



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

## Diplomarbeit

# Entwicklung und Visualisierung einer Berechnungslogik für Datenqualität in der Instandhaltung

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

## Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

**Priv.-Doz. Dr.-Ing., M.Sc., B.Sc. Fazel Ansari**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Smart and Knowledge Based Maintenance)

**Dr. techn. Tanja Nemeth**

(Fraunhofer Austria Research GmbH)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Klara Hoskova**

01126421 (066.282)

Attemsgasse

1220 Wien

Wien, im März 2022

---

Klara Hoskova



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

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

## **Diplomarbeit**

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

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

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

Wien, im März 2022

---

Klara Hoskova

## Danksagung

Ich bedanke mich bei allen, die mich bei dieser Arbeit unterstützt haben. Namentliche Erwähnung ist hier nicht notwendig, da die gemeinten Personen bereits wissen, dass sie eine unglaubliche Hilfe gewesen sind. Danke!

## Kurzfassung

Die Wichtigkeit der Instandhaltung steigt mit zunehmender Digitalisierung und immer komplexer werdenden Produktionsanlagen. Um mit der Konkurrenz mithalten zu können sowie die Kosten und Aufwände für Instandhaltung so gering wie möglich zu halten, sollten Unternehmen bei komplexen Anlagen eine möglichst reife, bestenfalls die präskriptive, Instandhaltung anstreben. Für den Verbesserungsprozess muss zunächst der Ist-Zustand, unter Zuhilfenahme des wissensbasierten Reifegrades der Instandhaltung, erhoben und evaluiert werden.

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Berechnungslogik für die Datenqualität in der Instandhaltung, sowie die Entwicklung eines dazu passenden Tools, das es dem\*r Nutzer\*in ermöglicht, den wissensbasierten Reifegrad der Instandhaltung zu berechnen. Zunächst werden die benötigten Formeln für die Berechnung der Datenqualität erforscht und die damit verbundenen Kennzahlen ausgewählt. Um jedoch ein ganzheitliches Tool für die Berechnung des Reifegrades der wissensbasierten Instandhaltung zu entwickeln, werden alle vier Metriken, die Daten-, Wissens-, Informations- und Instandhaltungsqualität, in die Entwicklung des Tools herangezogen. Anforderungen an das Tool, wie z.B. die ansprechende visuelle Darstellung, die Teilung in verschiedene Metriken und die damit verbundenen Zwischenergebnisse oder auch der .csv Up- und Download werden definiert. Die Recherche zur passenden Entwicklungsumgebung und Programmiersprache wird neben der eigentlichen Umsetzung des Tools auch als ein Teil dieser Arbeit gesehen. Um alle Anforderungen der Stakeholder treffen zu können, muss eine Umsetzungsmöglichkeit mit ansprechendem Design, zufriedenstellender User Experience und Funktionalität gefunden werden. Nach ausführlicher Recherche fällt die Wahl auf eine webbasierte Applikation, die sich durch individuell anpassbares Design sowie Geräte- und Betriebssystemunabhängigkeit auszeichnet. Mit Hilfe von React sowie HTML und CSS kann das Tool in Typescript umgesetzt werden.

Als Ergebnis dieser Arbeit werden Formeln zur Berechnung der Datenqualität und ein Tool zur vollständigen Berechnung des wissensbasierten Reifegrades der Instandhaltung präsentiert. Hierbei können unterschiedliche Qualitätsmetriken und deren Indikatoren eingegeben und die damit verbundene Berechnung des Reifegrades durchgeführt werden. Die visuelle Darstellung der Ergebnisse erfolgt mit Hilfe von Spinnennetzdiagrammen. Um eine mögliche Verbesserung oder Verschlechterung des Reifegrades zu simulieren, können einzelne Datenquellen aktiviert oder deaktiviert werden und so nach Möglichkeit in die Berechnung und visuelle Auswertung mit einbezogen werden.

## Abstract

The importance of maintenance enlarges with increasing digitization and ever more complex production systems. In order to be able to keep up with the competition and to keep the costs and expenses for maintenance as low as possible, companies should strive for maintenance that is as mature as possible, at best prescriptive, for complex systems. For the improvement process, the current status must first be recorded and evaluated with the help of the knowledge-based maturity level of maintenance.

The aim of this work is the development of a calculation logic for data quality in maintenance, as well as the development of a suitable tool that enables the user to calculate the knowledge-based maturity level of maintenance. First, the required formulas for calculating data quality are explored and the associated metrics are selected. However, in order to develop a holistic tool for calculating the maturity level of knowledge-based maintenance, all four metrics, the data, knowledge, information and maintenance quality, are used in the development of the tool. Requirements for the tool, such as the appealing visual representation, the division into different metrics and the associated intermediate results or the .csv upload and download are defined. The research for the right development environment and programming language is seen as part of this work in addition to the actual implementation of the tool. In order to be able to meet all the requirements of the stakeholders, an implementation option with an appealing design, satisfactory user experience and functionality must be found. After extensive research, the choice falls on a web-based application that is characterized by an individually adaptable design and independence from devices and operating systems. With the help of React as well as HTML and CSS, the tool can be implemented in Typescript.

As a result of this work, formulas for calculating the data quality and a tool for the complete calculation of the knowledge-based maturity level of maintenance are presented. Different quality metrics and their indicators can be entered and the associated calculation of the degree of maturity can be carried out. The results are visualized using spider web diagrams. In order to simulate a possible improvement or deterioration in the level of maturity, individual data sources can be activated or deactivated and thus included in the calculation and visual evaluation if possible.

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	3
1.1	Allgemeine Einleitung in die Instandhaltung.....	4
1.2	Problemstellung.....	5
1.3	Lösungsansatz .....	5
1.4	Aufbau und Struktur der Arbeit.....	5
2	Theoretische Grundlagen .....	7
2.1	Instandhaltung.....	7
2.1.1	Fehler und Ausfälle in Anlagen.....	8
2.1.2	Asset Management in der Instandhaltung .....	11
2.1.3	Instandhaltungsstrategien und die damit verbundene Qualifikation der Mitarbeiter*innen.....	14
2.1.4	Digitalisierung in der Instandhaltung.....	16
2.1.5	Datenmengen in der Instandhaltung und ihr Nutzen .....	20
2.1.6	Datenqualität in der Instandhaltung .....	31
2.2	Moderne Softwareentwicklung .....	40
2.2.1	Vorgehensmodelle in der Softwareentwicklung.....	40
2.2.2	Das Basismodell .....	41
2.2.3	Weitere Vorgehensmodelle .....	49
3	Berechnung des Instandhaltungsreifegrades .....	56
3.1	Qualitätsmetrik: Datenqualität .....	56
3.1.1	Berechnung der Datenqualität.....	57
3.2	Weitere Qualitätsmetriken .....	60
3.3	Gewichtung der Qualitätsmetriken und ihrer Indikatoren .....	62
4	Implementierung eines Tools zur Berechnung und Visualisierung der Datenqualität in der Instandhaltung.....	66
4.1	Das Konzept.....	66
4.1.1	Pflichtenheft .....	66
4.1.2	Umsetzungsmöglichkeiten.....	67
4.1.3	Recherche zu Programmiersprachen .....	68
4.1.4	Ideen zur Umsetzung der Berechnungslogik der Datenqualität in der Instandhaltung .....	72

4.1.5	Umsetzung der Berechnungslogik und Visualisierung der Datenqualität in der Instandhaltung .....	74
5	Das Reifegradmodell-Tool .....	76
5.1	User Interface .....	76
5.2	Daten-, Informations- und Wissensqualität .....	77
5.3	Instandhaltungsqualität .....	87
5.4	Ergebnis .....	88
5.5	Berechnungstool anhand eines Praxisbeispiels .....	89
6	Zusammenfassung und Ausblick .....	96
6.1	Diskussion der Ergebnisse .....	96
6.2	Mögliche nächste Schritte zur Weiterentwicklung .....	97
7	Anhang .....	99
7.1	Zeitaufschrieb .....	99
8	Literaturverzeichnis .....	102
9	Abbildungsverzeichnis .....	106
10	Formelverzeichnis .....	108
11	Tabellenverzeichnis .....	109
12	Abkürzungsverzeichnis .....	110

# 1 Einleitung

In dieser Arbeit wird eine Berechnungslogik der Datenqualität in der Instandhaltung entwickelt und zusätzlich in einem Tool zur Berechnung und Visualisierung des wissensbasierten Instandhaltungsreifegrades umgesetzt. Die Instandhaltung von unterschiedlichsten Maschinen und Produktionslinien hat in den letzten Jahren sehr an Wichtigkeit gewonnen. Mit einer entwickelten Instandhaltung können Stillstandzeiten verhindert und so die Produktivität sichergestellt werden. Ausfälle von Maschinen aufgrund von verschlissenen Werkzeugen oder anderen Gründen sind heutzutage für Unternehmen sehr zeitintensiv. Ausfälle sind außerdem mit hohen Kosten verbunden und sollten verhindert werden. Mit der Auswertung des Reifegrades der Instandhaltung können Unternehmen ihre momentane Instandhaltungsstrategie auswerten und daraus Maßnahmen herleiten, um den eigenen Reifegrad zu verbessern. Grundsätzlich gilt, je höher die Instandhaltungsstufe, desto mehr Informationen können zur erfolgreichen Instandhaltung sichergestellt werden. Die Instandhaltung wird insgesamt in vier Stufen eingeteilt und unterscheidet sich dabei in ihrer Reife und Komplexität.

Die in dieser Arbeit entwickelte Berechnungslogik und Visualisierung der Datenqualität in der Instandhaltung, basiert auf dem Modell zur Reifegradberechnung wissensbasierter Instandhaltung, welche bereits in der Arbeit „Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken“<sup>1</sup> von Tanja Nemeth vorgestellt wurde. Der Fokus dieser Arbeit liegt in der Entwicklung einer Berechnungslogik für die Datenqualität in der Instandhaltung. Dabei soll die Forschungsfrage nach der passenden Berechnung der Datenqualität in der Instandhaltung und der damit verbundenen Visualisierung geklärt werden. Zusätzlich wird ein industrierelevantes Tool programmiert, das die Berechnung und Visualisierung des momentanen wissensbasierten Instandhaltungsreifegrades ermöglicht und genau die erforschte Berechnung der Datenqualität beherbergt. Es werden Qualitätsmetriken aus den Themengebieten Daten, Informationen, Wissen und Instandhaltung zur Berechnung herangezogen. Kennzahlen aus den bereits genannten Metriken können im Berechnungstool eingegeben und der damit verbundene Reifegrad berechnet werden. Außerdem werden die Ergebnisse durch ansprechende Visualisierungen in Form von Diagrammen unterstützt. Für die Umsetzung des Tools werden verschiedene Programmiersprachen in Betracht gezogen und die Prozesse moderner Softwareentwicklung eingehalten.

---

<sup>1</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken, Technische Universität (2020).



## 1.1 Allgemeine Einleitung in die Instandhaltung

Instandhaltung ist ein wichtiges Aufgabengebiet in der Industrie, das immer mehr an Bedeutung gewinnt. Neben der kosteneffizienten Produktion soll mittels Instandhaltung die Verfügbarkeit und Prozesssicherheit in Unternehmen unterstützt und sichergestellt werden. Nicht nur die Wartung, Inspektion und Instandsetzung, sondern auch die Optimierung der Anlagen gehört zum Aufgabengebiet der Instandhaltung. Durch Industrie 4.0 werden Mitarbeiter\*innen der Instandhaltung angehalten, sich in einer Vielzahl an verschiedenen Bereichen weiterzubilden, um der Aufgabe eines\*r modernen Instandhalter\*in gerecht zu werden. Die Bereiche Elektrik, Elektronik, Sensorik und Big Data sowie weitere relevante Bereiche gehören zu diesen wichtigen Gebieten. Mit der fortschreitenden Digitalisierung können mittels neuer Technologien immer mehr Daten gewonnen und für die Instandhaltung ausgewertet werden. Aufgrund dessen müssen neue Messsysteme, die ein gewisses Knowhow der Mitarbeiter\*innen voraussetzen, in die Produktionsprozesse integriert werden. Die Menge an gewonnenen Daten muss im weiterfolgenden Schritt bestmöglich ausgewertet werden, um Maßnahmen für die Instandhaltung zu generieren<sup>2</sup>.

Die Instandhaltung kann insgesamt in vier Stufen, die deskriptive, diagnostische, prädiktive und präskriptive Instandhaltung, eingeteilt werden, siehe Abbildung 4. Die deskriptive Instandhaltung zeigt auf, was genau passiert ist. Die diagnostische Instandhaltung hingegen gibt zusätzlich Auskunft über die Frage „Warum ist es passiert?“. Die prädiktive und die präskriptive Instandhaltung sind noch fortgeschrittener und weisen darauf hin, was in Zukunft passieren könnte. Dabei gibt außerdem die präskriptive Instandhaltung Informationen zu möglichen Maßnahmen zur Verhinderung von Ausfällen an<sup>3</sup>. Eine fortgeschrittene Instandhaltungsstufe wird bevorzugt, da diese die größte Menge an Informationen und Empfehlungen an Maßnahmen zur Verfügung stellt. Um die Instandhaltungsstufe eines Unternehmens zu verbessern, muss zunächst die aktuelle Stufe berechnet werden. Mit dem Reifegradmodell der Instandhaltung kann genau diese Berechnung der Instandhaltungsstufe geschehen. Danach können Maßnahmen ergriffen werden, um die nächsthöhere Stufe der Instandhaltung zu erreichen und somit das eigene Unternehmen zu stärken<sup>4</sup>. Das Ziel hierbei ist es die höchste Stufe der Instandhaltung, die präskriptive Instandhaltung, zu erreichen.

<sup>2</sup> vgl. *Reichel/Müller/Haeffs*, Betriebliche Instandhaltung<sup>2</sup>. Auflage (VDI-Buch 2018) V ff.

<sup>3</sup> vgl. *OV*, Manufacturing Data Analytics, Industry Study 2016, General Report, 10.

<sup>4</sup> vgl. *Tanja Nemeth*, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken.

## 1.2 Problemstellung

In dieser Arbeit soll ein Tool zur Berechnung des wissensbasierten Instandhaltungsreifegrades entwickelt werden. Dieser reicht, wie oben schon erwähnt, von Stufe eins, am wenigstens entwickelt, bis Stufe vier, am meisten vorangeschritten. Der\*Die Benutzer\*in des Tools soll die Möglichkeit haben, mit dem Tool zu interagieren, verschiedene Werte einzugeben und somit unterschiedliche Ergebnisse zu erhalten. Außerdem sollen die Ergebnisse optisch ansprechend in Form von Diagrammen aufbereitet werden. Des Weiteren soll das Tool an sich visuell ansprechend und die Verwendung einfach und intuitiv sein. Die Herausforderung dieser Aufgabe liegt in der Wahl einer passenden Programmiersprache für das Berechnungstool. Die Fragen nach der größtmöglichen Abdeckung an möglichen Benutzer\*innen sowie die passende Handhabung der Inhalte sollen hier erläutert und gelöst werden.

## 1.3 Lösungsansatz

Um die Aufgabe richtig einschätzen und das Tool entsprechend umsetzen zu können, muss zunächst die Reifegradberechnung der Instandhaltung unter die Lupe genommen werden. Hierbei werden die Anforderungen an das Tool herauskristallisiert und ein Pflichtenheft kann erstellt werden. Sobald das Pflichtenheft final formuliert wurde, kann mit der Recherche zu verschiedensten Programmiersprachen begonnen werden. Für diesen Schritt sollen mehrere Aspekte in Betracht gezogen werden. Die Erfüllung aller Anforderungen an das Tool sollte relativ einfach mit einer einzigen Programmiersprache umgesetzt werden können. Um das Tool optisch ansprechend zu gestalten, sollen auch User-Interface-Elemente aus der Sicht eines\*r Designers\*in betrachtet und gestaltet werden. Der allgemeine Prozess einer Softwareentwicklung soll während des gesamten Entwicklungszyklus des Berechnungstools gewahrt und umgesetzt werden. Letztendlich, nachdem das Tool fertiggestellt und auf Funktion sowie Optik und Design getestet wurde, kann die Arbeit abgeschlossen werden.

## 1.4 Aufbau und Struktur der Arbeit

Diese Arbeit beginnt mit einer Einleitung in das Themengebiet Instandhaltung und seine aktuelle Rolle in Industrieunternehmen. Der Aspekt Softwareentwicklung und die Umsetzung von modernen Softwareprojekten wird als zweiter Teil der näheren Betrachtung der Themengebiete vorgestellt. In weiterer Folge wird die Reifegradberechnung der Instandhaltung näher erläutert. Daraus folgende Anforderungen an das Tool werden definiert und festgehalten. Eine Recherche zu aktuellen Programmiersprachen soll die Wahl einer geeigneten Entwicklungssprache deutlich machen. Anschließend wird die finale Umsetzung des Tools erläutert. Anhand

von Abbildungen bzw. Bildschirmaufnahmen des fertigen Tools werden die Funktionen gezeigt und die Erklärung zu einzelnen Bereichen festgehalten.

## 2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel wird eine allgemeine Übersicht der Instandhaltung und der damit verbundenen Aufgaben vorgestellt. Außerdem wird ein kurzer Einblick in die moderne Softwareentwicklung und den damit verbundenen Methoden gegeben.

### 2.1 Instandhaltung

Instandhaltung hat sich zur Aufgabe gemacht, die Produktion eines Unternehmens fortlaufend zu gewährleisten. Sie wird als „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus eines Objekts, die dem Erhalt oder der Wiederherstellung seines funktionsfähigen Zustands dient, sodass es die geforderte Funktion erfüllen kann“<sup>5</sup> oder kürzer als „Erhaltung der Funktion und der Leistungsfähigkeit einer Maschine bzw. Anlage“<sup>6</sup> definiert. Der Lebenszyklus wird dabei als die „Anzahl von Phasen, die ein Objekt durchläuft, beginnend mit der Konzeption und endend mit der Entsorgung“, bezeichnet, wobei ein Objekt als ein „Teil, Bauelement, Gerät, Teilsystem, Funktionseinheit, Betriebsmittel oder System, das/die für sich allein beschrieben und betrachtet werden kann“ aufgeführt wird<sup>7</sup>. In der Norm DIN EN 13306 werden folgende Instandhaltungsziele, die für jedes Unternehmen gezielt ausgelegt werden sollen, gesetzt<sup>8</sup>:

- die Sicherung der Verfügbarkeit des Objekts in der geforderten Funktion zu den günstigsten Kosten
- die Beachtung der mit dem Objekt einhergehenden Sicherheits-, personellen, Umwelt- und aller anderen obligatorischen Anforderungen
- die Beachtung aller Einflüsse auf die Umwelt
- die Aufrechterhaltung der Haltbarkeit des Objekts und/oder der Qualität der gelieferten Produkte oder der erhaltenen Dienstleistung unter Beachtung der Kosten

Mit immer wiederkehrenden Änderungen in der Instandhaltung aufgrund des Fortschrittes im Laufe der Zeit wird die klassische Instandsetzung von Anlagen nicht mehr als einzige Aufgabe der Instandhaltung gesehen. Die Verbesserung der Anlagen, vor allem die Optimierung der Lebenszykluskosten, sind Teil der modernen Instandhaltungsaufgaben. Außerdem soll „zwischen den Kosten der vorbeugenden Instandhaltung und den Kosten von Maschinenausfällen mit Hilfe einer geeigneten Strategie ein Optimum gefunden werden“<sup>9</sup>. Es hat sich außerdem gezeigt, dass die

<sup>5</sup> OV, DIN EN 13306, 12.

<sup>6</sup> Matyas, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 27.

<sup>7</sup> OV, DIN EN 31051, 7, 12.

<sup>8</sup> OV, DIN EN 13306, 10.

<sup>9</sup> Matyas, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 32.

reaktive Instandhaltung höhere Kosten verursacht als präventiv Maßnahmen zu setzen. Reaktive Instandhaltung wird als Reaktion auf einen Ausfall einer Anlagenkomponente oder des Erreichens einer Schadensgrenze verstanden<sup>10</sup>. Somit ist das Ziel eines Unternehmens, eine fortgeschrittene Form von Instandhaltung zu nutzen und für präventive Maßnahmen zu sorgen. Präskriptive Instandhaltung, siehe Abbildung 4, ist die am meisten fortgeschrittene Form der Instandhaltung, da sie versucht, bereits verdeckte Störungen zu erkennen und vorzeitig zu beheben, bevor sie zu einem Ausfall der Anlage führen<sup>11</sup>. Sie kann mittels Auswertung großer Datenmengen sehr genaue Empfehlungen für zukünftige Maßnahmen geben und sollte zum Ziel jedes Unternehmens gehören. Eine Studie aus dem Jahr 2017 belegt, dass mittels neuer Technologien und Innovationen die Investments der (prädiktiven) Instandhaltung einem jährlichen Wachstum von 39 Prozent im Zeitraum von 2016 bis 2022 unterliegen werden<sup>12</sup>. Instandhaltung ist ein Bereich, der ein großes Weiterentwicklungspotential hat und für Unternehmen eine erheblich Kostenersparnis bedeuten kann.

### 2.1.1 Fehler und Ausfälle in Anlagen

Eine der Hauptaufgaben der Instandhaltung ist es, die Ausfallrate von Anlagen bestmöglich zu minimieren. Unter anderem wird das Ausfallverhalten einer Anlage neben der reinen Instandhaltung, wie z.B. durch Ressourcenplanung oder Make-or-Buy-Entscheidungen, durch verschiedene Faktoren beeinflusst. Die Konstruktion der Anlage bzw. der Maschinen, verbunden mit möglichen Fehlern im Pflichtenheft oder Entwurf, sind Teil dieser Faktoren. Schlecht strukturierte Flusssysteme, die zum Umfeld der Maschine zählen, dürfen bei der ganzheitlichen Betrachtung nicht außer Acht gelassen werden. Ein weiterer Faktor ist das Management, das mögliche falsche Arbeitsmethoden einführt und den Anlagenarbeiter\*innen ungenügend Motivation und Vorbildwirkung zur Verfügung stellt. Die notwendige Qualifikation des Bedienpersonals gehört zu einem weiteren Faktor, der sich auf die Ausfallrate niederschlägt. Mögliche Fehlbedienungen, schlechte Wartung und Pflege sowie Unordnung am Arbeitsplatz, können Ausfälle von Anlagen begünstigen<sup>13</sup>. Neben diesen organisatorischen Faktoren haben auch Prozesse innerhalb der Anlagen ihren Einfluss auf Anlagenausfälle. Aufgrund der chemischen oder physikalischen Natur von Vorgängen in Industrieanlagen, werden Anlagenteile dieser Prozesse übermäßig stark abgenutzt. Um diese Abnutzung rechtzeitig aufzufangen und keinen Ausfall oder Fehler der gesamten Anlage oder der Teilprozesse zu riskieren, ist die Instandhaltung in der Rolle, klar definierte und punktgenaue Maßnahmen zum richtigen Zeitpunkt zu setzen.

<sup>10</sup> vgl. *Schenk*, Instandhaltung technischer Systeme: Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs (2010) 27.

<sup>11</sup> vgl. *Schenk*, Instandhaltung technischer Systeme: Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs (2010) 27, 31.

<sup>12</sup> vgl. *Matyas*, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 299.

<sup>13</sup> vgl. *Strunz*, Instandhaltung (2012) 625.

Die Norm DIN EN 31051 definiert einen klaren Unterschied zwischen Fehler und Ausfall. Ein Ausfall ist der „Verlust der Fähigkeit eines Objekts, eine geforderte Funktion zu erfüllen“, wohingegen ein Fehler als „Zustand eines Objekts, in dem es unfähig ist, eine geforderte Funktion zu erfüllen“ definiert wird<sup>14</sup>. Hierbei wird die Unfähigkeit während einer präventiven Instandhaltungsmaßnahme oder anderer geplanter Maßnahmen ausgenommen. In Abbildung 1 wird eine mögliche Abbaukurve eines Abnutzungsvorrates in Abhängigkeit von Zeit gezeigt. Hierbei gilt zu beachten, dass es sich bei Punkt 1 um den Ausgangszustand direkt nach der Herstellung handelt. Punkt 2 zeigt den Ausgangszustand nach einer Instandsetzung. Wenn bei Punkt 3 der Abnutzungsgrenze keine Instandsetzungsmaßnahmen erfolgen, kommt es bei Punkt 4 zu einem Ausfall. Um einen Ausfall zu verhindern, werden alle vier Kategorien der Instandhaltung, die Inspektion, die Wartung, die Verbesserung und die Instandsetzung, durchlaufen.

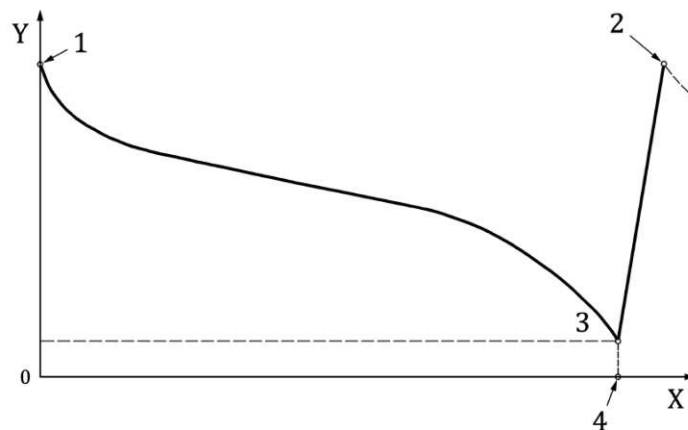


Abbildung 1: Beispiel eines möglichen Verlaufs einer Abnutzungskurve<sup>15</sup>

X...Zeit

Y...Abnutzungsvorrat

Bei der Wartung werden Maßnahmen gesetzt, um den Abbau des vorhandenen Abnutzungsvorrates zu verzögern. Dazu gehören die Auftragsdokumentation und Analyse des Auftrages, die Erstellung eines Wartungsplanes sowie die Vorbereitung der Durchführung. Vor der eigentlichen Durchführung müssen noch Vorwegmaßnahmen wie Schutz- und Sicherheitseinrichtungen sowie Arbeitsplatzausrüstung vorbereitet und überprüft werden. Nach der Durchführung wird bei einer kompletten Wartung im Anschluss die Funktion geprüft und an die geeignete Stelle rückgemeldet. Die Inspektion wird als „Prüfung auf Konformität der maßgeblichen Merkmale eines Objekts, durch Messung, Beobachtung oder

<sup>14</sup> OV, DIN EN 31051, 9–10.

<sup>15</sup> OV, DIN EN 31051, 8.

