Kontrollen.

¹⁰⁴ Vgl. KEYENCE CORPORATION (o.J.), Online-Quelle [09.04.2022].

6.2 Definition der digitalen Vision & Strategie

Im Sinne des in Abschnitt 4.2 diskutierten Vorgehensmodells nach Appelfeller/Feldmann wird hiernach die digitale Vision & Strategie der Boehlerit GmbH und Co. KG gebildet. Aktuelle, überwiegend analoge Messprozesse sollen durch systematische digitale Transformation in zumindest teildigitalisierte und in weiterer Folge automatisierte Prozesse überführt werden. Eine Verringerung der Durchlaufzeit mit gleichzeitiger Steigerung der Effizienz und Effektivität durch Integration von IKT ist hierbei das erklärte Ziel. Dahingehend sei jedoch festgehalten, dass die Boehlerit GmbH und Co. KG keine menschenleere Fabrik anstrebt. Digitalisierung und Automatisierung sollen Mitarbeiter*innen in ihren Tätigkeiten unterstützen und nicht mit ihnen in Konkurrenz stehen. Gleichwohl geht es konkret darum, Messprozesse zu digitalisieren und automatisieren, um dadurch unnötig gebundene menschliche Arbeitskraft freizumachen, sie für andere Tätigkeiten einzusetzen und somit langfristig Kosten einzusparen sowie an Effizienz und Effektivität zu gewinnen.

Aus strategischer Sicht ist die vorliegende Masterarbeit ein initialer Schritt dieser Transformation. Sie soll konkrete Digitalisierungspotentiale aufzeigen und mittels Umsetzung praktischer Maßnahmen heben. Sie konzentriert sich dabei bekanntlich auf das Element digitalisierte Prozesse des Referenzmodells nach Appelfeller/Feldmann. Im Vordergrund stehen dabei fünf konkrete Messprozesse im Zuge von Fertigungsprüfungen bei Boehlerit.

6.2.1 Weitere Vorgehensweise

Bevor jedenfalls konkrete Maßnahmen abgeleitet werden können, muss gemäß dem gewählten Vorgehensmodell der IST-Zustand analysiert werden. In diesem Sinne erfolgt zunächst eine grundlegende Erläuterung der fünf Messprozesse, welche auf Wunsch der Boehlerit GmbH und Co. KG betrachtet werden sollen. Anschließend werden diese Messprozesse dem entwickelten Reifegradassessment zugeführt, um deren digitalen Reifegrad, respektive den IST-Zustand zu analysieren. Auf Basis dieser Ergebnisse werden in weiterer Folge konkrete Maßnahmen abgeleitet sowie praktisch umgesetzt.

6.3 Erläuterung konkreter Messprozesse

Im nachfolgenden Kapitel erfolgt eine Erläuterung von fünf Messprozessen aus der Qualitätssicherung bei der Boehlerit GmbH & Co. KG. Die Entscheidung, welche Prozesse dafür herangezogen werden, wurde von Boehlerit selbst getroffen. Bei der Entscheidung wurde jedenfalls versucht, das vielfältige Gesamtspektrum der Prüfprozesse in dieser Auswahl abzubilden.

Nachfolgend findet sich pro Messprozess eine Erläuterung hinsichtlich Art, Durchführung und den Zielen der korrespondierenden Prüfung. Als integraler Bestandteil wird anschließend das Ergebnis des Reifegradassessments angeführt und diskutiert. Es sei hierbei erwähnt, dass dieses Assessment vom Autor dieser Masterarbeit durchgeführt wurde, nachdem er sich über einen Zeitraum von mehreren Wochen intensiv mit jedem einzelnen Prozess befasst hatte.

6.3.1 Messprozess Bauteilhöhe

Im Rahmen dieses Messprozess wird mittels digitalem Höhenmessgerät die relative Höhe einer spezifischen Fläche des Bauteils zu einer Referenzfläche gemessen.

6.3.1.1 Ablaufbeschreibung

Die zu prüfenden Bauteile werden als Einzelerzeugnis oder in Prüflösen zusammen mit einem physischen Laufzettel angeliefert. Der/die Prüfer*in führt zunächst am digitalen Höhenmessgerät eine Nullkalibrierung durch, indem das Messgerät physisch auf den Ebenenbezugspunkt gebracht beziehungsweise die digitale Anzeige anschließend auf den Wert Null gestellt wird. Parallel dazu ist eine eigene Software zur Messwertfassung auf einem, direkt am Prüfplatz befindlichen Mess-PC, zu starten. Nachdem das digitale Höhenmessgerät über ein USB-Kabel mit dem Mess-PC verbunden ist, ist vor einer Messung softwareseitig eine Verbindung zwischen diesen beiden Komponenten herzustellen. Im Anschluss daran kann mit den Messungen begonnen werden.



Abbildung 20: Exemplarisches digitales Höhenmessgerät inklusive Messwertanzeige, Quelle: MW-Import (2017), Online-Quelle [22.04.2022]

Die Prüflinge sind infolgedessen nacheinander in das Höhenmessgerät einzulegen. Die Messung selbst wird durchgeführt, indem der Messkopf des Höhenmessgerätes auf der spezifischen Fläche des Prüflings abgelegt wird. Es wird somit die Länge zwischen dem Ebenenbezugspunkt und der spezifischen Fläche bestimmt, welche mit der Höhe des Bauteils gleichzusetzen ist. Über die USB-Schnittstelle können digitale Messwerte direkt in eine Messsoftware übernommen werden, in der sie auch zwischengespeichert werden. Zur Ablage der digitalen Messwerte wird in weiterer Folge ein spezifisches Prüfprotokoll auf Excel-Basis herangezogen, in das die Werte von der proprietären Messsoftware ausgehend eingefügt werden. Über

ein Makro, das in diesem Excelfile hinterlegt ist, werden die eingefügten Messwerte mit erlaubten Toleranzwerten verglichen. Durch eine farbliche Markierung wird dem/der Anwender*in dargelegt, ob sich die Messwerte dabei innerhalb oder außerhalb der erlaubten Toleranzgrenzen bewegen, respektive wie viele der Prüflinge im Sinne der Fertigungsprüfung als Gut- oder Schlechtteil zu bewerten sind. Die Anzahl der Gut- sowie Schlechteile wird über einen zentralen Rechner in ein Betriebsdatenerfassungssystem (BDE) eingepflegt. Im abschließenden Schritt erfolgt noch der Ausdruck des Prüfprotokolls, welches dem Laufzettel der Prüflinge physisch angehängt wird. Die Laufzettel inklusive Prüfberichte werden nach Erteilung eines Gutbefundes an einem physischen Lagerort abgelegt und verbleiben dort mehrere Monate bis Jahre für den Fall, dass kundenseitige Beschwerden oder Reklamationen eintreten. Davon abgesehen werden die einzelnen Messwerte jedoch ansonsten nicht weiterverwendet.

6.3.1.2 Digitaler Reifegrad Messprozess Bauteilhöhe

Das Reifegraddiagramm zeigt, dass der Messprozess Bauteilhöhe bereits einen überdurchschnittlichen Gesamtreifegrad aufweist. Die Einzelreifegrade bewegen sich überwiegend zwischen den Werten 2 – 4, eine Ausprägung der Klasse 5 gibt es nicht. Deutlicher Aufholbedarf besteht hingegen in den Bereichen Digitalisierungsstrategie, strategische Umsetzung sowie Kompetenzen hinsichtlich Weiterentwicklung, wurden doch alle drei Bereiche mit der Ausprägungsstufe 1 bewertet. Der Prozess kann somit in Anlehnung an seinen digitalen Reifegrad als teildigitalisiert angesehen werden. Zur Steigerung des Reifegrades wird eine Aufholung der genannten, unterdurchschnittlichen Bereiche sowie der gleichzeitige Ausbau der anderen Bereiche empfohlen.

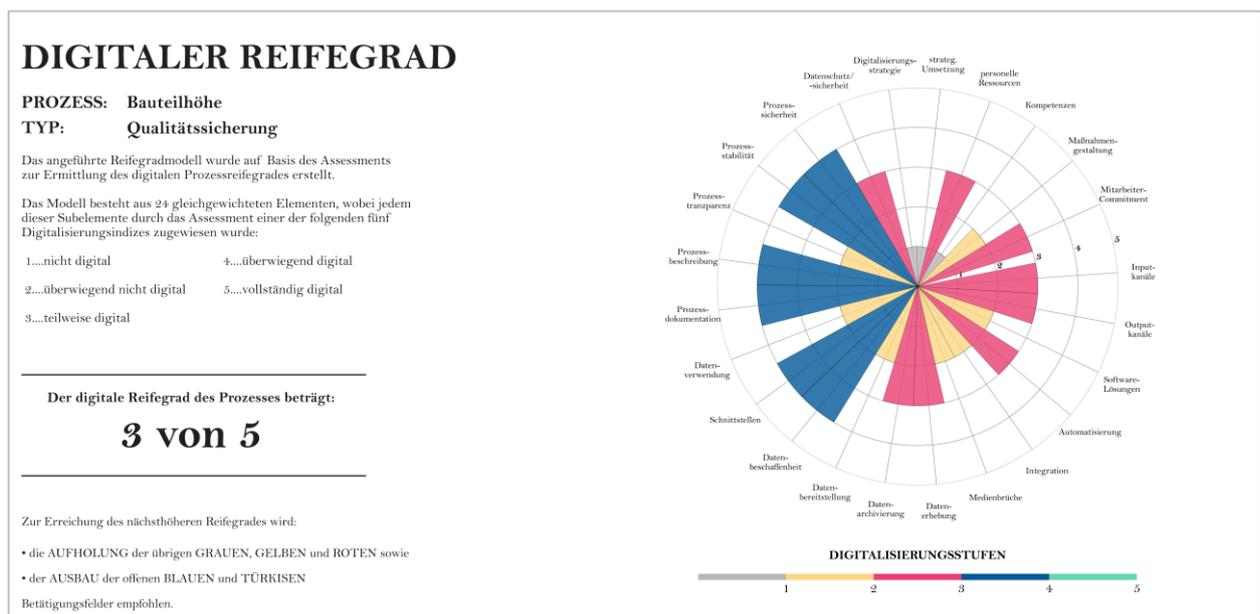


Abbildung 21: Ergebnis digitales Reifegradassessment Prozess Bauteilhöhe, Quelle: eigene Abbildung.

6.3.2 Messprozess Sättigungsmagnetisierung

Im Rahmen dieses Messprozess wird unter Zuhilfenahme einer Messmaschine die gewichtsspezifische Sättigungsmagnetisierung ferromagnetischer Bauteile gemessen. Unter dem Begriff Sättigungsmagnetisierung wird konkret jene Grenzmagnetisierung verstanden, die durch parallele Ausrichtung aller magnetischen Momente in einer Probe maximal erreicht werden kann. Durch vorhergehende Bestimmung und Speicherung des Probengewichtes, wird in weiterer Folge durch die Messmaschine automatisch die gewichtsspezifische Sättigungsmagnetisierung berechnet. Die Höhe der Sättigungsmagnetisierung ermöglicht dabei eine Aussage über den Sintergrad bei Hartmetallsinterprozessen. Zudem wird er zur Bestimmung des in Kobalt gelösten Wolframanteils und zur Quantifizierung des freien Eisen-, Kobalt- oder Nickelgehaltes in Hartmetallen herangezogen.

6.3.2.1 Ablaufbeschreibung

Die zu prüfenden Bauteile werden als Einzelerzeugnis oder in Prüflösen zusammen mit einem physischen Laufzettel angeliefert. Der/die Prüfer*in führt zunächst an der Messmaschine, dem sogenannten Sigmameter, eine kalibrierende Nullmessung durch, sofern diese benötigt wird. Es ist dies jedoch nur der Fall, wenn es sich bei der gegenwärtigen Messung um die erste nach dem Einschalten des Gerätes handelt.

Im ersten Schritt werden die entsprechenden Proben in eine Präzisionswaage eingelegt, die mit dem Sigmameter verbunden ist. Nach Bestimmung der Probenmasse wird der Wert durch Quittierung an der Waage automatisch über ein Kabel des Typs Recommended Standard 232 (RS-232) an das Sigmameter übermittelt. Der Prüfling wird anschließend manuell aus der Waage entnommen und für die weitere Messung in das Sigmameter eingelegt. Am Kopf des Sigmameters befindet sich die sogenannte electronic control unit (ECU). Es handelt sich dabei konkret um ein Human-Machine-Interface (HMI) mit dem das Sigmameter gesteuert werden kann. Auf der Rückseite der ECU befindet sich zudem eine weitere, offene RS-232 Schnittstelle, an die ein PC zur Ansteuerung des Sigmameters angeschlossen werden könnte. Die weiterführende Messung ist jedenfalls per Tastendruck von der ECU zu starten. Der Prüfling wird durch einen Magneten bis zu seiner maximalen Sättigung aufmagnetisiert. Im Zentrum der Messmaschine ist eine pneumatische Linearachse angebracht, die den Prüfling nach einer gewissen Zeit rapide aus dem angelegten Magnetfeld entfernt. Dabei wird in eine Helmholtzmessspule eine elektrische Spannung induziert, deren Werte auf das magnetische Moment schließen lassen. Durch Zusammenführung von Probenmasse und magnetischem Moment wird die gewichtsspezifische Sättigungsmagnetisierung automatisch im Sigmameter errechnet und dem/der Prüfer/in an einem Liquid Crystal Display (LCD) angezeigt.



Abbildung 22: Messmaschine Sigmameter inklusive Messwertanzeige an der ECU, Quelle: eigene Darstellung.

Obwohl die erfassten Messwerte in digitaler Form vorliegen, werden sie in weiterer Folge jedoch abgelesen und händisch auf einem Trägersäckchen vermerkt, in dem schlussendlich auch die einzelnen Prüflinge abgelegt und weitertransportiert werden. Dieses reine händische Notieren birgt jedoch erhöhtes Fehlerpotential sowie Verarbeitungsaufwand.

Die Anzahl der Gut- sowie Schlechteile wird über einen zentralen Rechner in ein Betriebsdatenerfassungssystem (BDE) zurückgemeldet. Ergänzend werden auch die erfassten Messwerte separat in einem eigenen Bereich eines Enterprise Resource Planning (ERP) Systems eingepflegt. Von dort ausgehend wird abschließend ein Prüfbericht generiert, der ausgedruckt dem Laufzettel der Prüflinge physisch angehängt wird. Die Laufzettel inklusive Prüfberichte werden nach Erteilung eines Gutbefundes an einem physischen Lagerort abgelegt und verbleiben dort mehrere Monate bis Jahre für den Fall, dass kundenseitige Beschwerden oder Reklamationen eintreten. Davon abgesehen werden die einzelnen Messwerte jedoch ansonsten nicht weiterverwendet.

6.3.2.2 Digitaler Reifegrad Messprozess Sättigungsmagnetisierung

Das Reifegraddiagramm für den Prozess der Sättigungsmagnetisierung zeigt, dass der Prozess einen relativ geringen Gesamtreifegrad aufweist. Die Einzelreifegrade bewegen sich überwiegend zwischen den Werten 1 und 2, vereinzelt gibt es auch Reifegrade der Stufe 3 und 4. Das Element Prozessstabilität wurde mit dem Subreifegrad 5 bewertet. Dies liegt darin begründet, dass der Prozess klassisch organisch gewachsen ist und seit Jahren bereits in dieser Form durchgeführt wird. Die Prüfer*innen kennen die Messmaschine sowie die einzelnen Prüfschritte bis ins kleinste Detail. Ein wirklich deutlicher Aufholbedarf besteht hingegen in den Bereichen Inputkanäle, Outputkanäle, Softwarelösungen, Automatisierung und Integration sowie hinsichtlich Datensicherheit, Digitalisierungsstrategie sowie die strategische Umsetzung. Es wird dies dadurch begründet, dass der Prüfprozess seit Jahren in der gleichen Konfiguration besteht und bis dato noch keine Digitalisierungsmaßnahmen daran umgesetzt wurden. Zur Steigerung des Reifegrades wird allenfalls eine Aufholung der genannten, unterdurchschnittlichen Bereiche empfohlen.

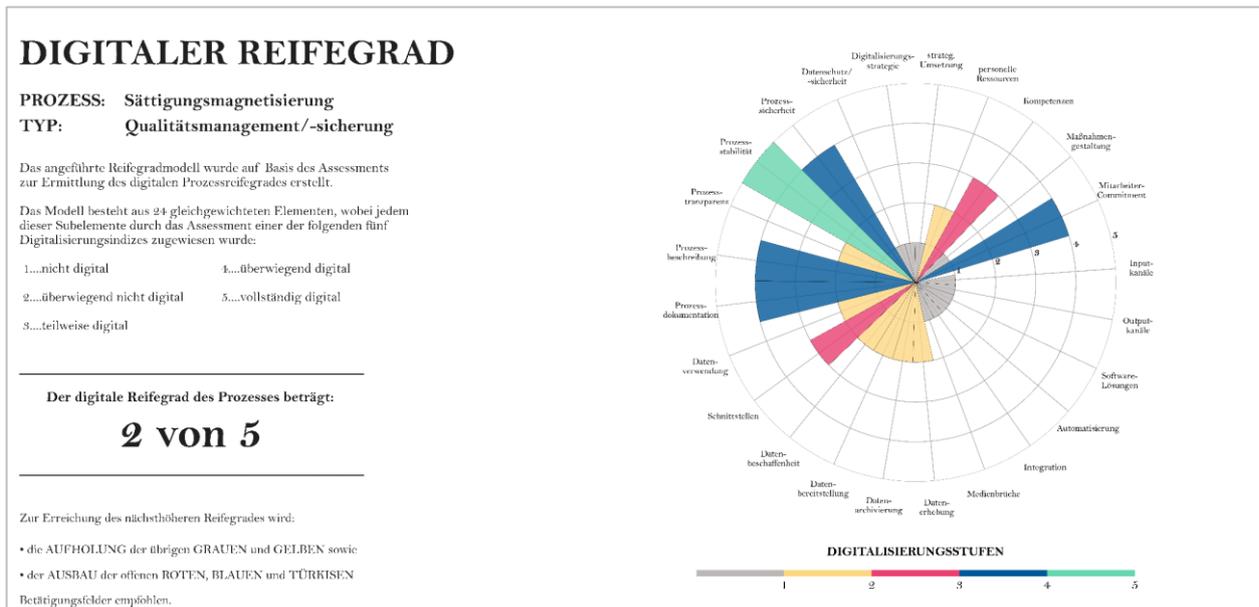


Abbildung 23: Ergebnis digitales Reifegradassessment Prozess Sättigungsmagnetisierung, Quelle: eigene Abbildung.

6.3.3 Messprozess Koerzitivfeldstärke

Im Rahmen dieses Messprozess wird unter Zuhilfenahme einer Messmaschine die Koerzitivfeldstärke eines ferromagnetischen Bauteiles gemessen. Unter dem Begriff Koerzitivfeldstärke wird konkret jene magnetische Feldstärke verstanden, die aufgebracht werden muss, um ein Bauteil gänzlich zu entmagnetisieren, sodass der resultierende Gesamtfluss gleich Null ist. Umgangssprachlich kann dahingehend gesagt werden, dass je höher der Wert der Koerzitivfeldstärke ist, desto länger ein Magnet seine Magnetisierung behält. Die Koerzitivfeldstärke korreliert stark mit dem Gefüge eines vorliegenden Metalls. Demnach können aus den magnetischen Eigenschaften auch Erkenntnisse über das vorliegende Werkstoffgefüge abgeleitet werden, ohne dabei auf invasive Methoden zurückgreifen zu müssen.

6.3.3.1 Ablaufbeschreibung

Die zu prüfenden Bauteile werden als Einzelerzeugnis oder in Prüflösen zusammen mit einem physischen Laufzettel angeliefert. Der/die Prüfer*in führt zunächst an der Messmaschine, dem sogenannten Koerzimat, eine kalibrierende Nullmessung durch, sofern diese benötigt wird. Es ist dies jedoch nur der Fall, wenn sich das Koerzimat aufgrund äußerer Temperatureinflüsse zu stark erwärmt hat.

Parallel dazu ist eine eigene Software zur Ansteuerung des Koerzimat auf einem, direkt am Prüfplatz befindlichen Mess-PC, zu starten. Nachdem das Koerzimat über ein RS-232-Kabel mit dem Mess-PC verbunden ist, muss infolgedessen vor einer Messung softwareseitig eine Verbindung zwischen diesen beiden Komponenten hergestellt werden. Im Anschluss daran kann mit den Messungen begonnen werden.

Im ersten Schritt wird der Prüfling auf einem Probenhalter platziert und bis zur ersten Arretierungsstufe in das Koerzimat eingeführt. Anschließend kann am Ansteuerungs-PC die Prüfung von der Messsoftware aus gestartet werden. Der Prüfling wird im Zuge der Messung durch ein angelegtes Gleichstrommagnetfeld bis zu seiner maximalen Sättigung aufmagnetisiert. Die Koerzitivfeldstärke wird dabei bestimmt, indem die Probe durch ein entgegengesetzt gepoltes Magnetfeld wieder vollständig entmagnetisiert wird. Die dafür notwendige Magnetfeldstärke ist als die Koerzitivfeldstärke der Probe zu verstehen. Nach erfolgter Entmagnetisierung wird der erste Koerzitivfeldstärkenmesswert in der Ansteuerungssoftware am Mess-PC angezeigt.

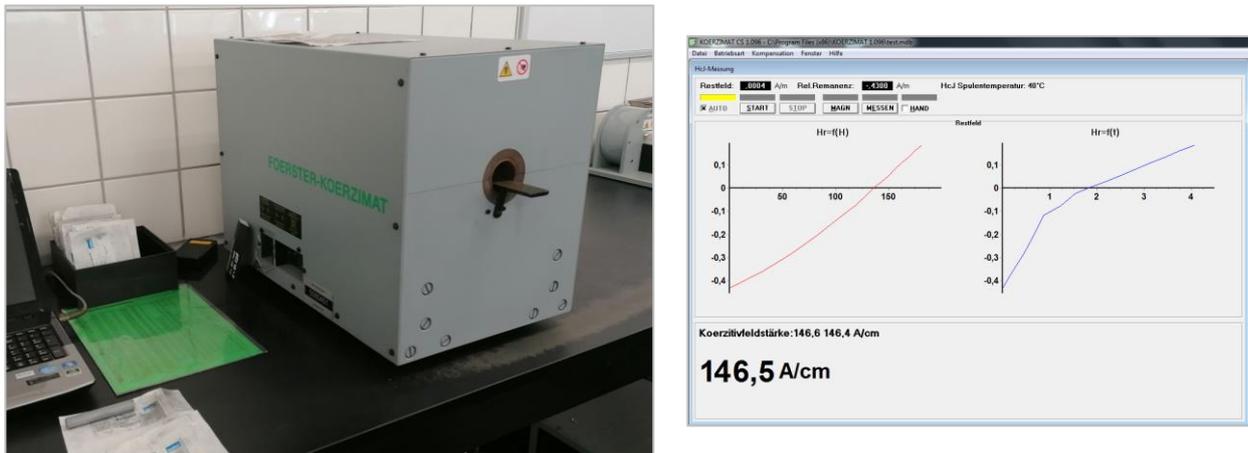


Abbildung 24: Messmaschine Koerzimat inklusive Mess-PC und Ansteuerungssoftware, Quelle: eigene Darstellung.

Um potentielle Ungenauigkeiten in der Messung zu kompensieren, ist jedoch eine zweite Messung notwendig. Der Prüfling wird hierzu vom Probenhalter entnommen, in vertikaler Richtung um 180 ° gedreht und wieder auf ihm abgelegt. Anschließend ist der Probenhalter mitsamt Prüfling auf die zweite Arretierungsstufe in das Koerzimat einzuführen. Die zweite Messung wird ebenso von der Software aus gestartet. Infolgedessen wird auch bei der zweiten Messung der Prüfling aufmagnetisiert und konsekutiv entmagnetisiert, um daraus die Koerzitivfeldstärke zu bestimmen. In der Software wird ebenso der zweite Messwert angezeigt, der sich in der Regel nicht sehr vom ersten Messwert unterscheiden sollte. Nichtsdestotrotz wird in der Software der arithmetische Mittelwert der beiden Messungen gebildet und wie die beiden Einzelwerte ebenso visualisiert.

Obwohl die erfassten Messwerte in der Software in digitaler Form vorliegen, besteht keine Möglichkeit sie aus der Software heraus zu exportieren oder weiterzuverarbeiten. Die Aufgabe des/der Prüfers*in infolgedessen darin, das arithmetische Mittel abzulesen und händisch auf einem Trägersäckchen zu vermerken, in dem schlussendlich auch die einzelnen Prüflinge abgelegt und weitertransportiert werden. Dieses händische Notieren birgt jedoch erhöhtes Fehlerpotential sowie Verarbeitungsaufwand. Die Anzahl der Gut- sowie Schlechteile wird über einen zentralen Rechner in ein Betriebsdatenerfassungssystem (BDE) zurückgemeldet. Ergänzend werden auch die erfassten Messwerte separat in einem eigenen Bereich eines Enterprise Resource Planning (ERP) Systems eingepflegt. Von dort ausgehend wird abschließend ein Prüfbericht generiert, der ausgedruckt dem Laufzettel der Prüflinge physisch angehängt wird. Die Laufzettel inklusive Prüfberichte werden nach Erteilung eines Gutbefundes an einem physischen Lagerort abgelegt

und verbleiben dort mehrere Monate bis Jahre für den Fall, dass kundenseitige Beschwerden oder Reklamationen eintreten. Davon abgesehen werden die einzelnen Messwerte jedoch ansonsten nicht weiterverwendet.

6.3.3.2 Digitaler Reifegrad Messprozess Koerzitivfeldstärke

Das Reifegraddiagramm für den Messprozess Koerzitivfeldstärke zeigt, dass der Prozess einen relativ geringen Gesamtreifegrad aufweist. Die Einzelreifegrade bewegen sich überwiegend zwischen den Werten 1 und 2, vereinzelt gib es auch Reifegrade der Stufe 3 und 4. Eine Ausprägung der Stufe 5 ist nicht vorhanden. Im Zuge dieser Erläuterung muss insbesondere der Einzelreifegrad der Höhe 3 beim Element Softwarelösungen diskutiert werden. Es ist naheliegend, dass sich dieser durch den Einsatz der Ansteuerungssoftware ergibt. Er fällt jedoch nicht höher aus, da die Software wie im Abschnitt 6.3.3.1 erwähnt, eigentlich nur zur Messwernerfassung eingesetzt wird, jedoch keine Speicherung oder Weiterverarbeitung der Werte ermöglicht.

Deutlicher Aufholbedarf besteht hingegen in den Bereichen Inputkanäle, Integration, Datenverwendung, sowie hinsichtlich Datensicherheit, Digitalisierungsstrategie sowie die strategische Umsetzung, personelle Ressource sowie Kompetenzen zur Weiterentwicklung des gegenwärtigen Szenarios. Das deutlich unterdurchschnittliche Ergebnis des Reifegradassessments wird dadurch begründet, dass der Prüfprozess seit Jahren in der gleichen Konfiguration besteht und bis dato, bis auf die erwähnten, noch keine Digitalisierungsmaßnahmen daran umgesetzt wurden. Zur Steigerung des Reifegrades wird jedenfalls eine Aufholung der genannten, unterdurchschnittlichen Bereiche empfohlen.

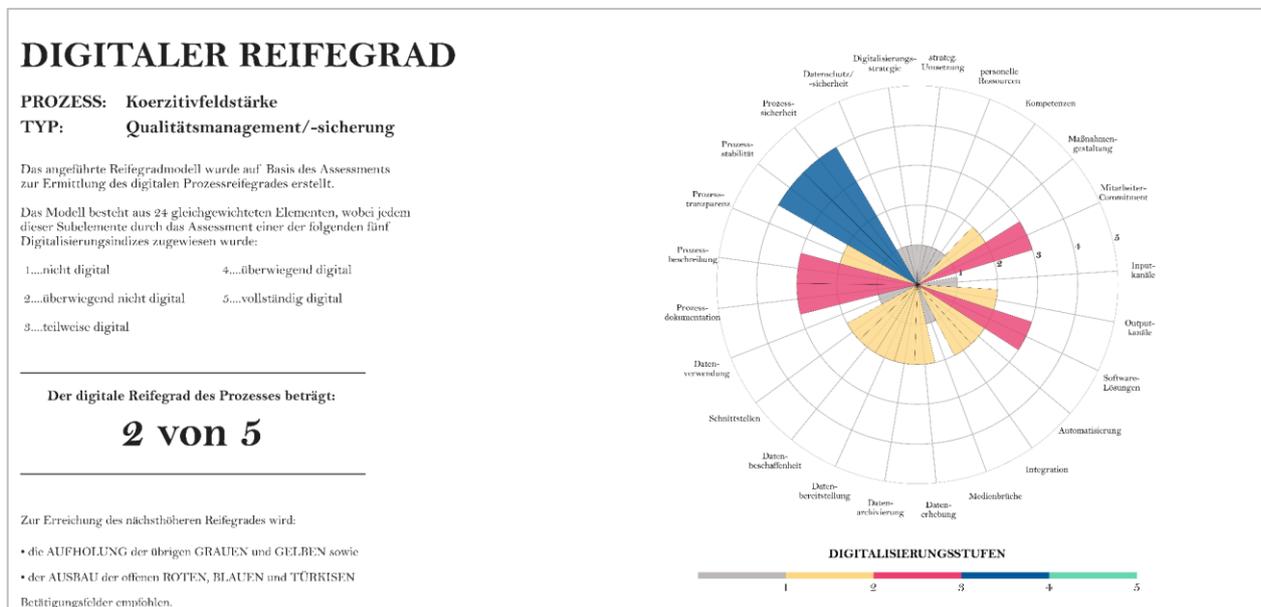


Abbildung 25: Ergebnis digitales Reifegradassessment Prozess Koerzitivfeldstärke, Quelle: eigene Abbildung.

6.3.4 Messprozess Rundlauf & Durchmesser

Im Rahmen dieses Messprozess wird unter Zuhilfenahme einer Messmaschine der Rundlauf sowie der Durchmesser von Rundstäben gemessen. Es wird hierzu ein Präzisions-Lasermikrometer als Messmaschine für die berührungslose Erfassung der Messwerte eingesetzt.

6.3.4.1 Ablaufbeschreibung

Die zu prüfenden Bauteile werden als Einzelerzeugnis oder in Prüflösen zusammen mit einem physischen Laufzettel angeliefert. Der/die Prüfer*in legt einen Rundstab in die Vorrichtung am Lasermikrometer ein, schließt diese und versucht anschließend den Stab in der Vorrichtung zu drehen ohne, dass er sich aus der Vorrichtung heraus bewegt. Sollte das der Fall sein, muss durch manuelle Zugabe von Gewichten ein höherer Anpressdruck erzeugt werden. Parallel dazu ist eine eigene Software zur Messwernerfassung auf einem, direkt am Prüfplatz befindlichen Mess-PC, zu starten sowie das richtige Prüfprogramm zu wählen. Nachdem das digitale Lasermikrometer über ein RS-232-Kabel mit dem Mess-PC verbunden ist, muss vor einer Messung softwareseitig eine Verbindung zwischen diesen beiden Komponenten hergestellt werden. Wurde die Maschine so weit eingerichtet, kann mit der im Anschluss mit der Messung begonnen werden. Das Lasermikrometer führt dahingehend automatische Messungen an den eingespannten Rundstäben durch. Je nach Konfiguration werden dabei mehrere Messpunkte erhoben. Zur Erfassung des Rundlaufes wird der Rundstab in der Vorrichtung gedreht. Für die Erfassung mehrerer Durchmesser wird der eingespannte Rundstab auf einer Linearachse horizontal am Lasermesskopf vorbeigeführt.

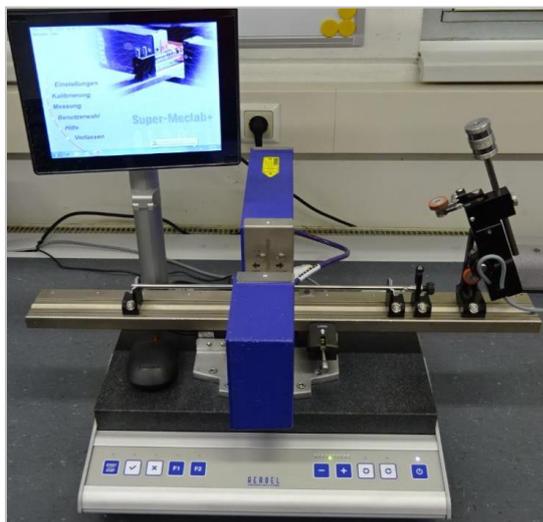


Abbildung 26: Lasermikrometer Messmaschine inklusive Visualisierung der Messergebnisse in Ansteuerungssoftware, Quelle: eigene Darstellung.

Über die RS-232-Schnittstelle werden die einzelnen digitalen Messwerte direkt in eine proprietäre Messsoftware übernommen, in der sie auch zwischengespeichert werden. In selbiger Software durch einen Abgleich der erfassten Messwerte, mit den Toleranzwerten aus dem gewählten Prüfprogramm, auch automa-

tisch visualisiert, ob es sich bei dem gemessenen Prüfling um ein Gut- oder Schlechtheil handelt. Die einzelnen Messwerte werden jedoch in weiterer Folge nicht weiterverwendet. Nichtsdestotrotz ist es möglich die Messwerte aus der proprietären Software heraus zu exportieren. Das Messprogramm bietet dahingehend einen Export im CSV-Format an. Die Anzahl der Gut- sowie Schlechtheile wird über einen zentralen Rechner in ein Betriebsdatenerfassungssystem (BDE) eingepflegt. Im abschließenden Schritt erfolgt aus der Software heraus der Ausdruck eines automatisch generierten Prüfprotokolls, welches dem Laufzettel der Prüflinge physisch angehängt wird. Die Laufzettel inklusive Prüfberichte werden nach Erteilung eines Gutbefundes an einem physischen Lagerort abgelegt und verbleiben dort mehrere Monate bis Jahre für den Fall, dass kundenseitige Beschwerden oder Reklamationen eintreten. Davon abgesehen werden die einzelnen Messwerte jedoch ansonsten nicht weiterverwendet.

6.3.4.2 Digitaler Reifegrad Messprozess Rundlauf & Durchmesser

Das Reifegraddiagramm zeigt, dass der Messprozess für die Bestimmung des Rundlaufs sowie Durchmessers einen überdurchschnittlichen Gesamtreifegrad aufweist. Die Einzelreifegrade bewegen sich überwiegend zwischen den Werten 2 – 4. Eine Ausprägung der Klasse 5 gibt es beim Element Prozessbeschreibung, das diese bei diesem konkreten Prozess äußerst umfangreich und fundiert ist. Der Messprozess für Rundlauf und Durchmesser besticht durch Automatismen, welche in mehreren Prozessschritten eingebettet sind. Infolgedessen sind die Elemente Softwarelösungen, Automatisierung, Integration sowie Datenerhebung, Datenbeschaffenheit sowie Schnittstellen hoch bewertet worden.

Deutlicher Aufholbedarf besteht hingegen in den Bereichen Inputkanäle, Digitalisierungsstrategie und strategische Umsetzung, wurden doch alle drei Bereiche mit der Ausprägungsstufe 1 bewertet. Der Prozess kann somit in Anlehnung an seinen digitalen Reifegrad als teildigitalisiert angesehen werden. Zur Steigerung des Reifegrades wird eine Aufholung der genannten, unterdurchschnittlichen Bereiche sowie der gleichzeitige Ausbau der anderen Bereiche empfohlen.

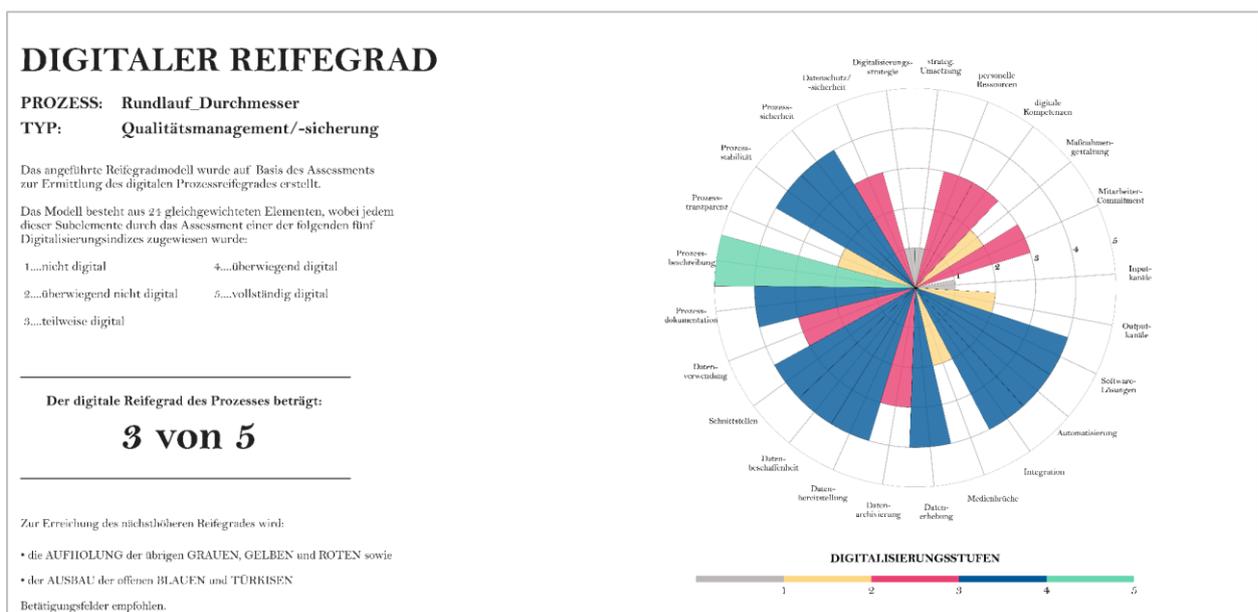


Abbildung 27: Ergebnis digitales Reifegradassessment Prozess Rundlauf und Durchmesser, Quelle: eigene Abbildung.

6.3.5 Messprozess Oberflächenrauheit

Im Rahmen dieses Messprozess werden unter Zuhilfenahme eines taktilen Messmittels die Oberflächenparameter von Prüflingen gemessen. Es wird hierzu ein digitales Oberflächenmessgerät eingesetzt, mit dem eine automatisierte Erfassung von Rauhtiefen und Welligkeiten möglich ist.

6.3.5.1 Ablaufbeschreibung

Die zu prüfenden Bauteile werden als Einzelerzeugnis oder in Prüflösen zusammen mit einem physischen Laufzettel angeliefert. Der/die Prüfer*in legt ein Bauteil so in die Vorrichtung, dass die nach oben zeigende Fläche, eine möglichst horizontale Linie bildet. Anschließend wird das Vorschubgerät am Messständer so weit in der Höhe und Neigung verstellt, bis der Messkopf vorsichtig auf die zu messende Fläche abgelegt werden kann. Parallel dazu ist eine eigene Software zur Auswertung auf einem, direkt am Prüfplatz befindlichen Mess-PC, zu starten. Nachdem das digitale Oberflächenmessgerät entweder über ein USB-Kabel oder mittels Bluetooth mit dem Mess-PC verbunden ist, muss vor einer Messung softwareseitig eine Verbindung zwischen diesen beiden Komponenten hergestellt werden. Bevor mit der Messung gestartet werden kann, werden noch der entsprechende Messweg sowie die exakt zu erfassenden Oberflächenparameter in der Software eingestellt, welche aus den sich am Arbeitsplatz befindlichen, begleitenden Prüfdokumenten entnommen werden können. Im Anschluss daran kann mit den Messungen begonnen werden.



Abbildung 28: Oberflächenmessgerät inklusive Visualisierung der Messergebnisse in Auswertungssoftware, Quelle: Mahr GmbH (2020), Online-Quelle [30.04.2022], S. 7.

Das Oberflächenmessgerät führt daraufhin eine automatische, taktilen Messung an dem eingespannten Prüfling durch. Das bedeutet, dass sich dabei eine hochempfindliche Tastspitze berührend über die Oberfläche des Prüflings bewegt und dabei kleinste Ausschläge durch eine profilierte Oberfläche detektiert. Die Hügel und Täler der Oberfläche erzeugen im Messgerät unterschiedliche elektrische Spannungen, welche automatisch in Längen- beziehungsweise Höheninformationen umgerechnet werden. Je nach Konfiguration werden dabei mehrere Messpunkte in x- und y- respektive in radialer oder axialer Richtung erhoben.