Funktionsprüfung“<sup>16</sup> definiert. Ihr werden ähnliche Aufgaben wie der Wartung, mit der Ausnahme der Bewertung des Ist-Zustandes, zugeschrieben. Zur Beschreibung des Ist-Zustandes zählen die quantitative Ermittlung bestimmter Merkmalswerte und die Vorlage und Auswertung der ermittelten Ist-Zustände. Der Zustand der Anlage sollte unter „konstanten Betriebs- und Umweltbedingungen“ und unter „Beibehaltung von Maßstäben und Toleranzen in denselben Dimensionen wie der Ausgangszustand“ aufgenommen werden<sup>17</sup>. Nur so kann ein direkter Vergleich zwischen Ausgangs- und Ist-Zustand erfolgen. Letztendlich werden auch die Ergebnisse der gesamten Inspektion ermittelt. Aufgrund dessen wird eine Planung unter Betrachtung alternativer Lösungen, unter Berücksichtigung inner- und außerbetrieblicher Forderungen, aufgestellt. Danach kann über gezielte Maßnahmen entschieden werden. Die Instandsetzung gilt als eine physische Maßnahme, die zur Wiederherstellung der Funktion eines fehlerhaften Objekts, durchgeführt wird. Ähnlich zu Wartung und Inspektion werden die Schritte Auftrag, Vorbereitung und Überprüfung der Vorwegmaßnahmen sowie die eigentliche Durchführung durchlaufen. Im Anschluss daran wird die Funktion der zu überprüfenden Anlage oder Anlagenteile kontrolliert. Nach der anschließenden Fertigmeldung folgt die Auswertung einschließlich erforderlicher Dokumentation und Kostenaufschreibung. Das Ergebnis wird dem\*r Ansprechpartner\*in kommuniziert und mögliche Verbesserungen diskutiert. Als letzter Punkt der Instandhaltung wird die Verbesserung aufgeführt. Sie ist die „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements zur Steigerung der immanenten Zuverlässigkeit und/oder Instandhaltbarkeit und/oder Sicherheit eines Objekts, ohne seine ursprüngliche Funktion zu ändern“<sup>18</sup>. Verbesserungen können außerdem zur Vermeidung von inadäquater Verwendung im Betrieb eingesetzt werden<sup>19</sup>. Zur Instandhaltung zählt nur der Teil der Verbesserung, der sich mit der Erhöhung der Funktionssicherheit auseinandersetzt. Eine Funktionsänderung der Anlage oder der Teilprozesse wird nicht zu Instandhaltungsaufgaben gezählt<sup>20</sup>. In Abbildung 2 wird gezeigt, welche Bedeutung der Instandhaltung im Jahr 2015 beigemessen wurde. In Aussicht auf die Zukunft waren sich jedoch alle Befragten einig. Die Bedeutung der Instandhaltung wird ab dem Jahr 2015 von gering auf hoch anwachsen.

<sup>16</sup> OV, DIN EN 31051, 5.

<sup>17</sup> Matyas, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 35.

<sup>18</sup> OV, DIN EN 31051, 6.

<sup>19</sup> vgl. OV, DIN EN 31051, 5–8.

<sup>20</sup> vgl. Matyas, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 35–37.

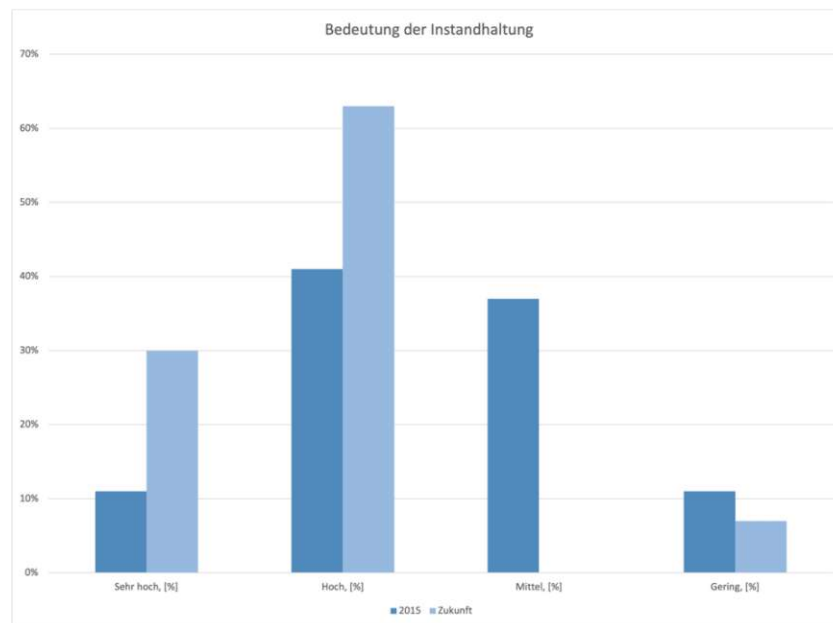


Abbildung 2: Bedeutung der Instandhaltung<sup>21</sup>

### 2.1.2 Asset Management in der Instandhaltung

Aufgrund der Entwicklungen der letzten Jahrzehnte bis hin zur Industrie 4.0, wo Elektronik und Informationstechnologien, wie z.B. vernetzte Systeme, ihren Eingang gefunden haben, entwickeln sich auch die Aufgaben der Instandhaltung weiter. Im Fokus der Instandhaltung liegen die investierten Kosten bzw. die noch in Zukunft anfallenden Kosten eines Unternehmens sowie die Nachhaltigkeit. Die Instandhaltung wird nicht mehr nur als Kostenfaktor betrachtet, sondern ist viel mehr Teil des gesamten Lebenszyklus geworden und wird als wichtiger Wettbewerbsfaktor gesehen<sup>22</sup>. Das Motto von Instandhaltung hat sich von „Welche Kosten verursacht die Instandhaltung“ zu „Welche Kosten verhindert die Instandhaltung“ gewandelt<sup>23</sup>. Das Asset Management spielt hierbei eine wichtige Rolle. Es beschäftigt sich mit dem ganzheitlichen Lebenszyklus von Anlagen und bezieht den Kostenaspekt mit ein. Außerdem übersetzt das Asset Management mit Hilfe von risikobasierten Ansätzen die Ziele der Organisation in „assetbezogene Entscheidungen, Pläne und Aktivitäten“<sup>24</sup>. Ein Asset wird außerdem als „Element, ein Gegenstand oder eine Einheit, das (der) (die) einen möglichen oder tatsächlichen Wert für eine Organisation besitzt“ in der Norm DIN ISO 55000 definiert<sup>25</sup>. Asset Management kann in verschiedenen Bereichen seinen sichtbaren Nutzen entfalten. Zum Beispiel wird hier die verbesserte wirtschaftliche Performance, kontrollierter Umgang mit Risiken,

<sup>21</sup> vgl. *Reichel/Müller/Haeffs*, Betriebliche Instandhaltung<sup>2. Auflage</sup> (VDI-Buch 2018) 351.

<sup>22</sup> vgl. *Reichel/Müller/Haeffs*, Betriebliche Instandhaltung<sup>2. Auflage</sup> (VDI-Buch 2018) 67.

<sup>23</sup> *Matyas*, Instandhaltungslogistik<sup>7.</sup> (2018) 28.

<sup>24</sup> OV, DIN ISO 55000:2017-05, Asset Management\_- Übersicht, Leitlinien und Begriffe (ISO\_55000:2014); Text Deutsch und Englisch, 11.

<sup>25</sup> OV, DIN ISO 55000:2017-05, Asset Management\_- Übersicht, Leitlinien und Begriffe (ISO\_55000:2014); Text Deutsch und Englisch, 12.

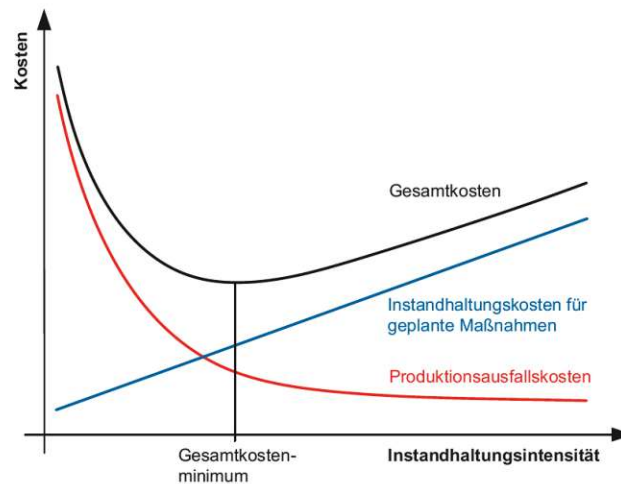


verbesserte Erträge, sowie eine erhöhte Reputation genannt<sup>26</sup>. Verschiedene Strategien, wie z.B. Produkt-, Produktions- und Anlagenstrategie sowie auch Errichtung, Produktions- und Instandhaltungsphase und nicht zuletzt der Rückbau, gehören zu den Interessensgebieten des Asset Management. Bei der ganzheitlichen Betrachtung der Anlage können durch geschickte Planung mehrere Hunderttausend Euro gespart werden. Die Gegenüberstellung zweier Anlagen, wobei eine davon instandhaltungs- und rückbaufreundlich errichtet wurde, zeigt, dass die Investitionskosten der instandhaltungsfreundlichen Anlage zwar deutlich höher ausfallen, sich jedoch die Investition nach ca. sechs Jahren bereits rechnet und mit geringeren Gesamtkosten ab dem sechsten Jahr zu rechnen ist<sup>27</sup>. Bei instandhaltungsfreundlichen Anlagen wird neben dem schonenden Umgang der Anlagen für Ressourceneffizienz auch die Verfügbarkeitsoptimierung, die Overall Equipment Effectiveness (OEE), einbezogen. Es gilt eine ausgewogene Balance zwischen Planmaßnahmen und Instandhaltungsintervallen zu finden. Laut Abbildung 3 bedeutet diese Balance ein Gesamtkostenminimum, das es zu erreichen gilt. In der Praxis ist meist nur ein Punkt der Summenkurve, nämlich die Instandhaltungskosten, bekannt. Ob das Kostenminimum bereits erzielt wurde, oder ob es noch weitere Maßnahmen zur Senkung dieser Kosten gibt, ist unbekannt, da zu wenig Informationen vorhanden sind. Die experimentelle Ermittlung der abgebildeten Kurven scheiterte in der Vergangenheit. Die gezeigten Summenkurven, die die Kosten der Instandhaltung darstellen, sind sehr von unternehmensspezifischen Prozessen und dessen Aufbau abhängig und müssen somit für jedes Unternehmen einzeln ermittelt werden. Eine Lösung für die Ermittlung der Kurven ist die Sammlung von Daten über einen langfristigen Zeitraum, um anschließend aus entsprechenden Auswertungen passende Schlüsse zu ziehen. Um eine erfolgreiche Interpretation zu gewährleisten, müssen mindestens über ein bis zwei Jahre Daten einer Anlage gesammelt werden<sup>28</sup>.

<sup>26</sup> OV, DIN ISO 55000:2017-05, Asset Management\_- Übersicht, Leitlinien und Begriffe (ISO\_55000:2014); Text Deutsch und Englisch, 12.

<sup>27</sup> vgl. *Reichel/Müller/Haeffs*, Betriebliche Instandhaltung<sup>2</sup>. Auflage (VDI-Buch 2018) 37.

<sup>28</sup> vgl. *Matyas*, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 48.



**Abbildung 3: Kostenverläufe abhängig von Instandhaltungsintensität<sup>29</sup>**

Um dem Ansatz der Sammlung von Daten nachzukommen, können durch die Implementierung neuer Technologien in Anlagen immer mehr Daten gesammelt und in weiterer Folge ausgewertet werden. Dieser Digitalisierungsschritt benötigt die Umrüstung von bestehenden Anlagen, jedoch ist dies notwendig, um dem Trend der „smarten“ Anlagenkomponenten nachzugehen. Für den Schritt in die Digitalisierung der Anlagenprozesse werden Expert\*innen benötigt, die die Anlage gut kennen. Um auch für die Sicherheit der Prozesse beim Umstieg zur Digitalisierung zu sorgen, sollte die IT-Sicherheit nicht vernachlässigt werden. Die große Menge an Daten muss gesteuert und gesichert weitergegeben werden, um nicht durch schnell durchdringbare Firewalls bzw. ein Leck in falsche Hände zu geraten. Digitalisierung äußert sich auch in der Aufrüstung zu integrierten Assistenzsystemen in der Anlage. Hierbei können Instandhaltungstechniker\*innen Technologien wie Datenbrillen, Smartphones mit Sensorik oder auch RFID-Hilfsmittel (Radio-Frequency-Identification-Hilfsmittel) als Instrument für die Bewältigung ihrer Aufgaben benutzen<sup>30</sup>. Instandhaltung ist heutzutage gefordert, viele Einflüsse, wie z.B. die Datenverfügbarkeit, Lagerkapazitäten sowie verändernde Gesetze im Anlagenstandort miteinzubeziehen. Mit Hilfe des Projekts SIDAP (Skalierbares Integrationskonzept zur Datenaggregation, -analyse, -aufbereitung von großen Datenmengen in Produktionsprozessen) wird das Sammeln und Auswerten großer Datenmengen (Big Data) von Produktionsanlagen und -prozessen in den Mittelpunkt gestellt. Aufgrund der Analyse von grenzüberschreitenden Prozessen, wobei Anlagenteile und Einsatzparameter gesammelt und ausgewertet werden, sollen hierbei unbekannte Zusammenhänge identifiziert werden. Diese können nur aufgrund von großen Datenmengen erkannt werden. Das Ziel hierbei ist die Verbesserung der OEE und Produktqualität, Erhöhung der Anlagenleistung und Steigerung der Anlagenverfügbarkeit<sup>31</sup>.

<sup>29</sup> Matyas, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 48.

<sup>30</sup> vgl. Reichel/Müller/Haeffs, Betriebliche Instandhaltung<sup>2</sup>. Auflage (VDI-Buch 2018) XIX.

<sup>31</sup> vgl. Reichel/Müller/Haeffs, Betriebliche Instandhaltung<sup>2</sup>. Auflage (VDI-Buch 2018) 39–43.

### 2.1.3 Instandhaltungsstrategien und die damit verbundene Qualifikation der Mitarbeiter\*innen

Die Strategien in der Instandhaltung bewegen sich heutzutage zwischen reaktiven, präventiven und zustandsorientierten Maßnahmen. Bei der Umsetzung von reaktiven Maßnahmen werden Folgeschäden in Kauf genommen, wobei hingegen bei der präventiven Instandhaltung der Fokus auf der Werterhaltung und dem rechtzeitigen Austauschen von verschleißanfälligen Teilen liegt. Beide Ansätze haben in der modernen Instandhaltung immer noch ihren Platz und ihre Grenzen werden immer fließender<sup>32</sup>. Instandhaltung kann außerdem, wie bereits erwähnt, in vier Reifegradstufen geteilt werden. Abbildung 4 zeigt diese vier Stufen verbunden mit ihren Zielsetzungen. Es gilt zu beachten, dass gerade die ausgereifteste und komplexeste Instandhaltung, die präskriptive Instandhaltung, von anspruchsvollen Datenanalyse-Methoden und damit auch großen Datenmengen mit hoher Datenqualität abhängig ist. Hingegen deskriptive Instandhaltung erst mit der Sammlung der Daten beginnt und das Ziel der Bereitstellung von Informationen besitzt. Diagnostische und prädiktive Instandhaltung bewegen sich zwischen den beiden bereits erwähnten Reifegraden und setzen sich zum Ziel, tiefere Einblicke in frühere Instandhaltungstätigkeiten zu geben und zusätzlich daraus folgende Prognosen für zukünftige Events abzuleiten.

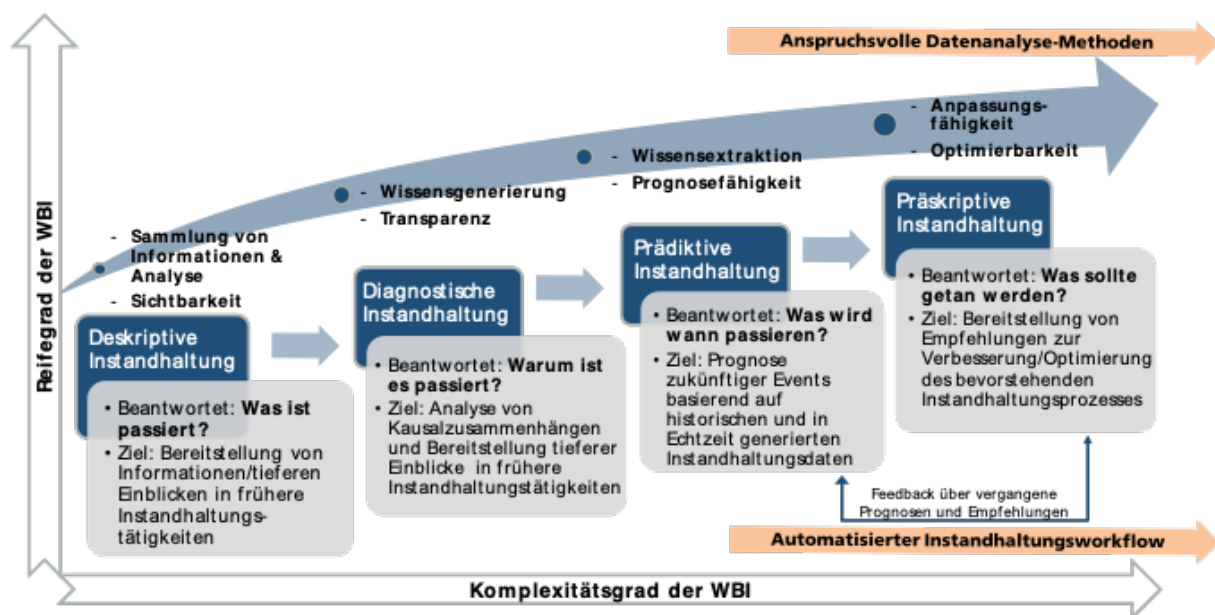


Abbildung 4: Reifegrade der wissensbasierten Instandhaltung<sup>33</sup>

In Abbildung 5 werden die Wechselbeziehungen der Grundstrategien der Instandhaltung gezeigt. Neben den bereits erwähnten Kosten und Produktqualität, spielt bei der Instandhaltung die Qualifikation der Mitarbeiter eine wesentliche Rolle.

<sup>32</sup> vgl. Reichel/Müller/Haeffs, Betriebliche Instandhaltung<sup>2</sup>. Auflage (VDI-Buch 2018) 170.

<sup>33</sup> vgl. Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 24.

Grundsätzlich werden vier Kompetenzgruppen einer Instandhaltungsfachkraft vorausgesetzt<sup>34</sup>:

- Fachkompetenz
- Methodenkompetenz
- Soziale Kompetenz
- Persönliche Eigenschaften

Hierbei muss jedoch erwähnt werden, dass die Kompetenzen noch nicht an die fortschreitende Digitalisierung in der Instandhaltung angepasst wurden. Allgemein gilt zu sagen, dass sich erfolgreiche Instandhaltung mit den Eigenschaften der Produktionsanlagen, den Kenntnissen des Personals sowie der Kompetenzverteilung zwischen dem Instandhaltungs- und Produktionspersonals beschäftigen muss<sup>35</sup>.

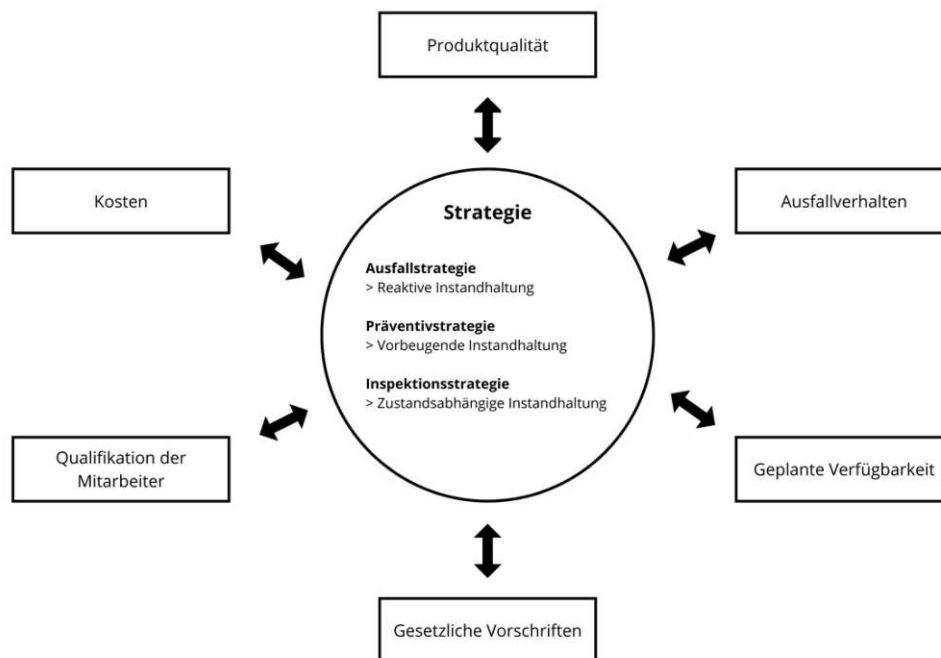


Abbildung 5: Instandhaltungsstrategien mit ihren Wechselbeziehungen<sup>36,37</sup>

Industrie 4.0 hat nicht nur Einfluss auf die Mensch-Maschine-Kommunikation, sondern hat auch „weitreichende Folgen für das Zusammenspiel zwischen Mensch und Technik“<sup>38</sup>. Im Gegensatz zur Industrie der 80er Jahre, die menschenleere Produktionsanlagen angestrebt hat, forciert Industrie 4.0 den Einsatz des Menschen mit seinen eigenen Fähigkeiten. Er soll außerdem als „Überwacher der Produktionsstrategie“ fungieren und die letzte Entscheidungsinstanz im Prozess

<sup>34</sup> vgl. Reichel/Müller/Haeffs, Betriebliche Instandhaltung<sup>2. Auflage</sup> (VDI-Buch 2018) 170.

<sup>35</sup> Matyas, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 63.

<sup>36</sup> vgl. Reichel/Müller/Haeffs, Betriebliche Instandhaltung<sup>2. Auflage</sup> (VDI-Buch 2018) 138.

<sup>37</sup> OV, Pfeil Abbildung, 27.06.2021.

<sup>38</sup> Bauernhansl/Hompel, ten/Vogel-Heuser, Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik (2014) 525.

darstellen<sup>39</sup>. Somit lässt sich zusammenfassen, dass der Mensch weiterhin eine wichtige Rolle im Instandhaltungs- und generell im Produktionsprozess einnimmt. Er soll als zuverlässige\*r Systemüberwacher\*in fungieren und so die Instandhaltung sowie die damit verbundenen Maßnahmen mit dem notwendigen Knowhow überwachen. In Industrie 4.0 sollen qualifizierte Mitarbeiter\*innen ihre Erfahrungen und Kompetenzen für die Änderungen und Verbesserung der Prozesse einbringen können. Es wird versucht sich vom „Taylorismus 4.0, einer Neuauflage der alten Spaltung zwischen Kopf- und Handarbeit“<sup>40</sup> zu trennen und neue Wege zu gehen. Mitarbeiter\*innen sollen für die neuen Herausforderungen die notwendigen Qualifikationen erhalten und andererseits sollen die Assistenzsysteme lernförderlich aufgebaut werden<sup>41</sup>.

### 2.1.4 Digitalisierung in der Instandhaltung

Die klassische Instandhaltung kann in folgende vier Kategorien eingeteilt werden: Wartung, Inspektion, Instandsetzung und Verbesserung<sup>42</sup>. In der modernen Instandhaltung können die oben genannten Kategorien mit Hilfe von digitalen Hilfsmitteln immer weiter verbessert und mit neuen Aufgabengebieten erweitert werden. In Abbildung 6 wird der Wandel in der Instandhaltung seit dem Jahr 1940 veranschaulicht. Zu Beginn wurde die ungeplante Instandhaltung mit ihren reaktiven Maßnahmen ausgeübt. Mit der Zeit und der Entwicklung elektronischer Hilfsmittel wurde in der Mitte der 90er Jahre die geplante Instandhaltung mit dem ersten Einsatz von Computern durchgeführt. Bis zum Ende der 90er Jahre wurden Computer immer schneller und haben mit weiteren Analysen, wie z.B. der Ausfallsursachen und -wirkungen Analyse, die Instandhaltung bereichert. Zu Beginn der 2000er Jahre und dem Fortschritt der Digitalisierung kamen immer mehr Analysen im Bereich der Zuverlässigkeit sowie vorausschauenden Instandhaltung zum Einsatz und konnten hier Entscheidungen im Bereich Risiken sowie die Strategieauswahl unterstützen. Aufgrund der geänderten gesetzlichen Rahmenbedingungen, wie z.B. strengere Umweltauflagen und Arbeitssicherheit, hat die moderne Instandhaltung in vierter Generation mit einer Reihe an Auswirkungen zu kämpfen. Anlagen werden zunehmend komplexer und sind somit störanfälliger. Die damit verbundene Instandsetzung muss von qualifizierten Mitarbeiter\*innen durchgeführt werden. Verkettete Anlagen sind kostenintensiver und bei Störfall fallen demnach möglicherweise mehrere Maschinen gleichzeitig aus. Um die hohen Stillstand- und Ausfallkosten möglichst minimal zu halten, versucht die moderne Instandhaltung mit

<sup>39</sup> vgl. *Bauernhansl/Hompel, ten/Vogel-Heuser*, Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik (2014) 526.

<sup>40</sup> *Dr. Kurz*, Industrie 4.0 verändert die Arbeitswelt.

<sup>41</sup> vgl. *Reichel/Müller/Haeffs*, Betriebliche Instandhaltung<sup>2. Auflage</sup> (VDI-Buch 2018) 224–225.

<sup>42</sup> vgl. OV, DIN EN 31051, 12.

digitalen Hilfsmitteln möglichst präzise prädiktive Maßnahmen zu setzen, um rechtzeitig agieren und reagieren zu können<sup>43</sup>.

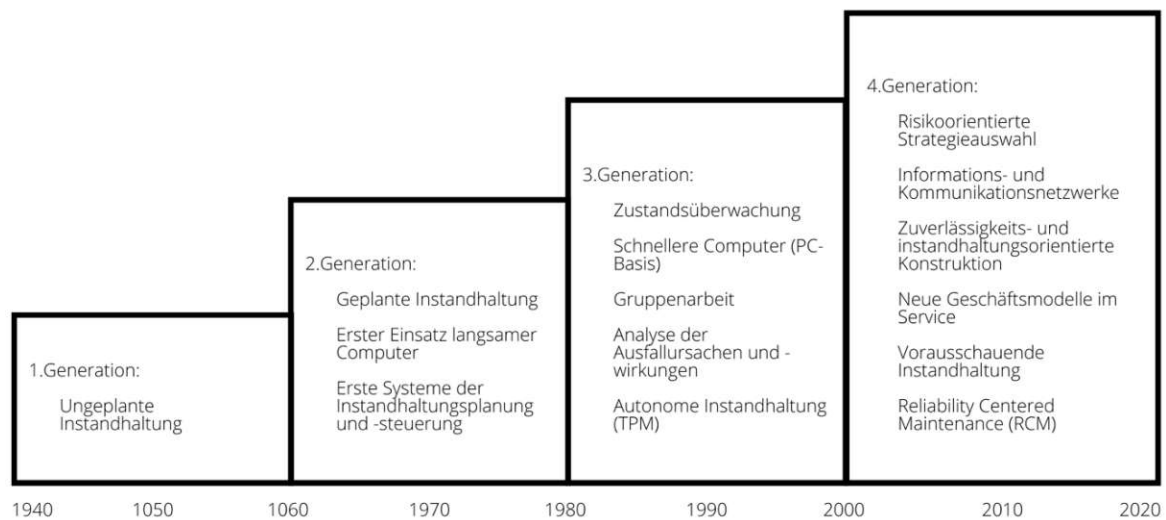


Abbildung 6: Entwicklung der Instandhaltung seit 1940<sup>44</sup>

Mit den Instandhaltungsplanungs- (IHP) und -steuerungssystemen (IHS) – oder zusammengefasst IPS – sollen in modernen Industrieanlagen viele Daten gesammelt werden, die unter anderem für die Sicherstellung der Erhöhung der Anlagenverfügbarkeit sowie der Senkung der Instandhaltungskosten sorgen dürfen. Außerdem richtet IPS das Augenmerk auf die allumfassende Betrachtung der Anlagen<sup>45</sup>. Zur Steuerung mittels dieser beiden Systeme wird eine Vielzahl an Aufgaben und Bereichen gezählt<sup>46</sup>:

- Lager- und Warenwirtschaft
- Objekt-, Personal- und Betriebsmittelmanagement
- Kosten- und Budgetverwaltung, Berichte und Reporting
- Dokumentmanagement
- Projekt- und Einsatzplanung
- Ereignis- und Störfallmanagement

Weitreichende Verbesserungen durch den Einsatz von IPS-Systemen können in den Bereichen Wartung, Inspektion und Instandsetzung sowie Planung erzielt werden. Dabei werden Anlagenstillstände, die durch Störungen hervorgerufen wurden, mittels rechtzeitiger Planung minimiert. Aufgrund von standardisierten Aufgaben im Bereich der Instandhaltung, wie z.B. dem Einsatz von standardisierten Arbeitsplänen sowie Standard-Materialstücklisten, können aufgewendete Zeiten gesenkt werden.