Am Ende der Messung werden die aufgenommenen Messwerte automatisch via USB- oder Bluetooth-Schnittstelle in die proprietäre Auswertesoftware übernommen und dort visualisiert. Auf dieser Basis erfolgt hiernach die Entscheidung, ob es sich bei dem entsprechenden Prüfling um ein Gut- oder Schlechtteil handelt. In weiterer Folge ist es möglich, die erfassten Messwerte direkt in ein entsprechendes Prüfprotokoll zu übernehmen. Bei entsprechender Konfiguration wird auch in diesem Dokument visualisiert, ob sich der Prüfling noch im Toleranzbereich befindet, respektive wie viele der Prüflinge im Sinne der Fertigungsprüfung als Gut- oder Schlechtteil zu bewerten sind. Die Anzahl der Gut- sowie Schlechtteile wird über einen zentralen Rechner in ein Betriebsdatenerfassungssystem (BDE) eingepflegt. Im abschließenden Schritt erfolgt noch der Ausdruck des Prüfprotokolls, welches dem Laufzettel der Prüflinge physisch angehängt wird. Die Laufzettel inklusive Prüfberichte werden nach Erteilung eines Gutbefundes an einem physischen Lagerort abgelegt und verbleiben dort mehrere Monate bis Jahre für den Fall, dass kundenseitige Beschwerden oder Reklamationen eintreten. Davon abgesehen werden die einzelnen Messwerte jedoch ansonsten nicht weiterverwendet.

6.3.5.2 Digitaler Reifegrad Messprozess Oberflächenrauheit

Das Reifegraddiagramm zeigt, dass der Messprozess Oberflächenrauheit bereits einen überdurchschnittlichen Gesamtreifegrad aufweist. Die Einzelreifegrade bewegen sich überwiegend zwischen den Werten 3 und 4, eine Ausprägung der Klasse 5 gibt es nicht. Der Messprozess zur Bestimmung der Oberflächenrauheit weist bereits gegenwärtig einen erhöhten Digitalisierungs- sowie Automatisierungsgrad auf, welcher sich in mehreren Prozessschritten eingebettet wiederfindet. Infolgedessen sind die Elemente Softwarelösungen, Automatisierung, Integration sowie Medienbrüche gleichsam mit dem hohen Subreifegrad vier bewertet worden, wie die Elemente Datenbereitstellung, Datenbeschaffenheit sowie Schnittstellen.

Um die nächsthöhere Gesamtreifegradstufe zu erreichen, besteht hingegen in den Bereichen Inputkanäle, Digitalisierungsstrategie sowie strategische Umsetzung Aufholbedarf, wurden doch alle drei Bereiche mit der Ausprägungsstufe 1 bewertet. Der Prozess kann somit in Anlehnung an seinen digitalen Reifegrad als teildigitalisiert angesehen werden. Zur Steigerung des Reifegrades wird eine Aufholung der genannten, unterdurchschnittlichen Bereiche sowie der gleichzeitige Ausbau der anderen Bereiche empfohlen.

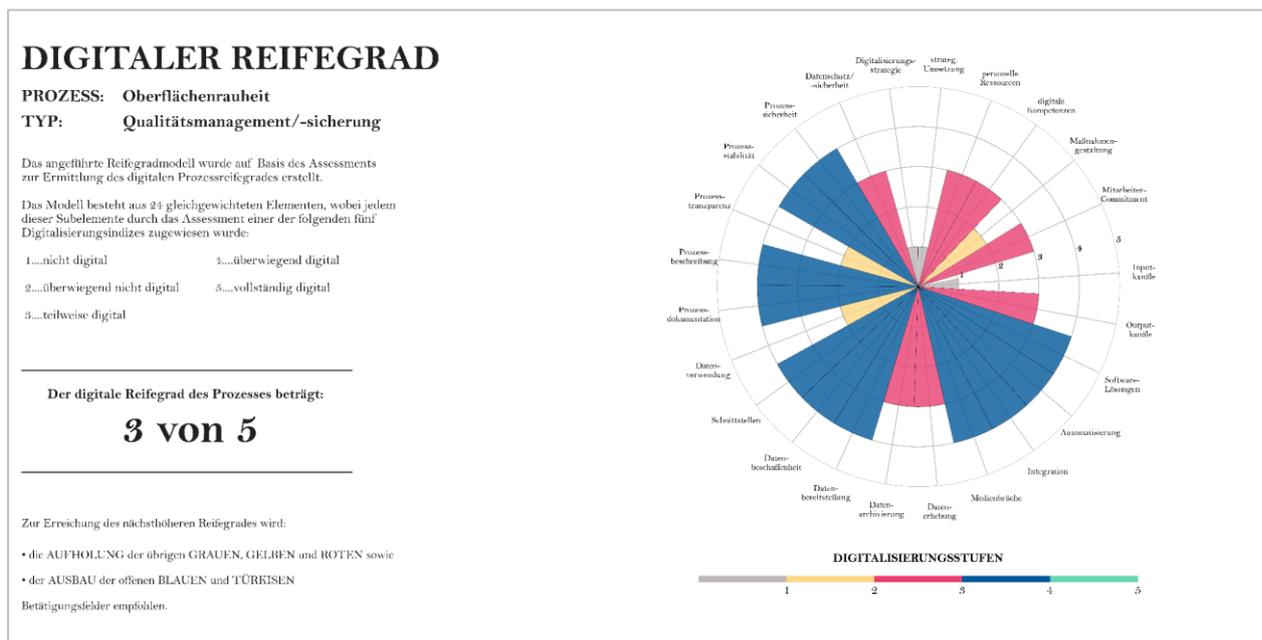


Abbildung 29: Ergebnis digitales Reifegradassessment Prozess Oberflächenrauheit, Quelle: eigene Abbildung.

6.4 Identifikation von Digitalisierungspotentialen

Zur Identifikation von Digitalisierungspotentialen sollte eine gesamtheitliche Betrachtung aller Prozesse erfolgen. Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass die fünf evaluierten Messprozesse durch die Höhe ihrer Gesamtreifegrade jedenfalls als teildigitalisiert angesehen werden können. Durch den hohen Grad an menschlicher Interaktion kommen die Gesamtreifegrade der Prozesse jedoch nicht über die Reifegradstufe 3 hinaus. In der Detailbetrachtung wird zudem ersichtlich, dass auch nur jene Prozesse die Reifegradstufe 3 erreichen, die bereits digitalisierte beziehungsweise automatisierte Prozessschritte aufweisen. Die organisch gewachsenen Prozesse Sättigungsmagnetisierung sowie Koerzitivfeldstärke, kommen hiernach nicht über einen Gesamtreifegrad der Ausprägung 2 hinaus.

Werden die einzelnen Prozesse, respektive die Ergebnisse ihrer Reifegradassessments einander gegenübergestellt wird ersichtlich, dass zwei Kategorien bei jedem Prozess als deutliche Schwachstellen gelten. Die Elemente Digitalisierungsstrategie sowie die bereits erfolgte Umsetzung einer Digitalisierungsstrategie im Prozess wurden durchwegs mit dem schlechtesten Reifegrad bewertet. Es ist dies jedoch differenziert zu betrachten. Als Folge der Tatsache, dass sich die Boehlerit GmbH & Co. KG erst im initialen Stadium der Integration intrinsisch motivierter Digitalisierungsmaßnahmen befindet, sind auch diese beiden, über alle Prozesse hinweg auffällig unterdurchschnittlichen, Elemente zu erklären.

Eine holistische Betrachtung der Prozesse lässt zudem den gemeinsamen Konsens erkennen, dass über alle Prozesse hinweg Insellösungen eingesetzt werden. Es bezieht sich diese Aussage nicht auf die Integration eines jeweils eigenen Mess-PCs pro Prüfplatz, dies ist aufgrund des notwendigen Zusammenwirkens von Messmaschine oder Messmittel mit entsprechender Software zur Messwerterfassung noch zu

erklären. Diese Aussage zielt vielmehr auf die konsekutive Behandlung der erfassten Messwerte ab. Nicht nur, dass die Messwerte in jedem einzelnen Prozess einer höchstpersönlichen Software (ERP, Excel, proprietäre Softwares) zugeführt werden, erfolgt dies in den evaluierten Prozessen nur, um daraus ein Prüfprotokoll zu generieren, das anschließend erst wieder ausgedruckt und dem Laufzettel des Prüflings physisch angehängt wird. Es stechen auch hier die Prozesse Sättigungsmagnetisierung sowie Koerzitivfeldstärke wieder als Negativbeispiel hervor, werden die Messwerte trotz vorhandenen digitalen Formats durch Abschreiben der Messwerte auf das Trägersäckchen erst wieder analogisiert, um im Nachgang durch Einpflegung in eine ERP-Maske erneut digitalisiert zu werden. Es ist dieses Vorgehen gleichsam ineffizient wie redundant.

Doch auch durch die fehlende Nutzung der einzelnen Messwerte bleibt enormes Effizienzpotential ungenutzt. Die Nutzung digitaler Messwerte zur automatischen Bestimmung von Gut- oder Schlechteilen ist im Sinne der Qualitätssicherung substanziell und natürlich sehr effektiv. Die Tatsache, dass bereits digital vorliegende Messwerte jedoch nicht für zum Beispiel Messwerttrendverläufen genutzt werden, ist allenfalls nicht nachvollziehbar. Der Einsatz solch IKT-gestützter Analysen könnte nämlich in kürzester Zeit Auskunft über kontinuierlich ableitende Fertigungsprozesse geben.

Hinsichtlich Digitalisierungspotentiale steht auch die physische Messwertablage im Fokus. Im Falle von Beschwerden oder Reklamationen müssen die physisch abgelegten Prüfprotokolle erst in mühevoller Kleinarbeit dem physischen Lagerort entnommen werden, um sie im Nachgang für die weitere Behandlung erst recht wieder händisch in ein IKT-System zu überführen. Diese Vorgehensweise ist neben mehreren vermeidbaren Medienbrüchen ebenso ressourcenintensiv wie ineffizient.

6.4.1 Fokussierung

Nachdem im Zuge dieser Masterarbeit nicht alle evaluierten Messprozesse praktisch behandelt werden können, musste in weiterer Folge eine Fokussierung getroffen werden. Es wurde dahingehend mit der Boehlerit GmbH & Co. KG vereinbart, dass nur mehr zwei der angeführten Messprozesse in die Phase der Maßnahmenumsetzung übernommen werden. Aufgrund der Tatsache, dass die beiden Messprozesse Sättigungsmagnetisierung sowie Koerzitivfeldstärke nicht nur im Vergleich zu den restlichen Messprozessen einen geringeren Reifegrad aufweisen, sondern auch aufgrund der vielen Medienbrüche sowie der fundamentalen Ineffizienzen in diesen Prozessen wurde in Abstimmung mit Boehlerit vereinbart, dass diese Prozesse im Sinne der digitalen Transformation konkret weiterbehandelt werden.

6.5 Zielzustand festlegen & Maßnahmen ableiten

In Anlehnung an das Vorgehensmodell nach Appelfeller/Feldmann kann dahingehend nachfolgender Zielzustand festgelegt werden.

6.5.1 Ziele Messprozesse allgemein

In Anbetracht der identifizierten Digitalisierungspotentiale lässt sich schlussfolgern, dass die Prozesse einem Standardisierungsverfahren unterzogen werden müssen. Das Augenmerk muss dabei auf die Reduzierung der vorhandenen Sonder- sowie Insellösungen liegen. In Anlehnung daran müssen auch zentrale Bereiche für eine dauerhafte Messwertablage begründet werden. Der Zielzustand sieht dabei vor, dass digital erfasste Messwerte unmittelbar vom entsprechenden Prüfplatz aus in einer zentralen Plattform abgelegt und archiviert werden können. Des Weiteren muss auch der Abruf historischer Messwerte aus diesem System möglich sein, um jederzeit für Trendanalysen oder Beschwerden/Reklamationen entsprechende Daten vorlegen zu können.

6.5.2 Ziele Messprozess Sättigungsmagnetisierung

Der konkrete Zielzustand für den Messprozess der Sättigungsmagnetisierung sieht demnach vor, dass am konkreten Prüfplatz eine digitale Messwernerfassung installiert wird. Es soll dadurch möglich werden, die gegenwärtig nur an der Maschine aufliegenden Messwerte unmittelbar in digitaler Form zu beziehen, um sie von dort ausgehend ohne Medienbrüche direkt in die Plattform zur Messwertanlage und -archivierung einfließen zu lassen. Nachdem das Sigmameter an seiner ECU eine offene Schnittstelle des Typs Recommended Standard 232 (RS-232) aufweist, an der ein PC zur Ansteuerung und Messwernerfassung angeschlossen werden kann, sind damit zumindest hardwaretechnisch alle Voraussetzungen geschaffen. Aus softwaretechnischer Sicht muss jedoch ein eigenes Programm entwickelt werden, mit dem die Messwerte per serieller Verbindung von der Messmaschine ausgehend an den PC übertragen werden können. Aufgrund des hohen Alters des konkreten Sigmameters bei Boehlerit, gibt es hierfür nämlich keine herstellerseitige Softwarelösung.

6.5.3 Ziele Messprozess Koerzitivfeldstärke

Der Zielzustand für den Messprozess der Koerzitivfeldstärke sieht vor, dass am konkreten Prüfplatz eine digitale Messwernerfassung installiert wird, mit der die entsprechenden Messwerte nicht nur erfasst, sondern auch weiterbehandelt werden können. Wie in Abschnitt 6.3.3 angeführt besteht trotz des Einsatzes einer proprietären Software zur Maschinensteuerung und Messwernerfassung derzeit keine Möglichkeit, die übermittelten digitalen Messwerte in irgendeiner Form weiterzuverwenden. Es gäbe hier herstellerseitig modernere Programme, die genau diese geforderten Funktionen aufweisen. Jedoch sind diese laut der Herstellerfirma FOERSTER aus hardwaretechnischer Sicht, nicht mit jenem in die Jahre gekommenen Koerzimat kompatibel, das bei Boehlerit eingesetzt wird.

Aus diesen Gründen bleibt nur mehr die Eigenentwicklung einer entsprechenden Software, mit der es möglich sein soll, die bezogenen Messwerte direkt aus der proprietären Software der Koerzimats zu extrahieren. Im angestrebten Zielzustand soll es zudem möglich sein, die extrahierten Messwerte vom entsprechenden PC ausgehend ohne Medienbrüche direkt in die Plattform zur Messwertanlage und -archivierung

einzu pflegen. Nachdem das Koerzimat bereits eine aufrechte Verbindung des Typs Recommended Standard 232 (RS-232) mit dem Mess-PC aufweist, sind damit die hardwaretechnischen Voraussetzungen geschaffen. Aus softwaretechnischer Sicht gestaltet sich die Situation jedoch wesentlich komplexer. Die eingesetzte Messsoftware ermöglicht bekanntlich keine Extrahierung der Daten. Erschwerend kommt hinzu, dass es sich dabei um eine abgeschlossene, ausführbare EXE-Datei handelt, in die nachträglich programmiertechnisch nicht mehr eingegriffen werden kann. Um eine komplette Neuentwicklung einer Ansteuerungssoftware zu vermeiden, muss daher auf eine nichtinvasive Methode zurückgegriffen werden, um Messwerte zu extrahieren, ohne dabei in das Programm selbst eingreifen zu müssen.

7 UMSETZUNG DER PRAKTISCHEN MAßNAHMEN

Wie in Abschnitt 6.5 diskutiert sind im Zuge dieser Arbeit drei Zielzustände angestrebt. Aus allgemeiner Sicht soll allen Messprozessen eine digitale Plattform zu Verfügung gestellt werden, in denen erfasste Messwerte abgelegt sowie archiviert werden können. Für den Messprozess der Sättigungsmagnetisierung muss konkret eine eigene Software entwickelt werden, mit der die digitalen Messwerte vom Sigmameter bezogen und in die zentrale Plattform eingepflegt werden können. Aus Sicht des Messprozesses Koerzitivfeldstärke muss ebenso eine eigene Software entwickelt werden, mit der die bezogenen Messwerte jedoch von der dort eingesetzten, proprietären Software heraus extrahiert und anschließend ebenso in der zentralen Plattform abgelegt werden können.

Im nachfolgenden Kapitel finden sich hiernach die praktischen Umsetzungsmaßnahmen zur Erreichung der angestrebten Zielzustände.

7.1 Plattform zur Messwertablage/-archivierung

Hinsichtlich Integration einer Plattform zur Messwertablage und -archivierung gibt es gerade im Zeitalter des Internet of Things (IoT) sowie Big Data eine Vielzahl an Möglichkeiten, große Datenmengen in strukturierter Form abzulegen. Im Sinne des ganzheitlichen Qualitätsmanagements ist es jedoch nur zwingend sinnvoll, kritische Qualitätsdaten beispielsweise in einem Data Lake abzulegen, vom Aspekt der Datensicherheit ganz abgesehen.

Wie bereits in Abschnitt 2.1.2 werden jedoch schon der der dritten industriellen Revolution im Rahmen der CAQ entsprechende computergestützte Qualitätswerkzeuge eingesetzt. Diese rücken auch im Falle dieser Aufgabenstellung in den Fokus.

7.1.1 CAQ-Softwarelösung BabtecQ

Im Zuge der Recherche nach möglichen CAQ-Systemlieferanten wurde von der Qualitätsmanagementabteilung der Boehlerit GmbH & Co. KG eingebracht, dass sie sich derzeit in der Testphase eines solchen CAQ-Systems befinden und dieses ohnehin evaluieren möchten. In diesem Sinne wurde weiterführend vereinbart, gleich beide Projekte zu verbinden, um damit Synergien zu nutzen.

Das deutsche Unternehmen Babtec Informationssysteme GmbH stellt demnach mit ihrem Software-Flaggschiff BabtecQ ein umfangreiches Softwaresystem zur Verfügung, mit dem jegliche Tätigkeiten des Qualitätsmanagements computergestützt begleitet werden können. Batec bietet mit seinen Softwarelösung auf Modulbasis Kunden*innen die volle Auswahlmöglichkeit, nur jene Produkte zu beziehen, die auch wirklich gebraucht werden. BabtecQ bildet dabei jegliche Bereiche vom Wareneingang, über fertigungsbegleitende Prüfungen bis hin zum Reklamationsmanagement ab und ergänzt diese Bereiche mit speziellen Modulen für Audit Management, Erstbemusterung, vorbeugende Instandhaltung, Prüfmittelmanagement oder QM-

Schulungsmanagement, um hier nur einige exemplarische Beispiele zu nennen.¹⁰⁵ Das für die computer-gestützte Fertigungsprüfung zuständige Modul nennt sich Babtec.FP.

7.1.2 Fertigungsprüfung in Babtec.FP

Das Softwaremodul Babtec.FP für Fertigungsprüfung unterstützt Unternehmen mit produktionsbegleitenden Qualitätssicherungsmaßnahmen. Das Modul ermöglicht dabei nicht nur neuralgische Fehlerschwerpunkte zu erkennen, sondern auch Maschinen- und Prozessfähigkeiten zu ermitteln respektive zu dokumentieren. Babtec.FP begleitet dafür Fertigungsprüfungen Anfang bis Ende. Konkret werden hierfür entsprechende Prüfungen, ob Einzelfertigung oder Serie, geplant, beauftragt sowie durchgeführt.

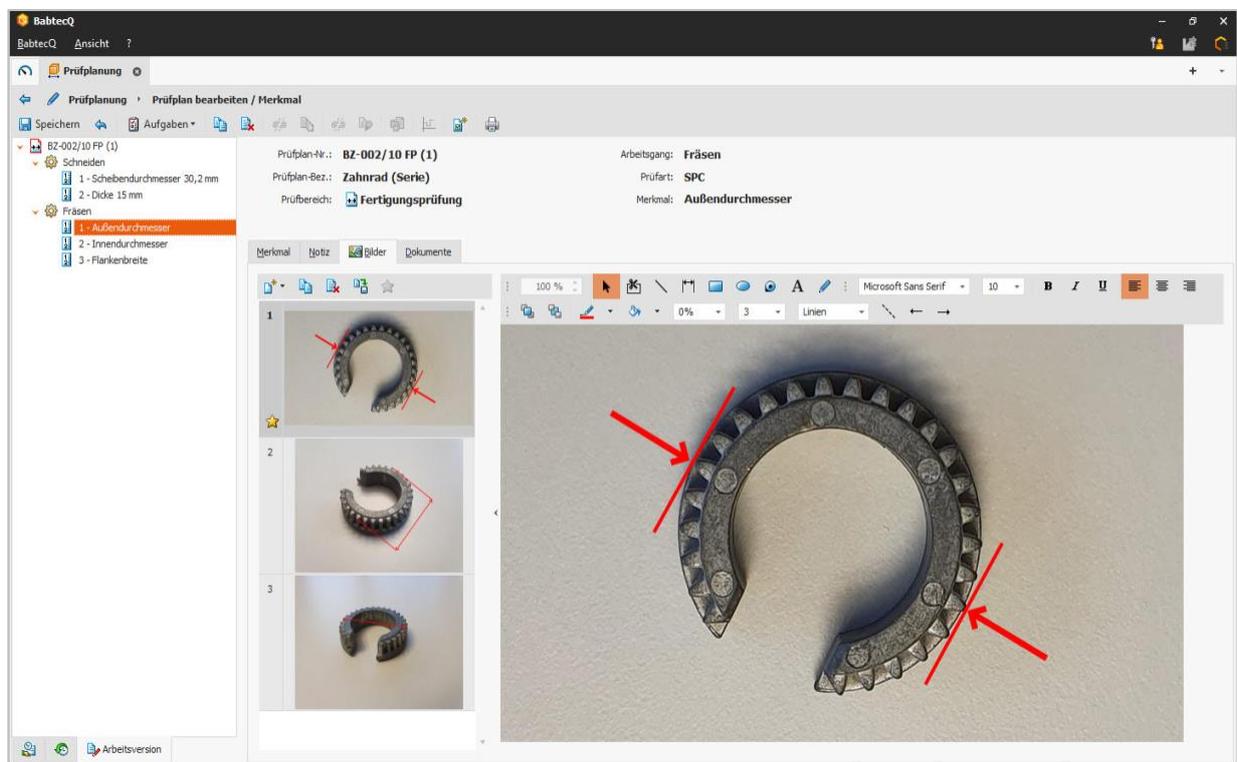


Abbildung 30: Einblick in das Modul Babtec.FP im Zuge einer Prüfplanung, Quelle: Babtec Informationssysteme GmbH (2022), Online-Quelle [07.05.2022]

Im Zuge der Prüfplanung wird der reale Prüfprozess digital in Babtec.FP abgebildet. Das bedeutet, dass nicht nur die einzelnen Prüfschritte, sondern auch entsprechende Attribute des zu prüfenden Bauteils abgebildet werden. Wie in Abbildung 30 zu erkennen ist, finden sich hier linksseitig die entsprechenden Prüfschritte. In Abhängigkeit des Bauteils wird jedem Prüfschritt anschließend die Bezeichnung des zu erfassenden Messwertes, dessen Einheit sowie dessen Toleranzbereiche mitgegeben. Wie rechtsseitig zu erkennen ist, kann die Prüfplanung auch grafisch ausgebaut werden, indem beispielsweise einzelnen Schritten unterstützende Abbildungen beigehängt werden. Im konkreten Anwendungsfall wurden demnach zwei Prüfprozesse geplant und mit entsprechenden Attributen versehen.

¹⁰⁵ Vgl. Babtec Informationssysteme GmbH (2022), Online-Quelle [03.04.2022].

Im Zuge des Prozesses Sättigungsmagnetisierung sind dies die nachfolgenden Messwerte.

Messwert	Einheit
Probenmasse	m / g
gewichtsspezifische Sättigungsmagnetisierung	$\sigma_s / \mu Tm^3/kg$

Tabelle 9: Messwerte für Messprozess Sättigungsmagnetisierung, Quelle: eigene Abbildung.

Für den Prozess Koerzitivfeldstärke wurden folgende Messwerte hinterlegt:

Messwert	Einheit
Koerzitivfeldstärke Messwert 1	$H_c / A/cm$
Koerzitivfeldstärke Messwert 2	$H_c / A/cm$
Koerzitivfeldstärke arithmetisches Mittel	$H_c / A/cm$

Tabelle 10: Messwerte für Messprozess Koerzitivfeldstärke, Quelle: eigene Abbildung.

Es wird im Zuge dieser Arbeit auf Wunsch der Boehlerit GmbH & Co. KG auf die Ausführung der entsprechenden Toleranzbereiche verzichtet.

Die Prüfplanung ist jedenfalls mit Bedacht zu vollziehen, denn der geplante Prozess muss sich so auch mit der Schrittfolge des realen Prüfprozesses decken. Prüfpläne sind in der Regel dauerbeständig. Sie sind ähnlich wie Stammdaten zu verstehen, die sich so lange nicht ändern, wie sich die Anforderungen an den Prüfling nicht ändern. Von einem Prüfplan wird in weiterer Folge jedenfalls ein Prüfauftrag abgeleitet.

7.1.3 Prüfauftrag in Babtec.FP

Von einem Prüfplan lassen sich on-demand Prüfaufträge ableiten. Im realen Produktionsumfeld bei Boehlerit ist dies immer dann der Fall, wenn ein bestimmtes Bauteil gerade die Produktion verlassen hat und anschließend der Qualitätssicherungsabteilung zugeführt wird. Vom allgemeingültigen Prüfplan wird in weiterer Folge ein dezidiertes Prüfauftrag abgeleitet. Diesem Prüfplan wird ein eindeutiges Objekt (Einzelteil oder Serie) mittels eindeutiger Auftragsnummer zugewiesen. Gleichermaßen müssen der entsprechende Prüfplatz sowie der/die Prüfer*in dem Prüfauftrag zugewiesen werden. Ein Prüfauftrag ist ab diesem Zeitpunkt als etwas verbindlich durchzuführendes zu verstehen. Er wandert hierzu in einen sogenannten Auftragsvorrat. Dieser kann für einen expliziten Prüfplatz oder auch für eine/n Prüfer*in angelegt werden. Im Falle von Eilaufträgen ist auch möglich, Aufträge mit einer Prioritätszahl zu versehen, damit sie im Auftragsvorrat weiter oben gereiht werden. Der/die Mitarbeiter*in holt sich bei einer anstehenden Prüfung anschließend einen dezidierten Prüfauftrag aus dem Auftragsvorrat und leitet davon eine konkrete Prüfung ab.

7.1.4 Prüfung in Babtec.FP

Im Zuge einer anstehenden Prüfung sucht sich der/die Prüfer*in zunächst mit der Auftragsnummer des physischen Prüflings vor sich, den korrespondierenden Prüfauftrag im Auftragsvorrat in Babtec.FP und leitet davon eine Prüfung ab.

Anschließend wird die eigentliche Prüfung exakt, wie sie in der Prüfplanung definiert wurde, durchgeführt. Das bedeutet, dass der/die Prüfer*in den konventionellen Prüfablauf gemäß Vorgabedokumenten an der Messmaschine beziehungsweise mit dem Messmittel durchführt und dabei Messwerte konventionell erfasst. Parallel dazu werden die Messwerte im Zuge des digitalen Prüfablaufes in Babtec in das entsprechende Merkmalsfeld eingepflegt.

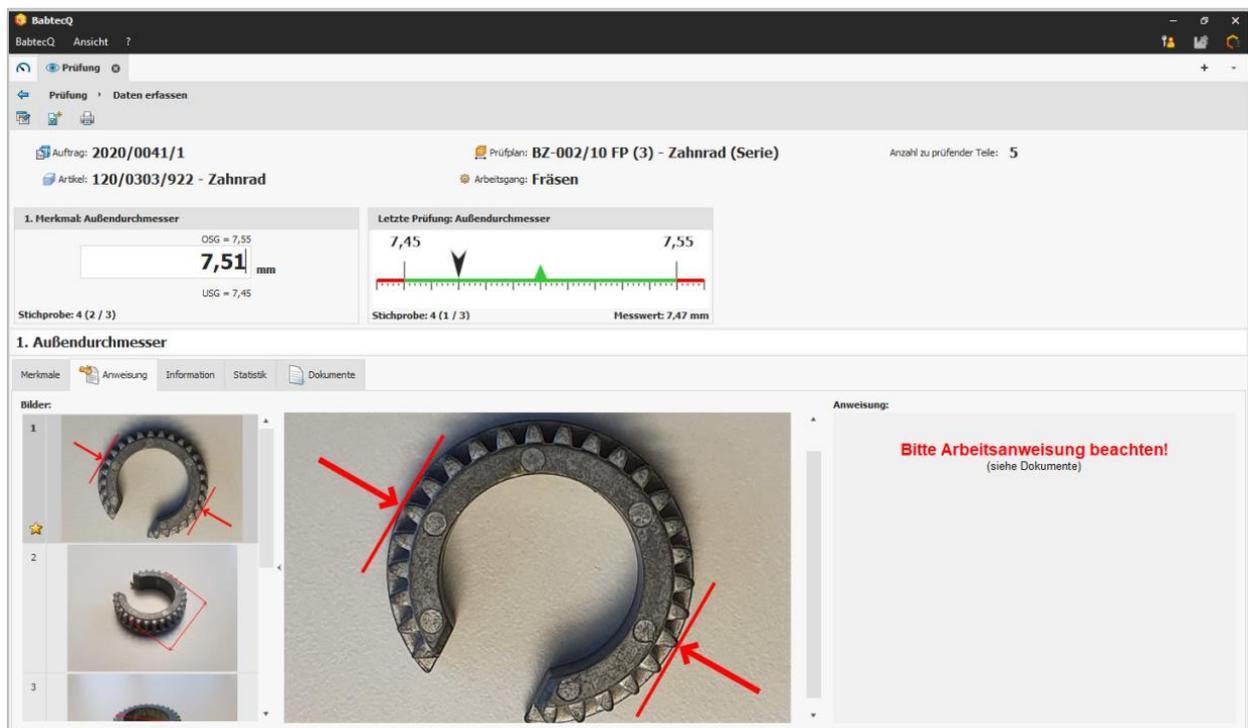


Abbildung 31: Einblick in das Modul Babtec.FP im Zuge einer Prüfung, Quelle: Babtec Informationssysteme GmbH (2022), Online-Quelle [07.05.2022].

Es kann dies sowohl durch Tastatureingabe als auch automatisiert durch Softwareschnittstellen erfolgen. Babtec unterstützt hierzu eine Reihe unterschiedlicher Standardschnittstellen namhafter Hersteller von Messmitteln. Durch Integration dieser Messmittel in Babtec.FP ist es dabei möglich, erfasste Messwerte automatisch im entsprechenden Schritt der Prüfung einzupflegen. Für den konkreten Anwendungsfall an den Prozessen Sättigungsmagnetisierung sowie Koerzitivfeldstärke war jedoch keine dieser Default-Schnittstellen geeignet. Genau aus diesem Grund mussten in weiterer Folge mit den beiden Programmen zur digitalen Messwernerfassung auch eigene Softwareschnittstellen zur Datenerfassung und -übertragung entwickelt werden (siehe Abschnitt 7.2 & 7.3).

Jedenfalls wird dem/der Prüfer*in umgehend ein visuelles Feedback gegeben, ob sich der Messwert im erlaubten Toleranzbereich befindet. Ergänzend ist es auch möglich, Messwerte der vergangenen Messungen dazustellen, was gerade im Zuge von Serienprüfungen ein interessanter Aspekt für Vergleichszwecke ist. Nach Ablegung des letzten Messwertes sowie der Überprüfung hinsichtlich Gut- oder Schlechteile wird

die Messung abgeschlossen und quittiert. Die erfassten Messwerte werden anschließend mit einer einzigartigen Prüfnummer sowie der Auftragsnummer kombiniert und zentral am Babtec-Server abgelegt.

Über diese einzigartige Signatur sind Messungen somit jederzeit von überall aus in kürzester Zeit einsehbar. Im Sinne Beschwerde- und Reklamationsmanagements bedarf es in Babtec lediglich weniger Klicks, um die erfassten Werte einer bestimmten Messung einzusehen. Mit dem eigenen Modul Quality Cockpit lassen sich in Babtec zudem individuelle Dashboards bauen, mit denen aussagekräftige Kennzahlen jederzeit im Blick behalten werden können. Hinsichtlich Fertigungsprüfung lassen sich in diesem Sinne nicht nur einfache Dashboards für die Visualisierung von Gut- und Schlechteilen erstellen, sondern vielmehr auch jene essenziellen Messwerttrendverläufe realisieren, mit denen ein abgleitender Fertigungsprozess unmittelbar ersichtlich wird.

BabtecQ sowie sein spezifisches Modul Babtec.FP erfüllt exakt jene Anforderungen, die durch die Reifegradassessments der Prozesse als wesentliche Betätigungsfelder identifiziert wurden. Nicht nur, dass Babtec wesentlich anwenderfreundlicher und digitaler anmutet als die zahlreichen unterschiedlichen Tools zur Messwertablage, die gegenwärtig eingesetzt werden, bietet es wie angeführt auch wesentlich mehr Möglichkeiten, um Messprozesse ganzheitlich zu begleiten und bei Bedarf gegensteuernd einzugreifen. Im Sinne der beiden Prozesse Sättigungsmagnetisierung sowie Koerzitivfeldstärke bedarf es dennoch einer Eigenentwicklung, um auch hier einen medienbruchfreien digitalen Workflow in der gesamten Prüfung zu gewährleisten.

7.2 Digitale Messwerterfassung Prozess Sättigungsmagnetisierung

Der nachfolgende Abschnitt erläutert die Entwicklung einer Software zur digitalen Erfassung, Visualisierung sowie Übertragung von Messwerten in eine Zielsoftware. Die Software agiert dabei als Konnektor zwischen der Messmaschine Sigmameter sowie dem Softwaremodul Babtec.FP im Zuge des Messprozesses Sättigungsmagnetisierung.

7.2.1 Entwicklungsziele

Wie im Abschnitt 7.1.4 erläutert, besteht in Babtec die Möglichkeit, digitale Messwerte direkt über Schnittstellen einzupflegen. Nachdem BabtecQ sowie das spezielle Modul Babtec.FP jedoch keine passenden Schnittstellen für die Messmaschine Sigmameter des Herstellers SETARAM aufweist, wurde ein eigener Softwarekonnektor hierfür entwickelt. Im Hinblick auf den aktuellen Prüfplatz wird ersichtlich, dass das Sigmameter an der Rückseite seiner ECU eine offene Hardwareschnittstelle des Typs RS-232 aufweist. Laut Sigmameter Dokumentation aus dem Jahre 2002 ist es über diese serielle Schnittstelle nicht nur möglich die Messmaschine anzusteuern, sondern auch digitale Messwerte über sie zu beziehen.

Die konkreten Entwicklungsziele für die Konnektorsoftware des Messprozesses Sättigungsmagnetisierung umfassen dahingehend die Funktionen einer:

- automatischen Erfassung des digitalen Messwertes Probenmasse,
- automatischen Erfassung des digitalen Messwertes gewichtsspezifische Sättigungsmagnetisierung,
- grafischen Visualisierung der beiden Messwerte in der Software,
- automatischen Übertragung der beiden Messwerte in Babtec.FP

7.2.2 Umsetzung

Aufgrund der Tatsache, dass die Programmiersprache Python neben einer relativ einfachen Syntax auch mit einer eigenen Programmbibliothek für serielle Schnittstellen aufzeigt, fiel die Wahl erneut auf Python als entsprechende Entwicklungssprache. Wie bereits in Abschnitt 5.4.2 und 5.4.4 erläutert, wurde auch in diesem Fall auf Tkinter als GUI-Toolkit sowie Visual Studio Code als Entwicklungsumgebung zurückgegriffen.

Gemäß Dokumentation des Sigmameters D 6025 besteht die Möglichkeit über die serielle RS-232 an der ECU von einem PC aus mit dem Sigmameter kommunizieren. Es bedarf hierbei jedoch eines eigenen Kommunikationsprotokolls zwischen der Messeinheit und dem PC, sodass Lesen oder Schreiben von Parametern sowie das Starten einer Messung möglich sind. Dieses Kommunikationsprotokoll ist bindend und muss somit in der Software programmatisch implementiert werden.

7.2.2.1 Verbindung zwischen PC und Sigmameter

Bevor Messwerte überhaupt digital erfasst werden können, muss zunächst eine Hardware-Verbindung zwischen den beiden Geräten bestehen. Wie erwähnt wird hierfür eine Verbindung mit einem Kabel des Typs Recommended Standard 232 (RS-232) aufgebaut. Es handelt sich dabei um eine klassische serielle Schnittstelle, welche bereits in den 1960er Jahren entwickelt und bis vor wenigen Jahren typischerweise für Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen Geräten ähnlichen Typs verwendet wurde. Doch gerade in den vergangenen zehn Jahren wurde die RS-232-Schnittstelle, insbesondere bei PCs, die nicht für industrielle Zwecke angewandt werden, beinahe gänzlich entfernt. Um dennoch weiterhin moderne PCs mit industriellen Geräten verbinden zu können, wurden jedoch Konverterkabel entwickelt mit denen sich bestehende Systeme erweitern lassen.¹⁰⁶ Es wurde auch im konkreten Fall auf ein solches Adapterkabel zurückgegriffen, wodurch das Sigmameter über seine RS-232-Schnittstelle mit einem Notebook mit seiner USB-Schnittstelle verbunden werden konnten. Bei Verwendung eines solchen Adapterkabels ist darauf zu achten, dass der im USB-Adapter verwendete Chipsatz auch mit dem verwendeten Betriebssystem am PC übereinstimmt. Zudem muss zwingend berücksichtigt werden, dass es bei RS-232 Kabeln, je nach zu verbindenden Komponenten, entweder eines normalen oder eines ausgekreuzten Nullmodemkabels bedarf.

¹⁰⁶ Vgl. Tragant Handels- und Beteiligungs GmbH (2018), Online-Quelle [14.05.2022].

7.2.2.2 Kommunikationsprotokoll & Befehle

Das Prinzip der Kommunikation zwischen dem PC und dem Messgerät wird durch das Kommunikationsprotokoll definiert. Grundsätzlich kann dabei festgehalten werden, dass das Sigmameter über eine Liste unterschiedlicher Variablen verfügt, die Informationen enthalten. Jede Variable ist dabei über die serielle Schnittstelle anhand einer eindeutigen Nummer adressierbar. Je nach Variablentyp (lesend/schreibend), wird anschließend entweder ihr Inhalt vom Sigmameter über die serielle Leitung zurückgesendet oder der gegenwärtige Inhalt mit dem empfangenen Wert überschrieben.

Da im vorliegenden lediglich zwei Variablen gelesen werden gestaltet sich die Kommunikation wie folgt. Um den Inhalt einer Variable am Sigmameter auszulesen, sendet der PC die definierte Typnummer der gewünschten Variable als hexadezimale Zahl im zwei Byte-Format sowie der Bitwertigkeit least significant bit (LSB) vor most significant bit (MSB) an die Messeinheit. Das Sigmameter interpretiert diese Anfrage und sendet anschließend den angefragten Wert gemäß REEL-IEEE-Format als Wert im vier Byte-Format ebenso nach der Bitwertigkeit LSB vor MSB an den PC zurück. Es wirkt dies auf den ersten Blick gegebenenfalls etwas komplex, mit dem nachfolgenden Exempel wird jedoch versucht, diese Konvention mit einem praktischen Beispiel zu erläutern.

Schritt 1:

Gemäß Dokumentation ist es möglich mit der Variable Nummer 10 das letzte Messergebnis der gewichtsspezifischen Sättigungsmagnetisierung von der ECU abzufragen. Um dies zu bewerkstelligen, wird die Dezimalzahl **10** zunächst in ihr hexadezimalen Pendant **A** konvertiert.

Schritt 2:

Die hexadezimale Zahl **A** muss folglich in ein zwei Byte-Format gebracht werden.