<sup>43</sup> vgl. *Matyas*, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 29–31.

<sup>44</sup> vgl. *Matyas*, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 29.

<sup>45</sup> vgl. *Reichel/Müller/Haeffs*, Betriebliche Instandhaltung<sup>2</sup>. Auflage (VDI-Buch 2018) 207, 208, 211.

<sup>46</sup> *Reichel/Müller/Haeffs*, Betriebliche Instandhaltung<sup>2</sup>. Auflage (VDI-Buch 2018) 212.

Außerdem kann das Controlling effizienter gestaltet werden. Bevor jedoch mit dem Einsatz einer geeigneten Softwarelösung begonnen werden kann, um Verbesserungen zu erzielen, muss zunächst der Ist-Stand erhoben werden. Dabei werden Prozesse mit ihren möglichen Schwachstellen aber auch Stärken aufgedeckt. Die aufgedeckten Schwächen sollten vor der Einführung einer Software behoben werden. Durch die Software würden diese sowieso ans Tageslicht treten und müssten in weiterer Folge trotzdem behoben werden. Bei der Wahl einer geeigneten Softwarelösung wird zwischen isolierten und integrierten Systemen unterschieden. Bei isolierten Systemen kommt es in der Implementierung meist zu Konflikten, da die verwendete Software und eingebaute Hardware oft nicht kompatibel sind. Um dieses System dennoch implementieren zu können, muss ein detailreiches und ganzheitliches Konzept ausgearbeitet werden. Bei integrierten Systemen handelt es sich um „maßgeschneiderte“ Lösungen. Vorteile sind z.B. qualitativ bessere Arbeitsbedingungen, die damit verbundene bessere Akzeptanz durch das Bedienungspersonal und die einheitliche Benutzer\*innenoberfläche. Beim Umgang mit Daten wird die Aktualisierung und Wartung erleichtert sowie die Mehrfacherfassung abgewehrt<sup>47</sup>.

Bereits in den 80er-Jahren wurden die ersten IT-Unterstützungssysteme in Produktionsanlagen verwendet. Seitdem gab es in der Instandhaltung große Veränderungen und bis heute eingesetzte Systeme weisen große Unterschiede untereinander auf<sup>48</sup>. Folgende Integrationslösungen können unterschieden werden<sup>49</sup>:

- Instandhaltungsfunktionalität als Teil eines anderen IT-Systems
- Eigenentwickelte Programme/Datenbanken
- Vollfunktionale Instandhaltungsmodulare als integraler Bestandteil
- Einfache Tabellen-/Text-/Kalkulationsprogramme auf MS-Office-Basis
- Vollfunktionale Instandhaltungssoftware ohne Schnittstellen zu anderen IT-Systemen
- Vollfunktionale Instandhaltungssoftware mit Schnittstellen zu anderen IT-Systemen

Die ersten Umsetzungsversuche und Implementierungen von IT-Unterstützungssystemen scheiterten an einer klaren „Systematik für die Nutzung der Daten“<sup>50</sup> und die dafür abgeleiteten Maßnahmen. Außerdem wurden die technischen Maßnahmen mit den organisatorischen Maßnahmen nicht richtig in Verbindung gebracht und die Implementierung eines IT-Systems scheiterte zunächst. Die Projekte mussten zu Beginn eine genaue Abgrenzung erhalten, um eine breitflächige Streuung

<sup>47</sup> vgl. *Matyas*, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 159–161.

<sup>48</sup> vgl. *Reichel/Müller/Haeffs*, Betriebliche Instandhaltung<sup>2. Auflage</sup> (VDI-Buch 2018) 211.

<sup>49</sup> *Reichel/Müller/Haeffs*, Betriebliche Instandhaltung<sup>2. Auflage</sup> (VDI-Buch 2018) 211.

<sup>50</sup> *Güntner et al*, Bedürfnisse, Anforderungen und Trends in der Instandhaltung 4.0, 2014, 12 (4).

zu verhindern. Eine weitere Herausforderung in der Implementierung von IT-Systemen stellt das Vertrauen der Menschen in Daten dar. Unternehmen geben ungern tiefe Einblicke in ihre Systeme, da sie Wettbewerbsverlust sowie ihren Vorteil gegenüber Konkurrent\*innen in Gefahr sehen. „Spionage und Datenklau“<sup>51</sup> seien auch gefürchtete Themen innerhalb Industrieunternehmen. Noch im Jahr 2014 mussten Maschinenhersteller\*innen für die Sicherheit der gesammelten Daten garantieren. In Zukunft sollen Personen in der Instandhaltung datenbasierte Entscheidungen treffen. Diese sind von den gesammelten Sensordaten sowie Zahlen und Betriebsdaten abhängig. Um dies umsetzen zu können, muss das Vertrauen der Menschen in die Datensammlung, die mit der Digitalisierung der Anlagen einhergeht, steigen. Außerdem ist die Verbindung von systemischen Datenanalysen, dem Vertrauen in das System sowie dem Knowhow und Bildungsgrad der Mitarbeiter\*innen wichtig. Denn mit der breiteren Aufstellung der Aufgaben in der Instandhaltung wachsen auch die Anforderungen an Instandhaltungsmitarbeiter\*innen. Eine gute Mischung aus technischen und wirtschaftlichen Kompetenzen bringen Mechatroniker\*innen mit und sind deshalb für die Aufgabe des\*r modernen Instandhalters\*in beliebt. Ähnliche Ausbildungsarten, die eine Mischung aus verschiedenen technischen und kaufmännischen Kompetenzen bieten, haben einen Vorteil bei diesen immer komplexer werdenden Aufgaben. Laut einer Online-Umfrage für den Artikel „Bedürfnisse, Anforderungen und Trends in der Instandhaltung 4.0“<sup>52</sup> wurde herausgefunden, dass Befragte die Herausforderungen von moderner Instandhaltung im nicht-technischen Bereich sehen. Gerade die „Etablierung neuer Arbeitspraktiken und Prozesse“ sowie die „abteilungsübergreifende Kooperation“ und auch die „Auswahl richtiger Instandhaltungsmethoden“ werden als sehr wichtig angesehen. Laut den Befragten dürfen die technischen Punkte „Auswertung der Daten“ im Zusammenhang mit der „Ableitung sinnvoller Maßnahmen aus gewonnenen Daten“ nicht außer Acht gelassen werden und werden sogar hoch priorisiert. 62 Prozent der Befragten sehen noch Bedarf an Weiterbildungsmöglichkeiten in ihren eigenen Unternehmen und sogar 88 Prozent stufen Aus- und Weiterbildungsmöglichkeiten als sehr wichtig ein<sup>53</sup>. Bereits im Jahr 2014 wurde herausgefunden, dass sich die Art der Instandhaltung fünf Jahre später von reparatorientiert und vorbeugend-präventiv zu zustandsorientiert und vorausschauend wandeln wird. Hierbei soll Condition-Monitoring eingesetzt werden, um so, nach Möglichkeit automatisiert, aus erfassten Daten Handlungsentscheidungen und Informationen zu generieren<sup>54</sup>.

Bereits im Jahr 2018 wurde eine Befragung von Experten zum Thema Smart Maintenance durchgeführt. In Abbildung 7 zeigt sich, dass der größte Stellenwert der prädiktiven und präskriptiven Instandhaltung beigemessen wird. Condition-Monitoring

<sup>51</sup> Güntner et al, 2014, 12 (5).

<sup>52</sup> Güntner et al, 2014, 12.

<sup>53</sup> Güntner et al, 2014, 12 (8–9).

<sup>54</sup> vgl. Güntner et al, 2014, 12 (4–6).



sowie mobile Assistenzsysteme und intelligente Sensoren finden ihren Einsatz in modernen Produktionsanlagen. Prädiktive und präskriptive Instandhaltung hat sich zur Hauptaufgabe gemacht die verbleibende Lebenszeit (Remaining Useful Life, RUL) eines Bauteils zu berechnen und vorherzusagen. Dies reduziert Kosten und minimiert Reparaturintervalle. Dabei werden verifikationsorientierte Methoden, welche eine aufgestellte Hypothese bestätigen oder widerlegen und auch entdeckungsorientierte Methoden, die auf die Erkennung von Mustern, Regeln und Trends in Datenmengen setzen, genutzt. Im Condition-Monitoring werden Sensoren eingesetzt, die direkt auch einen Teil der Datenauswertung übernehmen. So wird die Maschinensteuerung etwas entlastet und der Steuerungsprozess kann beschleunigt werden. Diese Daten werden danach in das Condition-Monitoring-System eingespeist und helfen dabei eine aktive Selbstüberwachung der Maschine zu gewährleisten<sup>55</sup>.

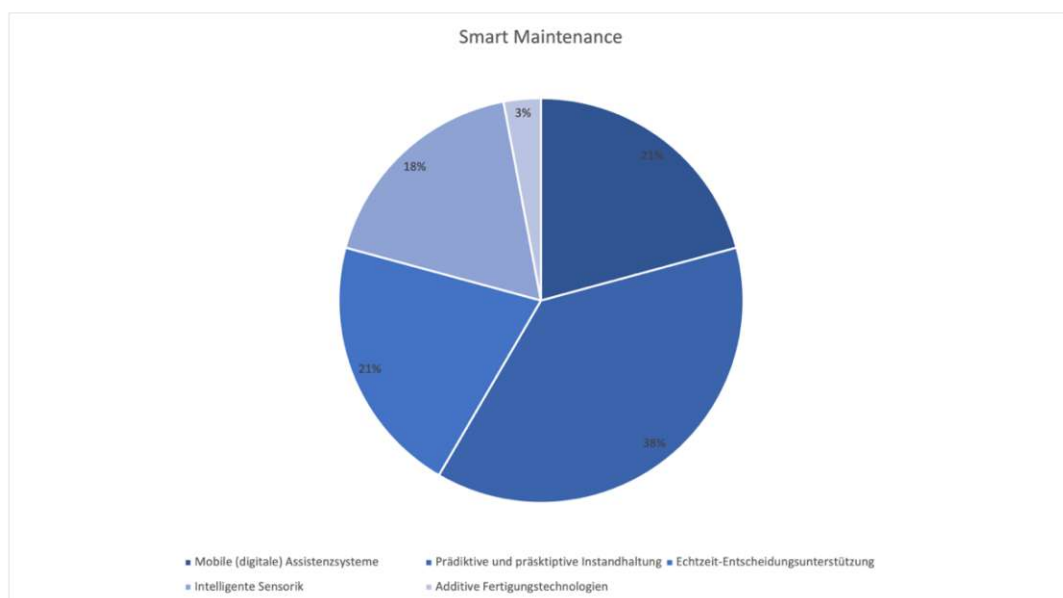


Abbildung 7: Smart Maintenance<sup>56</sup>

### 2.1.5 Datenmengen in der Instandhaltung und ihr Nutzen

Durch den Fortschritt in der Instandhaltung ist es immer herausfordernder die komplexen Aufgaben im Zusammenhang mit modernen Industrieanlagen zu bewältigen und dabei auch den Wettbewerbsvorteil zu erhalten. Es ist wichtig, Daten als eigenen Vorteil nutzen zu können. Daten können auf verschiedenste Weise, z.B. mit Sensoren an Maschinen oder auch durch Data Mining gesammelt werden. Sie unterstützen moderne Anlagen dabei, eine ganzheitliche Instandhaltung zu leben<sup>57</sup>. Mitarbeiter\*innen können den Link zwischen Daten und den physischen Aufgaben im Zusammenhang mit den Anlagen verbinden und sind so im Stande wichtige

<sup>55</sup> vgl. *Matyas*, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 300–301.

<sup>56</sup> vgl. *Matyas*, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 300.

<sup>57</sup> vgl. *Glawar et al*, A Holistic Approach for Quality Oriented Maintenance Planning Supported by Data Mining Methods, *Procedia CIRP* 2016, 259–264 (1).

Entscheidungen zu treffen. Sie können außerdem durch Kund\*innenfeedback und Weitblick Inputs geben und helfen neue Produkte zu entwickeln und diese anschließend auf den Markt zu bringen. Dafür müssen im Unternehmen Daten aktiv gesammelt und verarbeitet werden. Nur aktuelle und gut strukturierte Daten können dem Unternehmen von großem Nutzen sein und bei Entscheidungsfindungen helfen. Eine dezentrale Organisation der Daten soll den Vorteil bringen, dass alle Mitarbeiter\*innen im gesamten Unternehmen Zugriff auf vollständige und aufbereitete Daten haben und so als Mehrwert im Arbeitsalltag gewertet werden können. Für die Gewinnung von strategischen Partner\*innen können Daten auch von großer Bedeutung sein. Hier gilt zu beachten, dass eine Waage zwischen dem Daten schützen, um nicht den Marktvorteil zu verlieren, aber auch dem Einsicht in Daten gewähren, um daraus strategische Partner\*innen zu erhalten, gehalten werden sollte<sup>58</sup>. Um jedoch an große Datenmengen, die geteilt werden können, zu kommen, müssen Anlagen ausgebaut und digitalisiert werden. Dieser Aspekt wird in der sogenannten Smart Factory in Betracht gezogen.

#### Smart Factory und ihre Vorteile für Instandhaltung

Die Smart Factory, in der „intelligente digital anschlussfähige Maschinen und Produkte“<sup>59</sup> miteinander vernetzt sind und aktiv kommunizieren können, bildet einen Hauptpfeiler in moderner Instandhaltung. Durch die immer komplexer werdenden Kommunikationssysteme und den wachsenden Kostendruck auf Unternehmen sowie die Marktvolatilität müssen neue technologische Diagnoseverfahren entwickelt werden. Simulationstools und auch mehrdimensionale Datenanalysen helfen dabei, hoch flexible Produktionsprozesse, die sich stark an Kund\*innenanforderungen und Liefertermine anpassen müssen, und deren Instandhaltung zu gewährleisten<sup>60,61</sup>. Ausfallzeiten im Produktionsprozess sind für Unternehmen heutzutage keine Option mehr. Um dies sicherzustellen, ist es wichtig, zu jeder Zeit einen Einblick in gesammelte Daten zu gewährleisten. Diese können im Anschluss schnell ausgewertet und dementsprechende Maßnahmen eingeleitet werden. Um diese auswertbare Menge an Daten sammeln zu können, müssen erst einmal Smart Objects in Anlagen implementiert werden. Diese sogenannten Smart Objects gewährleisten einen durchgängigen Informationsaustausch zwischen einzelnen Softwaremodulen. Daneben werden außerdem Maschinensensordaten gesammelt und ausgewertet. Diese Informationen können in weiterer Folge für die Auswertung in einem optimalen Wartungsplan genutzt werden. So soll unter Einbezug des aktuellen Maschinenzustandes und der Produktionsplanung, die maximale Leistungsfähigkeit

<sup>58</sup> vgl. OV, Industry 4.0 How to navigate digitization of the manufacturing sector, 43–45.

<sup>59</sup> Reichel/Müller/Haeffs, Betriebliche Instandhaltung<sup>2. Auflage</sup> (VDI-Buch 2018) 350.

<sup>60</sup> vgl. Matyas et al, A procedural approach for realizing prescriptive maintenance planning in manufacturing industries, CIRP Annals 2017, 461–464 (1).

<sup>61</sup> vgl. Glawar et al, An Approach for the Integration of Anticipative Maintenance Strategies within a Production Planning and Control Model, Procedia CIRP 2018, 46–51 (1).

des Produktionssystems ausgenutzt werden<sup>62</sup>. Außerdem können Prozesse und Entscheidungen so beeinflusst werden, dass die Planungssicherheit und Anlagenproduktivität bei geringeren Kosten gesteigert wird<sup>63</sup>.

#### Mobile Assistenzsysteme im Bereich der Datenerfassung

Ein weiterer Weg, Daten zu sammeln, ist der Einsatz von mobilen Systemen verbunden mit Informations- und Kommunikationstechnologien. Am häufigsten in der Instandhaltung eingesetzte mobile Geräte sind Smartphones und Tablets. Der Vorteil von mobilen Geräten liegt in ihrer Handhabung. Die Mitarbeiter\*innen können das Gerät immer bei sich tragen und zu jeder Zeit Daten erfassen. Diese Daten werden dann direkt in die Datenbank geladen oder ans Backend geschickt und können von anderen Personen von anderen Orten aus gelesen und ausgewertet werden. Außerdem können für Smartphones und Tablets maßgeschneiderte Applikationen für den jeweiligen Anwendungsfall eines Unternehmens entwickelt und somit genau an die Anforderungen angepasst werden. Zum Einsatz kommen verschiedene Kommunikationswege, wie z.B. lokale Datenübertragungsnetzwerke, Barcodes, RFID Tags und Sensorik. Mobile Arbeitsgeräte machen es außerdem möglich, dass Mitarbeiter\*innen Aufträge mobil bearbeiten. Ihnen werden die notwendigen Informationen mittels Applikation oder auf anderen Wegen mittels mobilen Geräts zur Verfügung gestellt. Die Informationen werden so punktgenau zum richtigen Zeitpunkt und im richtigen Maß an den\*die Mitarbeiter\*in herangetragen und ermöglichen so effizientes Arbeiten. Dies bedeutet aber auch, dass die Workflows gut aufgeteilt und klar definiert sein müssen. Die eingesetzten Applikationen sollen klar und bediener\*innenfreundlich entwickelt werden. Einige Beispiele für den möglichen Einsatz von mobilen Applikationen für gezielte Workflows sind das Austauschen eines Ventils bei dem\*der Kunden\*in, Wartungsscheck eines Teiles einer kleinen Anlage und dessen Wartung bzw. Behebung einer Störung oder die Dateneingabe einer Produktfertigung. Durch die Erfassung und Auswertung verschiedener gesammelter Daten, z.B. Mängel oder Störungen, können eigene Produkte und Funktionsweisen verbessert werden. Um den Einsatz von mobilen Geräten so effektiv wie möglich zu gestalten, sollten die Bereiche Ergonomie, Robustheit und weitere aus Mitarbeiter\*innenperspektive wichtigen Bereiche, wie Lesbarkeit und Gewicht, ausgewählt werden. Viele Reparatur- oder Wartungsvorgänge komplexer Anlagen benötigen ein hohes Know-How der Mitarbeiter\*innen. Meist sind jedoch Hilfsmittel, die in den Anlagen zur Verfügung stehen, nicht auf dem neuesten Stand der Technik und in manchen Fällen kann Informationsmangel nur durch die Zusammenführung aller Informationen aus den Bereichen des\*der Instandhalters\*in, des\*der Anlagenbedieners\*in und der Dokumentation vergangener Fehler ausgeglichen werden. Es gibt jedoch eine Vielzahl an Möglichkeiten diese Informationen digital zu

<sup>62</sup> vgl. *Reichel/Müller/Haeffs*, Betriebliche Instandhaltung<sup>2. Auflage</sup> (VDI-Buch 2018) 356.

<sup>63</sup> vgl. *Matyas*, Instandhaltungslogistik<sup>7.</sup> (2018) 313.

erfassen und für zukünftige Gegebenheiten zu speichern. Eine Möglichkeit die erfassten Daten den Anlagenmitarbeiter\*innen zur Verfügung zu stellen sind Assistenzsysteme wie Virtual- oder Augmented-Reality Brillen, die diese Informationen bündeln und zum richtigen Zeitpunkt abrufbar machen<sup>64</sup>. Am Markt befinden sich viele unterschiedliche Assistenzsysteme mit unterschiedlichen Reifegraden. Deshalb ist es wichtig sich für die jeweiligen Anforderungen eines Unternehmens ein gewähltes Assistenzsystem zu entscheiden. Nicht passende Assistenzsysteme können sogar zu negativen Effekten, wie z.B. dem Rückgang der Produktivität bei falsch eingesetzten Augmented-Reality Brillen, führen. Zunächst muss demnach der geeignete Anwendungsfall bestimmt, der Ist-Zustand evaluiert und der gewünschte Soll-Zustand festgelegt werden. Mit Hilfe einer morphologischen Einteilung können Anforderungen an das Assistenzsystem evaluiert werden. Hierbei können unter anderem relevante Schnittstellen, technische Gegebenheiten und Kosten definiert werden. Mit dem sich schnell verändernden Markt der digitalen Assistenzsysteme muss im nächsten Schritt eine Markt- und Technologieanalyse durchgeführt werden, um feststellen zu können, welche Auswahl geboten wird. Zur Auswahl stehen „mobile Devices, Head Mounted Displays, Projektorarmbänder, Sensorarmbänder, Smart Contact Lenses, Datenhandschuhe oder Smart Watches“<sup>65</sup>. Um aus der Technologieauswahl die richtige Wahl zu treffen, werden Bewertungskriterien aufgestellt. Hierbei ist es wichtig die Bewertungskriterien in kritische, geforderte und optionale Kriterien zu gliedern und diese zu gewichten. Kosten, gegliedert in Implementierungs-, Lizenz-, sowie Wartungskosten, dürfen bei dieser Frage nicht außer Acht gelassen werden. Nach einer erfolgreichen Analyse und der darauffolgenden Entscheidung für ein Assistenzsystem kann dieses implementiert werden. Der Miteinbezug späterer Anwender\*innen sollte bei der Implementierung des neuen Systems gegeben sein. Dies dient zur Akzeptanz innerhalb des Unternehmens. Außerdem werden Usability Tests abgehalten, die zu einer Anpassung des Systems führen können, um die Anforderungen genau zu treffen. Am Ende darf eine Schulung der Anwender\*innen nicht fehlen, damit auch das implementierte Assistenzsystem richtig angewendet wird<sup>66</sup>.

### Big Data

Bei der Aufnahme der Daten in einer Smart Factory handelt es sich um große Mengen an Daten, dem so genannten Big Data. Heutzutage ist es möglich, Zustandsdaten direkt an der Maschine in Echtzeit zu erfassen und dann an einem Ort abzuspeichern. Diese Daten sind wichtig für ausfallkritische Anlagen und werden an Orten mit einer Vielzahl an Messgrößen eingesetzt. Big-Data-Analytics beschäftigt sich mit der Auswertung der gesammelten Menge an Daten. Hierbei wird auf automatische

<sup>64</sup> Matyas, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 302.

<sup>65</sup> Matyas, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 309.

<sup>66</sup> Matyas, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 307–310.

Auswertung mit Hilfe von Mustererkennung und Statistik gesetzt. Außerdem können Daten in Diagrammen oder Grafiken visualisiert sowie Simulationen erstellt werden. Sie sollen Vorhersagen über den Verschleiß einzelner Teile oder Versagensvorhersagen treffen. Es kann außerdem eine „präzisere Bestimmung der Restnutzungs- und Lebensdauer der Maschinen und Anlagen“ abgeleitet werden<sup>67</sup>. Gesammelte Echtzeitdaten können außerdem bei der Kapazitätsplanung und Produktionsplanung einbezogen werden. Produktionsunterbrechungen sind hierbei bekannt und können so eingeplant werden, dass nur sehr geringe Produktionsverluste stattfinden. Mit dem Wissen der Verschleißvorhersagen können bei nicht vorhandenen Ersatzteilen Maschinen mit einer Produktion, die einen geringen Verschleiß verursacht, betraut werden. Im Gegenteil dazu können andere Maschinen mit Produkten, die eine starke Abnutzung der Maschinenteile fordern, betraut werden. So kann der Inspektionstermin der Maschinen so gelegt werden, dass sich der Wartungsaufwand aufgrund der Synchronisation der Maschinen auf ein Minimum reduziert. Um dies jedoch zu ermöglichen sind schnell reagierende Systeme und Echtzeitdaten von großer Relevanz<sup>68</sup>. Nicht zuletzt gilt zu sagen, dass ein weiteres Anwendungsfeld der Auswertung großer Datenmengen die Schulungs- und Weiterbildungsmaßnahmen der momentanen oder zukünftigen Mitarbeiter\*innen sind<sup>69,70</sup>. Manche Daten jedoch sind nur implizit über das Wissen des\*der Mitarbeiters\*in vorhanden und sollen dennoch in die Auswertung der Daten mit einfließen. Genau hier wird es notwendig, eine geeignete Datenbankstruktur zu entwickeln, die genau diese Informationen aus verschiedenen Datenquellen effizient miteinander verknüpft. Allgemein werden Daten aus vielen verschiedenen Bereichen, wie z.B. Instandhaltungs-Software, Sensor und Condition-Monitoring, Störungsdokumentation und Messergebnisse, gesammelt. Leider erfolgt hierbei die überaus wichtige Verknüpfung mit Datenquellen nicht. Durch die Datenbankstruktur wird genau dies ermöglicht und außerdem dient diese als zentrales „Wissensmanagement mit kontinuierlich verbesserter Informationsqualität für die Ausführung von Instandhaltungsaufträgen“<sup>71</sup>. Mit der Zeit steigt der Informationsgehalt im zentralen Wissensmanagement an und führt somit zu einer Zeitreduktion bei der Vorbereitung von Instandhaltungstätigkeiten beim Personal. Darüber hinaus können im Ersatzteilmanagement automatisierte Bestellungen von benötigten Bauteilen und Komponenten ausgeführt und nachhaltige Lagerstrategien realisiert werden<sup>72</sup>.

<sup>67</sup> Reichel/Müller/Haeffs, Betriebliche Instandhaltung<sup>2. Auflage</sup> (VDI-Buch 2018) 224.

<sup>68</sup> Matyas, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 301–302.

<sup>69</sup> vgl. Reichel/Müller/Haeffs, Betriebliche Instandhaltung<sup>2. Auflage</sup> (VDI-Buch 2018) 216–217.

<sup>70</sup> vgl. Reichel/Müller/Haeffs, Betriebliche Instandhaltung<sup>2. Auflage</sup> (VDI-Buch 2018) 350.

<sup>71</sup> Matyas, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 314.

<sup>72</sup> vgl. Matyas, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 314.