Schritt 3:

Es gilt die Konvention der Bitwertigkeit LSB vor MSB. Da in diesem Fall jeweils acht Bit zu einem Byte zusammengefasst werden, wird hierbei auch von der Byte-Reihenfolge gesprochen. Jedenfalls schreibt die Byte-Reihenfolge least significant byte for most significant byte vor, dass das Byte mit dem niedrigsten Stellenwert die Position 0 in der Byte-Reihe einnehmen soll, wohingegen umgekehrt (also MSB vor LSB) das Byte mit dem höchsten Stellenwert die Position 0 der Byte-Reihe einnehmen müsste. Da Bits und Bytes stets von der rechten Seite aus gelesen werden, handelt es sich somit bei dem Byte **0A** nach seiner Position um das niederwertigste Byte nach dem Schritt 2. Dahingehend rückt dieses Byte gemäß LSB vor MSB jedoch für den abschließenden Befehl an die erste Stelle. Wie im Schritt 3 zu sehen, lautet der konkrete Befehl für die Übermittlung des letzten Messwertes der gewichtsspezifischen Sättigungsmagnetisierung damit final **0A 00**.

Konvertierungsstufe	vorher	nachher
Schritt 1	10	A
Schritt 2	A	Position 1 0 00 0A
Schritt 3	00 0A	Position 1 0 0A 00

Tabelle 11: Beschreibung der Konvertierungsstufen der Befehle für die serielle Kommunikation, Quelle: eigene Darstellung.

Für die Erfassung der Probenmasse verhält sich die Konstruktion des Befehls ident zu dem angeführten für die gewichtsspezifische Sättigungsmagnetisierung. Nachdem dieser Messwert laut Dokumentation in der Variable Nummer 3 vorzufinden ist, ergibt sich mit der selbigen Konvention abschließend der an das Sigmameter zu sendende Befehl **03 00**.

Die ECU des Sigmameters antwortet bekanntlich auf diese Anfragen, indem es des angefragten Variableninhalt gemäß REEL-IEEE-Format als Wert im vier Byte-Format und ebenso nach der Bitwertigkeit LSB vor MSB an den PC zurücksendet. Auch wenn es sich in diesem Fall um vier anstatt zwei Byte handelt, erfolgt die Dekodierung des Messwertes nach derselben Regeln, wie sie in Tabelle 11 in angeführt wurden, nur in umgekehrter Reihenfolge.

7.2.2.3 Programmcode

Um einen Einblick darin zu geben, wie dieses Übertragungsprotokoll programmiertechnisch umgesetzt werden kann, wird nachfolgender Codeausschnitt aus dem Pythonskript erläutert. Für eine Nachschau des gesamten Sourcecodes sei auf das physische Speichermedium verwiesen, das dieser Arbeit angehängt ist.

```

bytestring1 = b'\x0A\x00'

#####
#####  READING SATURATION VIA RS232  #####
#####

# Function for data aquisition when button was clicked
def getsamplesaturation():

    global valuestring

    # writing bytestring on RS232
    ser.write(bytestring1)

    # reading recieved bytestring on RS232
    # --> bytestring must be decoded for being handleable as string
    value = ser.read(14)

```

```
# decoding of bytestring in string
valuestring = value.decode("utf-8")
```

Quelltext 1: Programmatische Umsetzung des Übertragungsprotokolls zur Übermittlung und Interpretation der gewichtsspezifischen Sättigungsmagnetisierung, Quelle: eigene Darstellung.

Es wird zunächst der entsprechende Bytestring bestehend aus dem bereits diskutierten Befehl 0A 00 gebildet. Innerhalb der Funktion mit dem Namen getsamplesaturation wird anschließend der Bytestring mittels `ser.write(bytestring1)` über die serielle RS-232 Verbindung vom PC aus an die ECU des Sigmameters versandt. Nach dem Versand hört das Pythonskript die serielle Leitung so lange ab, bis der zurückgesandte Messwert empfangen wird. Obwohl das Messgerät 32 Bits (= 4 Bytes) sendet werden lediglich 14 einzelne Bits gelesen, das diese ausreichen, um den Messwert sowie seine Einheit darzustellen. Abschließend wird der übermittelte Wert noch dekodiert, um ihn in ein für den Menschen lesbares ASCII-Format zu bringen.

7.2.3 Funktionsweise

Nachdem das Kommunikationsprotokoll zur Verbindung des PCs mit dem Sigmameter soweit geklärt wurde, wird hier noch auf die Funktionsweise des Softwarekonnectors eingegangen. Nach dem Start der ausführbaren EXE-Datei öffnet sich untenstehender Startbildschirm. Es findet sich darauf linksseitig ein expliziter Bereich für die Probenmasse sowie für die Sättigungsmagnetisierung. Zudem finden sich zwei Button zur Erfassung sowie Übertragung des jeweiligen Messwertes. Mit Betätigung eines Erfassungsbuttons wird der in Abschnitt 7.2.2.3 angeführte Programmcode ausgeführt, wobei eine spezielle Zeichenfolge an das Sigmameter gesendet und von ihm der korrespondierende Messwert retourniert wird.



Abbildung 32: Startbildschirm der Software zur Messwerverfassung im Prozess Sättigungsmagnetisierung, Quelle: eigene Darstellung.

Die übermittelten Messwerte werden anschließend in der Software visualisiert und können somit von dem/der Anwender*in im Abgleich mit der ECU des Sigmameters nochmals auf Richtigkeit überprüft werden.



Abbildung 33: Visualisierung der erfassten Messwerte im Prozess Sättigungsmagnetisierung, Quelle: eigene Darstellung.

Durch Betätigung eines Übertragungs-Buttons können die erfassten Messwerte automatisch in eine Drittsoftware übertragen werden. Da Babtec keine Softwareschnittstelle für diesen Anwendungsfall aufweist, wurde die Software so programmiert, dass der erfasste Messwert in der Zwischenablage des PCs abgelegt wird. Der/die Anwender*in hat anschließend drei Sekunden Zeit, um in das entsprechende Messwertfeld in Babtec zu navigieren. Nach Ablauf der 3 Sekunden wird der zwischengespeicherte Messwert automatisch in das Merkmalsfeld in Babtec abgelegt. Es bedarf damit im Grunde lediglich vier Klicks um Messwerte vom angeschlossenen Mess-PC ausgehend in Babtec einzupflegen.

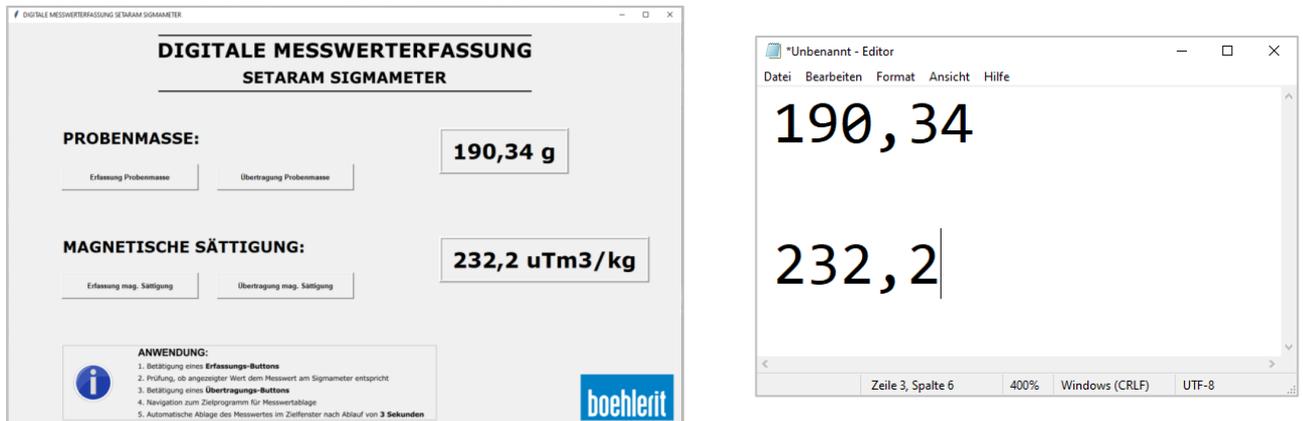


Abbildung 34: Messwertübertragung aus dem Softwarekonnector des Sigmameters in eine Drittsoftware, Quelle: eigene Darstellung.

7.3 Digitale Messwerterfassung Prozess Koerzitivfeldstärke

Der nachfolgende Abschnitt erläutert die Entwicklung einer Software zur digitalen Erfassung, Visualisierung sowie Übertragung von Messwerten in eine Zielsoftware. Die Software agiert dabei als Konnektor zwischen der Messmaschine Koerzimat sowie dem Softwaremodul Babtec.FP im Zuge des Messprozesses Koerzitivfeldstärke.

7.3.1 Entwicklungsziele

Wie im Abschnitt 7.1.4 erläutert, besteht in Babtec die Möglichkeit, digitale Messwerte direkt über Schnittstellen einzupflegen. Nachdem BabtecQ sowie das spezielle Modul Babtec.FP jedoch keine passenden Schnittstellen für die Messmaschine Koerzimat des Herstellers FOERSTER aufweist, wurde ein eigener Softwarekonnektor hierfür entwickelt. Im Hinblick auf den aktuellen Prüfplatz wird ersichtlich, dass der vorhandene Mess-PC bereits Messwerte des Koerzimats digital erfasst, es jedoch nicht möglich ist diese aus der Software heraus zu extrahieren oder zu speichern. Auch die Ansteuerungssoftware als ein abgekapseltes Element anzusehen, wodurch auch hier keine programmiertechnischen Erweiterungen möglich sind. Um eine komplette Neuentwicklung der Ansteuerungssoftware zu vermeiden, wird daher auf eine nichtinvasive Methode zurückgegriffen, um die erfassten Messwerte aus der Software heraus zu extrahieren, ohne dabei in das Programm selbst eingreifen zu müssen.

Die konkreten Entwicklungsziele für die Konnektorsoftware des Messprozesses Koerzitivfeldstärke umfassen dahingehend die Funktionen einer:

- automatischen, nichtinvasiven Erfassung der drei digitalen Messwerte betreffend die Koerzitivfeldstärke,
- grafischen Visualisierung der drei Messwerte in der Software,
- automatischen Übertragung der beiden Messwerte in Babtec.FP

7.3.2 Umsetzung

Für die nichtinvasive Erfassung der Messwerte wird auf eine automatisierte, optische Zeichenerkennung, englisch optical character recognition (OCR), zurückgegriffen. Es handelt sich dabei um eine Methode, die es ermöglicht in Bildern eingebettete Texte zu extrahieren. Die dafür notwendigen Algorithmen unterteilen hierzu zunächst Bilder in Textblöcke. Anschließend werden diese zeilenweise zunächst in alleinstehende Wörter und dann in einzelne Buchstaben aufgeteilt. Die Algorithmen versuchen anschließend anhand von Musterbildern¹⁰⁷ die entsprechenden Buchstaben zu erkennen, um den Text damit zu digitalisieren. Nachdem sich Buchstaben in bestimmten Schriftarten sehr ähneln, kann diese Form der Digitalisierung jedoch

¹⁰⁷ vereinzelt können Bilder auch in neuronale Netze gespeist werden, um höhere Erkennungsraten zu erzielen.

sehr langwierig oder auch fehlerhaft sein.¹⁰⁸ Besonders gut funktionieren in diesem Kontext Bilder mit einer hohen Auflösung, einem hohen Kontrastverhalten zwischen Text und Hintergrund sowie mit Standardschriftarten im Bild. Sollte ein OCR-Algorithmus Texte systematisch falsch interpretieren, können ihm im Bedarfsfall zusätzliche Datensätze, respektive Musterbeispiele, gelernt werden, um ihn damit beispielsweise auf eine besondere Schriftart zu schärfen.

Aufgrund der Tatsache, dass die Programmiersprache Python eine eigene Programmbibliothek zur Nutzung eines solchen OCR-Algorithmus aufweist, fiel auch hier die Wahl der Entwicklungssprache auf Python. Wie bereits in Abschnitt 5.4.2 und 5.4.4 erläutert, wurde auch in diesem Fall auf Tkinter als GUI-Toolkit sowie Visual Studio Code als Entwicklungsumgebung zurückgegriffen. Die angesprochene Programmbibliothek für OCR nennt sich Tesseract OCR. Es ist dies eine freierhältliche Open Source Software zur automatischen Schriftenerkennung mit einer hohen Erkennungsrate im Vergleich zu anderen Algorithmen. Tesseract OCR wird dauerhaft weiterentwickelt und von seinen Entwicklern*innen stetig mit neuen Trainingsdaten sowie Musterbeispielen gespeist. Durch den offenen Quellcode ist es auch möglich, der Software eigene Trainingsdaten zuzuführen, um sie spezifisch zu schärfen. Im vorliegenden Verwendungsfall reichen jedoch die Standardmuster von Tesseract OCR aus.

7.3.2.1 Installation von Tesseract OCR

Noch bevor mit Python gestartet werden kann, muss zunächst Tesseract OCR installiert werden. Das Programm besteht dabei aus zwei Teilen, der OCR-Engine selbst sowie den Sprachpaketen, welche die Trainingsdaten enthalten. Tesseract ist in für die meisten Linux-Distributionen verfügbar und kann dort über einfach über einen allgemeinen Paketinstaller installiert werden. Für eine Installation unter Windows sei auf den folgenden Installationsleitfaden der Universitätsbibliothek Mannheim verwiesen.¹⁰⁹

7.3.2.2 Nutzung mittels Python

Um Tesseract OCR mit Python zu nutzen, bedarf es eines Pythonmoduls mit dem Namen Pytesseract. Es handelt sich dabei um Software Schnittstellen-Paket durch das Python mit der installierten Tesseract OCR Engine bidirektional kommunizieren kann. So funktioniert es, dass ein Pythonskript trigger-gesteuert Bilder erzeugt, diese via Softwareschnittstelle an Tesseract OCR übermittelt, die dortige OCR Engine die optische Zeichenerkennung durchführt und Tesseract OCR abschließend den erkannten Text wiederum über die gleiche Schnittstelle an das Pythonskript zurückliefert. Diesem Konzept zugrundeliegend werden auch die einzelnen Messwerte aus der proprietären Ansteuerungssoftware des Koerzimats extrahiert.

¹⁰⁸ Vgl. ABBYY Europe GmbH (2020), Online-Quelle [20.05.2022].

¹⁰⁹ Vgl. Universitätsbibliothek Mannheim (2022), Online-Quelle [17.05.2022]

7.3.2.3 Programmcode

Um einen Einblick darin zu geben, wie das Pythonskript ein Abbild der Ansteuerungssoftware erzeugen und dieses an Tesseract OCR übermitteln kann, wird nachfolgender Codeausschnitt aus dem Pythonskript erläutert. Für eine Nachschau des gesamten Sourcecodes sei auf das physische Speichermedium verwiesen, das dieser Arbeit angehängt ist.

```
# Function for data acquisition when button was clicked
def getvalues():

    global value1, value2, mean
    time.sleep(1.0)

    newScreenshot = pyautogui.screenshot()
    newScreenshot.save("ScreenshotKoerzimatSoftware.jpg")

    time.sleep(1.0)

    # Setting region of interest (ROI)
    roi_val1=(193, 538, 250, 570)
    roi_val2=(248, 538, 305, 570)
    roi_mean =(18, 595, 169, 662)

    # Cropping the images
    value1cropped = image.crop(roi_val1)
    value2cropped = image.crop(roi_val2)
    meanvaluecropped=image.crop(roi_mean)

    # Saving cropepd images
    value1cropped.save("value1.jpg")
    value2cropped.save("value2.jpg")
    meanvaluecropped.save("meanvalue.jpg")

    # Call TESSERACT for OCR
    value1 = pytesseract.image_to_string(value1cropped, lang = "deu")
    value2 = pytesseract.image_to_string(value2cropped, lang = "deu")
    mean = pytesseract.image_to_string(meanvaluecropped, lang = "deu")
```

Quelltext 2: Programmatische Umsetzung der Erzeugung eines Abbildes in der Ansteuerungssoftware des Koerzimat, Quelle: eigene Darstellung.

In der Funktion mit dem Namen `getValues` werden zunächst globale Variablen erzeugt, welche auch in Tesseract OCR verwendet werden können. Mit Aufruf der Funktion `pyautogui.screenshot()` wird dabei vom Pythonskript ausgehend ein Abbild des aktuellen Bildschirms genommen. Selbstverständlich muss sich zu dieser Zeit die Ansteuerungssoftware im Vordergrund befinden. Wie dies sichergestellt werden kann,

wird im Abschnitt 7.3.3 genauer erläutert. Jedenfalls wird das Abbild der Bildschirmoberfläche als temporärer Screenshot gespeichert. Um Tesseract OCR die Arbeit zu erleichtern, werden aus dem Screenshot nur die dezidierten Bereiche entnommen, in denen Messwerte zu finden sind. Hierzu werden zunächst drei Stück sogenannter Region of Interest (ROI) durch Angabe statischer Koordinaten gesetzt. Anschließend erfolgt ein Beschneiden (englisch cropping) des Bildes auf die ROIs sowie die Speicherung der entsprechenden Bilder. Es wurden somit aus dem ursprünglichen Gesamtabbild nur jene Bereiche extrahiert, die für die Interpretation der Messwerte interessant sind. Abschließend werden die Bilder der Einzelmesswerte mit dem Befehl `pytesseract.image_to_string()` der Tesseract OCR zugeführt. Die OCR Engine führt in weiterer Folge die optische Zeichenerkennung durch und speichert deren Ergebnis in jener Variable als Zeichenkette, die links des Gleichheitszeichens angegeben wurde. Ein interessantes Detail ist dabei die Angabe des Parameters `lang = "deu"`. Es steht dieser selbstverständlich für die Sprache Deutsch, wodurch Tesseract OCR mitgegeben werden kann, welchen Sprachensatz, respektive welche Musterbilder, es für die Interpretation heranziehen soll. Es sei stets Vorsicht geboten den richtigen Sprachensatzes auszuwählen, zumal es vorkommen, dass zum Beispiel Umlaute aus der deutschen Sprache nicht erkannt werden können, wenn Musterbilder der falschen Sprache herangezogen wurden.

7.3.3 Funktionsweise

Nachdem die Erzeugung und Nachbearbeitung eines Abbildes aus der Ansteuerungssoftware sowie dessen Zuführung zu Tesseract so weit geklärt wurde, wird hier noch auf die Funktionsweise des Softwarekonnektors eingegangen. Nach dem Start der ausführbaren EXE-Datei öffnet sich untenstehender Startbildschirm. Es findet sich linksseitig ein expliziter Bereich für die Koerzitivfeldstärke. Zudem befindet sich im oberen Bereich ein Button zur Erfassung der Messwerte. Mit Betätigung eines Erfassungs-Buttons wird der in Abschnitt 7.3.2.3 angeführte Programmcode ausgeführt.



Abbildung 35: Startbildschirm der Software zur Messwarterfassung im Prozess Koerzitivfeldstärke, Quelle: eigene Darstellung.