## Wissensgenerierung aus Datenmengen

Wie auch in der Arbeit „Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken“<sup>73</sup> erwähnt, kann aus den gesammelten Daten Wissen für den jeweiligen Anwendungsfall generiert werden. Bereits der Zugang und die Nutzung gesammelter Daten bedeuten einen Mehrwert für den\*die Anwender\*in. Es kann sogar die Wertschöpfung eines Unternehmens erhöhen und verändert zunehmend das Wettbewerbsfeld<sup>74</sup>. Wissen kann außerdem durch geeignete Softwarelösungen unterstützt werden. Hierbei zählen u.a. die Wissenssuche, Wissenszustellung, Wissensvisualisierung und automatische Wissens einbringung zu den Funktionen, die solche Wissensmanagementsysteme abdecken. Hier wird „implizit vorliegendes Wissen in Form expliziter Informationen modelliert und abgelegt“<sup>75</sup>. Das Generieren von Wissen aus Datenmengen kann in vier Schritte eingeteilt werden. Abbildung 8 zeigt den Prozess der Wissensgenerierung aus gesammelten Datenmengen. Zunächst soll im ersten Schritt ein Überblick über die Struktur der vorhandenen Daten verschafft werden, um verschiedene Datenquellentypen zu definieren. In Schritt zwei werden Systemanforderungen definiert, die anschließend eine Auswahl passender Technologie für Datenerhaltung und Datenzugriff mit sich ziehen. Danach folgen im dritten Schritt die Integration der ausgewählten Systeme und die damit verbundene Bereinigung der Daten. Gesammelte Daten müssen zunächst mittels Anreicherung von Zusatzinformationen in Struktur gebracht werden, um in Schritt vier einer Analyse unterzogen zu werden. Die Analyse bleibt hierbei der „Kernprozess der Informations- und Wissensgenerierung aus Daten“<sup>76</sup>. Hierbei werden verschiedene Kombinationen an statistischen Analyseverfahren eingesetzt und die Ergebnisse im Anschluss interpretiert. Daten visualisieren und beschreiben sowie „explorative Ansätze zur Identifikation von Strukturen und Mustern“<sup>77</sup>, gehören zum Hauptprogramm. Danach können Hypothesen und Prognosen auf dessen Basis erstellt werden. Im Anschluss darauf gilt es diese zu bestätigen oder zu widerlegen.

<sup>73</sup> *Tanja Nemeth*, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken.

<sup>74</sup> vgl. *Matyas*, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 321–322.

<sup>75</sup> *Schenk*, Instandhaltung technischer Systeme: Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs (2010) 279.

<sup>76</sup> *Reichel/Müller/Haeffs*, Betriebliche Instandhaltung<sup>2. Auflage</sup> (VDI-Buch 2018) 363.

<sup>77</sup> *Reichel/Müller/Haeffs*, Betriebliche Instandhaltung<sup>2. Auflage</sup> (VDI-Buch 2018) 364.

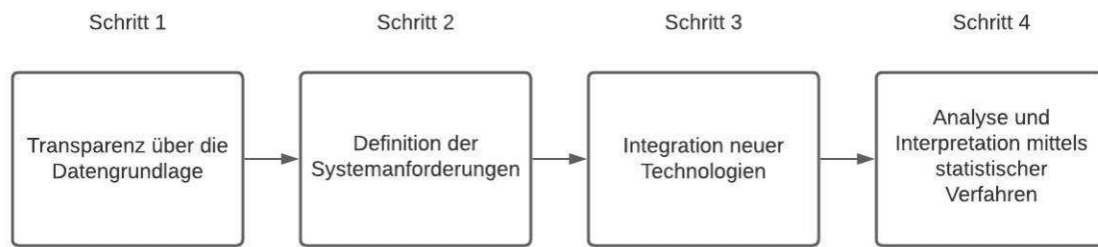


Abbildung 8: Wissensgenerierung auf Datenbasis<sup>78</sup>

Die moderne Instandhaltung und die damit verbundene Datenanalyse wird im Buch „Betriebliche Instandhaltung“<sup>79</sup> in drei Gruppen eingeteilt. Die Bezeichnungen der Gruppen unterscheidet sich kaum von der Einteilung der Reifegrade der Instandhaltung. Die beschreibende Analyse, die am wenigsten fortgeschrittene Analyse, beantwortet die Frage, was in der Vergangenheit passiert ist und welche Maßnahmen daraus abgeleitet werden können. Dabei steht die Gewinnung von Information und der Beschreibung von gesammelten Daten im Vordergrund. Aufgrund dessen können visuell unterstützte Analysen mit Hilfe von Diagrammen, Tabellen und Grafiken sowie die Berechnung von Kennzahlen erstellt werden. Als zweitfortgeschrittene Analyse wird die prädiktive Analyse genannt. Hierbei steht die „Vorhersage über die Entwicklung von Kennzahlen auf Basis historischer Daten und Trends unter Zuhilfenahme von Algorithmen“<sup>80</sup> im Mittelpunkt. Die Frage nach in der Zukunft möglichen Szenarien wird beantwortet. Als reifste Analyse wird die präskriptive Analyse vorgestellt. Bei dieser werden Simulationen und Modelle auf Basis von externen und internen Daten generiert, um für die Zukunft Handlungsempfehlungen auszusprechen. Dabei soll der Mensch in seinem Entscheidungsprozess unterstützt werden. Die präskriptive Analyse wird aus den genannten Gründen als fortschrittlichste und empfehlenswerteste Analyseart genannt. Stillstandzeiten können laut Studien mit ihrer Hilfe bis zu 50 Prozent reduziert und der Produktlebenszyklus kann durch vorbeugende Maßnahmen bis zu 40 Prozent verlängert werden<sup>81</sup>. Aus all diesen Informationen können gezielte Maßnahmen ermittelt und punktgenau eingesetzt werden. Um diese großen Datenmengen zu verarbeiten, ist es unumgänglich, geeignete Softwarelösungen bereitzustellen. Hierbei empfiehlt es sich die daten- und funktionsorientierte, kurz objektorientierte, Softwareentwicklung genauer zu betrachten. Daten und Funktionen stehen dabei gleichermaßen im Mittelpunkt. Da Daten unternehmensweit bereitgestellt werden, kann es bei alleiniger Betrachtung von Daten zu Redundanzen bei damit verbundenen Funktionen kommen. Funktionen allein zu betrachten, kann wiederum zu „Insellösungen“ führen und ein aufeinander

<sup>78</sup> vgl. Reichel/Müller/Haeffs, Betriebliche Instandhaltung<sup>2. Auflage</sup> (VDI-Buch 2018) 363.

<sup>79</sup> Reichel/Müller/Haeffs, Betriebliche Instandhaltung<sup>2. Auflage</sup> (VDI-Buch 2018).

<sup>80</sup> Reichel/Müller/Haeffs, Betriebliche Instandhaltung<sup>2. Auflage</sup> (VDI-Buch 2018) 364.

<sup>81</sup> vgl. OV, Industry 4.0 How to navigate digitization of the manufacturing sector, 24.

abgestimmtes Zusammenspiel von Daten und Funktionen verhindern. Mit objektorientierter Softwareentwicklung werden beide Bereiche, unter Betrachtung von Objekten, Objekteigenschaften, Operationen der Objekte und Beziehungen zwischen den Objekten, bestmöglich abgedeckt und helfen bei der Auswertung von Daten und der damit verbundenen Entscheidungshilfe<sup>82</sup>.

Kennzahlen im Bezug zu Datenmengen

Aufgrund der gesammelten Daten können verschiedene Arten von Kennzahlen erstellt werden, die außerdem je nach Bereich unterschiedlich aufbereitet werden können. Sie sind notwendig, um unter anderem „die Leistungsfähigkeit und den Nutzen der Instandhaltung insbesondere gegenüber der Geschäftsleitung nachzuweisen“<sup>83</sup>. Das Hauptaugenmerk sollte auf der Benutzer\*innenfreundlichkeit und Nachvollziehbarkeit der Kennzahlen liegen, da diese für die Auswertung und den daraus folgenden Maßnahmen wichtig sind. Sie können Aussagen über den tatsächlich geleisteten Wertschöpfungsbeitrag der Instandhaltung im Unternehmen treffen. Kennzahlen werden vorwiegend zur Hilfe bei Entscheidungen eingesetzt, wobei die Schlüsse aus den in der Vergangenheit gesammelten Daten gezogen werden und auf zukünftige Prozesse oder Maßnahmen umgelegt werden. So können z.B. kostenintensive Bereiche aufgespürt und verbessert werden. Kennzahlen sollten nicht einzeln, sondern in ihrer Vollständigkeit als Gruppe von Kennzahlen betrachtet werden. Sie stehen in Beziehung zueinander und addieren sich so zu einem großen Ganzen mit einem aussagekräftigen Inhalt. Dennoch sollten Kennzahlen nicht direkt als fehlerfreies Mittel und für alle Entscheidungen als einzige Informationsquelle genutzt werden. Die Interpretation der Kennzahlen, die komplexe Tatbestände kurz umreißen und darstellen, ist von großer Wichtigkeit, da sonst Fehlentscheidungen getroffen werden können<sup>84,85</sup>.

Im Zusammenhang mit gesammelten Daten und deren Art der Analyse kann auch auf die passende Instandhaltungsstrategie geschlossen werden. Insgesamt werden vier Arten von Strategien eingeführt:

- Ausfallbehebung
- Zeitgesteuerte periodische Instandhaltung
- Zustandsorientierte Instandhaltung
- Vorausschauende Instandhaltung

Die erste, unausgereifteste Strategie ist die Ausfallbehebung. Sie konzentriert sich auf die Behebung von Ausfällen und sollte nur in kleinen Einheiten mit sehr geringer

---

<sup>82</sup> vgl. *Schenk*, Instandhaltung technischer Systeme: Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs (2010) 241–242.

<sup>83</sup> *Strunz*, Instandhaltung (2012) 624.

<sup>84</sup> vgl. *Strunz*, Instandhaltung (2012) 624–625.

<sup>85</sup> vgl. *Matyas*, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>: (2018) 97–98.



Ausfallwahrscheinlichkeit eingesetzt werden. Bei dieser Strategie spielt außerdem die Redundanz einer Anlage eine große Rolle. Die zeitgesteuerte periodische Instandhaltung sollte in Fällen von gut dokumentierten Ausfallraten einer Anlage, die gleichzeitig über ein erhöhtes Ausfallrisiko verfügen, eingesetzt werden. Hierbei gilt zu beachten, dass der Zustand der Anlage erst bei langwierigem Zerlegen der Maschine erkennbar ist und somit eine gute Dokumentation für diese Instandhaltungsstrategie notwendig wird. Bei der zustandsorientierten Instandhaltung können Zufallsausfälle in der Anlage vorkommen, wobei der Zustand der Anlage ermittelt werden kann. Es muss jedoch hierbei ausreichend Zeit zwischen der Entdeckung des Fehlers und dem tatsächlichen Ausfall vorhanden sein. Die letzte Strategie ist die vorausschauende Instandhaltung. Hierbei werden Planungs- und Condition-Monitoring-Daten verknüpft. Deshalb kann diese Strategie nur in sehr ausgereiften Anlagen mit etablierter Datenauswertung, die sich auch zum Teil aus Planungsregeln ableiten lässt, eingesetzt werden<sup>86,87</sup>.

Gesammelte Daten müssen in modernen Anlagen komplexen Analysen unterzogen werden, um passenden Entscheidungen über geplante Maßnahmen treffen zu können. Die Implementierung von notwendiger Hard- und Software in moderne Anlagen bedeutet für Unternehmen eine große Investition. Sie kann jedoch bei richtigem Einsatz und der damit verbundenen Datenanalyse auf lange Sicht die Instandhaltungs- und Instandsetzungskosten gering halten und lohnt sich meist. Der Umbruch zu präskriptiver Instandhaltung führt zu datenbasierten Entscheidungen und hilft dabei die Produktivität aufrecht zu erhalten oder sogar zu steigern.

#### Einführung einer datengetriebenen Instandhaltungsplanung

Die datengetriebene Instandhaltungsplanung basiert auf dem Prinzip der Vereinfachung von Daten, Entscheidungs- und Planungsprozessen. Sie wird, wie bereits erwähnt, in vier Stufen, die deskriptive, diagnostische, prädiktive oder präskriptive Instandhaltung eingeteilt. Der hier angeführte Prozess lehnt sich an dem in der Universität von Harvard entwickelten generischen Data-Science Prozess, siehe Abbildung 9, an.

<sup>86</sup> vgl. *Matyas*, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 97–98.

<sup>87</sup> vgl. *Matyas*, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 120.

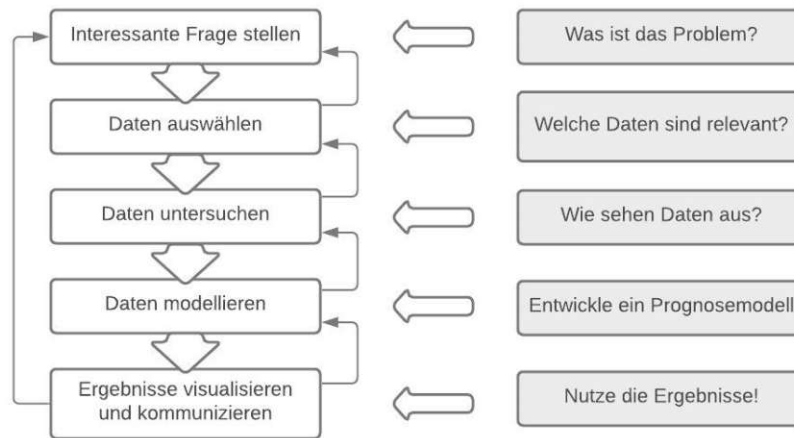


Abbildung 9: Der generische Data-Science Prozess<sup>88</sup>

Im ersten Schritt soll zunächst eine interessante Frage gestellt werden. Hierbei werden das Verständnis und das Wissen, das für die Produktion notwendig ist, aufgebaut und die Funktionsweise der Industrieanlage betrachtet. Es werden Probleme identifiziert, um daraus Ziele für die datengetriebene Instandhaltung abzuleiten. Schritt zwei beschäftigt sich mit der Auswahl der Daten. Hierbei werden zunächst Daten aus der operativen Ebene, wie z.B. Sensordaten, der taktischen Ebene, wie z.B. Personalkosten, und der strategischen Ebene, wie z.B. der Overall Equipment Effectiveness, nur ausgewählt, wenn sie für die Generierung von neuem Wissen relevant sind. Außerdem muss klargestellt werden, welche Daten vorhanden sind und ob noch weitere Daten gesammelt werden müssen. Das Fehlen von Daten kann im schlimmsten Fall zum Scheitern der Einführung der datengetriebenen Instandhaltungsplanung führen. Das Sammeln und Auswerten von Daten bedeuten jedoch einen sehr hohen Zeitaufwand, der mit Hilfe von Echtzeitdatenerfassung und -auswertung bewältigt werden kann. Sobald vorhandene Daten gesammelt und ausgewählt wurden, kann die Auswertung der Daten erfolgen. Hierbei werden Daten vorbehandelt, bereinigt und transformiert. Zufällige Fehler in den Daten werden aussortiert und die Entscheidung über den Umgang der Daten getroffen. Falls Daten als nicht vertrauenswürdig erscheinen oder eine ungenügende Anzahl an Daten vorhanden ist, können diese nicht zur Auswertung beitragen. Diese Bewertung der Daten erfolgt im besten Fall mit einer Machine-Learning-Methode. Im Allgemeinen gibt es jedoch auch andere Methoden zur Datenanalyse, wie z.B. Microsoft Excel bei sehr einfachen Datenmengen, Data-Warehouse-Systeme oder auch Business-Intelligence-Lösungen für interne und strukturierte Daten<sup>89</sup>. Danach kann mit Hilfe von Ursache-Wirkzusammenhängen die Korrelation der Daten untersucht werden. Für Visualisierung der Daten können so genannte Heatmaps oder Streudiagramme verwendet werden. Am Ende des dritten Schrittes stellen bereinigte und in

<sup>88</sup> vgl. *Matyas*, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 315.

<sup>89</sup> vgl. *Reichel/Müller/Haeffs*, Betriebliche Instandhaltung<sup>2</sup>. Auflage (VDI-Buch 2018) 364.

Zusammenhang gesetzte Daten das Ergebnis dar und schaffen so die Datenbasis für die Problemstellung. Im nächsten Schritt wird mit der Modellierung der Daten weiter verfahren. Hierbei wird zwischen zwei Variante des Machine-Learnings unterschieden und es muss entschieden werden, welche davon ihren Einsatz in Schritt vier findet. „Beschreibende Methoden orientieren sich an der Interpretation der Daten und basieren zumeist auf nicht überwachten Machine-Learning-Algorithmen. Prognostizierende Methoden fokussieren sich hingegen auf die Vorhersage eines zukünftigen Systemverhaltens und bedienen sich überwiegend überwachter Machine-Learning-Algorithmen.“<sup>90</sup> Um die richtige Machine-Learning-Methode zu wählen, muss diese Auswertung mehrfach mit variierenden Parametern getestet werden, bis angemessene Ergebnisse geliefert werden können. Danach muss der gewählte Algorithmus mit Daten, die nicht zum Testdatensatz zählen, validiert werden. Hierbei werden meist 80 Prozent der Daten zum Testen des Prognosemodells herangezogen und die übrigen 20 Prozent zum Validieren des Modells verwendet. Bei nicht zufriedenstellenden Ergebnissen des Prognosemodells muss zu Schritt drei zurückgekehrt werden und die Transformation der Daten überarbeitet werden. Die Dokumentation dieser Überarbeitung, um spätere Nachverfolgung möglich zu machen, soll gewährleistet werden. In Schritt fünf können nun die erarbeiteten Daten visualisiert und kommuniziert werden. Die Zuführung neuer Daten in den Prozess kann zur Änderung des Prognosemodells führen. In Abbildung 10 wird der In- und Output eines Prognosemodells gezeigt.

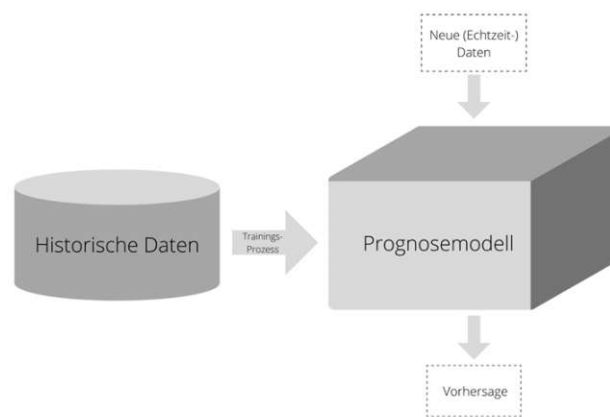


Abbildung 10: In- und Output eines Prognosemodells<sup>91</sup>

Das mit dem Modell generierte Wissen, z.B. der prognostizierte Maschinenstillstand einer Maschine oder Anlage, muss in allen Unternehmensebenen zur Verfügung gestellt werden. Hierbei soll der „4R“-Ansatz, richtiger Inhalt, zur richtigen Zeit, zur richtigen Person und mit Hilfe es richtigen Kommunikationsmittels beachtet werden<sup>92</sup>.

<sup>90</sup> Matyas, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 316.

<sup>91</sup> vgl. Matyas, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 317.

<sup>92</sup> vgl. Matyas, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 315–318.

## 2.1.6 Datenqualität in der Instandhaltung

Mit immer größer werdenden Datenmengen wird die Auswertung der Daten für Unternehmen zunehmend wichtiger. Gerade für Branchen, wie z.B. Banken oder Versicherungen, deren Produkte immateriellen Charakters sind, ist die Qualität der Daten von großer Wichtigkeit, da ihre angebotenen Produkte der Konkurrenz sehr ähnlich sind. Unternehmen müssen durch hohe Datenqualität, also dem immateriellen Produkt bzw. der Dienstleistungskomponente, das sie anbieten, bestechen und den\*die Kunden\*in überzeugen<sup>93</sup>. Das Datenqualitätsmanagement (DQM) vereint alle Funktionen und Methoden, um die Qualität der Daten zu verbessern und generell ihren Wert zu steigern<sup>94</sup>. Nicht nur die ansteigende Menge an Daten, sondern auch die breiter werdende Diversität der gesammelten Daten beschäftigt die heutige Instandhaltung. Die Datendiversität reicht von strukturierten, unstrukturierten bis hin zu semi-strukturierten und multimedialen Daten, wie z.B. Videos, Fotos und Karten. Außerdem erhöht sich die Anzahl der Datenquellen, durch den Einsatz von Assistenzsystem in Anlagen, wie z.B. Maschinensensoren, mobilen Geräten und RFID Tags. Durch diese Änderungen stehen traditionelle Ansätze zur Datensammlung und -verarbeitung auf dem Prüfstand. Viele Unternehmen, die in die Sammlung von großen Datenmengen, Big Data, investiert haben, zeigen jedoch eine niedrige Datenqualität auf und somit auch einen unveränderten Entscheidungsfindungsprozess<sup>95</sup>. Es ist wichtig Datenqualität in den gesamten Prozess der Datensammlung und -auswertung einzugliedern. Außerdem sollten drei Ansätze, der organisatorische, architektonische und rechnerische Ansatz, verbunden werden, um eine erforderliche Datenqualität zu gewährleisten. Der organisatorische Ansatz beschäftigt sich allein mit der Frage nach der organisatorischen Einteilung von unternehmerischen Zielen, Prozessen und Rollen. Hingegen der architektonische Ansatz die Datenbereitstellung im Datenqualitätsmanagement inne hat. Der rechnerische Ansatz beschäftigt sich nicht zuletzt mit der Analyse der Daten und den damit verbundenen passenden Methoden. Die Datenqualität zu verbessern ist keine leichte Aufgabe. Dennoch ist der Fakt, dass Daten von unzureichender Qualität in wissenschaftlichen, sowie auch in Industrieunternehmen allgegenwärtig sind, ist nicht von der Hand zu weisen. Unternehmen müssen verstehen, dass sie einzigartige Daten besitzen, die auf ihrem eigenen Weg ausgewertet und qualitativ verbessert werden müssen. Wenn Daten eine hohe Qualität aufweisen, bedeutet dies auch einen Wettbewerbsvorteil<sup>96,97</sup>.

<sup>93</sup> vgl. *Würthele*, Datenqualitätsmetrik für Informationsprozesse: Datenqualitätsmanagement mittels ganzheitlicher Messung der Datenqualität, ETH Zurich (2003) 11.

<sup>94</sup> vgl. *Ofner/Otto/Österle*, A Maturity Model for Enterprise Data Quality Management, Enterprise Modelling and Information Systems Architectures 2013, 4–24 (4).

<sup>95</sup> vgl. *Ghasemaghaei/Calic*, Can big data improve firm decision quality? The role of data quality and data diagnosticity, Decision Support Systems 2019, 38–49 (44).

<sup>96</sup> vgl. *Sadiq*, Handbook of Data Quality (2013) 1–3, 16.

<sup>97</sup> vgl. *Naumann*, Datenqualität, Informatik-Spektrum 2007, 27–31 (27).

## Definition von Datenqualität

Um Datenqualität definieren zu können, muss zunächst der Begriff Daten geklärt werden. Im Zusammenhang mit der Datenerstellung und wie Daten in Unternehmen ausgewertet werden, können Daten in ein Datenmodell und Datenwerte gespalten werden. Das Datenmodell bietet eine Struktur mit all ihren Zusammenhängen der Datenwerte. Ein Beispiel hierfür ist die Abfrage nach dem Modell der Arbeitnehmer\*innen mit den Datenwerten Name, Vorname, Gehalt und Abteilung in einem Unternehmen. Ein Datenmodell kann auch beispielsweise als leerer Kalender gesehen werden. Er gibt die Struktur an, hat jedoch keine Termine als Einträge<sup>98</sup>.

Datenqualität unterliegt der subjektiven Auffassung des\*der Betrachters\*in einer Datenmenge. Laut Eppler kann Qualität ein verwirrendes Konzept sein, da sie von der Betrachtungsweise unterschiedlicher Personen, die diverse Rollen im Produktionsprozess des Unternehmens besetzen, abhängt<sup>99</sup>. Sie wird als hoch eingestuft, wenn die Anforderungen des\*der Betrachters\*in erfüllt werden. Dies macht die Datenqualität jedoch zu einer schnell verändernden Größe, da je nach Betrachter\*in unterschiedliche Anforderungen gestellt werden und einmal mehr und einmal weniger gut eingestuft werden. Datenqualität kann auch formal definiert werden als Daten, die eine hohe Qualität aufweisen, wenn sie fit für den Gebrauch eines\*r Benutzers\*in in den Bereichen Geschäftstätigkeit, Entscheidungsfällung und Planung sind oder kurz als „Eignung der Daten für die jeweilige datenverarbeitende Anwendung“<sup>100</sup>. Daten sind im Allgemeinen fit für den Gebrauch, wenn sie fehlerfrei sind, die Eigenschaften besitzen eine Tätigkeit abzuschließen, dabei helfen eine Entscheidung zu treffen oder die Planung zu vollenden. Außerdem sollen Daten von hoher Qualität genau zur richtigen Zeit, am richtigen Ort und im richtigen Format dem\*der Kunden\*in bzw. Betrachter\*in bereitgestellt werden. Sie sollen außerdem in einem angemessenen Kontext zur Aufgabe stehen, klar dargestellt und für den\*die Datenkonsumenten\*in zugänglich sein<sup>101</sup>. Neben der Bereitstellung der Daten spielt in der Datenqualität auch die Datensammlung bzw. -beschaffung eine Rolle. Bei Datenauswertungen, so wie auch bei der Datenbeschaffung, muss der Prozess der passenden Methodenfindung nach und nach getestet und sich dem gewünschten Endergebnis annähern und dies bestenfalls erreichen<sup>102</sup>. Wenn die Bestandteile Modell, Wert und Aufzeichnung, die mit der Datenqualität im Zusammenhang stehen, eine hohe Qualität aufweisen, dann weisen die Daten im Gesamten eine hohe Qualität auf. Hier gilt zu sagen, dass die Qualität der einzelnen Bereiche in verschiedenen

<sup>98</sup> vgl. *Sadiq*, Handbook of Data Quality (2013) 22.

<sup>99</sup> vgl. *Eppler*, Managing information quality: increasing the value of information in knowledge-intensive products and processes<sup>2nd ed</sup> (2006) 20.

<sup>100</sup> *Naumann*, Informatik-Spektrum 2007, 27–31 (27).

<sup>101</sup> vgl. *Wang/Strong*, Beyond Accuracy: What Data Quality Means to Data Consumers, Journal of Management Information Systems 1996, 5–33 (6).

<sup>102</sup> vgl. *Sadiq*, Handbook of Data Quality (2013) 17–19.

unabhängigen Prozessen definiert wird. Datenmodelle werden in einem Prozess der Datenmodellierung erstellt, hingegen Datenwerte bei einem laufenden Prozess gesammelt. Zuletzt werden Daten in Aufzeichnungen oder Präsentationen bearbeitet und in Managementreports eingegliedert. In allen drei Bereichen kann unabhängig voneinander die Qualität geschwächt oder gestärkt werden. In Tabelle 1 werden die Dimensionen der Datenqualität gezeigt. Bei hoher Qualität aller Dimensionen ist die gesamte Datenqualität hoch. Im Gegensatz dazu kann die Gesamtqualität der Daten leiden, sobald bereits eine dieser Dimensionen nicht dem Qualitätsanspruch genügt. Datenwerte sollten, um eine hohe Datenqualität erreichen zu können, aktuell, genau, konsistent und vollständig sein. Bei der Präsentation der Daten sollte auf Formate und eine Darstellungskonsistenz geachtet werden. Datenmodelle hingegen sollten auch gut erreichbar und robust sein, sowie eine strukturelle Konsistenz aufweisen. Datenqualität kann demnach zusammenfassend als eine Menge von Qualitätsmerkmalen bezeichnet werden. Die Auswahl und genaue Definition relevanter Merkmale bleibt die Aufgabe von Experten der jeweiligen Anwendungsdomänen<sup>103,104</sup>.

Bereich	Dimensionen der Datenqualität
Konzeptionelle Ansicht/zugehörige Metadaten	angemessene Anwendung
	Abgedeckte Gebiete
	Attributgranularität
	Erreichbarkeit
	Flexibilität
	Genauigkeit
	Homogenität
	Identifizierbarkeit
	Klare Definition
	Natürlichkeit
	Relevanz
	Robustheit
	Semantische Konsistenz
	Strukturelle Konsistenz
	Quellen
Vollständigkeit	
Wesentlichkeit	
Datenwerte	Aktualität
	Genauigkeit
	Konsistenz
	Vollständigkeit

<sup>103</sup> vgl. *Sadiq*, Handbook of Data Quality (2013) 22.

<sup>104</sup> vgl. *Naumann*, Informatik-Spektrum 2007, 27–31 (28).

Präsentationsqualität	Angemessenheit
	Darstellungskonsistenz
	Formate
	Formatgenauigkeit
	Flexibilität
	Leichtigkeit der Interpretation
	Nutzung des Speichers
	Sprache
	Umgang mit Nullwerten
	Übertragbarkeit

**Tabelle 1: Dimensionen der Datenqualität<sup>105</sup>**

Es ist wichtig eine hohe Datenqualität zu erreichen, da immense Kosten für niedrige Datenqualität anfallen können. Hohe Kosten werden z.B. durch niedrige Kundenzufriedenheit und Arbeitsmoral der Arbeitnehmer\*innen, sowie Vertrauensverlust der Abteilungen untereinander und zum Management verursacht. Neue Technologien werden aufgrund von Vertrauensverlust schlecht angenommen und Organisationsänderungen können nicht in zufriedenstellendem Ausmaß umgesetzt werden. Kund\*innenunzufriedenheit kann außerdem zu weniger Aufträgen führen und Strategieentscheidungen können aufgrund fehlender oder qualitativ niedriger Daten nicht oder erst sehr spät gefällt werden. Jedoch allein Geschäftstätigkeiten lassen sich direkt mit damit verbundenen Kosten in Zusammenhang setzen. Viele weitere Kosten können nicht exakt quantifiziert werden, da sie auf Basis von Fehlentscheidungen getroffen wurden<sup>106</sup>. Um Datenqualität zu verbessern, müssen jedoch auch soziale, politische und institutionelle Einflüsse in Betracht gezogen werden. Datenqualität kann im Unternehmen nur innerhalb der Abteilung und nicht in der höheren hierarchischen Stufe verbessert werden. Außerdem kann es gerade bei größeren und komplex aufgebauten Unternehmen zu Herausforderungen bei der Definition und Implementierung von Standards bezüglich Datenqualität kommen. Der Zuständigkeitsbereich für Datenqualität kann meist nicht über die Abteilung der IT erweitert werden, wodurch ein beschränkter Anteil an Mitarbeiter\*innen ihren Beitrag leisten kann<sup>107</sup>. Datenqualität und ihr Einfluss auf Entscheidungen wurde in der Arbeit von Watts et al. betrachtet. Es wurde herausgefunden, dass objektive Datenqualität einen höheren Wert erreicht, wenn sie einem systematischen Prozess unterliegt. Expert\*innen führen eher einen systematischen Prozess aus, als unerfahrenere Mitarbeiter\*innen. Diesem Umstand kann mit Schulungen entgegengewirkt werden. Außerdem haben unerfahrene Mitarbeiter\*innen stärkere Assoziationen zwischen subjektiver Qualitätsbeurteilung und objektiver Leistung als Expert\*innen mit Fachwissen. Dies lässt sich auf die Art

<sup>105</sup> vgl. *Sadiq*, Handbook of Data Quality (2013) 23.

<sup>106</sup> vgl. *Würthele*, Datenqualitätsmetrik für Informationsprozesse: Datenqualitätsmanagement mittels ganzheitlicher Messung der Datenqualität 11.

<sup>107</sup> vgl. *Sadiq*, Handbook of Data Quality (2013) 23, 25.

der Informationsverarbeitung zurückführen. Dennoch gilt zu sagen, dass eine Varianz von 15 Prozent bei den Ergebnissen der Befragten unabhängig vom Kenntnislevel erzielt wurde. Außerdem beeinflusst die Expertise allein nicht die Informationsverarbeitung, sondern hängt auch von den Ambitionen des\*der Betrachter\*in ab<sup>108</sup>.

Um ein System für die Erhöhung der Datenqualität einzuführen, sollte der Fokus im Allgemeinen auf der Eliminierung von Fehlern liegen. Dabei sollten folgende vier Punkte beachtet werden<sup>109</sup>:

- Kund\*innenanforderungen verstehen
- Anhand der Kund\*innenanforderungen Daten sammeln
- die Ursache der Fehler finden und diese eliminieren
- Kontrollsysteme implementieren, die kleine Fehler vermeiden und die Aufrechterhaltung von Prozessverbesserungen gewährleisten

#### Messung der Datenqualität

Da es sich bei der Datenqualität um eine subjektiv wahrgenommene Größe handelt, sind Messmethoden zu dieser Thematik wenig greifbar. Dennoch ist es wichtig numerische Metriken einzuführen, um eine Vergleichbarkeit und Objektivität zu gewährleisten. Nur so ist es möglich die Verbesserungen, die Datenbereinigungen und Fehlereliminierungen mit sich bringen, zu überprüfen. Es ist wichtig subjektive Aspekte der Qualität einzubeziehen, da diese die Bedürfnisse der Stakeholder\*innen widerspiegeln. Wenn Stakeholder\*innen, wie z.B. Datenverwalter\*innen oder Datenkonsument\*innen, die Datenqualität als niedrig ansehen, werden ihre eigenen Taten dies widerspiegeln. Um die Subjektivität der Datenqualität miteinzubeziehen, wird der Fragebogen als wichtiges Instrument der Datenqualitätsmessung gesehen. Es soll jedoch beachtet werden, dass mit Kontrollmatrizen, deren Eintragung von Expert\*innen übernommen wird, gearbeitet werden soll. Andere Dimensionen lassen sich trotzdem mittels konkreter Metrik bemessen. Objektive Ansätze der Datenqualitätsmessung hingegen, können aufgabenunabhängig oder -abhängig sein. Aufgaben- bzw. kontextunabhängige Metriken zeigen die Daten ohne Kontextwissen auf und können so auf jegliche Datenmenge angewandt werden. Hingegen stehen aufgabenabhängige Metriken im Zusammenhang mit den Unternehmensregeln, -vorschriften und Einschränkungen der IT. Studien zeigen, dass Kontextfaktoren einen großen Einfluss auf die Bewertung der Datenqualität haben<sup>110</sup>. Die Vollständigkeit einer Datenmenge kann als eine Menge von Datensätzen, die im Verhältnis zur Menge

<sup>108</sup> vgl. *Watts/Shankaranarayanan/Even*, Data quality assessment in context: A cognitive perspective, Decision Support Systems 2009, 202–211 (209–211).

<sup>109</sup> vgl. *Sadiq*, Handbook of Data Quality (2013) 20.

<sup>110</sup> vgl. *Moges et al*, Determining the use of data quality metadata (DQM) for decision making purposes and its impact on decision outcomes — An exploratory study, Decision Support Systems 2016, 32–46 (33).



aller möglichen Datensätze steht, definiert werden und ist somit eine Größe, die durch Berechnung einer konkreten Metrik entsteht. Genauigkeit zählt auch zur Gruppe der kontextbezogenen Metriken und kann als „Anzahl der fehlerbehafteten Datensätze gegenüber allen Datensätzen“<sup>111</sup> berechnet werden. Mit Hilfe von Sampling Methoden können Fehler in einer kleineren beschränkten Datenmenge gefunden und darauffolgend eliminiert werden. Um die Auswertung verschiedener Datenquellen zu schaffen, werden die Qualitätswerte skaliert und danach entsprechend gewichtet. Zuletzt werden die Qualitätswerte zu einem Gesamtqualitätswert summiert. So ist gewährleistet, dass verschiedene Einheiten, Skalen und Wertebereiche in die Auswertung mit einfließen. In Abbildung 11 wird der Prozess der Datenqualitätsbewertung aufgezeigt. Zunächst werden subjektive Befragungen und objektive Auswertungen ausgeführt, sowie Datenschemas inspiziert, um anschließend diese Ergebnisse vergleichend zu analysieren. Hierbei wird auch die Analyse der Datenqualitätsanforderungen, um neue Qualitätsansprüche zu setzen, durchgeführt. Auch Prozessmodellierung, die das Modell und die Prozesse, die im Zusammenhang mit der Erzeugung oder Aktualisierung der Daten stehen, entlarvt, spielt eine große Rolle. Danach können Abweichungen festgestellt oder kritische Bereiche identifiziert werden. Sie stehen im Zusammenhang mit der gemessenen Datenqualität, die sich aus ausgewählten Dimensionen, die vom Qualitätsproblem betroffen sind, zusammensetzt. Mit Hilfe von Ursachenanalysen werden die Entstehungsstellen der Abweichungen ermittelt und anschließend Maßnahmen getroffen, die zur Eliminierung der Abweichungsursachen und so zur Datenqualitätsverbesserung führen<sup>112,113,114</sup>.

<sup>111</sup> Naumann, Informatik-Spektrum 2007, 27–31 (28).

<sup>112</sup> vgl. Naumann, Informatik-Spektrum 2007, 27–31 (28–29).

<sup>113</sup> vgl. Pipino/Lee/Wang, Data quality assessment, Communications of the ACM 2002, 211–218 (211, 215).

<sup>114</sup> vgl. Zhang/Indulska/Sadiq, Discovering Data Quality Problems: The Case of Repurposed Data, Business & Information Systems Engineering 2019, 575–593 (578–579).

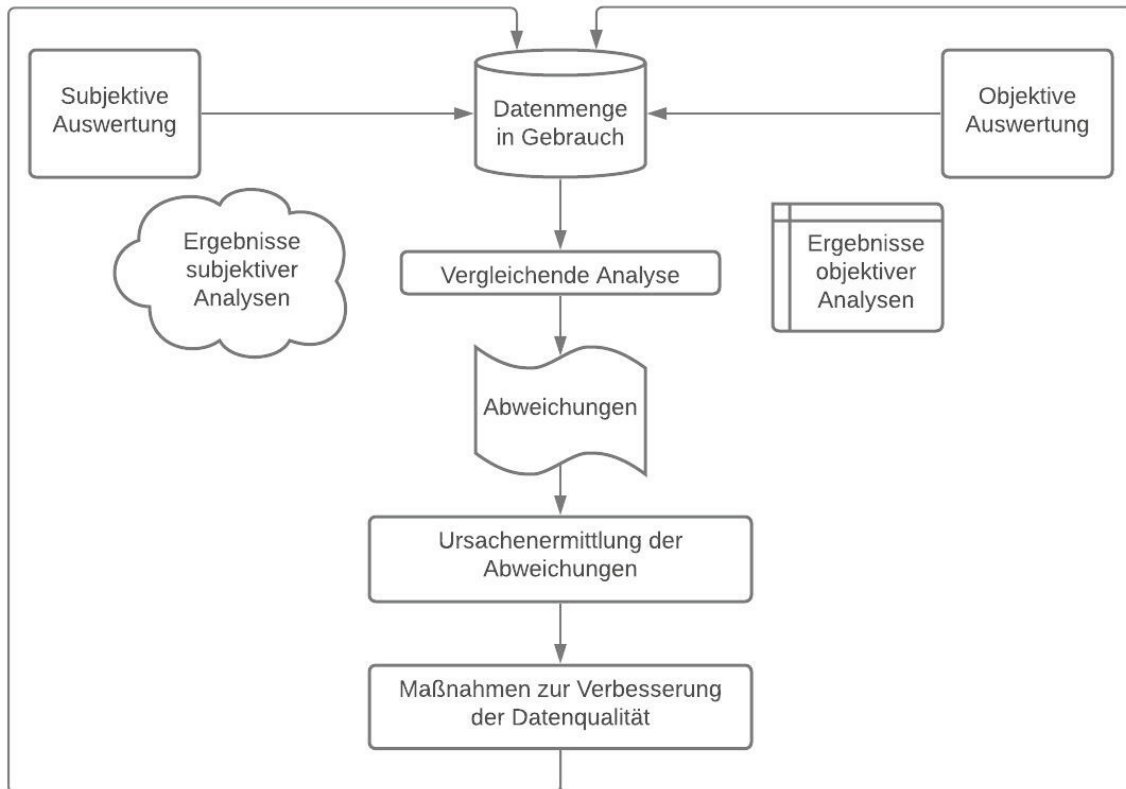


Abbildung 11: Bewertungsprozess der Datenqualität<sup>115</sup>

Datenqualität lässt sich auch nach Würthele mittels Formel 1 berechnen.

$$Q = S \cdot (1 - V) + (1 - S(1 - V)) \cdot (q_m + q_t)$$

Formel 1: Datenqualitätsmaß nach Würthele<sup>116</sup>

Wobei gilt:

S ... Promillezahl der Eingangsfehler (aus dem vorangehenden Prozess)

$q_m$  ... manuell bewirkte Fehler im Prozess [%]

$q_t$  ... technisch bewirkte Fehler im Prozess [%]

V ... Verbesserungszahl im Prozess: Promille-Anteil der Eingangsfehler, die der Prozess von Start der Verarbeitung verbessert

Q ... Qualitätszahl am Ende des Prozesses

<sup>115</sup> vgl. Pipino/Lee/Wang, Communications of the ACM 2002, 211–218 (216).

<sup>116</sup> Würthele, Datenqualitätsmetrik für Informationsprozesse: Datenqualitätsmanagement mittels ganzheitlicher Messung der Datenqualität 53.

## Fehler in Datenmengen

Ob Messreihen in unterschiedlichen Einheiten oder Kundendaten falsch erfasst werden, all diese Geschehnisse bedeuten fehlerhafte Daten und somit eine niedrige Datenqualität. Bereits Fehler in Datenbanken generieren weiterführende Fehler in Reports und somit auch in darauffolgenden Unternehmensentscheidungen. Datenmengen von niedriger Qualität enthalten meist falsche Formatierungen, Widersprüche oder auch fehlende Werte. In Abbildung 12 werden auch unter Beachtung der in Tabelle 1 angeführten Dimensionen der Datenqualität mögliche Datenfehler und ihre Klassifizierung aufgezeigt. Fehler können sich auf einzelne oder bereits integrierte Datenquellen beziehen. Prominente Fehler sind Duplikate bzw. Dubletten oder auch falsch eingegebene Werte.

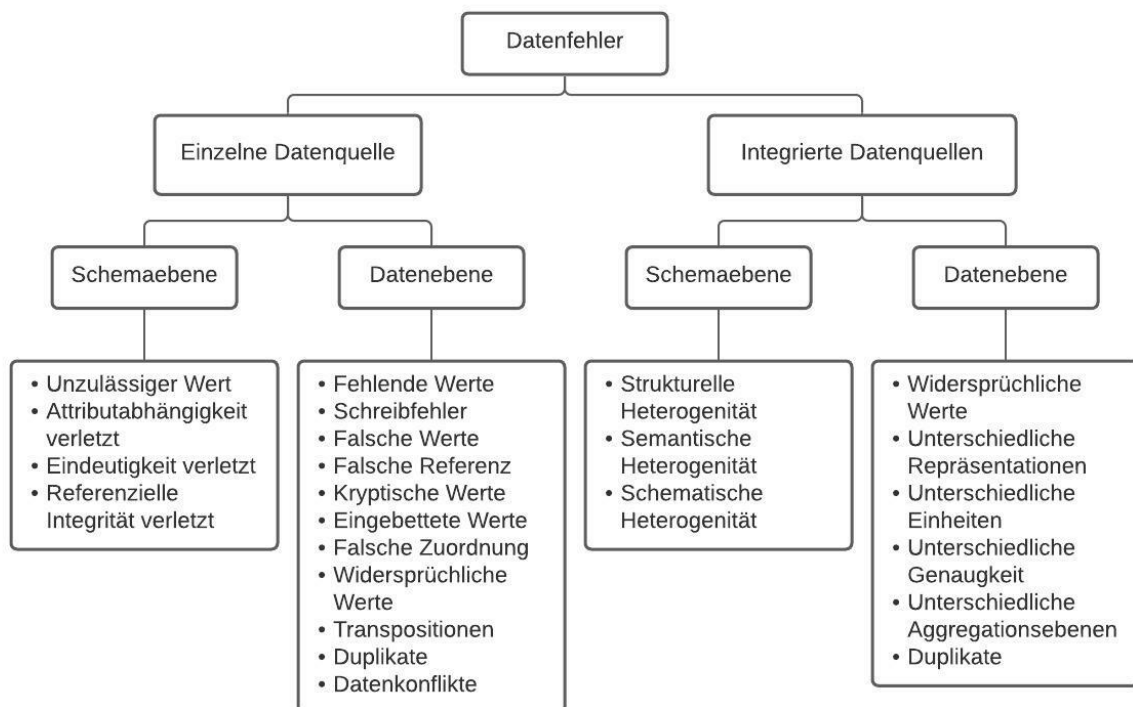


Abbildung 12: Klassifikation von Datenfehlern<sup>117</sup>

## Verbesserung der Datenqualität

Der erste Schritt der Verbesserung der Datenqualität ist zunächst zu wissen, dass eine geringe Datenqualität mit all ihren Fehlern der Daten vorhanden ist. Zunächst kann mit den fehlerhaften Daten bewusst umgegangen werden, um so Fehlentscheidungen aufgrund falscher Erwartungen zu vermeiden. Danach kann nach und nach die Datenqualität mit Hilfe der Analyse des kompletten Datenbeschaffungsprozesses von Entstehung bis hin zur Anwendung verbessert werden. Am effektivvollsten werden fehlerhafte Daten jedoch bereits bei Ihrer Entstehung beeinflusst. Die manuelle

<sup>117</sup> Naumann, Informatik-Spektrum 2007, 27–31 (28).

Dateneingabe oder automatische Erfassung durch z.B. Sensoren kann eine hohe und effektive Verbesserung der Datenqualität bedeuten. Bei digitalen Systemen können z.B. bei der Dateneingabe bestimmte gewünschte Formate hinterlegt werden, um eine fehlerhafte Eingabe bereits zu Beginn ausschließen zu können. Hier kommt das Poka-Yoke-Prinzip zum Einsatz, das besagt, dass Produkte so gebaut oder Prozesse so definiert werden sollen, dass Fehler erst gar nicht entstehen können. Da sich Dubletten um den meist vorkommenden Fehler in Datenmengen handelt, führt dieser zur effektivsten Kostenersparnis nach Behebung. Hierbei muss ein Maß entwickelt werden, das genau diese Dubletten aufgrund von vorherrschender Ähnlichkeit aufspürt. Die Dubletten werden bei hinreichender Ähnlichkeit gekennzeichnet und zur Durchsicht einem\*r Experten\*in vorgelegt. Bei diesem Prozess ist es jedoch eine Herausforderung den Schwellwert der Ähnlichkeit zu definieren, um so nur tatsächlich existierende Dubletten herauszufiltern und nicht valide Daten zu löschen. Nach und nach werden so Fehler in der Datenmenge ausgeforscht und eliminiert, was zu einer insgesamt höheren Datenqualität führt<sup>118</sup>.

<sup>118</sup> vgl. *Naumann*, Informatik-Spektrum 2007, 27–31 (30–31).

## 2.2 Moderne Softwareentwicklung

Wie in vielen anderen Bereichen basiert Softwareentwicklung zunächst auf einer Idee. Sie wird nach und nach entwickelt, geformt und verändert, bis das zufriedenstellende Endprodukt bereitgestellt werden kann. Um zu diesem Ziel zu gelangen, gibt es viele Wege. Vorgehensmodelle können der Entwicklung etwas Struktur geben und dabei helfen, den geeigneten Weg für das eigene Projekt zu finden. Bei einem Projekt können sich während der Entwicklung Rahmenbedingungen ändern, deshalb ist es wichtig, sich anpassen zu können und mit neuen Herausforderungen umgehen zu lernen. Bei vielen Projekten sind mehrere Personen beteiligt, so sollte auch Kommunikation und das Verständnis füreinander nicht zu kurz kommen. Wenn an einer Software gearbeitet wird, die in erster Linie von Personen benutzt wird, werden alle Beteiligten des Projekts früher oder später mit anderen Personen kommunizieren müssen, um das gemeinsame Ziel in bestmöglicher Form zu erreichen. Um ein Softwareprojekt erfolgreich zu meistern, werden Hilfsmittel und Werkzeuge in verschiedenster Art, ohne die das Ziel nicht erreichbar wäre, eingesetzt<sup>119,120</sup>.

### 2.2.1 Vorgehensmodelle in der Softwareentwicklung

Vorgehensmodelle geben bei gleichartigen Projekten einen Plan vor, wie ein Projekt ablaufen sollte. Da es verschiedene Arten von Projekten gibt, existiert nicht nur eine Art von Vorgehensmodell. Jedes Vorgehensmodell wird in Phasen, die Tätigkeitsgruppen zusammenfassen, geteilt. Außerdem werden in einem Vorgehensmodell die beteiligten Personen eines Projektes aufgestellt und deren Aufgaben beschrieben. So werden allgemeine Rollen, wie z.B. Projektmanager\*in oder Entwickler\*in, festgelegt und jedes Projektmitglied weiß genau, wer welche Aufgaben übernehmen wird. Vorgehensmodelle geben auch durch verschiedene Methoden Struktur. Diese Methoden können sich von Projekt zu Projekt unterscheiden und sollen als Hilfsmittel zur Aufgabenbewältigung genutzt werden. Mit einem Vorgehensmodell kann ein komplettes Projekt in kleinere Teilprojekte eingeteilt, Aufgaben verteilt und der Überblick behalten werden. Projekte, die mit dem gleichen Vorgehensmodell bearbeitet wurden, sind außerdem besser vergleichbar und es lassen sich Verbesserungsmaßnahmen für zukünftige Projekte und auch das Vorgehensmodell ableiten. Bei der Verständigung auf ein Vorgehensmodell und den damit verbundenen Methoden und Aufgaben, können alle Beteiligten sichergehen, dass jede Person, die am Projekt arbeitet, das gleiche Ziel hat. Dies führt zu einer Erleichterung bei der Kommunikation. Oft ist es auch maßgebend, sich Gedanken über geplante Tätigkeiten zu machen und diese gegebenenfalls zu verfeinern und somit den bestmöglichen

<sup>119</sup> vgl. *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 1–3.

<sup>120</sup> vgl. *Donick*, Nutzerverhalten verstehen – Softwarenutzen optimieren: Kommunikationsanalyse bei der Softwareentwicklung (2020) 15.

Ausgang für diese Aufgaben und das Projekt im Allgemeinen zu finden<sup>121</sup>. Software wird in verschiedensten Situationen und Konstellationen eingesetzt. Somit ist sie von einer Kombination messbarer und modellierbarer Parameter abhängig und wird außerdem „bewusst oder unbewusst von Menschen verwendet, die nicht immer absichtsvoll und rational handeln“<sup>122</sup>. Somit ist die Qualität von Software ein situationsabhängiger Wert und eine gewisse Unsicherheit muss eingeplant werden. Situationsabhängige Software zu entwickeln ist demnach keine leichte Aufgabe, die jedoch durch Vorgehensmodelle mit all ihren Methoden unterstützt werden kann<sup>123</sup>. Im Anschluss werden verschiedene Vorgehensmodelle und ihre Methoden vorgestellt.

### 2.2.2 Das Basismodell

Um in weiterer Folge verschiedene Vorgehensmodelle erläutern zu können, wird folglich das Basismodell mit all seinen Phasen erklärt. Es wird auf die gängigen geschäftlichen IT-Systeme, die professionell im eigenen oder anderen Unternehmen ihre Verwendung finden, eingegangen. Forschungsprojekte, deren Ziel Wissensgenerierung oder Gewinnung von Erkenntnissen im Fokus steht, werden hier nicht weiter behandelt. Das Basismodell zeigt den Prozess von der ersten Idee bis zum tatsächlichen Betrieb auf. In Abbildung 13 werden alle Prozesse des Basismodells der Softwareentwicklung abgebildet. Bevor ein Projekt umgesetzt werden kann, muss zunächst die erste Idee entstehen. Unabhängig davon ob diese Idee, die von einem\*r externen Kunden\*in, einem\*r unternehmenseigenen Mitarbeiter\*in oder nicht zuletzt einem selbst stammt, muss bei der Entscheidung zur Umsetzung der daraus resultierende Auftrag geklärt und definiert werden. Nachdem das Projekt in Auftrag gegeben wurde, wird die Konzeption, in der die Anforderungen an das System oder Tool festgestellt werden, angestoßen. Hier beginnt auch der sogenannte Kernprozess des Projektes. Nachdem das Konzept feststeht, kann das Design des Produktes erfolgen. Bei diesem Schritt werden die Soft- und Hardwarearchitektur des Systems sowie auch die tatsächliche visuelle Aufbereitung definiert. Falls eine externe Person oder Personengruppe das Projekt in Auftrag gegeben hat, sollte das Design und das Konzept genau mit dieser geklärt und diese Person oder Personengruppe sollte am Laufenden gehalten werden. Danach steht der Realisierung nichts mehr im Wege und die Entwickler\*innen können mit dem Programmieren beginnen. Die Phasen des Projekts folgen in der Regel zeitlich aufeinander, wobei es hier bei den Bereichen Projektinfrastruktur und Testing Ausnahmen gibt. Fast zur gänzlichen Zeit des Projektablaufs, nämlich ab der Konzeption, begleitet das Projektmanagement das IT-Projekt. Sobald das Konzept feststeht, kann auch das Software-Testing-Team mit der

<sup>121</sup> vgl. *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 4–5.

<sup>122</sup> *Donick*, Nutzerverhalten verstehen – Softwarenutzen optimieren: Kommunikationsanalyse bei der Softwareentwicklung (2020) 14.

<sup>123</sup> vgl. *Donick*, Nutzerverhalten verstehen – Softwarenutzen optimieren: Kommunikationsanalyse bei der Softwareentwicklung (2020) 14.

Arbeit beginnen. Durch den kompletten Realisierungsprozess hinweg begleitet das Testing-Team das Entwickler\*innen-Team und unterstützt bei der Umsetzung. Es stellt außerdem die Qualität sicher und hat ein Auge auf das umzusetzende Design sowie die geforderte Funktion. Während der Konzeption sollte auch bereits eine geeignete Infrastruktur des Projektes angelegt werden. Diese begleitet das Projekt ab diesem Zeitpunkt durchgehend. Wenn die Realisierung für den\*die Auftraggeber\*in zufriedenstellend ist, kann mit der tatsächlichen Einführung begonnen werden. In diesem Schritt wird das entwickelte System oder Tool bei dem\*der Kunden\*in in einen funktionierenden Zustand unter neuer Umgebung, der tatsächlich bei dem\*der Kunden\*in laufenden Umgebung, gebracht. Wurde das Produkt erfolgreich eingeführt, ist das neu entwickelte IT-System in Betrieb genommen und das Projekt kann als fertiggestellt angesehen werden. Softwareentwicklung wird hier als Begriff für diesen kompletten Ablauf verwendet. Softwareengineering hingegen befasst sich allein mit der tatsächlichen Programmierung des Tools und auch den damit verbundenen Aufgaben wie Wartung und Weiterentwicklung. Oft werden unter diesem Begriff nicht alle Aufgaben eines IT-Projektes, wie z.B. das Projektmanagement, inbegriffen, und es ist nur der technische Teil gemeint<sup>124</sup>. In dieser Arbeit wird der Begriff Softwareentwicklung als Begriff für den gesamten Prozess, wie im Basismodell abgebildet, verwendet. In den nächsten Abschnitten werden die einzelnen Phasen des Basismodells der Softwareentwicklung näher erläutert.