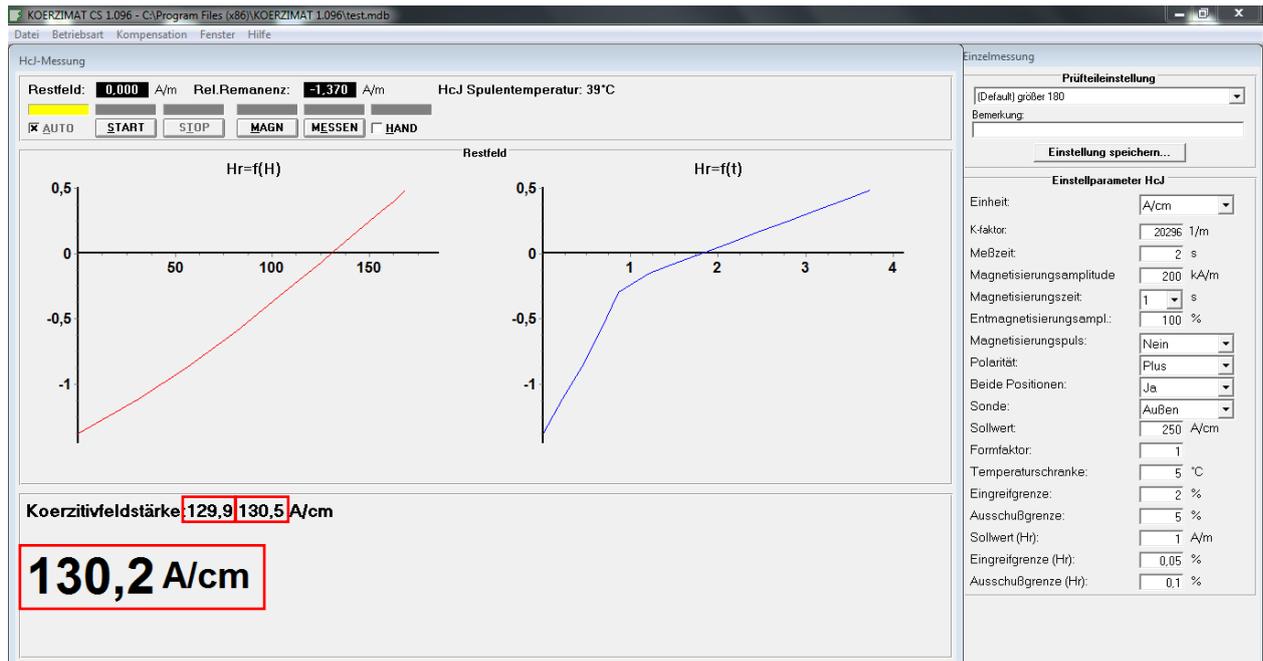


Abbildung 36: Abbild aus der Ansteuerungssoftware inklusive Regions of Interest, Quelle: eigene Abbildung

Wie im Abschnitt 7.3.2.3 erläutert wird hierbei ein Abbild der Ansteuerungssoftware des Koerzimat gemacht. Anschließend erfolgt das Setzen von mehreren Regions of Interest auf die das ursprüngliche Abbild in weiterer Folge beschnitten wird, um die Subbilder an Tesseract OCR zu übermitteln.

Die von Tesseract OCR zurückgesandten Messwerte werden anschließend in der Software visualisiert und können von dem/der Anwender*in im Abgleich mit der Ansteuerungssoftware des Koerzimat nochmals auf Richtigkeit überprüft werden.



Abbildung 37: Visualisierung der erfassten Messwerte im Prozess Koerzitivfeldstärke, Quelle: eigene Darstellung.

Durch Betätigung eines Übertragungs-Buttons können die erfassten Messwerte automatisch in eine Drittsoftware übertragen werden. Da Babtec keine Softwareschnittstelle für diesen Anwendungsfall aufweist, wurde auch diese Software so programmiert, dass der erfasste Messwert in der Zwischenablage des PCs abgelegt wird. Der/die Anwender*in hat auch hier drei Sekunden Zeit, um in das entsprechende Messwertfeld in Babtec zu navigieren. Nach Ablauf der 3 Sekunden wird der zwischengespeicherte Messwert automatisch in das Merkmalsfeld abgelegt.

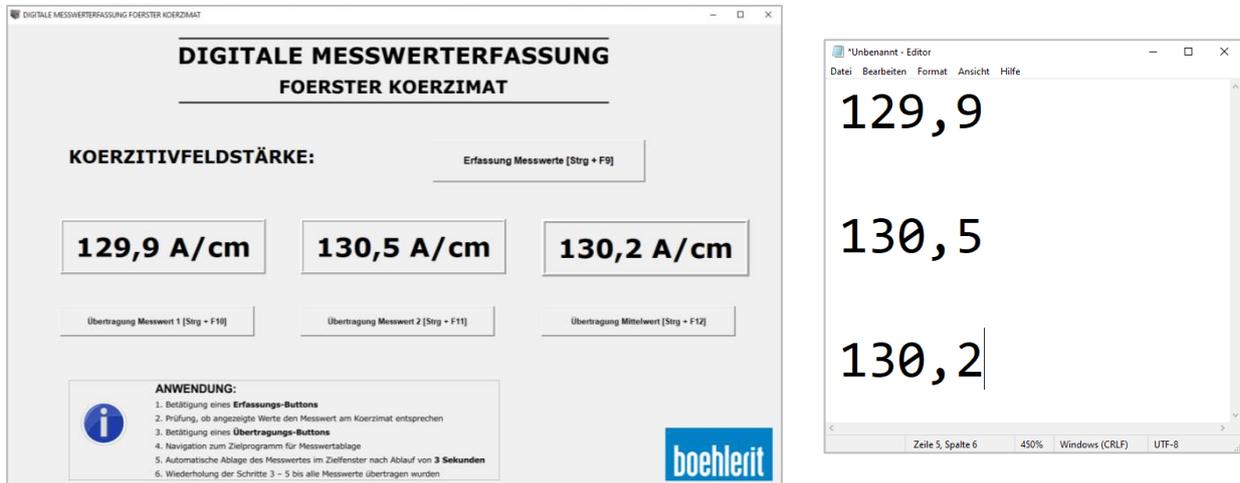


Abbildung 38: Messwertübertragung aus dem Softwarekonnektor des Koerzimat in eine Drittsoftware, Quelle: eigene Darstellung.

Wie bereits erwähnt ist es bei der Verwendung von OCR von essenzieller Wichtigkeit, dass das Abbild der Ansteuerungssoftware nur hoher Qualität ist. Im vorliegenden Fall ist glücklicherweise sowohl die Auflösung als auch das Kontrastverhalten des betrachteten Textes überdurchschnittlich. Auch die in der Ansteuerungssoftware verwendete Schriftart entspricht einer bekannten Standardschrift, wodurch es im Zuge der Tests zu keiner einzigen Fehlinterpretationen gekommen ist. Dem Fall, dass Anwender*innen den programmierten Softwarekonnektor auf ihrem Bildschirm möglicherweise vor die Ansteuerungssoftware schieben und damit ein nicht interpretierbares Abbild erzeugt wird, wurde insofern vorgesorgt, indem der Softwarekonnektor nach dem Start im Hintergrund des Bildschirms laufen aber dennoch angesprochen werden kann. Wie in Abbildung 35 zu erkennen ist, sind auf den einzelnen Buttons nicht nur die Bezeichnung der Funktion, sondern auch entsprechende Tastenkombinationen vermerkt. Innerhalb von Python wurden dahingehend entsprechende Tastenkombinationen (Hotkeys) hinterlegt, mit denen die Software, selbst wenn sie im Hintergrund läuft, getriggert werden kann.

8 DISKUSSION & CONCLUSIO

Immer volatilere Märkte, stetig neue Kunden*innenanforderungen und erbitterte Preisschlachten mit Marktteilnehmern*innen und das alles in Kombination mit verkürzten Produktlebenszyklen, stellen Unternehmen vor große Herausforderungen. Ein digitaler Wandel könnte dahingehend Abhilfe schaffen, doch viele Unternehmen fragen sich wie. Trotz guten Willens und der Bereitschaft zur Veränderung fehlt es doch oftmals gerade am erforderlichen Know-How für die Durchführung von digitalen Transformationsprozessen. Das Ziel dieser Masterarbeit war es demnach einen praxisorientierten Leitfaden zu entwickeln, mit dem digitale Transformation in traditionellen, mittelständischen Unternehmen betrieben werden kann.

Es wurde hierzu zunächst eine ausgedehnte Literaturrecherche betrieben, um Hintergründe, Einflussfaktoren, Treiber, Best-Practice und die Fachtermini digitaler Transformation sowie Digitalisierung zu klären. Im eigenen Kapitel der digitalen Transformation wird der digitale Wandel nochmals aus betriebswirtschaftlicher sowie aus Managementsicht betrachtet. Nachdem vor Beginn dieser Masterarbeit nicht klar war, welches Vorgehen im Zuge der Arbeit verwendet wird, konzentriert sich das Kapitel zu modellbasierter digitaler Transformation im Detail auf unterschiedliche Vorgehensweisen für Transformationsprojekte. In diesem Rahmen werden einander mehrere Vorgehensmodelle gegenübergestellt um daraus das bestgeeignetste Modell für das weitere Vorgehen in dieser Masterarbeit zu identifizieren. Es wurde demnach aufgrund seiner starken Praxisorientierung sowie seiner Stringenz jenes der Autoren Appelfeller/Feldmann. Es hierbei jedoch kritisch festgehalten werden, dass dieses Vorgehensmodell auf Basis qualitativer Faktoren ausgewählt wurde und andere Modelle mit hoher Wahrscheinlichkeit ebenso zum gewünschten Erfolg geführt hätten.

Jedenfalls wurde auf Basis des Vorgehensmodells in weiterer Folge auch mit dem Referenzmodell nach Appelfeller/Feldmann fortgefahren. Nach Einschätzung des Autors dieser Masterarbeit ist dieses Referenzmodell aussagekräftig und allumfassend. Aus diesem Grund wurde ihm infolgedessen auch kein anderes Referenzmodell gegenübergestellt.

Anders verhält es sich jedoch beim Reifegradmodell nach Appelfeller/Feldmann, das in seiner Ausgestaltung, im Vergleich zu den vorhergehenden Modellen der Autoren, äußert komplex und ressourcenintensiv geworden ist. Es ist dies auch der Grund, warum in weiterer Folge auch die Wahl auf das Reifegradmodell nach BITKOM gefallen ist, trotz der Tatsache, dass dieses Reifegradmodell einem intensiven Überarbeitungsprozess zugeführt wurde. Nichtsdestotrotz konnte die bestehende Fragenbasis mit griffigen Beispielen ausgebaut und somit das Reifegradmodell auf eine neue Ausbaustufe gehoben werden. Natürlich lässt sich auch hier kritisch anmerken, dass die Beispiele vor allem auf Basis der Erfahrungen des Autors dieser Masterarbeit getroffen wurden und daher womöglich nicht immer für jeden Anwendungsfall als hundertprozentig gültig angesehen werden können.

Nichtdestotrotz konnte auf Basis dieser Fragen im Endeffekt ein umfassendes Reifegradassessment-Tool entwickelt, das in seiner Art dem weiteren Verlauf dieser Arbeit sehr zuträglich war. Denn auf Basis mehrerer Reifegradassessments konnten schließlich klare Digitalisierungspotentiale pro betrachtetem Messprozess abgeleitet werden. Auch hier sei erneut kritisch angemerkt, dass die Prozesse durch den Autor dieser Masterarbeit bewertet wurden. Es muss jedoch auch festgehalten werden, dass dies erst erfolgte

nachdem er sich mehrere Wochen intensiv mit diesen Prozessen befasst und auch unzählige eigene Messungen durchgeführt hatte. Zudem wurden die Ergebnisse stets mit Vertretern der Boehlerit GmbH & Co. KG diskutiert und dabei von denen als valide bewertet.

Jedenfalls konnten auf Basis der Ergebnisse der Reifegradassessments klare, weiterführende Maßnahmen für die digitale Transformation der Messprozesse abgeleitet werden. Ein glücklicher Umstand erleichterte dabei die Arbeit, da zur gleichen Zeit, in der eine zentrale Plattform zur Messwertablage und -archivierung die CAQ-Software BabtecQ im Unternehmen getestet wurde. Diese Software bietet ein breites Spektrum an Modulen, um das Qualitätsmanagement computergestützt zu supporten. Eher enttäuschend war jedoch die Tatsache, dass die Software zwar Schnittstellen zur digitalen Messwernerfassung aufweist, diese jedoch ausschließlich für namhafte Hersteller von Messmitteln und Messmaschinen zur Verfügung stellt. Nachdem es aber jedenfalls möglich war, digitale Messwerte just-in-sequence im Zuge der Prüfung in die Software einzupflegen, wurden daraufhin die beiden Softwarekonnektoren entwickelt.

Das Sigmameter gestaltete sich in diesem Sinne leichter, da hier bereits eine offene RS-232 Schnittstelle vorhanden war, mit der Messwerte bezogen werden konnten. Der durchaus anspruchsvolle Teil war hierbei aus der äußerst schlechten Dokumentation herauszulesen, welche Werte in welcher Form an das Sigmameter zu senden waren, um die entsprechenden Messwerte zu beziehen.

Deutlich kniffliger verhielt sich die Situation jedoch beim Koerzimat, da dieses bereits eine Ansteuerungssoftware zur Messwernerfassung aufwies, von der jedoch in keiner Weise Messwerte exportiert werden konnten. Auch ein nachträgliches Verändern der vorhandenen Software, war durch die Abkapselung nicht möglich. Aus diesen Gründen wurde schlussendlich eine nichtinvasive Methodik gefunden, mit der die Messwerte schlussendlich dennoch bezogen und in eine Drittsoftware eingepflegt werden konnten.

8.1 Ausblick

Basierend auf den Erkenntnissen dieser Masterarbeit ergeben sich mehrere mögliche Stoßrichtungen für eine zukünftige Verwertung.

Nachdem die das Reifegradassessment-Tool weitestgehend auf Basis der theoretisch-wissenschaftlicher sowie persönlicher Erkenntnisse erfolgte, könnte dieses in weiterer Folge einer empirischen Untersuchung unterzogen werden. Es ist denkbar sowohl Meinungen von Fachexperten*innen wie beispielsweise der Plattform Industire 4.0 einzuholen als auch von Unternehmen mit konkretem Einsatzpotential für ein solches Reifegradassessment-Tool wertvolles Feedback einzuholen, um die Erkenntnisse im Zuge einer iterativen Entwicklungsschleife in das Modell zurückfließen zu lassen. Eine mögliche Erweiterung des gegenwärtigen Tools durch weitere Perspektiven sei hier auch erwähnt. Im konkreten Fall der Boehlerit GmbH & CO. KG startet jetzt die Zeit, in der sie mehrere ihrer Prozesse mit diesem Tool bewerten sollten.

Hinsichtlich der entwickelten Softwarekonnektoren besteht natürlich wie in jeder Software entsprechendes Optimierungspotential. Die Softwares wurden im Zuge der Entwicklung umfassend vom Autor und Entwickler getestet, jedoch steht ein entsprechender Langzeittest durch Mitarbeiter*innen von Boehlerit noch aus.

Literaturverzeichnis

Gedruckte Werke (24)

Alkhafaji, Abbass; Nelson, Richard (2003): *Strategic Management- Formulation, Implementation, and Control in a Dynamic Environment*, The Haworth Press Inc., New York

Altendorfer-Kaiser, Susanne (2016): *Referenzmodellierung - Eine Möglichkeit zur Strukturgebung innerhalb der Informationslogistik?*, in: Biedermann, Hubert; Bauer, Ulrich; Ramsauer, Christian (Hrsg.): *Industrial Engineering und Management*, Springer Fachmedien Wiesbaden 2016, Leoben, S. 165-176

Appelfeller, Wieland; Feldmann, Carsten (2018): *Die digitale Transformation des Unternehmens*, Springer-Verlag GmbH, Berlin

Bauernhansl, Thomas (2014): *Die Vierte Industrielle Revolution – Der Weg in ein wertschaffendes Produktionsparadigma*, in: Bauernhansl, Thomas (Hrsg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, Springer Fachmedien, Wiesbaden, S. 5-36

Bauernhansl, Thomas; Miehe, Robert (2020): *Industrielle Produktion – Historie, Treiber und Ausblick*, in: Bauernhansl, Thomas (Hrsg.): *Fabriksbetriebslehre 1*, Springer-Verlag GmbH, Berlin, S. 1-33

Baumann, Frank-Michael; Büscher, Eckehard; Rabe, Stefan; Unger, Georg (2020): *Energiewirtschaft 4.0*, in: Frenz, Walter (Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0: Recht, Technik, Gesellschaft*, Springer-Verlag GmbH Deutschland, Berlin, S. 903 - 917

Bildstein, Andreas; Seidelmann, Joachim (2014): *Industrie 4.0-Readiness: Migration zur Industrie 4.0-Fertigung*, in: Bauernhansl, Thomas; ten Hompel, Michael; Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, Springer Fachmedien Verlag, Wiesbaden, S. 581-598

Borgmeier, Arndt; Grohmann, Alexander; Gross, Stefan (2017): *Smart Services und Internet der Dinge*, Carl Hanser Fachbuchverlag, München

Broy, Manfred (2010): *Cyber-physical Systems - Innovation durch softwareintensive eingebettete Systeme*, acatech – Deutsche Akademie der Technikwissenschaften, München

Dumitrescu, Roman (2016): *Die Chancen für den Standort nutzen*, in: Sendlar, Ulrich (Hrsg.): *Industrie 4.0 grenzenlos*, Springer-Verlag, Berlin, S. 201-216

Erol, Selim; Schumacher, Andreas; Siehn, Wilfried (2016): *Auf dem Weg zur Industrie 4.0 – ein dreistufiges Vorgehensmodell*, in: Biedermann, Hubert; Bauer, Ulrich; Ramsauer, Christian (Hrsg.): *Industrial Engineering und Management*, Springer Fachmedien Verlag, Leoben, S. 247-266

Falkenreck, Christine (2019): *Digitalisierungsprojekte erfolgreich planen und steuern*, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden

Flore, Agnetha; Uslar, Mathias (2020): *Organisationsentwicklung mit Smart-Grid-Reifegradmodellen für Versorger*, in: Doleski, Oliver (Hrsg.): *Realisierung Utility 4.0*, Band 1 Auflage, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Ottobrunn, S. 675-692

Harwardt, Mark (2022): *Management der digitalen Transformation - Eine praxisorientierte Einführung*, 2. Auflage Auflage, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden

- Jeston, John; Nelis, Johan (2014): *Business process management: practical guidelines to successful implementations*, 3. Auflage, Routledge, Oxon
- Johansson, Robert (2019): *Numerical Python - Scientific Computing and Data Science Applications with Numpy, SciPy and Matplotlib*, 2. Auflage, Apress Media, LLC, Urayasu
- Kellner, Florian; Lienland, Bernhard; Lukesch, Maximilian (2018): *Produktionswirtschaft - Planung Steuerung und Industrie 4.0*, Springer-Verlag GmbH, Berlin
- Kreutzer, Ralf (2017): *Treiber und Hintergründe der digitalen Transformation*, in: Schallmo, Daniel; Rusnjak, Andreas; Anzengruber, Johanna; Werani, Thomas; Jünger, Michael (Hrsg.): *Digitale Transformation von Geschäftsmodellen - Grundlagen, Instrumente und Best Practices*, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, S. 33-58
- Krösbacher, Hannes; Schwald, Christoph; Markis, Alexandra (2018): *Die digitale Transformation – Industrie 4.0 und Internet of Things*, 1. Auflage, TÜV AUSTRIA Akademie GmbH, Brunn am Gebirge
- Krüger, Jörg.; Rosenstrauch, Martin; Hügler, Johannes; Fechteler, Maximilian; Blankenburg, Matthias (2017): *Daten, Information und Wissen in Industrie 4.0*, in: Reinhart, Gunther (Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0 - Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik*, Carl Hanser Verlag, München, S. 89-110
- Kuhn, Axel; Hellingrath, Bernd (2002): *Supply Chain Management - Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH, Berlin
- Leimeister, Jan (2020): *Dienstleistungsengineering und -management - Data-driven Service Innovation*, 2. Auflage Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg , Heidelberg
- Locher, Christian (2018): *Digitale Transformation*, in: Fend, Lars; Hofmann, Jürgen (Hrsg.): *Digitalisierung in Industrie-, Handels- und Dienstleistungsunternehmen*, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, S. 175-196
- Mazzone, Dominic (2014): *Digital Or Death: Digital Transformation - The Only Choice for Businsses To Survive, Smash and Conquer*, Smashbox Consulting Inc., Mississauga
- Merz, Sanda (2016): *Industrie 4.0 – Vorgehensmodell für die Einführung*, in: Roth, Armin (Hrsg.): *Einführung und Umsetzung - Grundlagen, Vorgehensmodell und Use Cases aus der Praxis*, Springer-Verlag Berlin, Berlin, S. 83-110
- Obermaier, Robert (2019): *Industrie 4.0 und Digitale Transformation als unternehmerische Gestaltungsaufgabe*, in: Obermaier, Robert (Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0 und Digitale Transformation*, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden, S. 3-46
- Partsch, Helmut (2010): *Requirements-Engineering systematisch - Modellbildung für softwaregestützte Systeme*, 2. Auflage, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin
- Pohl, Johannes (2014): *Adaption von Produktionsstrukturen unter Berücksichtigung von Lebenszyklen*, Herbert Utz Verlag GmbH, München
- Porter, Michael (1985): *Competitive Advantage - Creating and Sustaining Superior Performance*, 1. Auflage, Simon & Schuster Inc., New York