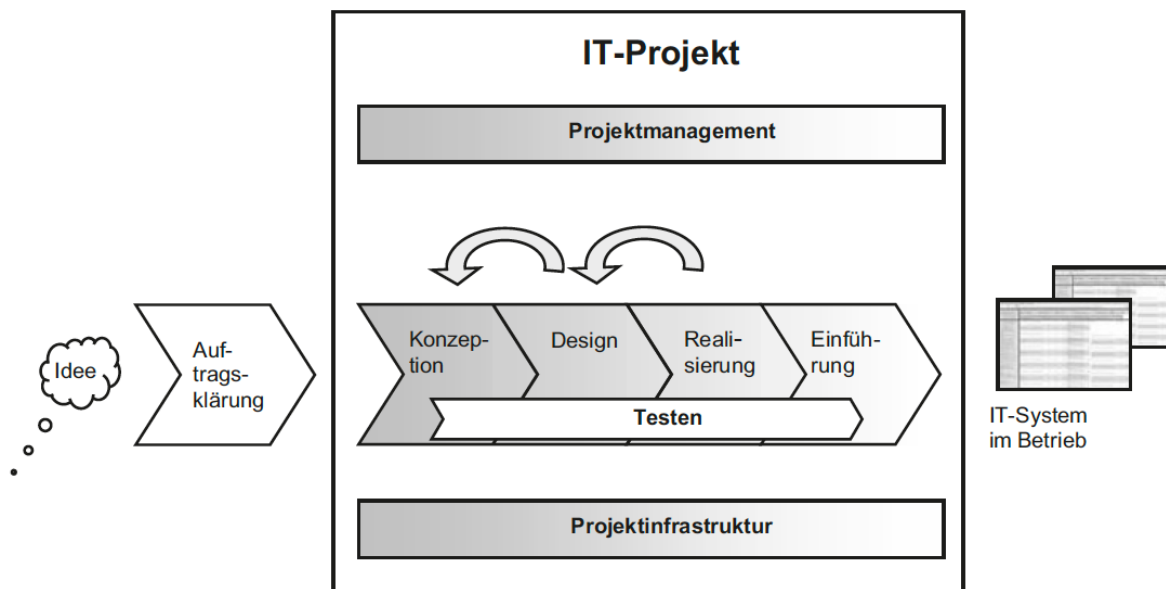


Abbildung 13: Das Basismodell der Softwareentwicklung<sup>125</sup>

<sup>124</sup> vgl. *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 6–9.

<sup>125</sup> *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 6.

#### Das Basismodell – Phase Auftragsklärung

Das Ziel der Auftragsklärung ist, nach dem Prüfen aller unternehmerischen Aspekte zu entscheiden, ob die Umsetzung der ersten Idee sinnvoll ist. Hierzu muss zunächst geklärt werden, ob das Projekt denn wirtschaftlich lukrativ wäre. Es sollte der Nutzen mit den einzusetzenden Kosten in Zusammenhang gebracht und ausgewertet werden. Außerdem spielt hier auch die Machbarkeit eine Rolle. Ist diese Idee mit dem momentanen Stand der Technik umsetzbar? Wenn ja, müssen auch Personen, die das Projekt umsetzen könnten und die über das notwendige Know-How verfügen, zur Verfügung stehen. Meist spielen auch die unternehmensinterne Politik und das Ziel des Unternehmens eine Rolle. Es sollten Fragen, wie z.B. wie sich das Projekt auf die unternehmerischen Abläufe auswirken würde oder welche Ziele mit der Umsetzung verfolgt werden können, geklärt werden. Meist wird mit einer vagen Problemstellung begonnen, danach die Ist-Analyse der jetzigen Situation, die Schwachstellen hervorbringen soll, ausgewertet. Danach können auch gewünschte Soll-Prozesse im Zusammenhang mit Zielen festgelegt werden. Außerdem sollten grobe Rahmenbedingungen und das Budget nicht außer Acht gelassen werden. Aufgrund dieser aufwändigen und analytischen Phase wird die Auftragsklärung auch Geschäftsanalyse oder auf englisch Business Analysis genannt<sup>126</sup>.

#### Das Basismodell – Phase Konzeption

Nachdem die Auftragsklärung abgeschlossen ist, kann die Phase der Konzeption beginnen. Hier sollen wichtige Fragen, wie z.B. welche Funktionen das umzusetzende System beinhalten soll und welche Daten gespeichert werden sollen, geklärt werden. Die Definition vom Leistungsumfang des IT-Systems mit all seinen Eigenschaften und Fähigkeiten steht im Vordergrund. Es können auch wichtige Kennzahlen, wie z.B., dass das System auf eine sehr hohe Kundenanzahl ausgelegt werden soll, in Betracht gezogen und definiert werden. Ein Mengengerüst für das komplette System, gerade bei der Erarbeitung von Systemen mit externer Hardware, kann auch seinen Weg in die Konzeption finden. Weiters muss geklärt werden, auf welcher Plattform, z.B. Betriebssystem und Gerätetyp, das System entwickelt werden soll. Nach dem Erörtern aller Anforderungen kann über unterschiedliche Lösungsmöglichkeiten diskutiert werden. Hierbei kann die Nutzwertanalyse, die als „systematischer Vergleich von Alternativen“<sup>127</sup> definiert wird, eingesetzt werden. Die Nutzwertanalyse setzt verschiedene Kriterien mit unterschiedlichen Gewichtungen in Zusammenhang und wertet diese aus. Nach dem Finden der vielversprechendsten Lösung können all diese Anforderungen im Lasten- und Pflichtenheft festgehalten werden. Beide beleuchten dieselbe Sache, jedoch aus Perspektiven gegenteiliger Parteien. Das Lastenheft wird

<sup>126</sup> vgl. *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 8–10.

<sup>127</sup> *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 12.



von dem\*der Auftraggeber\*in bzw. Kunden\*in geschrieben und beinhaltet eine möglichst genau Beschreibung der angestrebten IT-Lösung. Ein Lastenheft kann z.B. eine Rechnung in tabellarischer Form sein, wenn dies für das Projekt ausreichend ist. In anderen Situationen und Projekten reicht dies womöglich nicht und es muss eine viel detailliertere Beschreibung der gewünschten Software mit Skizzen und Definitionen erstellt werden. Auf der anderen Seite steht das Pflichtenheft, das von dem\*der Dienstleister\*in formuliert wird. Es definiert alle Anforderungen an das umzusetzende IT-Projekt. Die Inhalte des Pflichtenheftes sollen sich nicht widersprechen und es soll dabei auf das gemeinsame Verständnis von dem\*der Auftraggeber\*in und Dienstleister\*in geachtet werden. Begriffe, die zu Diskussionen und unterschiedlichen Auslegungen führen können, sollen präzise formuliert werden. Das Pflichtenheft beschäftigt sich umfassend mit den Fragen nach den Zielen und Funktionen der IT-Lösung. Die Frage nach den Eigenschaften, die dem\*der Kunden\*in bzw. Auftraggeber\*in wichtig sind, wird im besten Fall auch beantwortet. Am Ende der Konzeption kann eine vollständige Beschreibung des geforderten IT-Systems und dem damit verbundenen Lösungsweg präsentiert werden. Aus diesem Grund wird die Konzeptphase auch Anforderungsanalyse oder auf Englisch: Requirements Analysis genannt<sup>128</sup>. Neben der funktionalen Konzeption sollte hier auch die visuelle Konzeption beachtet werden. Mit sogenannten Wireframes, siehe Abbildung 14, kann ein grobes Design und eine Abfolge von Screens nach Funktionen erstellt werden. So kann sich der\*die Auftraggeber\*in und das Team, das die Software umsetzen soll, ein gutes Bild über die zu leistenden Entwicklungen machen<sup>129</sup>.

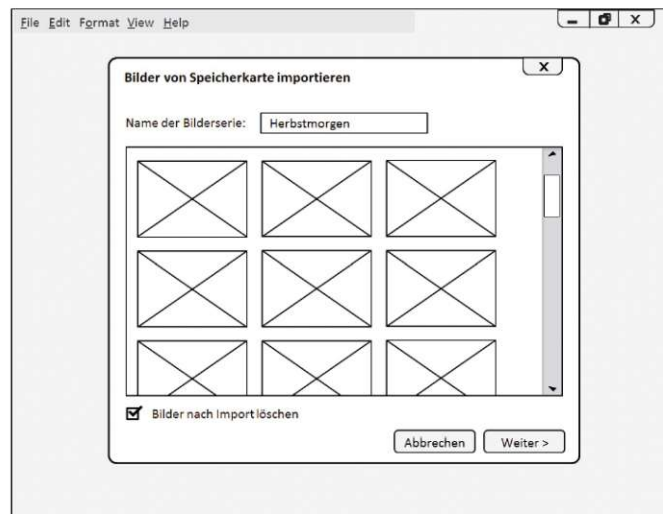


Abbildung 14: Einfach dargestelltes Wireframe<sup>130</sup>

<sup>128</sup> vgl. *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 11–14.

<sup>129</sup> *Moser*, User-experience-Design: mit erlebniszentrierter Softwareentwicklung zu Produkten, die begeistern<sup>1.</sup> Aufl. (X.media.press 2012) 123.

<sup>130</sup> *Moser*, User-experience-Design: mit erlebniszentrierter Softwareentwicklung zu Produkten, die begeistern<sup>1.</sup> Aufl. (X.media.press 2012) 169.

### Das Basismodell – Phase Design

Die Design-Phase beschäftigt sich in erster Linie nicht mit dem visuellen Erscheinungsbild des Systems, sondern eher mit der Softwarearchitektur und ihrem Zusammenspiel mit verwendeter Hardware. Es soll die Frage nach dem Aufbau und der Gestaltung des IT-System gestellt und geklärt werden. Neben den bereits erwähnten Zusammenhängen von Software- und Hardwarekomponenten, werden auch Baugruppen spezifiziert. Bei der Softwarearchitektur wird geklärt, aus welchen Teilen die Software bestehen soll und wie die Teile zusammenhängen werden. Softwarekomponenten werden durch Schnittstellen und ihr Verhalten mit unterschiedlichen Eingaben definiert. Im Gegensatz zur Konzeptphase wird in der Designphase der Aufbau des IT-Systems geklärt. Außerdem können erste Überlegungen zu Versionen gemacht werden. Manchmal ist es sinnvoll, ein Projekt in mehrere Komponenten aufzuteilen und manche Funktionen erst zu einem späteren Zeitpunkt zu implementieren. Falls das neue IT-System mit bestehenden Kundensystemen zusammenarbeiten soll, muss eine Lösung für bereits bestehende Schnittstellen und Programme des Kunden gefunden und definiert werden. Die Design-Phase wird auch Entwurfsphase oder kurz Entwurf genannt und wird als Phase, in der die IT-Phase beginnt, betrachtet<sup>131</sup>.

### Das Basismodell – Phase Realisierung

In der Realisierungsphase wird gefordert, dass das IT-System mit all den definierten Anforderungen umgesetzt wird. Oft wird diese Phase in den bereits definierten Komponenten getrennt voneinander, manchmal von mehreren Entwickler\*innen, umgesetzt. Die Entwicklungsumgebung des umzusetzenden Systems wird manchmal bei dem\*der Kunden\*in direkt mit von dem\*der Kunden\*in zur Verfügung gestellten Rechnern, oder direkt von dem\*der Dienstleister\*in selbst, bereitgestellt. Nicht ungewöhnlich ist es, so genannte Patterns, Entwurfsmuster, bei der Implementierung zu benutzen. Es gibt eine Vielzahl an Patterns, wie z.B. für Wrapper oder Gateways, die als Wissensvermittlung dienen sollen. Hierbei können Entwickler\*innen aus Erfahrungen und Fehlern anderer Programmierer\*innen lernen und gleich erprobte Methoden einführen sowie Entwürfe flexibel gestalten<sup>132</sup>. In dieser Phase werden das Design und auch das Konzept in eine Programmiersprache übersetzt und demnach wird die Phase auch Implementierungsphase genannt. Während der Realisierung spielt das Testen des bereits entwickelten Systems bzw. der entwickelten Teilsysteme

<sup>131</sup> vgl. *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 14–15.

<sup>132</sup> vgl. *Eilebrecht/Starke*, Patterns kompakt: Entwurfsmuster für effektive Softwareentwicklung<sup>5</sup>, aktualisierte und erweiterte Auflage (IT kompakt 2019) VI, 127, 130.

eine große Rolle. Aus diesem Grund wird dem Thema Testing ein eigener Abschnitt in dieser Arbeit gewidmet<sup>133</sup>.

#### Das Basismodell – Phase Einführung

Nachdem die Realisierung ihr Ende gefunden hat, beginnt die Phase Einführung des fertig gebauten und beauftragten IT-Systems. Bei dieser Phase geht es darum, das fertige System in die Umgebung des\*der Auftraggebers\*in zu bringen. Hierbei steht das Ausrollen des Systems im produktiven Betrieb, dem Betrieb des\*der Kunden\*in, auf dem das System dann tatsächlich laufen wird, die Abnahme des\*der Auftraggebers\*in und die Schulung der Anwender\*innen im Mittelpunkt. Der\*Die Auftraggeber\*in hat die Möglichkeit noch anfallende Mängel und Nacharbeiten einzufordern. Diese werden gemeinsam diskutiert und bei ausreichender Validität anschließend behoben. Sobald die Abnahme durch den\*die Auftraggeber\*in erfolgt ist, ist das Ende des Auftrages besiegelt. Um diesen Punkt zu erreichen, sind umfangreiche Tests, die im nächsten Abschnitt genauer erläutert werden, notwendig. In Abbildung 15 wird genau dieser Prozess abgebildet<sup>134</sup>.

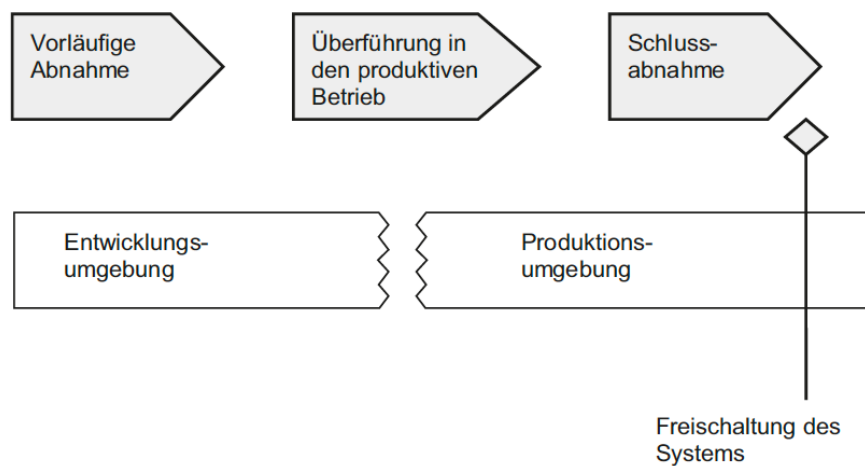


Abbildung 15: Abnahmeprozess<sup>135</sup>

#### Das Basismodell – Phase Testen

Das Testen beschäftigt sich im Allgemeinen mit dem Finden von Fehlern im IT-System. Es ist eine besondere Phase, da sie nicht zeitlich abgegrenzt von den anderen Phasen stattfindet, sondern die komplette IT-Phase von Design, über Entwicklung bis hin zur Einführung stetig begleiten sollte. Je früher in der Entwicklung ein Fehler gefunden wird, desto weniger Kosten verursacht er. Jedoch gilt hier zu beachten, dass es keine

<sup>133</sup> vgl. *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 15–16.

<sup>134</sup> vgl. *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 16–18.

<sup>135</sup> *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 17.

100 Prozent fehlerfreie Software geben kann. Jeder gefundene Fehler, der während der Entwicklung behoben wird, ist ein Gewinn. Außerdem ist eine weitere Aufgabe des Test-Teams, sicherzustellen, dass die Anforderungen wie beschrieben umgesetzt werden<sup>136</sup>. Das Testen wird von außen als eine einfache Aufgabe angesehen, jedoch kann diese bei komplexeren Systemen zu einer großen Herausforderung werden. Jeder einzelne Schritt, der von einem\*r Anwender\*in getätigt werden kann, und jede Kombination dieser Schritte sollte durchgetestet werden. Bereits in den Jahren 1998 bis 2003 wurde ein Reifegradmodell entwickelt, um das Testen einer Software beurteilen zu können. Zunächst sollte dieses Modell nur das Testen in eine messbare Größe umwandeln, es hat sich im Verlauf zu einer Messgröße für den kompletten Softwareentwicklungsprozess gewandelt<sup>137</sup>. Im Allgemeinen gib es eine Vielzahl an verschiedenen Testarten, wie z.B. Regression Tests, automatisierte Tests, manuelle Tests und Funktionsteste, nur um einige zu nennen. Quellcode-Durchsichten von Personen, die den Code der entwickelten Software nicht selbst geschrieben haben, jedoch das notwendige Wissen besitzen, zählen zu weiteren Tätigkeiten, die frühzeitig Fehler erkennen und die Qualität der Software sicherstellen sollen. Außerdem zählt auch die nachstehende Rückmeldung bzw. ein Bericht, der anfallende Fehler beschreibt, zur Qualitätssicherung. Der\*Die zuständige Entwickler\*in beheben im Nachgang die aufgezeigten Fehler<sup>138</sup>.

#### Das Basismodell – Rollen in einem Softwareprojekt

In der Softwareentwicklung werden pro Projekt Aufgaben verteilt, die im besten Fall Rollen zugeordnet sind. In Abbildung 16 werden die Rollen der einzelnen Phasen abgebildet, da sie genau zu diesem Zeitpunkt besonders gefragt sind. Hier gilt es zu erwähnen, dass es verschiedene Bezeichnungen für eine Rolle geben kann. Außerdem sind Rollen nicht immer den gleichen Aufgaben zugewiesen. Folglich werden diese Rollen näher erläutert<sup>139</sup>:

- Projektleiter\*in: hält die Verantwortung für das Projekt, koordiniert und leitet dieses
- Qualitätsmanager\*in: stellt die Qualität des Ablaufs und Ergebnisses des Projekts sicher
- Risikomanager\*in: hält die Einschätzung der finanziellen Risiken inne
- Fachexperte\*in: wird von dem\*der Auftraggeber\*in gestellt und gibt fachlichen Input zum umzusetzenden Projekt

<sup>136</sup> vgl. OV, ISO\_IEC\_12207-2-2020.pdf, 104.

<sup>137</sup> vgl. *Sneed/Jungmayr*, Produkt- und Prozessmetriken für den Softwaretest, Informatik-Spektrum 2006, 23–38 (24).

<sup>138</sup> vgl. *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 18–21.

<sup>139</sup> vgl. *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 21–23.

- IT-Berater\*in: wird als Bindeglied zwischen täglichem Geschäft und IT bezeichnet und hilft bei der systematischen und formalen Korrektheit der Definition der Anforderungen
- Architekt\*in: befasst sich mit der Software- und Hardwarearchitektur
- Entwickler\*in: erstellt den Quellcode der Software
- Roll-Out-Manager\*in: ist für die Einführung bei dem\*der Kunden\*in verantwortlich
- IT-Trainer\*in: ist für die Planung und Durchführung von Schulungen der Anwender\*innen zuständig
- Tester\*in: stellt sicher, dass die Software nahezu fehlerfrei ist
- Konfigurationsmanager\*in: ist für das Zusammenspiel der Komponenten verantwortlich
- Projektassistent\*in: hilft bei der Organisation des Projektablaufs
- Infrastruktur-Administrator\*in: stellt die Funktion und Verfügbarkeit der IT-Infrastruktur sicher
- Dokumentations-Assistent\*in: versichert die Aktualität der notwendigen Dokumente im Verlauf des Projekts

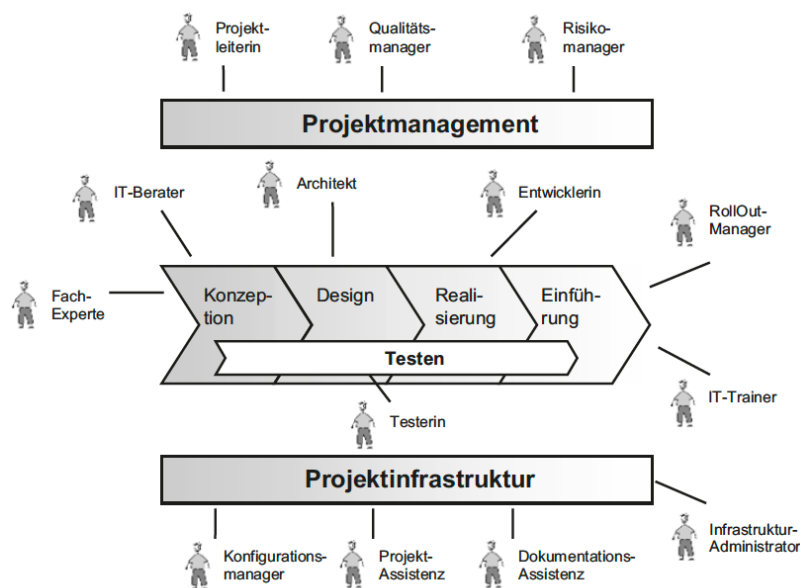


Abbildung 16: Rollen in der Softwareentwicklung<sup>140</sup>

Das Basismodell zeigt alle notwendigen Phasen der Softwareentwicklung auf. Es gibt jedoch neben dem Basismodell weitere Vorgehensmodelle, die jeweils eine andere Spezialisierung aufweisen. Diese werden in den folgenden Abschnitten näher erläutert.

<sup>140</sup> Brandt-Pook/Kollmeier, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 22.

## 2.2.3 Weitere Vorgehensmodelle

### Das Wasserfallmodell

Das Wasserfallmodell ist mitunter das älteste, noch in Verwendung befindliche, Vorgehensmodell. Es wurde bereits im Jahr 1970 vorgestellt und baut auf die zeitliche nacheinander folgende Abfolge von Phasen auf. Die vorhergehende Phase muss erst abgeschlossen werden, bevor die nächste ihren Anfang finden kann. Dieses Modell ist ein sehr einfaches Modell und aufgrund der Einfachheit und guten Verständlichkeit wird es noch oft eingesetzt. Ein Nachteil bei diesem Modell ist, dass kein Weg von einer fortgeschrittenen Phase in eine Phase, die weiter zurückliegt, führt, bzw. angedacht ist. Das Wasserfallmodell kann nicht in komplexeren Projekten eingesetzt werden, da es hier an seine Grenzen stößt. In Abbildung 17 werden die einzelnen Phasen des Wasserfallmodells gezeigt und es sei hier erwähnt, dass sich dieses Modell nur auf den Kernbereich eines Projekts bezieht. Außerdem wird die Test-Phase erst nach der Fertigstellung der Implementierung angedacht. Die Phasen Projektmanagement und Projektinfrastruktur werden hier ausgelassen. Außerdem werden im Wasserfallmodell keine Rollen und Methoden beschrieben<sup>141</sup>.

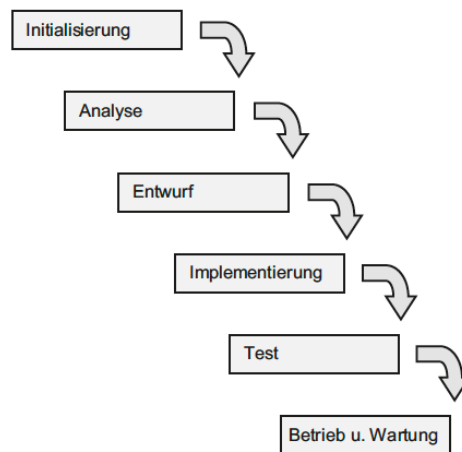


Abbildung 17: Wasserfallmodell<sup>142</sup>

### Das V-Modell

Das V-Modell ist eine Erweiterung des Wasserfallmodells und wurde erstmals in den 1980er Jahren angewandt. Es hat seinen Namen durch seine stetige, v-förmige Darstellung. In Abbildung 18 wird das V-Modell mit all seinen Phasen aufgezeigt. Auf der linken Seite sind die Phasen des Wasserfallmodells, etwas anders als in Abbildung 17 dargestellt, abgebildet. Wasserfallmodelle können sich in der Phasenzahl und

<sup>141</sup> vgl. *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 24.

<sup>142</sup> *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 24.

ihrem Aufbau unterscheiden. Die rechte Seite des V-Modells zeigt die zu jeder Phase zugehörige Testphase auf<sup>143</sup>.

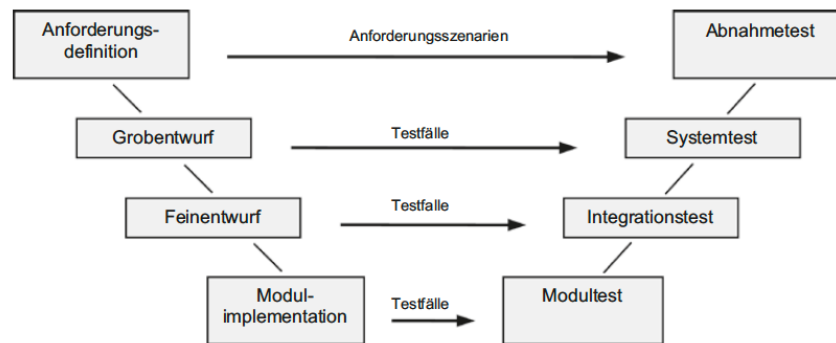


Abbildung 18: V-Modell I<sup>144</sup>

So wie es eine Vielzahl an möglichen Wasserfallmodellen gibt, die detaillierter oder weniger detailliert ausgearbeitet sind, können auch V-Modelle unterschiedliche Formen annehmen. In Abbildung 19 wird eine weitere detailliertere Art eines V-Modells vorgestellt, in der die Idee hinter dem V-Modell noch etwas mehr hervorgehoben wird. Hierbei werden die einzelnen Phasen der linken Seite vom Konzept bis zur Implementierung seitens des Designs begleitet<sup>145,146</sup>.

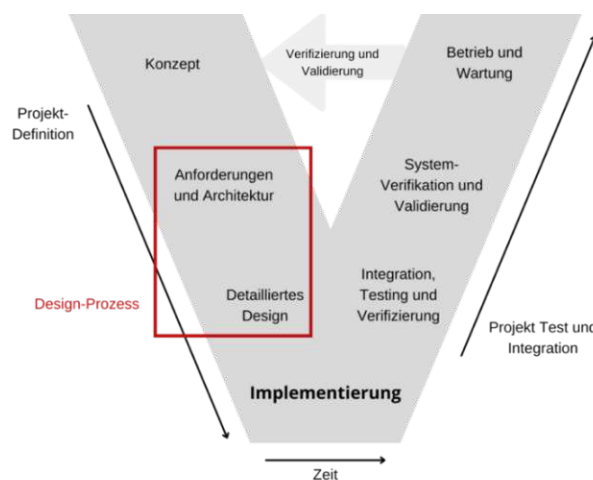


Abbildung 19: V-Modell IP<sup>147</sup>

<sup>143</sup> vgl. *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 25–26.