Reinhardt, Kai (2020): *Digitale Transformation der Organisation*, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden

Reinhart, Gunther (2017): *Vorwort*, in: Reinhart, Gunther (Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0 - Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik*, Carl Hanser Verlag, München, S. VII-VIII

Reinhart, Gunther; Zühlke, Detlef (2017): *Von CIM zu Industrie 4.0*, in: Reinhart, Gunter (Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0 - Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik*, Carl Hanser Verlag, München, S. XXXI-XL

Roseman, Mark (2021): *Modern Tkinter for Busy Python Developers*, 3. Auflage, Late Afternoon Press, Victoria

Roth, Armin (2016): *Industrie 4.0 – Hype oder Revolution?*, in: (Hrsg.): *Einführung und Umsetzung von Industrie 4.0*, Springer-Verlag GmbH, Berlin, S. 1-16

Schallmo, Daniel; Rusnjak, Andreas (2017): *Roadmap zur Digitalen Transformation von Geschäftsmodellen*, in: Schallmo, Daniel; Rusnjak, Andreas; Anzengruber, Johanna; Werani, Thomas; Jünger, Michael (Hrsg.): *Digitale Transformation von Geschäftsmodellen - Grundlagen, Instrumente und Beste Practices*, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, S. 2-28

Schwab, Klaus (2016): *The Fourth Industrial Revolution*, World Economic Forum, Cologne

Seiter, Mischa; Bayle, Christoph; Berlin, Sebastian; David, Ute; Rusch, Marc; Treusch, Oliver (2016): *Roadmap Industrie 4.0 – Ihr Weg zur erfolgreichen Umsetzung von Industrie 4.0*, 1. Auflage Auflage, tredition GmbH, Hamburg

Soder, Johannes (2014): *Use Case Production: Von CIM über Lean Production zu*, in: Bauernhansl, Thomas; Michael, Hompel; Vogel-Heuser, Birgit (Hrsg.): *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*, Springer Fachmedien, Wiesbaden, S. 85-102

Sternad, Dietmar; Mödritscher, Gernot (2018): *Qualitatives Wachstum - Der Weg zu nachhaltigem Unternehmenserfolg*, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden

Steyer, Ralph (2018): *Programmierung in Python - Ein kompakter Einstieg für die Praxis*, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden

Welge, Martin; Al-Laham, Andreas; Eulerich, Marc (2017): *Strategisches Management: Grundlagen – Prozess – Implementierung*, 7. Auflage, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden

Zhuming, Bi; Wang, Xiaoqin (2020): *Computer Aided Design and Manufacturing*, John Wiley & Sons Ltd, Hoboken

Zigala, Simon; Tantscher, Dominik (2022): *Mit Digital Retrofitting in die digitale Zukunft von Maschinen und Werkzeugen*, in: Digital Material Valley Styria (Hrsg.): *Erfolgsgeschichten der Digitalisierung - Good Practices für die digitale Transformation*, Digital Material Valley Styria (DMVS), Leoben, S. 88-93

Wissenschaftliche Artikel (8)

Bouée, Charles-Edouard; Schaible, Stefan (2015): *Perspektiven der digitalen Zukunft*, in: *Die digitale Transformation der Industrie*, Bundesverband der deutschen Industrie e.V., S. 6-8

Bowersox, Donald; Closs, David; Drayer, Ralph (2005): *The Digital Transformation: Technology and Beyond*, in: Supply Chain Management Review, S. 22-29

Esser, Marc (2017): *Digitale Transformation - Digital Maturity Assessment*, in: IT-Management, Vol. 17/6/2017, IT Verlag für Informationstechnik GmbH, S. 2-5

Kozyk, Vasyl; Zalutska, Khrystyna (2017): *Strategic pyramid for diversified enterprise*, in: Polonia University Scientific Journal, Vol. 20/2017, Polonia University in Czestochowa, S. 41 - 49

Schwertner, Krassimira (2017): *Digital Transformation of Business*, in: Trakia Journal of Sciences, Vol. 15, Suppl. 1/2017, Trakia University, S. 388-393

Sreenivasulu, Reddy; Chalamalasetti, Srinivasa (2019): *Applicability of Industrial Internet of Things in Lean Manufacturing: A Brief Study*, in: AKGEC International Journal of Technology, Vol. 10, No. 2/2019, Ajay Kumar Garg Engineering College, Ghaziabad, S. 22-26

Wahlmüller-Schiller, Christine (2017): *Bildung 4.0 – der Weg in die Zukunft*, in: Elektrotechnik & Informationstechnik, 134/2017, Springer-Verlag GmbH Austria, S. 382-385

Westerman, George; Calmédjane, Claire; Bonnet, Didier; Ferraris, Patrick; McAfee, Andrew (2011): *Findings from Phase 1 of the digital transformation*, in: Digital transformation: A roadmap for billion dollar organizations, Capgemini Consulting (Hrsg.), MIT Center for Digital Business, S. 4-7

Konferenzbeiträge (4)

Bharadwaj, Anandhi; El Sawy, Omar; Pavlou, Paul (2013): *Digital Business Strategy: Toward a next generation of insights*, in: MIS Quarterly, Vol. 37, No. 2, Management Information Systems Quarterly, Minnesota, S. 471-482

Forstner, Lisa; Dümmler, Mathias (2014): *Integrierte Wertschöpfungsnetzwerke – Chancen und Potenziale durch Industrie 4.0*, in: Elektrotechnik & Informationstechnik, Springer Verlag Wien, Wien, S. 199-201

Lee, Hau; Padmanabhan, Victor; Whang, Seungjin (1997): *Information Distortion in a Supply Chain: The Bullwhip Effect*, in: Management Science, Vol 43, No 4, The Institute for Operations Research and the Management Sciences, Catonsville, S. 546-558

Schumann, Andreas-Christian; Baum, Jens; Forkel, Eric; Otto, Frank; Reuther, Kevin (2017): *Digital Transformation and Industry 4.0 as a Complex and Eclectic Change*, in: Future Technologies Conference (FTC), The Science and Information (SAI) Organization, Vancouver, S. 645-650

Patente (1)

King, Kristian; Lawson Mclean, Nathan (2021): *Vaccum cleaner with projected display*, Dyson Technology Limited (Anmelder), Weltpatent WO 2021/099757 A1

Online-Quellen (27)

Boehlerit GmbH & Co. KG (Hrsg.) (2021): *Unternehmen*
<https://www.boehlerit.com/unternehmen> [Stand: 25.07.2021]

Die Deutsche Wirtschaft GmbH (Hrsg.) (2021): *Die Deutsche Wirtschaft - Stimme des Mittelstands*
https://die-deutsche-wirtschaft.de/famu_top/oesterreich-boehlerit-gmbh-co-kg-kapfenberg-umsatz-mitarbeiterzahl/ [Stand: 25.07.2021]

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2015): *Downloads & Aktuelles*
https://www.plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/industrie-4-0-und-digitale-wirtschaft.pdf?__blob=publicationFile&v=4 [Stand: 07.08.2021]

Die Kommission der europäischen Gemeinschaften (Hrsg.) (2003): *EUR-Lex*
<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003H0361&qid=1629915080512&from=DE> [Stand: 25.07.2021]

Leitz GmbH & Co. KG (2021): *Firmenverbund*
<https://www.leitz.org/de/unternehmen/firmenverbund/> [Stand: 25.07.2021]

MPDV Mikrolab GmbH (Hrsg.) (2021): *Smart Factory Elements - Ein Modell für innovative Fertigungs-IT*
<https://www.mpdv.com/de/innovation-vision/mes-industrie-40/smart-factory-elements/#c11608> [Stand: 25.08.2021]

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (Hrsg.) (2016): *Was ist Industrie 4.0?*
<https://web.archive.org/web/20160409213448/http://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html;jsessionid=D7ED4118DED525F176F382A8F939369D> [Stand: 07.08.2021]

Innolytics AG (2017): *Digitale Transformation Definition*
<https://www.innolytics.de/was-ist-digitale-transformation/> [Stand: 15.01.2022]

Strategy & Transformation Consulting GmbH (2017): *Digital Maturity Assessment*
<http://www.strategy-transformation.com/digital-maturity-assessment/> [Stand: 08.01.2022]

VDMA Forum Industrie 4.0 (2015): *vdmashop.de*
https://www.vdmashop.de/refs/VDMA_Leitfaden_I40_neu.pdf [Stand: 07.01.2022]

Verein Industrie 4.0 Österreich (2022): *Übersicht ausgewählter Reifegradmodelle*
<https://plattformindustrie40.at/blog/2021/10/01/uebersicht-von-reifegradmodellen-der-plattform-industrie-4-0/> [Stand: 12.02.2022]

BITKOM e.V. (2020): *Reifegradmodell Digitale Geschäftsprozesse*
<https://www.bitkom.org/Bitkom/Publikationen/Reifegradmodell-Digitale-Geschaeftsprozesse> [Stand: 12.02.2022]

BITKOM e.V. (2020): *Reifegradmodell Digitale Geschäftsprozesse*
https://www.bitkom.org/sites/main/files/2020-04/checkliste_reifegradmodell_digitale_geschäftsprozesse.xlsx [Stand: 22.02.2022]

KEYENCE CORPORATION (o.J.): *Was ist Messen?*
https://www.keyence.de/ss/products/measure/measurement_library/basic/measurement/ [Stand: 09.04.2022]

MW-Import (2017): *Digitaler-Höhenreisser aus gehärtetem nichtrostendem Werkzeugstahl 300 mm*

<https://www.mw-import.de/shop/kaufen/digital-hoehenreisser.html> [Stand: 22.04.2022]

Mahr GmbH (2020): *MarSurf XR1 < Download*

<https://metrology.mahr.com/fileadmin/assets/files/MarSurf--XR%201--3764783--FL--DE--2020-04-15.pdf>
[Stand: 30.04.2022]

Babtec Informationssysteme GmbH (2022): *BabtecQ*

<https://www.babtec.de/loesungen/uebersicht> [Stand: 03.04.2022]

Babtec Informationssysteme GmbH (2022): *Produktblätter*

<https://www.babtec.de/downloads/produktblaetter> [Stand: 07.05.2022]

Tragant Handels- und Beteiligungs GmbH (2018): *Der Standard RS-232 - Flexibel mit USB Anschluss oder im Netz*

https://www.delock.de/infothek/RS-232_standard/rs232-standard.html [Stand: 14.05.2022]

ABBYY Europe GmbH (2020): *Was ist OCR?*

[https://pdf.abbyy.com/de/learning-center/what-is-ocr/#:~:text=OCR%2C%20Optical%20Character%20Recognition%20\(Optische,bearbeitbare%20und%20durchsuchbare%20Dateien%20erm%C3%B6glicht.](https://pdf.abbyy.com/de/learning-center/what-is-ocr/#:~:text=OCR%2C%20Optical%20Character%20Recognition%20(Optische,bearbeitbare%20und%20durchsuchbare%20Dateien%20erm%C3%B6glicht.) [Stand: 20.05.2022]

Universitätsbibliothek Mannheim (2022): *Tesseract at UB Mannheim*

<https://github.com/UB-Mannheim/tesseract/wiki> [Stand: 17.05.2022]

Brossardt, Bertram (2014): *Forschungsnetzwerk.at*

<https://ams-forschungsnetzwerk.at/downloadpub/dienstleistungspotenziale-industrie-4.0-mar-2014.pdf>
[Stand: 07.01.2022]

Frank, Vivecca (2020): *6 Gründe, warum Ihre digitale Transformation scheitert – und was Sie dagegen tun können*

<https://www.signavio.com/de/post/digitale-transformation/> [Stand: 22.01.2022]

Gillenkirch, Robert (2018): *Methoden und Techniken der Organisationsgestaltung*

<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/strategie-43591> [Stand: 22.01.2022]

MacKenzie, Matthew; Laskey, Ken; McCabe, Francis; Brown, Peter; Metz, Rebekah (2021): *Documents*

<https://docs.oasis-open.org/soa-rm/v1.0/soa-rm.pdf> [Stand: 30.08.2021]

Mittelstädt, Ralf; Bayer, Michael (2015): *Industrie- und Handelskammer Mittlerer Niederrhein*

<https://www.ihk-krefeld.de/de/industrie/industrie-4.0/best-practice-digitale-transformation-und-industrie-4.0.html> [Stand: 15.08.2021]

Nurhidayat, Rizky (2020): *Python Data Visualization with Matplotlib — Part 2*

<https://towardsdatascience.com/python-data-visualization-with-matplotlib-part-2-66f1307d42fb> [Stand: 16.03.2022]

Normen (1)

Institute, Austrian (Hrsg.) (2015): *ISO 9000:2015: ÖNORM EN ISO 9000 - Qualitätsmanagementsysteme – Grundlagen und Begriffe*

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Blick auf die Unternehmenszentrale der Boehlerit GmbH & Co. KG in Kapfenberg. Quelle: Boehlerit GmbH & Co. KG (Hrsg.) (2021), Online-Quelle [25.07.2021].	2
Abbildung 2: Anwendungsbereiche des Computer Integrated Manufacturing (CIM) sowie seiner zugehörigen CAx-Systeme, Quelle: Sreenivasulu/Chalamalasetti (2019), S. 25 (leicht modifiziert).	9
Abbildung 3: Elemente und exemplarische Fähigkeiten der Smart Factory, Quelle: MPDV Mikrolab GmbH (Hrsg.) (2021), Online-Quelle [25.08.2021].	12
Abbildung 4: Darstellung der horizontalen und vertikalen Integration von IKT im Unternehmen sowie deren variabler Implikationspfade auf Basis der ANSI/ISA-95 Norm, Quelle: Dumitrescu (2016), S. 206 (leicht modifiziert).	15
Abbildung 5: Bausteine digitaler Transformation, Quelle: Westerman u. a. (2011), S. 17 (leicht modifiziert).	20
Abbildung 6: Die Studienergebnisse zeigen 23 konkrete Potentialfelder digitaler Transformation, Quelle: Westerman u. a. (2011), S. 17 (leicht modifiziert).	20
Abbildung 7: Hierarchisches Strategiekonzept nach organisatorischen Ebenen gegliedert, Quelle: Welge/AI-Laham/Eulerich (2017), S. 470 (leicht modifiziert).	22
Abbildung 8: Vorgehensmodell für digitale Transformation nach Appelfeller/Feldmann, Quelle: Appelfeller/Feldmann (2018), S. 14 (leicht modifiziert).	31
Abbildung 9: Das digital transformierte Unternehmen bestehend aus zehn Einzelementen, Quelle: Appelfeller/Feldmann (2018), S. 4 (leicht modifiziert).	34
Abbildung 10: Reifegradmodell für digitale Geschäftsprozesse nach BITKOM, Quelle: BITKOM e.V. (2020), Online-Quelle [12.02.2022], S. 8.	45
Abbildung 11: Reifegraddiagramm im Excel-Tool als Ergebnis des Reifegrad-Assessments nach BITKOM, Quelle: BITKOM e.V. (2020), Online-Quelle [22.02.2022] (leicht modifiziert).	48
Abbildung 12: Tkinter Beispiel für unterschiedliche grafische Elemente, Quelle: eigene Darstellung.	57
Abbildung 13: Übersicht über klassische Diagrammtypen, welche durch Kombination von Matplotlib und Python möglich sind, Quelle: Nurhidayat (2020), Online-Quelle [16.03.2022].	58
Abbildung 14: Ausschnitt aus der Entwicklungsumgebung Visual Studio Code, Quelle: eigene Darstellung.	59
Abbildung 15: Startbildschirm des Reifegradassessment-Tools, Quelle: eigene Darstellung.	60
Abbildung 16: Exemplarische Beispiele der Metafragen des Assessments, Quelle: eigene Darstellung.	61
Abbildung 17: Exemplarische Beispiele der konkreten Assessmentfragen, Quelle: eigene Darstellung.	61
Abbildung 18: Erzeugung eigener Ordner mit Prozessnamen inklusive Datum & Uhrzeit, Quelle: eigene Darstellung.	62

Abbildung 19: Visualisierung des digitalen Reifegrades anhand eines radialen Balkendiagramms, Quelle: eigene Darstellung 63

Abbildung 20: Exemplarisches digitales Höhenmessgerät inklusive Messwertanzeige, Quelle: MW-Import (2017), Online-Quelle [22.04.2022] 68

Abbildung 21: Ergebnis digitales Reifegradassessment Prozess Bauteilhöhe, Quelle: eigene Abbildung. 69

Abbildung 22: Messmaschine Sigmameter inklusive Messwertanzeige an der ECU, Quelle: eigene Darstellung. 71

Abbildung 23: Ergebnis digitales Reifegradassessment Prozess Sättigungsmagnetisierung, Quelle: eigene Abbildung 72

Abbildung 24: Messmaschine Koerzimat inklusive Mess-PC und Ansteuerungssoftware, Quelle: eigene Darstellung. 73

Abbildung 25: Ergebnis digitales Reifegradassessment Prozess Koerzitivfeldstärke, Quelle: eigene Abbildung..... 74

Abbildung 26: Lasermikrometer Messmaschine inklusive Visualisierung der Messergebnisse in Ansteuerungssoftware, Quelle: eigene Darstellung. 75

Abbildung 27: Ergebnis digitales Reifegradassessment Prozess Rundlauf und Durchmesser, Quelle: eigene Abbildung 76

Abbildung 28: Oberflächenmessgerät inklusive Visualisierung der Messergebnisse in Auswertungssoftware, Quelle: Mahr GmbH (2020), Online-Quelle [30.04.2022], S. 7..... 77

Abbildung 29: Ergebnis digitales Reifegradassessment Prozess Oberflächenrauheit, Quelle: eigene Abbildung..... 79

Abbildung 30: Einblick in das Modul Babtec.FP im Zuge einer Prüfplanung, Quelle: Babtec Informationssysteme GmbH (2022), Online-Quelle [07.05.2022] 84

Abbildung 31: Einblick in das Modul Babtec.FP im Zuge einer Prüfung, Quelle: Babtec Informationssysteme GmbH (2022), Online-Quelle [07.05.2022]. 86

Abbildung 32: Startbildschirm der Software zur Messwerverfassung im Prozess Sättigungsmagnetisierung, Quelle: eigene Darstellung. 91

Abbildung 33: Visualisierung der erfassten Messwerte im Prozess Sättigungsmagnetisierung, Quelle: eigene Darstellung..... 92

Abbildung 34: Messwertübertragung aus dem Softwarekonnektor des Sigmameters in eine Drittsoftware, Quelle: eigene Darstellung. 92

Abbildung 35: Startbildschirm der Software zur Messwerverfassung im Prozess Koerzitivfeldstärke, Quelle: eigene Darstellung. 96

Abbildung 36: Abbild aus der Ansteuerungssoftware inklusive Regions of Interest, Quelle: eigene
Abbildung..... 97

Abbildung 37: Visualisierung der erfassten Messwerte im Prozess Koerzitivfeldstärke, Quelle: eigene
Darstellung. 97

Abbildung 38: Messwertübertragung aus dem Softwarekonnektor des Koerzimitas in eine Drittsoftware,
Quelle: eigene Darstellung. 98

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Ergebnisse der systematischen Literaturrecherche zu Vorgehensmodellen für digitale Transformation in der Industrie, Quelle: eigene Darstellung.....	29
Tabelle 2: PDCA-Zyklus als integraler Bestandteil des Vorgehensmodells nach Appelfeller/Feldmann, Quelle: eigene Darstellung.	33
Tabelle 3: Reifegradmodell für das Element digitalisierte Prozesse, Quelle: Appelfeller/Feldmann (2018), S.25 (modifiziert).	42
Tabelle 4: Fiktiver Prozess zur Demonstration der Reifegradermittlung, Quelle: eigene Darstellung.	43
Tabelle 5: Übersicht über die Dimensionen, Kriterien sowie die Operationalisierung des Reifegradmodells nach BITKOM, Quelle: BITKOM e.V. (2020), Online-Quelle [12.02.2022], S. 10.	52
Tabelle 6: Beispiel aus dem Reifegrad-Assessment nach BITKOM, Quelle: eigene Darstellung.	53
Tabelle 7: Entwicklung der Leitfragen am Beispiel des Statements 2.1, Quelle: eigene Darstellung.....	54
Tabelle 8: Ergebnis der systematischen Befragung zu Anforderungen an das Reifegradassessment-Tool, Quelle: eigene Darstellung.	55
Tabelle 9: Messwerte für Messprozess Sättigungsmagnetisierung, Quelle: eigene Abbildung.	85
Tabelle 10: Messwerte für Messprozess Koerzitivfeldstärke, Quelle: eigene Abbildung.....	85
Tabelle 11: Beschreibung der Konvertierungsstufen der Befehle für die serielle Kommunikation, Quelle: eigene Darstellung.....	90

ANHANG 1: FRAGENKATALOG FÜR REIFEGRADASSESSMENT

0. META DIMENSION

Wie wird der konkrete Geschäftsprozess bezeichnet?

Name des Prozesses einfügen

Um welche Art von Geschäftsprozess handelt es sich?

Angebotsphase

Einkauf/Beschaffung

Produktionsplanung/-steuerung

Logistik

Produktion

Wartung/Instandhaltung

Qualitätsmanagement/-sicherung

Controlling

Forschung/Entwicklung

Andere

Bei Auswahl von „Andere“ kann in einer erscheinenden Textbox eine individuelle Eingabe getätigt werden.

Sind Sie mit dem Prozess vertraut?

Ja

Nein

Keine Angabe

Gibt es eindeutige Prozessverantwortliche?

Ja

Nein

Keine Angabe

Wurde(n) bereits (eine) Digitalisierungsmaßnahme(n) im Prozess ergriffen?

Ja

Nein

Keine Angabe

1. TECHNOLOGIE DIMENSION

1.1 Technologiebasis

1.1.1 Welchen Digitalisierungsgrad weisen die Inputkanäle des Prozesses auf?

Jegliche Inputkanäle sind analog (z.B. papierbasiert, mündliche Weitergabe, etc.).

Die Inputkanäle sind überwiegend analog (z.B. papierbasiert, mündliche Weitergabe, etc.). Vereinzelt gibt es jedoch digitale Elemente im Prozess (z.B. PC, digitale Zeichnungen, etc.).

Die Inputkanäle sind überwiegend digital (z.B. PC, digitale Zeichnungen, etc.). Es gibt nur noch vereinzelt analoge Elemente im Prozess (z.B. papierbasiert, mündliche Weitergabe, etc.).

Sämtliche Inputkanäle sind ausschließlich digital.

Sämtliche Inputkanäle sind ausschließlich digital und mit Systemen im- und/oder außerhalb des Unternehmens vernetzt.

1.1.2 Welchen Digitalisierungsgrad weisen die Outputkanäle des Prozesses auf?

Jegliche Outputkanäle sind analog (z.B. papierbasiert, mündliche Weitergabe, etc.).

Die Outputkanäle sind überwiegend analog (z.B. papierbasiert, mündliche Weitergabe, etc.). Vereinzelt gibt es jedoch digitale Elemente im Prozess (z.B. PC, digitale Messwerverfassung, Zeichnungen, etc.).

Die Outputkanäle sind überwiegend digital (z.B. PC, digitale Zeichnungen, etc.) Es gibt nur noch vereinzelt analoge Elemente im Prozess (z.B. papierbasiert, mündliche Weitergabe, etc.).

Sämtliche Outputkanäle sind ausschließlich digital.

Sämtliche Outputkanäle sind ausschließlich digital und mit Systemen im- und/oder außerhalb des Unternehmens vernetzt.

1.2 Prozesstools

1.2.1 Werden digitale Software-Lösungen zur Prozessdurchführung eingesetzt?

Es werden keinerlei Softwarelösungen im Zuge der Prozessausführung eingesetzt.

Es werden einfache Softwarelösungen (z.B. Textverarbeitungs-/Tabellenkalkulationsprogramme) in einzelnen Prozessschritten eingesetzt.

Es werden fortgeschrittene Softwarelösungen (z.B. CAx/ Datenerfassung /Datenvisualisierung) in einzelnen Prozessschritten eingesetzt.

Es werden fortgeschrittene Softwarelösungen (z.B. ERP-/MES-Systeme) durchgängig im Prozess eingesetzt.

Es werden intelligente Softwarelösungen (z.B. RPA/AI/ML) eingesetzt, welche die gesamte Prozessführung unterstützen.

1.2.2 Wie umfassend sind die Softwarelösungen im Prozess automatisiert?

Es herrscht keinerlei Automatisierung.

Es herrscht assistierende Automatisierung. Die eingesetzten Softwarelösungen unterstützen Mitarbeiter bei der Prozessdurchführung.

Die Softwarelösungen sind teilautomatisiert. Sie übernehmen eigenständige Aufgaben in der Prozessdurchführung.

Die Softwarelösungen sind hochautomatisiert. Sie werden im gesamten Prozess hindurch gebraucht. Mitarbeiter haben nur mehr überwachende Tätigkeiten.

Die Softwarelösungen sind vollständig automatisiert. Der Prozess verläuft autonom und ohne menschliche Interaktion.

1.3 Systemintegration

1.3.1 Wie umfassend sind die Softwarelösungen im Prozess integriert?

Es gibt keinerlei Integration.

Es gibt eine anfängliche Integration. Die eingesetzten Softwarelösungen sind alleinstehende Insellösungen im Prozess.

Es gibt eine fortgeschrittene Integration. Die eingesetzten Softwarelösungen interagieren im Zuge spezifischer Prozessschritte mit anderen Softwaresystemen.

Es gibt eine umfassende Integration. Die eingesetzten Softwarelösungen werden im gesamten Prozess hindurch gebraucht.

Es gibt eine vollständige Integration. Die Softwarelösungen werden im gesamten Prozess hindurch gebraucht und interagieren hierzu mit anderen Systemen im Unternehmen.

1.3.2 Gibt es (Informations-)Medienbrüche im Prozess?

Es gibt mehrere Medienbrüche im Prozess. Es wird mehrfach zwischen verschiedenen Hauptmedien (analog \leftarrow \rightarrow digital) gewechselt.

Es gibt wenige Medienbrüche im Prozess. Es wird vereinzelt zwischen verschiedenen Hauptmedien (analog \leftarrow \rightarrow digital) gewechselt.

Es gibt kaum Medienbrüche im Prozess. Es werden ausschließlich digitale Informationsmedien verwendet. Daten werden jedoch für Austausch in spezielle Dateiformate konvertiert.

Es gibt kaum Medienbrüche im Prozess. Es werden ausschließlich digitale Informationsmedien verwendet. Daten werden ausschließlich in Standard- Dateiformaten ausgetauscht.

Es gibt keinerlei Medienbrüche im Prozess.

2. DATEN DIMENSION

2.1 Datenerhebung

2.1.1 Wie werden relevante Prozessdaten erhoben?

Es werden keine Prozessdaten erhoben.

Die Prozessdatenerhebung ist rein analog (z.B. manuell, papierbasiert, mündliche Weitergabe, etc.).

Die Prozessdatenerhebung ist überwiegend analog (z.B. manuell, papierbasiert, mündliche Weitergabe, etc.). Vereinzelt werden jedoch relevante Prozessdaten (z.B. Auftragsnummer, Ausschuss, DLZ, etc.) digital erhoben.

Die Prozessdatenerhebung ist überwiegend digital. Es gibt nur noch vereinzelt analoge Elemente im Prozess (z.B. papierbasiert, mündliche Weitergabe, etc.).

Sämtliche Prozessdaten werden digital erhoben.

2.1.2 Wie werden die erhobenen Prozessdaten archiviert?

Es werden keine relevanten Prozessdaten, weder analog noch digital, archiviert.

Relevante Prozessdaten werden rein analog archiviert (z.B. papierbasiert).

Relevante Prozessdaten werden überwiegend analog (z.B. papierbasiert) archiviert. Vereinzelt werden jedoch relevante Prozessdaten (z.B. Rüstzeiten, Ausschuss, DLZ, etc.) auch digital archiviert (z.B. CSV-Files, Datenbanken, MES, etc.).

Relevante Prozessdaten werden überwiegend digital archiviert. Es gibt nur noch vereinzelt eine analoge Archivierung (z.B. papierbasiert).

Sämtliche Prozessdaten werden digital archiviert.

2.2 Datenbereitstellung

2.2.1 Wie werden Prozessdaten für z.B. Controlling, Qualitäts-/Beschwerdemgmt. bereitgestellt?

Es werden keine Prozessdaten für interne Analysen bereitgestellt.

Relevante Prozessdaten werden rein analog für interne Analysen bereitgestellt (z.B. papierbasiert). Im Zuge der Analysen müssen die analogen Daten zuvor jedoch digitalisiert werden.

Relevante Prozessdaten werden überwiegend analog (z.B. papierbasiert) für interne Analysen bereitgestellt. Vereinzelt werden jedoch spezifische Daten für Analysen in digitaler Form (z.B. CSV-Files, Datenbanken, MES, etc.) bereitgestellt.

Relevante Prozessdaten werden überwiegend digital (z.B. CSV-Files, Datenbanken, MES, etc.) für interne Analysen bereitgestellt. Es gibt nur noch vereinzelt eine analoge Bereitstellung (z.B. papierbasiert).

Sämtliche Prozessdaten werden digital für interne Analysen bereitgestellt.

2.2.2 Wie sind Prozessdaten für z.B. Controlling, Qualitäts-/Beschwerdemgmt. beschaffen?

Es werden keine Prozessdaten bereitgestellt.

Prozessdaten sind zur Gänze unübersichtlich und unstrukturiert. Im Zuge der Analysen müssen die Daten zuvor aufwendig aufbereitet werden.

Prozessdaten liegen überwiegend unübersichtlich und unstrukturiert vor. Im Zuge der Analysen müssen die Daten zuvor mit vertretbarem Aufwand aufbereitet werden.

Prozessdaten liegen überwiegend strukturiert und übersichtlich vor. Es sind nur noch wenige Anpassungen zur Datenaufbereitung notwendig.

Sämtliche Prozessdaten liegen in konstant strukturierter und übersichtlicher Form für interne Analysen vor.

2.3 Datenverwendung

2.3.1 Wie erfolgt die Datenbereitstellung?

Es werden keine Prozessdaten bereitgestellt.

Der Prozess weist keine offenen Standard-Schnittstellen (Hardware/Software) auf.

Es gibt offene Standard-Schnittstellen (Hardware/Software) im Prozess mit denen relevante Prozessdaten bereitgestellt werden können. Diese Schnittstellen sind jedoch ungenutzt.

Es gibt mehrere Standard-Schnittstellen (Hardware/Software) im Prozess mit denen relevante Prozessdaten bereitgestellt werden können. Diese Schnittstellen werden mit eigenen Softwarelösungen (z.B. Skripte, Middleware, etc.) angesprochen.

Sämtliche Prozessdaten werden über eine zentrale Standard-Schnittstelle für weitere Anwendungen bereitgestellt.

2.3.2 Werden Prozessdaten zur Prozessverbesserung verwendet?

Es werden keine Prozessdaten zur Verbesserung des Prozesses verwendet.

Prozessdaten dienen nur zur persistenten Dokumentation des Prozesses.

Prozessdaten werden in definierten Zeitabständen begutachtet. Bei Erkennung signifikanter Abweichungen erfolgen Prozessanpassungen.

Prozessdaten werden dauerhaft begutachtet. Bereits kleine Abweichungen werden autonom erkannt und führen zu Prozessanpassungen.

Prozessdaten fungieren als Echtzeit-Steuerungsgröße zur Adaptierung des Prozesses sowie seiner vorgelegten und nachfolgenden Prozesse.

3. QUALITÄT DIMENSION

3.1 Prozessdefinition

3.1.1 Ist der Prozess ausreichend dokumentiert?

Es gibt keine Prozessdokumentation.

Es ist eine unvollständige Prozessdokumentation vorhanden.

Es ist vollständige Prozessdokumentation vorhanden. Diese ist jedoch veraltet und entspricht nicht mehr dem aktuellen Prozess.

Es ist eine vollständige und aktuelle Prozessdokumentation vorhanden. Jedoch wird in der Dokumentation auf Prozessmanagement-Standards (z.B. BPMN, UML, etc.) verzichtet.

Der Prozess ist mittels Prozessmanagement-Standards (z.B. BPMN, UML, etc.) vollständig und aktuell dokumentiert.

3.1.2 Ist der Prozess ausreichend beschrieben?

Es gibt keine Prozessbeschreibung.

Es ist eine unvollständige Prozessbeschreibung vorhanden.

Es ist vollständige Prozessbeschreibung vorhanden. Diese ist jedoch veraltet und entspricht nicht mehr dem aktuellen Prozess.

Es ist eine vollständige und aktuelle Prozessbeschreibung vorhanden. Jedoch wird in der Beschreibung auf Prozessmanagement-Standards (Arbeitsablaufbeschreibung) verzichtet.

Der Prozess ist mittels Prozessmanagement-Standards (z.B. Arbeitsablaufbeschreibung) vollständig und aktuell beschrieben.

3.2 Prozessausführung

3.2.1 Sind die Prozessstatus von außen (intern & extern) einsehbar?

Die Prozessstatus sind zu keiner Zeit von außen einsehbar.

Die Prozessstatus sind nur von bestimmten internen Stakeholdern einsehbar.

Die Prozessstatus sind von jeglichen internen Stakeholdern einsehbar.

Die Prozessstatus sind von internen aber nur bestimmten externen Stakeholdern einsehbar.

Der Prozessstatus ist durch umfassende Vernetzung & Security jederzeit von internen wie externen Stakeholdern einsehbar.

3.2.2 Ist die Stabilität des Prozesses sichergestellt?

Es gibt keine Erkenntnisse über die Prozessstabilität.

Der Prozess ist nachgewiesen weder beherrscht noch fähig.

Der Prozess ist nachgewiesen beherrscht, aber nicht fähig.

Der Prozess ist nachgewiesen fähig und beherrscht.

Der Prozess ist nachgewiesen fähig und beherrscht. Er wird regelmäßig einer wiederkehrenden statistischen Prozessfähigkeitsuntersuchung unterzogen.

3.3 Prozesssicherheit

3.3.1 Gibt es interne Kontrollen und Prüfinstanzen für den Prozess?

Es gibt keine regelmäßig wiederkehrenden internen Kontrollen und Prüfinstanzen für den Prozess.

Es gibt interne Kontrollen und Prüfinstanzen für den Prozess nur nach Bedarf.

Es gibt unregelmäßig wiederkehrende interne Kontrollen und Prüfinstanzen für den Prozess.

Der Prozess wird regelmäßig durch interne Kontrollen und Prüfinstanzen untersucht, um die regulatorischen Anforderungen zu gewährleisten.

Der Prozess wird dauerhaft durch interne Kontrollen und Prüfinstanzen untersucht, um die regulatorischen Anforderungen zu gewährleisten.

3.3.2 Erfüllt der Prozess aktuellen Anforderungen an Datenschutz & Datensicherheit?

Es gibt keine Prüfungen über die Erfüllung der aktuellen Anforderungen an Datenschutz und Datensicherheit.

Jeder Prozessteilnehmer ist selbst für die Erfüllung der aktuellen Anforderungen an Datenschutz und Datensicherheit verantwortlich.

Der Prozess wird im Zuge seiner Entwicklung auf die Erfüllung der aktuellen Anforderungen an Datenschutz und Datensicherheit geprüft.

Es gibt interne Kontrollinstanzen (Datenschutzbeauftragte), welche die Erfüllung der aktuellen Anforderungen an Datenschutz und Datensicherheit regelmäßig überprüfen.

Der Prozess wird regelmäßig durch externe Experten geprüft, um die aktuellen Anforderungen an Datenschutz und Datensicherheit zu gewährleisten.

4. ORGANISATIONALE PERSPEKTIVE

3.4 Digitalisierungsstrategie

3.4.1 Gibt es eine definierte Digitalisierungsstrategie im Unternehmen?

Es gibt keine definierte Digitalisierungsstrategie im Unternehmen.

Es gibt mehrere Digitalisierungsprojekte im Unternehmen, aber keine dezidierte Digitalisierungsstrategie.

Es gibt mehrere, voneinander abgegrenzte Digitalisierungsstrategie auf Geschäftsbereichsebene.

Es gibt eine definierte Digitalisierungsstrategie, welche über mehrere Funktionsbereiche (Business Units) hinweg als eigenständige Strategie fungiert.

Die Digitalisierungsstrategie ist mit der Unternehmensgesamtstrategie gebündelt und formt damit eine fundierte digitale Transformationsstrategie.

3.4.2 Wird die bestehende Digitalisierungsstrategie im Prozess umgesetzt?

Es gibt keine definierte Digitalisierungsstrategie im Unternehmen.

Es gibt eine bestehende Digitalisierungsstrategie, diese wird jedoch nicht im Prozess umgesetzt.

Die bestehende Digitalisierungsstrategie wird nur geringfügig im Prozess umgesetzt.

Die bestehende Digitalisierungsstrategie wird vermehrt im Prozess umgesetzt.

Die bestehende Digitalisierungsstrategie wird mit mehreren Digitalisierungsprojekten in diesem Prozess umgesetzt.

3.5 Qualifikation

3.5.1 Sind personelle Ressourcen verfügbar, um den aktuellen Prozess digital weiterzuentwickeln?

Es gibt keine freien personellen Ressourcen, um den aktuellen Prozess digital weiterzuentwickeln.

Es gibt nur externe personelle Ressourcen, um den aktuellen Prozess digital weiterzuentwickeln.

Es gibt interne personelle Ressourcen, um den aktuellen Prozess digital weiterzuentwickeln. Diese müssen jedoch erst dafür freigemacht werden.

Es gibt freie interne personelle Ressourcen, um den aktuellen Prozess digital weiterzuentwickeln.

Es gibt interne wie externe personelle Ressourcen, um den Prozess sofort digital weiterzuentwickeln.

3.5.2 Sind entsprechende Kompetenzen vorhanden, um den Prozess digital weiterzuentwickeln?

Es gibt keine Mitarbeiter mit entsprechenden Kompetenzen, um den aktuellen Prozess digital weiterzuentwickeln.

Es gibt nur externe Ressourcen mit entsprechenden Kompetenzen, um den aktuellen Prozess digital weiterzuentwickeln.

Es gibt Mitarbeiter, die sich die entsprechenden Kompetenzen in annehmbarer Zeit aneignen können, um den aktuellen Prozess digital weiterzuentwickeln.

Es gibt Mitarbeiter mit entsprechenden Kompetenzen, um den aktuellen Prozess digital weiterzuentwickeln.

Es gibt Mitarbeiter und externe Ressourcen mit entsprechenden Kompetenzen, um den Prozess digital weiterzuentwickeln.

3.6 Change Management

3.6.1 Werden wirksame Maßnahmen ergriffen, um die Akzeptanz von digitalen Prozessen zu fördern?

Es werden keine Maßnahmen ergriffen, um die Akzeptanz von digitalen Prozessen zu fördern.

Es gibt außerbetriebliche Weiterbildungsangebote, um die Akzeptanz von digitalen Prozessen zu fördern.

Es gibt innerbetriebliche Weiterbildungsangebote, um die Akzeptanz von digitalen Prozessen zu fördern.

Digitale Weiterbildung ist Bestandteil der verpflichtenden Weiterbildungsmaßnahmen von Mitarbeitern.

Digitalisierung ist aktiver Bestandteil der Weiterentwicklung von Mitarbeitern. Vereinzelt Mitarbeiter fungieren als digitale Botschafter im Unternehmen.

3.6.2 Begrüßen prozessbeteiligte Mitarbeiter die Digitalisierung des Prozesses?

Die Gruppe der prozessbeteiligten Mitarbeiter lehnt die Digitalisierung des Prozesses zu Gänze ab.

Die Gruppe der prozessbeteiligten Mitarbeiter lehnt die Digitalisierung des Prozesses überwiegend ab. Es gibt aber wenige, befürwortende Stimmen.

Die Gruppe der prozessbeteiligten Mitarbeiter steht der Digitalisierung des Prozesses neutral gegenüber. Es gibt ausgeglichene befürwortende und ablehnende Stimmen.

Die Gruppe der prozessbeteiligten Mitarbeiter befürwortet die Digitalisierung des Prozesses überwiegend. Es gibt nur wenige, ablehnende Stimmen.

Die Gruppe der prozessbeteiligten Mitarbeiter befürwortet die Digitalisierung des Prozesses zur Gänze.