<sup>144</sup> *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 25.

<sup>145</sup> vgl. *Erol*, Design of Information Systems for Production Management, Design Process and Requirements Engineering, 8.

<sup>146</sup> vgl. *Moser*, User-experience-Design: mit erlebniszentrierter Softwareentwicklung zu Produkten, die begeistern<sup>1</sup>. Aufl. (X.media.press 2012) 57–60, 78.

<sup>147</sup> vgl. *Erol*, Design of Information Systems for Production Management, Design Process and Requirements Engineering, 5.

## Das Spiralmodell

Das Spiralmodell geht von der Idee aus, dass mit dem weiterführenden Projektfortschritt Zyklen entstehen, die auf gleiche Art und Weise immer wieder durchlaufen werden. Am Ende ist die Annäherung zum Ziel angedacht. In Abbildung 20 wird das Spiralmodell aufgezeigt. Es ist zu sehen, dass es maßgeblich durch vier Quadranten begrenzt wird. Der Vorteil vom Spiralmodell ist, dass in jedem Zyklus eine Risikoanalyse erstellt wird. Dies gibt dem Projektmanagement-Team die Möglichkeit, zeitnah korrigierend einzugreifen<sup>148</sup>.

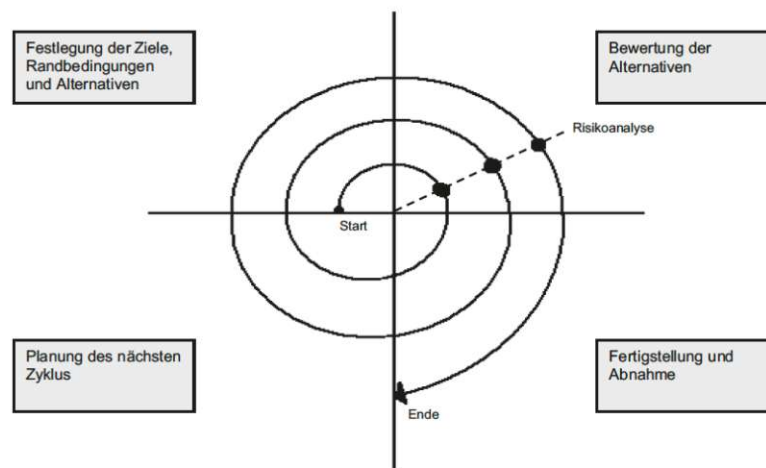


Abbildung 20: Spiralmodell<sup>149</sup>

## Extreme Programming

Das Modell Extreme Programming (deutsch: extremes Programmieren) stellt die Entwicklung gemeinsam mit dem\*der Entwickler\*in in den Vordergrund. Es wurde in den 1990er Jahren vorgestellt und soll sich, im Gegensatz zu den anderen bereits vorgestellten Modellen, schnell auf Änderungen einstellen können. Durch die Reduktion auf das Nötigste wird dieses Modell als ein Leichtgewicht bzw. als ein agiles Vorgehensmodell bezeichnet. Als nicht notwendiger Ballast wird unter anderem die Dokumentation betrachtet. Im Extreme Programming, kurz XP, ist die Dokumentation höchstens zu Beginn des Projektes aktuell, dennoch wird das Projekt mit gut kommentiertem Quellcode und den eingehaltenen Programmierstandards auf guter Qualität gehalten. Der Fokus wird auf die Kommunikation im und zwischen Auftragnehmer\*in und Auftraggeber\*in und dem Team gelegt. Jede\*r Entwickler\*in ist angehalten „mutig, eigenverantwortlich und umsichtig“<sup>150</sup> zu handeln sowie stets das große Ganze im Blick zu behalten. Um die Programmierkunst in den Mittelpunkt zu

<sup>148</sup> vgl. *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 26–27.

<sup>149</sup> *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 27.

<sup>150</sup> *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 28.



stellen, werden auch verschiedene Praktiken angewandt. Das Pair Programming (deutsch: Programmierung in Paaren) z.B. stellt eine dieser Praktiken dar. Dabei arbeiten zwei Entwickler\*innen am gleichen Quellcode, wobei eine der Personen einige Zeit tippt und die andere Person über die Schulter schaut. Nach einiger Zeit wird gewechselt. Diese Praxis soll der sogenannten „Betriebsblindheit“, bei der der\*die Verfasser\*in den möglichen Fehler eine lange Zeit nicht finden kann, entgegenwirken. Außerdem wird dem Testen in XP eine wichtige Rolle zugesprochen. Die geschriebene Software gilt als fertig, wenn die bis dahin definierten Tests fehlerfrei durchlaufen werden können<sup>151</sup>.

### Scrum

Scrum ist ein etwas jüngeres Vorgehensmodell als XP und wurde in den ersten 2000er Jahren populär. Basierend auf dem Namen Scrum, was übersetzt Gedränge bedeutet, soll dargestellt werden, dass es auch bei diesem Modell eine sehr enge Zusammenarbeit des gesamten Projektteams gibt. Der Fokus wird auf die „Bereitstellung des richtigen Prozesses“<sup>152</sup> gelegt und das Team ist angehalten, die Arbeit selbst zu organisieren. Im Mittelpunkt steht jedoch dennoch hochwertig programmierte Software. Das Modell ist genauso ein Leichtgewicht wie das Modell XP und wird als agil bezeichnet, da es sich sehr schnell an Änderungen anpassen kann. In Abbildung 21 wird der Scrum-Prozess aufgezeigt. Es wird mit einem Produkt-Backlog, einem Aufgabenbestand, in dem die Anforderungen aus Sicht des\*der Kunden\*in festgehalten wird, begonnen. Diese Anforderungen, die zunächst noch sehr allgemein beschrieben sind, werden in sogenannten Sprint-Meetings in konkrete Aufgaben übersetzt und außerdem werden Ziele dabei festgelegt. Sprints werden in Abbildung 21 als 30-tägige Zyklen gezeigt, sie können jedoch auch in zwei, drei oder vier Wochen Takten erfolgen. Hilfreiche Entwicklungspraktiken, wie z.B. Continuous Integration<sup>I</sup> oder testgetriebene Entwicklung und das Refactoring<sup>II</sup>, werden in der Entwicklung nach Scrum beachtet<sup>153</sup>. Um das Projektteam während eines Sprints auf dem Laufenden zu halten, werden tägliche Sprint Meetings durchgeführt. Hier werden wichtige Informationen zu Neuerungen oder anderen wichtigen Themengebieten ausgetauscht. Am Ende eines Sprints soll eine lauffähige Software oder zumindest lauffähige Teile davon vorhanden sein. Lange Planungsphasen sind hier ein Fremdwort. Es wird direkt mit der Entwicklung begonnen. Auch bei Scrum gibt es

<sup>151</sup> vgl. *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 27–31.

<sup>152</sup> *Pichler/Roock*, Agile Entwicklungspraktiken mit Scrum<sup>1.</sup> Auflage (2011) Einleitung.

<sup>153</sup> vgl. *Fields et al*, Refactoring Ruby Edition (2010) Chapter 2.

<sup>I</sup>Continuous Integration, kontinuierliche Integration, gehört zu den Methoden der agilen Softwareentwicklung. Dabei arbeitet ein Team aus Entwickler\*innen an einer Code Base, einzelne Personen tragen neue Codeabschnitte bei und kümmern sich darum, dass die Integrität des Codes erhalten bleibt<sup>153</sup>.

<sup>II</sup>Refactoring wird die Prozedur genannt, bei der eine Änderung der internen Struktur der Software gemacht wird, um sie leichter verständlich und schneller modifizierbar zu machen, ohne ihre Funktion zu ändern<sup>153</sup>.

festgelegte Rollen. Der Product Owner (deutsch: Produkt-Besitzer\*in) koordiniert die Produktaufgaben und legt fest, welche Aufgaben wie priorisiert werden sollen. Das Entwicklungsteam programmiert das Tool nach den Anforderungen des Product Owners. Der\*Die Kunde\*in bringt außerdem die Sicht des\*der Auftraggebers\*in mit in den Raum und achtet darauf, dass dessen\*deren Vorstellungen umgesetzt werden. Als letztes wird hier der Scrum Master genannt, der sich um die Einhaltung der Regeln des Vorgehensmodells kümmert. Genauso wie beim XP Modell bringen Kritiker\*innen die gleichen negativen Aspekte beim Scrum-Modell zum Vorschein. Scrum sei für große Projektteams nicht ideal und außerdem bringe dieses Modell zu wenige Vorgaben mit sich<sup>154,155</sup>. Es wurden jedoch bereits Unternehmungen versucht, die Modelle Scrum und Kanban zu vereinen, um deren Stärken zu einem noch stärkeren Modell zu vereinen<sup>156,157</sup>.

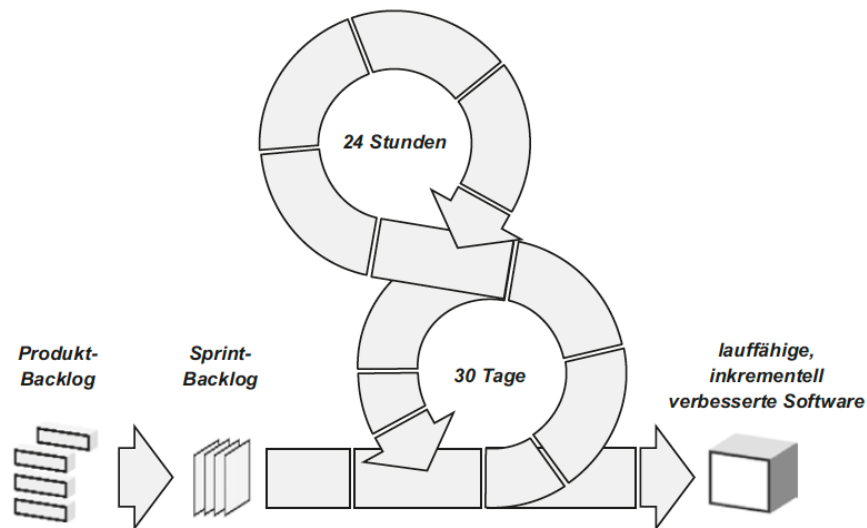


Abbildung 21: Scrum<sup>158</sup>

## Requirements Engineering

Requirements Engineering, das Anforderungsmanagement, hat es sich zur Aufgabe gemacht, Anforderungen an das Projekt bzw. System klar zu definieren. Eine Anforderung wird als eine Aussage, die ein Produkt, einen Prozessbetrieb, ein Funktions- oder Designmerkmal sowie -beschränkung eindeutig identifiziert, testbar oder messbar macht und für die Produkt- oder Prozessakzeptanz erforderlich ist, definiert<sup>159</sup>. Sie kann auch als Aussage über einen Bedarf mit all seinen mit ihm

<sup>154</sup> vgl. *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 31–32.

<sup>155</sup> vgl. *Pichler/Roock*, Agile Entwicklungspraktiken mit Scrum<sup>1.</sup> Auflage (2011) Einleitung.

<sup>156</sup> vgl. OV, Vallon Raoul - 2011 - Lean and Agile Software Development Planung und...pdf, Einleitung.

<sup>157</sup> vgl. *Womack/Jones/Roos*, Die Zweite Revolution in Der Autoindustrie: Konsequenzen Aus Der Weltweiten Studie Aus Dem Massachusetts Institute of Technology<sup>2.</sup> (1991) 92.

<sup>158</sup> *Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3.</sup>, verbesserte Auflage (Lehrbuch 2020) 32.

<sup>159</sup> vgl. *Dick/Hull/Jackson*, Requirements Engineering (2017) 7.

verbundenen Einschränkungen und Bedingungen bezeichnet werden<sup>160</sup>. Meist werden die Anforderungen von dem\*der Auftraggeber\*in definiert und sollen eindeutige Einschränkungen sowie kritische Performance-Anforderungen bestimmen. Um zu diesem Ziel zu kommen, werden die Kund\*innenanforderungen vorbereitet, definiert und im Anschluss zu direkten Anforderungen und Aufgaben transferiert. Zuletzt werden diese analysiert und auch gepflegt. Bei der Formulierung der Anforderungen sollten Punkte wie z.B. Notwendigkeit, Eindeutigkeit, sowie Durchführbarkeit beachtet werden<sup>161</sup>. Anforderungen können jedoch auch von Stakeholder\*innen gestellt werden. Die Personen, die einen erheblichen Einfluss auf die Anforderungsdefinition nehmen können, werden als „Stakeholder\*innen“ bezeichnet. Sie können eine individuelle Gruppe von Personen, eine Organisation oder eine Einheit, die ein direktes oder indirektes Interesse an der Entwicklung des Systems haben, sein<sup>162</sup>. Es ist überaus wichtig, Stakeholder\*innen in einer frühen Phase des Projektes miteinzubeziehen, da sonst im Verlauf neue Anforderungen entstehen können und das Projekt so schnell in Verzug geraten oder letztendlich sogar scheitern kann. Eine Stakeholder\*innenanalyse, die Anforderungen auf dem neuesten Stand halten soll, sollte periodisch wiederholt werden, da sich die Anforderungen und der Einfluss der einzelnen Personen mit dem Projektverlauf ändern können. Dabei wird die Rolle der einzelnen Personen, ihr Einfluss und auch die Anforderungen an das Projekt aus Sicht des\*der Stakeholders\*in geklärt. Um diese wichtige Information im gesamten Team bekannt zu machen, werden mögliche Stakeholder\*innen-Interviews und deren Ausgang verschriftlicht und dokumentiert. Auch beteiligte Stakeholder\*innen erhalten die anschließende Dokumentation, um diese auf Richtigkeit und Vollständigkeit prüfen zu können<sup>163</sup>. Die Kommunikation mit Stakeholder\*innen übernimmt meist der\*die Produktmanager\*in des Projekts. Er\*Sie definiert und bewertet neue Anforderungen im Hinblick auf Risiko und Auswirkung auf das gesamte Projekt und kommuniziert diese an das Entwickler\*innen-Team weiter. Um das Risiko einschätzen zu können, sollte der Risikomanagementprozess bewahrt bleiben<sup>164</sup>. Der Zyklus der Einmeldung von neuen Anforderungen wird in Abbildung 22 aufgezeigt. Der Vorgang eines kompletten System-Lebenszyklus im Zusammenhang mit Requirements Engineering kann in der Norm 15288-2008<sup>165</sup> nachgelesen werden.

<sup>160</sup> vgl. OV, ISO\_IEC\_29148-2018.pdf, 4.

<sup>161</sup> vgl. *Erol*, Design of Information Systems for Production Management, Design Process and Requirements Engineering, 13.

<sup>162</sup> vgl. *Dick/Hull/Jackson*, Requirements Engineering (2017) 8.

<sup>163</sup> vgl. *Moser*, User-experience-Design: mit erlebniszentrierter Softwareentwicklung zu Produkten, die begeistern<sup>1. Aufl.</sup> (X.media.press 2012) 50–53.

<sup>164</sup> vgl. *Ahrendts/Marton*, IT-Risikomanagement leben! Wirkungsvolle Umsetzung für Projekte in der Softwareentwicklung ; [mit Risiko- und Maßnahmenlexikon]<sup>1. Aufl.</sup> (Xpert.press 2008) 91, 92, 97, 111.

<sup>165</sup> OV, 15288-2008, 2008.

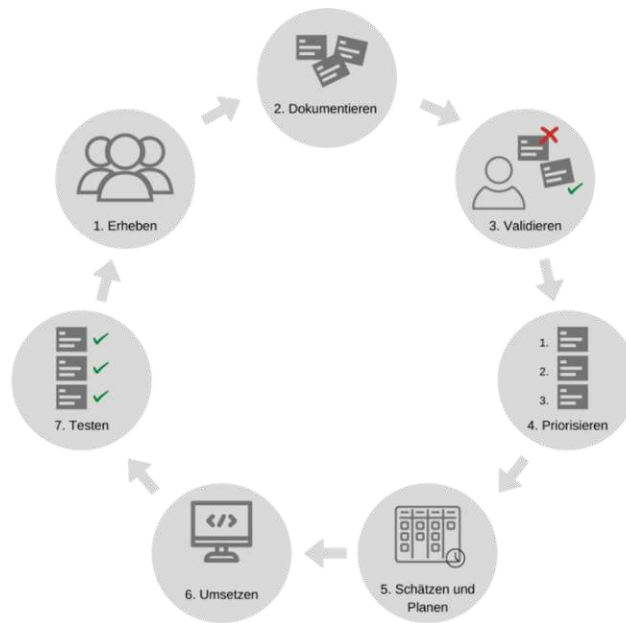


Abbildung 22: Anforderungsmanagement-Prozess<sup>166</sup>

Bei agiler Softwareentwicklung, die schnell auf Änderungen reagieren kann, werden Anforderungen in so genannten User Stories definiert und stetig angepasst. Dabei wird auf die Definition von Use Cases, die eine bestimmte Anforderung als „eine Sequenz von Interaktionen zwischen einem Akteur und dem System“<sup>167</sup> bezeichnen, zurückgegriffen. Hierbei werden Standardabläufe und auch alternative Zustände oder Fehler beschrieben und bedacht. Use Cases werden nach Möglichkeit nur als funktionale Anforderungen beschrieben. Sie sollen eine Idee der Handlung in abstrakter Weise und ohne Einschränkung der Lösung darstellen<sup>168</sup>.

Die genaue Definition von Anforderungen korreliert sehr stark mit der Qualität des zu entwickelnden Produkts. Qualität wird als gut empfunden, wenn die Anforderungen der Stakeholder\*innen erfüllt und die Erwartungen des\*der Benutzers\*in getroffen sind, wenn nicht sogar übertroffen werden. Zusammen mit Kosten und Zeit bildet die Qualität drei Pfeiler, die sich untereinander und auch den Ausgang des Projektes beeinflussen. Jede Entscheidung des Managements ist ein Kompromiss zwischen diesen drei Punkten. Da die Anforderungsdefinition sehr früh im Prozess stattfindet, kann hier die Qualität noch sehr gut zum Besten beeinflusst werden. Anforderungen klar zu definieren, sodass das Produkt oder das System direkt so entwickelt wird, wie es sich Stakeholder\*innen und auch Kund\*innen wünschen, kann sehr viel Zeit und Ressourcen sparen<sup>169</sup>.

<sup>166</sup> vgl. Moser, User-experience-Design: mit erlebniszentrierter Softwareentwicklung zu Produkten, die begeistern<sup>1. Aufl.</sup> (X.media.press 2012) 89.

<sup>167</sup> Moser, User-experience-Design: mit erlebniszentrierter Softwareentwicklung zu Produkten, die begeistern<sup>1. Aufl.</sup> (X.media.press 2012) 92.

<sup>168</sup> vgl. Moser, User-experience-Design: mit erlebniszentrierter Softwareentwicklung zu Produkten, die begeistern<sup>1. Aufl.</sup> (X.media.press 2012) 87, 92.

<sup>169</sup> vgl. Dick/Hull/Jackson, Requirements Engineering (2017) 11.

### 3 Berechnung des Instandhaltungsreifegrades

Im Rahmen dieser Arbeit werden die Qualitätsmetriken, die für die Berechnung des wissensbasierten Instandhaltungsreifegrades notwendig sind, erörtert. Die für die Berechnung der Datenqualität notwendigen Formeln und Größen werden erforscht und in die Berechnung des Reifegrades der wissensbasierten Instandhaltung eingebracht. Um die Anforderungen an das im Rahmen dieser Arbeit zu programmierende Tool verstehen zu können, muss zunächst die Logik und die Berechnungsgrundlage des Reifegradmodells der Instandhaltung vorgestellt werden. Bei diesem Modell handelt es sich um ein multidimensionales Modell. Insgesamt werden vier Qualitätsmetriken zur Berechnung herangezogen:

- Datenqualität ( $D_Q$ )
- Informationsqualität ( $I_Q$ )
- Wissensqualität ( $K_Q$ )
- Instandhaltungsqualität ( $M_Q$ )

Als Ziel werden vier Stufen eines wissensbasierten Instandhaltungsreifegrades festgelegt<sup>170</sup>:

1. Reif für deskriptive Instandhaltung
2. Reif für diagnostische Instandhaltung
3. Reif für prädiktive Instandhaltung
4. Reif für präskriptive Instandhaltung

Jede Qualitätsmetrik wird in die Berechnung des Reifegrades der Instandhaltung eines Unternehmens einbezogen. Anbei werden die jeweiligen Größen, die eine Metrik beeinflussen, aufgezeigt. Die Berechnungslogik der Datenqualität wird im nächstfolgenden Kapitel definiert. Alle weiteren Berechnungen der Qualitätsmetriken Information, Wissen und Instandhaltung, können der Arbeit „Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken“ von Tanja Nemeth entnommen werden<sup>171</sup>.

#### 3.1 Qualitätsmetrik: Datenqualität

In dieser Arbeit wird die Berechnung und die Auswahl der Kennzahlen für die Bemessung des Instandhaltungsreifegrades erarbeitet. Wie bereits im Kapitel Datenqualität in der Instandhaltung erwähnt, kann die Datenqualität aus der intrinsischen bzw. aufgabenunabhängigen, kontextbezogenen bzw. aufgabenabhängigen und systemtechnischen Perspektive betrachtet werden und setzt

<sup>170</sup> vgl. *Matyas*, Instandhaltungslogistik<sup>7</sup>. (2018) 315.

<sup>171</sup> vgl. *Tanja Nemeth*, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 94.

sich auch aus diesen drei Bereichen zusammen<sup>172</sup>. Einzelne Qualitätsindikatoren können berechnet werden und tragen so zur Berechnung des Reifegrades der wissensbasierten Instandhaltung bei. Der nächste Abschnitt beschäftigt sich mit der Berechnung der Datenqualität und ihren Indikatoren.

### 3.1.1 Berechnung der Datenqualität

Für die Datenqualität sind Rohdaten, wie z.B. Messungen von Maschinensensoren oder auch Dokumentationen von historischen Inzidenzen der Anlage, von großer Wichtigkeit. Sie bilden die initialen Inputdaten für den Messprozess. Es gilt zu beachten, dass die Datenqualität zur Berechnung des Reifegrades der wissensbasierten Instandhaltung vor der Datenverarbeitung für Analyse und Diagnose bestimmt wird. In Tabelle 2 werden die Qualitätsindikatoren der Datenqualität, deren Abkürzung, Definition, Leitfrage und Berechnungsformel, die den jeweiligen Indikator erklären soll, erläutert. Sie basieren auf den Entdeckungen von Askham<sup>173</sup>, Würthele<sup>174</sup> und Wang und Strong<sup>175</sup>. Tabelle 1 zeigt alle Dimensionen der Datenqualität nach Sadiq<sup>176</sup> auf. In Tabelle 2 können die bereits ausgewählten Qualitätsindikatoren aufgrund ihrer Relevanz zusammenfassend aufgezeigt.

Qualitätsindikatoren der Datenqualität D <sub>Q</sub>	
Korrektheit	
Abkürzung	K <sub>ODQ,i</sub>
Definition	Prozentsatz der Datenelemente D <sub>Ei</sub> einer relevanten Datenquelle Q <sub>D,i</sub> , deren Wert fehlerfrei, nicht verzerrt und somit richtig ist. Heranzuziehender Wert: tatsächlicher Wert der Korrektheit
Leitfrage	Beschreiben die Daten das reale Objekt fehlerfrei und korrekt?
Formel	$K_{ODQ,i}(Q_{D,i}) = 1 - \frac{\sum DE_{i,nicht\ korrekt}}{\sum DE_{i,nicht\ korrekt} + \sum DE_{i,korrekt}}$ $K_{ODQ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_{ODQ,i}(Q_{D,i})$
Perspektive	Intrinsisch
Validität	
Abkürzung	V <sub>ADQ</sub>
Definition	Bewertung in welchem Ausmaß die Datenelemente D <sub>Ei</sub> einer Datenquelle Q <sub>D,i</sub> den definierten Datenstandards in Bezug auf Format, Datentyp und Wertebereich entsprechen.

<sup>172</sup> vgl. Würthele, Datenqualitätsmetrik für Informationsprozesse: Datenqualitätsmanagement mittels ganzheitlicher Messung der Datenqualität 16.

<sup>173</sup> Nicola Askham et al., The six Primary dimensions for Data Quality Assessment, 2013, 17.

<sup>174</sup> Würthele, Datenqualitätsmetrik für Informationsprozesse: Datenqualitätsmanagement mittels ganzheitlicher Messung der Datenqualität.

<sup>175</sup> Wang/Strong, Journal of Management Information Systems 1996, 5–33.

<sup>176</sup> Sadiq, Handbook of Data Quality (2013).

Leitfrage	Erfüllen die Daten die Syntaxregeln (Format, Datentyp, Wertebereich)?
Formel	$Va_{DQ,i}(Q_{D,i}) = 1 - \frac{\sum DE_{i,nicht\ valide}}{\sum DE_{i,nicht\ valide} + \sum DE_{i,valide}}$ $Va_{DQ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Va_{DQ,i}(Q_{D,i})$
Perspektive	Intrinsisch
Provenienz	
Abkürzung	Pr <sub>DQ</sub>
Definition	Misst, ob der Ursprung und der Weg von der Datenentstehung bis hin zur -speicherung eines Datenelemente D <sub>Ei</sub> einer Datenquelle Q <sub>D,i</sub> eindeutig feststellbar ist. Die Provenienz hat einen großen Einfluss auf das Vertrauen in die Daten und es können mit ihr Rückschlüsse auf die Objektivität gezogen werden.
Leitfrage	Ist der Ursprung (Quelle) der Daten sowie der Prozess zur Datengenerierung bekannt?
Formel	$Pr_{DQ,i}(Q_{D,i}) = 1 - \frac{\sum DE_{i,nicht\ identifizierbar}}{\sum DE_{i,nicht\ identifizierbar} + \sum DE_{i,identifizierbar}}$ $Pr_{DQ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Pr_{DQ,i}(Q_{D,i})$
Perspektive	Intrinsisch
Vollständigkeit	
Abkürzung	Vo <sub>DQ</sub>
Definition	Bewertung, ob alle geforderten Datenfelder DF, die für eine Aufgabe benötigt werden, vorhanden sind und ob alle Datenelemente D <sub>Ei</sub> innerhalb eines Datensets einer Datenquelle Q <sub>D,i</sub> über Werte verfügen.
Leitfrage	Werden alle definierten Datenfelder und -elemente erfasst?
Formel	$Vo_{DQ,i}(Q_{D,i}) = 1 - \frac{\sum DE_{i,fehlend}}{\sum DE_{i,fehlend} + \sum DE_{i,vollständig}}$ $Vo_{DQ} = \left(1 - \frac{\sum DF_{fehlend}}{\sum DF_{gefordert}} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Vo_{DQ,i}(Q_{D,i})\right) \cdot \frac{1}{2}$
Perspektive	Kontextuell
Verfügbarkeit	
Abkürzung	Ve <sub>DQ</sub>
Definition	Misst, ob Datensätze DS <sub>i</sub> einer Datenquelle Q <sub>D,i</sub> über den kompletten zeitlichen Horizont, der für eine Aufgabe benötigt wird, zur Verfügung stehen.
Leitfrage	Sind die Daten für einen geforderten Zeitraum vorhanden?
Formel	$Ve_{DQ,i}(Q_{D,i}) = 1 - \frac{\sum DE_{i,nicht\ verfügbar}}{\sum DE_{i,nicht\ verfügbar} + \sum DE_{i,verfügbar}}$ $Ve_{DQ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Ve_{DQ,i}(Q_{D,i})$

Perspektive	Kontextuell
<b>Granularität</b>	
Abkürzung	Gr <sub>DQ</sub>
Definition	Bewertet, ob der Detaillierungsgrad DG <sub>i</sub> der Daten pro Datenquelle Q <sub>D,i</sub> in Bezug auf Tiefe (z.B. Ebenenanzahl) und Breite (z.B. Sensoreinträge pro Zeiteinheit) für eine bestimmte Aufgabe passend ist.
Leitfrage	Ist die Granularität der Daten für eine jeweilige Aufgabe adäquat?
Formel	$Gr_{Q,i}(Q_{D,i}) = \begin{cases} 1 & \text{wenn } DG_{i,Tiefe_{IST}} \geq DG_{i,Tiefe_{SOLL}} \cup DG_{i,Breite_{IST}} \geq DG_{i,Breite_{SOLL}} \\ \left( \frac{DG_{i,Tiefe_{IST}}}{DG_{i,Tiefe_{SOLL}}} + \frac{DG_{i,Breite_{IST}}}{DG_{i,Breite_{SOLL}}} \right) & \text{sonst} \end{cases}$ $Gr_{DQ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Gr_{DQ,i}(Q_{D,i})$
Perspektive	Kontextuell
<b>Einzigartigkeit</b>	
Abkürzung	Ei <sub>DQ</sub>
Definition	Maß für Redundanzfreiheit
Leitfrage	Sind alle Datenfelder und -sätze nur einmalig vorhanden und frei von unbegründeten Mehrfacheinträgen?
Formel	$Ei_{DQ,i}(Q_{D,i}) = 1 - \frac{\sum DS_{i,redundant}}{\sum DS_{i,gesamt}}$ $Ei = \left( 1 - \frac{\sum DS_{i,redundant}}{\sum DS_{i,gesamt}} + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Ei_{DQ,i}(Q_{D,i}) \right) \cdot \frac{1}{2}$
Perspektive	Systemtechnisch
<b>System-Konsistenz</b>	
Abkürzung	Sk <sub>DQ</sub>
Definition	Gibt an, ob Datensets unterschiedlicher Datenquellen Q <sub>D,i</sub> , die für eine Aufgabe benötigt werden, eindeutig miteinander verknüpft sind oder ob sie in korrekter Relation miteinander verknüpft werden können.
Leitfrage	Können Datenfelder unterschiedliche Quellen eindeutig miteinander in Verbindung gebracht werden?
Formel	$SK_{Q,i} = \begin{cases} 1 & \text{wenn Datensets eindeutig verknüpfbar} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$ $SK_{DQ} = 1 - \frac{\sum \#Q_{D,i,inkonsistent}}{\sum \#Q_{D,i,inkonsistent} + \sum \#Q_{D,i,konsistent}}$
Perspektive	Systemtechnisch
<b>Zugänglichkeit</b>	
Abkürzung	Zu <sub>DQ</sub>
Definition	Gibt an, ob Daten einer Datenquelle Q <sub>D,i</sub> für eine*n Nutzer*in ohne erheblichen Kosten-, Koordinations- und Zeitaufwand ausgelesen werden können.



Leitfrage	Sind die Daten einer Datenquelle einfach und auf direktem Weg abruf- und nutzbar?
Formel	$Zu_{Q,i} = \begin{cases} 1 & \text{wenn Daten einfach abruf – und speicherbar} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$ $Zu_{DQ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Zu_{DQ,i}(Q_{D,i})$
Perspektive	Systemtechnisch
<b>Pünktlichkeit</b>	
Abkürzung	Pü <sub>DQ</sub>
Definition	Misst, ob die Zeitdauer ZD <sub>i</sub> , welche zwischen der Verfügbarkeit der Datenelemente DE <sub>i</sub> einer Datenquelle Q <sub>D,i</sub> und der zu messenden Gegebenheit vergeht, für eine bestimmte Aufgabe angemessen ist. Zeitanforderungen ZA <sub>i</sub> einer Aufgabe liegen als Referenzwerte vor.
Leitfrage	Sind die Daten zum gewünschten Zeitpunkt verfügbar?
Formel	$Pü_{Q,i} = \begin{cases} 1 & \text{wenn } ZD_i \leq ZA_i \\ \frac{ZA_i}{ZD_i} & \text{sonst} \end{cases}$ $Pü_{DQ} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Pü_{DQ,i}(Q_{D,i})$
Perspektive	Systemtechnisch

Tabelle 2: Qualitätsindikatoren der Datenqualität<sup>177</sup>

### 3.2 Weitere Qualitätsmetriken

Neben der Datenqualität spielen Informations-, Wissens- und Instandhaltungsqualität eine Rolle bei der Findung und Berechnung des insgesamt wissensbasierten Reifegrades der Instandhaltung. Anbei werden diese Metriken genauer erläutert.

#### Informationsqualität

Informationsqualität hingegen wird zwischen der Analyse und Diagnose sowie der prädiktiven Modellbildung gemessen. Inputdaten können z.B. Kataloge von maschinenfehlerindizierenden Mustern sein. In Tabelle 3 werden die Qualitätsindikatoren von Informationsqualität, deren Abkürzung und die Leitfrage, die den jeweiligen Indikator erklären soll, erläutert.

<sup>177</sup> vgl. *Tanja Nemeth*, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 98–101.

Qualitätsindikator I <sub>Q</sub>	Abk.	Leitfrage
Korrektheit	KO <sub>IQ</sub>	Ist die Information wahr und frei von Fehlern?
Validität	Va <sub>IQ</sub>	Ist Inhalt und Format einer Information frei von inkonsistenten Elementen?
Erklärbarkeit	Er <sub>IQ</sub>	Sind Quellen und Methodik der Informationsgenerierung transparent und nachvollziehbar?
Aktualität	Ak <sub>IQ</sub>	Ist die Information für eine Aufgabe zeitlich relevant und nicht obsolet?
Prägnanz	Pg <sub>IQ</sub>	Enthält die Information ausschließlich relevante Elemente für eine Aufgabe?
Vollständigkeit	Vo <sub>IQ</sub>	Sind alle relevanten Informationselemente für eine Aufgabe verfügbar?
Zweckmäßigkeit	Zw <sub>IQ</sub>	Ist die Informationsbeschaffung dem Zweck entsprechend komfortabel und frei von überflüssigen Schritten?
Informationsfluss	In <sub>IQ</sub>	Kann Information zwischen relevanten Informationssystemen fließen und verarbeitet werden?
Pünktlichkeit	Pü <sub>IQ</sub>	Werden die Informationen für eine Aufgabe rechtzeitig zur Verfügung gestellt?

Tabelle 3: Qualitätsindikatoren der Informationsqualität<sup>178</sup>

## Wissensqualität

Wissensqualität wird zum Prozess der präskriptiven Entscheidungsunterstützung und der Instandhaltungsplanung gezählt. Dabei wird auf Erfahrungen von Mitarbeiter\*innen und deren Ausbildungsgrad zurückgegriffen. In Tabelle 4 werden die Qualitätsindikatoren von Wissensqualität, deren Abkürzung und die Leitfrage, die den jeweiligen Indikator erklären soll, erläutert.

Qualitätsindikator K <sub>Q</sub>	Abk.	Leitfrage
Bildungsniveau	Bn <sub>KQ</sub>	Wie gut ist ein*e Mitarbeiter*in aufgrund der Ausbildung für eine Position qualifiziert?
Erfahrungsniveau	En <sub>KQ</sub>	Wie viel Erfahrung hat ein*e Mitarbeiter*in für eine Position gesammelt?
Leistungsniveau	Le <sub>KQ</sub>	Inwiefern erfüllt ein*e Mitarbeiter*in seine*ihre (Leistungs-) Ziele?
Zweckmäßigkeit	Zw <sub>KQ</sub>	Ist die Wissensbereitstellung dem Zweck entsprechend komfortabel und frei von überflüssigen Schritten?

Tabelle 4: Qualitätsmetriken der Wissensqualität<sup>179</sup>

## Instandhaltungsqualität

Zuletzt wird die Instandhaltungsqualität mit Hilfe von deren Durchführung und Dokumentation gebildet. Hierbei werden die „finale Leistungs- und

<sup>178</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 104–107.

<sup>179</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 110–114.

Wertschöpfungsfähigkeit der operativen, taktischen und strategischen Instandhaltungsprozesse<sup>180</sup> aus Datenqualität, Informationsqualität und Wissensqualität gebildet. Es werden dabei unterschiedliche Perspektiven in Betracht gezogen<sup>181</sup>:

- Maschinenperspektive: Indikatoren, die sich auf Maschinen selbst beziehen
- Kostenperspektive: Indikatoren, die für finanzielle Planung und Reporting relevant sind
- Prozessperspektive: Indikatoren, die die Leistung der Prozesse quantifiziert
- Ressourcenperspektive: Indikatoren, die den Ressourceninput beschreiben

Da es viele Indikatoren für die Leistungsmessung im Bereich der Instandhaltungsqualität gibt, und diese von der Unternehmensbranche und anderen Faktoren sehr abhängen, wäre eine statische und vorgegebene Auswertung nach dem Prinzip von  $D_Q$ ,  $I_Q$  und  $K_Q$  nicht sinnvoll. Es wird jedoch ein Auswahlprozess für die geeignete Wahl von Kennzahlen und Indikatoren sowie deren Klassifizierung in der Arbeit von Nemeth T. vorgestellt<sup>182</sup>.

### 3.3 Gewichtung der Qualitätsmetriken und ihrer Indikatoren

Da Indikatoren von geringer Qualität (Werte  $\leq 50\%$ ) einen noch größeren Einfluss auf die Auswertung haben sollen, wird bei diesen Werten auf eine angepasste Gewichtung geachtet. In Formel 2 wird die Berechnung dieser Werte mittels Gewichtung aufgezeigt. Herangezogen wird diese Formel für Indikatoren von Datenqualität, Informationsqualität und Wissensqualität.

$$QI_{DQ} = \frac{\sum_{i=1}^n QI_{DQ,i} * g_i}{\sum_{i=1}^n g_i}; \quad QI_{IQ} = \frac{\sum_{j=1}^m QI_{IQ,j} * g_j}{\sum_{j=1}^m g_j}; \quad QI_{KQ} = \frac{\sum_{k=1}^u QI_{KQ,k} * q_k}{\sum_{k=1}^u g_k}$$

Formel 2: Gewichtung der Qualitätsindikatoren<sup>183</sup>

wobei gilt:

$$g = 1 \quad \text{wenn} \quad QI_{DQ,i}; \quad QI_{IQ,j} \text{ bzw. } QI_{KQ,k} > 50\%$$

$$g = 1,3 \quad \text{wenn} \quad QI_{DQ,i}; \quad QI_{IQ,j} \text{ bzw. } QI_{KQ,k} \leq 50\%$$

<sup>180</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 94.

<sup>181</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 118.

<sup>182</sup> vgl. Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 118–123.

<sup>183</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 118.

Die bisher gezeigte Methode ermöglicht eine Aggregation der Daten-, Informations- und Wissensqualitätskennzahlen. Mit Hilfe von Befragungen von 20 Experten aus einschlägigen Branchen sowie der Methode des paarweisen Vergleichs wurden in der Arbeit von Nemeth T. Gewichte der einzelnen Qualitätsindikatoren eingeführt. Zu beachten gilt, dass auch die Metriken an sich Gewichtungen erhalten. Diese Gewichtungen sind für die Berechnung des Instandhaltungsreifegrades von großer Bedeutung, da sie der jeweiligen Größe die angemessene Wichtigkeit zuschreiben<sup>184</sup>.

<b>D<sub>Q</sub> Metrik</b> <b>ζ<sub>D</sub>=0,36</b>		<b>I<sub>Q</sub> Metrik</b> <b>ζ<sub>I</sub>=0,23</b>		<b>K<sub>Q</sub> Metrik</b> <b>ζ<sub>K</sub>=0,28</b>		<b>M<sub>Q</sub> Metrik</b> <b>ζ<sub>M</sub>=0,13</b>	
<i>Indikator</i>	<i>ψ<sub>D</sub></i>	<i>Indikator</i>	<i>ψ<sub>I</sub></i>	<i>Indikator</i>	<i>ψ<sub>K</sub></i>	<i>Indikator</i>	<i>ψ<sub>M</sub></i>
Ko <sub>DQ</sub>	0,18	Ko <sub>IQ</sub>	0,2	En <sub>KQ</sub>	0,31	$\overline{KPI}$	0,66
SK <sub>DQ</sub>	0,16	Vo <sub>IQ</sub>	0,15	Le <sub>KQ</sub>	0,31	$\overline{PI}$	0,33
Ve <sub>DQ</sub>	0,14	Ak <sub>IQ</sub>	0,14	Zw <sub>KQ</sub>	0,21		
Vo <sub>DQ</sub>	0,13	Va <sub>IQ</sub>	0,14	Bn <sub>KQ</sub>	0,18		
Gr <sub>DQ</sub>	0,09	Pü <sub>IQ</sub>	0,12				
Va <sub>DQ</sub>	0,09	Er <sub>IQ</sub>	0,09				
Pr <sub>DQ</sub>	0,08	Zw <sub>IQ</sub>	0,07				
Pü <sub>DQ</sub>	0,07	In <sub>IQ</sub>	0,06				
Zu <sub>DQ</sub>	0,06	Pg <sub>IQ</sub>	0,02				
Ei <sub>DQ</sub>	0,02						

Tabelle 5: Gewichtungen der Qualitätsindikatoren aller Qualitätsmetriken<sup>185</sup>

Um den finalen Reifegrad berechnen zu können, wurden vier Indikatorenvektoren, fünf Gewichtungsvektoren sowie der Qualitätsvektor vorgestellt<sup>186</sup>:

Indikatorenvektoren:  $\vec{I}_D, \vec{I}_I, \vec{I}_K, \vec{I}_M$

Gewichtungsvektoren:  $\vec{\psi}_D, \vec{\psi}_I, \vec{\psi}_K, \vec{\psi}_M, \vec{\zeta}$

Qualitätsvektor:  $\vec{Q}$

<sup>184</sup> vgl. Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 123–124.

<sup>185</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 124.

<sup>186</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 125.

$$\vec{\psi}_D = \begin{pmatrix} \psi_{D|KoDQ} \\ \psi_{D|VaDQ} \\ \psi_{D|PrDQ} \\ \psi_{D|VoDQ} \\ \psi_{D|PüDQ} \\ \psi_{D|VeDQ} \\ \psi_{D|GrDQ} \\ \psi_{D|EiDQ} \\ \psi_{D|SKDQ} \\ \psi_{D|ZuDQ} \end{pmatrix}; \vec{\psi}_I = \begin{pmatrix} \psi_{I|KoIQ} \\ \psi_{I|VaIQ} \\ \psi_{I|ErIQ} \\ \psi_{I|AkIQ} \\ \psi_{I|PgIQ} \\ \psi_{I|VoIQ} \\ \psi_{I|PüIQ} \\ \psi_{I|ZwIQ} \\ \psi_{I|InIQ} \end{pmatrix}; \vec{\psi}_K = \begin{pmatrix} \psi_{K|BnKQ} \\ \psi_{K|EnKQ} \\ \psi_{K|LeKQ} \\ \psi_{K|ZwKQ} \end{pmatrix}; \vec{\psi}_M = \begin{pmatrix} \psi_{M|\overline{KPI}} \\ \psi_{M|\overline{PI}} \end{pmatrix}; \vec{\zeta} = \begin{pmatrix} \zeta_D \\ \zeta_I \\ \zeta_K \\ \zeta_M \end{pmatrix}$$

$$\vec{I}_D = \begin{pmatrix} KoDQ \\ VaDQ \\ PrDQ \\ VoDQ \\ PüDQ \\ VeDQ \\ GrDQ \\ EiDQ \\ SKDQ \\ ZuDQ \end{pmatrix}; \vec{I}_I = \begin{pmatrix} KoIQ \\ VaIQ \\ ErIQ \\ AkIQ \\ PgIQ \\ VoIQ \\ PüIQ \\ ZwIQ \\ InIQ \end{pmatrix}; \vec{I}_K = \begin{pmatrix} BnKQ \\ EnKQ \\ LeKQ \\ ZwKQ \end{pmatrix}; \vec{I}_M = \begin{pmatrix} \overline{KPI} \\ \overline{PI} \end{pmatrix}; \vec{Q} = \begin{pmatrix} DQ \\ IQ \\ KQ \\ MQ \end{pmatrix}$$

Abgeleitet aus den Vektoren ergibt sich mit Formel 3 bis Formel 6 die Berechnung des Reifegrades auf Dimensionsebene:

$$D_Q = \vec{\psi}_D \vec{I}_D = \psi_{D|KoDQ} KoDQ + \psi_{D|VaDQ} VaDQ + \psi_{D|PrDQ} PrDQ + \psi_{D|VoDQ} VoDQ \\ + \psi_{D|PüDQ} PüDQ + \psi_{D|VeDQ} VeDQ + \psi_{D|GrDQ} GrDQ + \psi_{D|EiDQ} EiDQ \\ + \psi_{D|SKDQ} SKDQ + \psi_{D|ZuDQ} ZuDQ$$

**Formel 3: Reifegrad der Datenqualität<sup>187</sup>**

$$I_Q = \vec{\psi}_I \vec{I}_I = \psi_{I|KoIQ} KoIQ + \psi_{I|VaIQ} VaIQ + \psi_{I|ErIQ} ErIQ + \psi_{I|AkIQ} AkIQ + \psi_{I|PgIQ} PgIQ \\ + \psi_{I|VoIQ} VoIQ + \psi_{I|PüIQ} PüIQ + \psi_{I|ZwIQ} ZwIQ + \psi_{I|InIQ} InIQ$$

**Formel 4: Reifegrad der Informationsqualität<sup>188</sup>**

$$K_Q = \vec{\psi}_K \vec{I}_K = \psi_{K|BnKQ} BnKQ + \psi_{K|EnKQ} EnKQ + \psi_{K|LeKQ} LeKQ + \psi_{K|ZwKQ} ZwKQ$$

**Formel 5: Reifegrad der Wissensqualität<sup>189</sup>**

$$M_Q = \vec{\psi}_M \vec{I}_M = \psi_{M|\overline{KPI}} \overline{KPI}_{MQ} + \psi_{M|\overline{PI}} \overline{PI}_{MQ}$$

**Formel 6: Reifegrad der Instandhaltungsqualität<sup>190</sup>**

<sup>187</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 125.

<sup>188</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 125.

<sup>189</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 125.

<sup>190</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 125.

Mit Hilfe der einzelnen Dimensionsreifegrade  $D_Q$ ,  $I_Q$ ,  $K_Q$  und  $M_Q$  lässt sich mit Hilfe von Formel 7 der Reifegrad der wissensbasierten Instandhaltung  $KBM_Q$  berechnen:

$$KBM_Q(D_Q, I_Q, K_Q, M_Q) = \vec{\zeta} \vec{Q} = \zeta_D D_Q + \zeta_I I_Q + \zeta_K K_Q + \zeta_M M_Q$$

**Formel 7: Reifegrad der wissensbasierten Instandhaltung<sup>191</sup>**

Bei der Berechnung mittels Formel 3 bis Formel 7 werden folgende Annahmen getroffen<sup>192</sup>:

- Indikatoren werden bei der Aggregation als voneinander unabhängig gesehen.
- Das vorgestellte Reifegradmodell berücksichtigt keine externen Größen, wie z.B. unerwartete Ressourcenengpässe oder Veränderungen des Marktes.
- Der Ist-Reifegrad ist eine Momentaufnahme der wissensbasierten Instandhaltung, wobei die Indikatoren zeitlich abhängig sind.

Der berechnete Reifegrad (RG) der wissensbasierten Instandhaltung liegt zwischen Null und 100% und wird in Tabelle 6 in vier Stufen aufgeteilt.

Reifegrad	Skalenbereich
RG I	0-15%
RG II	16-55%
RG III	56-85%
RG IV	87-100%

**Tabelle 6: Skalenbereiche der Reifegrade<sup>193</sup>**

Der RG I bezeichnet den Reifegrad, der für deskriptive Instandhaltung, die sich meist mit Durchführung und Dokumentation beschäftigt, steht. Da viele Daten und Informationen fehlen, werden hier Analyse- und Planungsaufgaben nicht berücksichtigt. Bei diagnostischer Instandhaltung wird RG II erreicht. Hierbei werden nahezu datenunabhängige und klassische Methoden für Instandhaltungsprozesse herangezogen. Bei einem RG III ist ein Unternehmen reif für prädiktive Instandhaltung. Es werden hierbei Algorithmen des maschinellen Lernens und andere unterstützende klassische Methoden angewandt, um die Berechnung der Lebensdauer und des Verschleißes ausführen zu können. Beim RG IV, reif für präskriptive Instandhaltung, liegt eine ausgezeichnete Qualität in allen Dimensionen vor. Dabei können aus verschiedenen direkten und indirekten instandhaltungsrelevanten Anforderungen zukünftige Prozesse hinsichtlich optimaler Instandhaltung hergeleitet werden<sup>194</sup>.

<sup>191</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 125.

<sup>192</sup> vgl. Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 126.

<sup>193</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 126.

<sup>194</sup> vgl. Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 127–128.

## 4 Implementierung eines Tools zur Berechnung und Visualisierung der Datenqualität in der Instandhaltung

### 4.1 Das Konzept

Im Kapitel Vorgehensmodelle in der Softwareentwicklung wurden einige Wege aufgezeigt, wie ein Softwaretool zu entwickeln ist. Diese Arbeit wurde nach dem Vorbild des V-Modells, das mit viel Testaufwand verbunden ist, entwickelt. Um sich jedoch zunächst einen guten Überblick über die Anforderungen machen zu können, wurde mit Rücksprache und Feedback von Tanja Nemeth, der Entwicklerin des Reifegradmodells, ein Pflichtenheft erstellt.

#### 4.1.1 Pflichtenheft

Im Pflichtenheft, siehe Tabelle 7, werden die Anforderungen an das Tool festgehalten. Die Umsetzung dessen wird hier jedoch noch nicht näher erläutert.

Anforderungen	Details
<i>Metriken</i>	
Kennzahleneingabe für Datenqualität, Informationsqualität, Wissensqualität und Instandhaltungsqualität ist vorhanden	Kennzahleneingabe erfolgt durch den*die Benutzer*in selbst
	Validierung auf zwei Nachkommastellen zwischen Null und Eins
	Kennzahleneingabe auf einem Screen
	Unterschiedliche Abschnitte sind für den*die Benutzer*in klar und deutlich zu erkennen
<i>Aggregation</i>	
Alle eingegebenen Kennzahlen der einzelnen Metriken können aggregiert werden.	Nach der Eingabe der Kennzahlen kann für jede Metrik eine Aggregation berechnet werden.
	Erfolgt für jede Metrik einzeln
	Grafik erfolgt auf den Daten der Aggregation
<i>Quellen</i>	
Für einzelne Metriken können Daten-, Informations-, Wissens- sowie Instandhaltungsquellen angegeben werden.	Neue Quellen können angelegt werden
	Quellenbezeichnung kann von dem*der Benutzer*in selbst gewählt werden
	Quellen können interaktiv aktiviert und deaktiviert werden
	Wenn Quellen aktiv sind, werden sie für die Aggregation und grafische Auswertung verwendet
	Wenn Quellen deaktiviert sind, werden sie nicht für die Aggregation oder grafische Auswertung verwendet
	Quellen können gelöscht werden
	Es können maximal 15 Quellen pro Metrik eingegeben werden
<i>Grafische Auswertung</i>	
	Kann für jede Metrik selbst erfolgen

Eine grafische Auswertung pro Metrik ist vorhanden.	Innerhalb einer abgeschlossenen Metrik können Grafen miteinander verglichen werden (alles in einem Diagramm), den Unterschied machen die aktiven bzw. inaktiven Datenquellen aus
	Nur aktive Datenquellen werden für die grafische Auswertung verwendet
	Grafische Darstellung mittels Netzdiagramm oder einer anderen Art von Diagramm
	Soll/Ist Vergleich ist in grafischer Darstellung vorhanden (Vorteil: beide Linien in einem Diagramm)
	Soll Daten werden von dem*der User*in selbst definiert und als „eigene“ Quelle angezeigt, somit kann diese aktiviert bzw. deaktiviert werden
<b>Berechnung</b>	
Eine Berechnung der eingegebenen Werte für einzelne Metriken und auch die Berechnung des wissensbasierten Reifegrades soll erfolgen.	Berechnung und Anzeige des Reifegrades der wissensbasierten Instandhaltung
	4 Metriken ( $D_Q$ , $I_Q$ , $K_Q$ , $W_Q$ ) werden einzeln berechnet, das Ergebnis des Reifegrades dieser Dimensionen wird angezeigt
	Zwischenberechnungen: Aggregation der einzelnen Quellen und der jeweiligen Qualitätsindikatoren ist vorhanden
<b>Speicherung von Daten</b>	
.csv	.csv Upload und Download der eingegebenen Daten ist möglich, damit der*die Benutzer*in die Möglichkeit hat, nur mit Grafiken ohne hohen Aufwand zu interagieren
	Download und Speicherung von Grafiken ist möglich

**Tabelle 7: Pflichtenheft**

### 4.1.2 Umsetzungsmöglichkeiten

In der heutigen Zeit gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten ein Softwareprojekt umzusetzen. Mit der Verwendung von mobilen Geräten, wie z.B. Tablets, können auch Apps entwickelt werden. In dieser Arbeit werden genau diese Umsetzungsmöglichkeiten auf ihre Vor- und Nachteile untersucht, um das Tool zur Reifegradberechnung in der passenden Programmiersprache und Umgebung zu entwickeln.

Applikationen für die Betriebssysteme Android und iOS können auf Tablets oder mobilen Geräten verschiedenster Größen entwickelt werden. Ein Vorteil von sogenannten nativen Applikationen ist die Anpassung an das jeweilige Betriebssystem, sodass alle Funktionen und Möglichkeiten des Betriebssystems gut ausgenutzt werden können. Bei Applikationen werden einmal Daten beim Download und der Installation geladen und je nach Funktion müssen Inhalte nur selten nachgeladen werden. Somit können native Applikationen auch ohne bestehender Netzverbindung genutzt werden. Der große Nachteil von Applikationen auf mobilen Geräten im Hinblick auf die Umsetzung der Anforderungen des Reifegradmodell-Tools ist die Größe der Bildschirme. Da das Tool eine nicht unerhebliche Anzahl an



auszufüllenden Tabellen beinhalten soll, würde die visuelle Darstellung des Tools auf einem einzigen Screen nahezu unmöglich werden. Außerdem soll der\*die Benutzer\*in Kennzahlen für mindestens eine Quelle je Qualitätsindikator eingeben und dies resultiert je nach Auswertung in einer Anzahl von mindestens 50 einzugebenden Kennzahlen. Da bei vielen mobilen Geräten keine externe Tastatur verbunden werden kann, würde die Eingabe der Kennzahlen mittels integrierter Tastatur des Betriebssystems direkt am mobilen Gerät erfolgen. Dies würde sich für den\*die Benutzer\*in als eine langwierige Aufgabe herausstellen und würde schnell zu Frustration bei dem\*der Benutzer\*in führen. Im Gegensatz zu nativen Applikationen können Web-Applikationen, kurz Web-Apps, unabhängig vom Gerät aufgerufen und benutzt werden. Dies schließt mobile Geräte wie auch Laptops und Computer mit einer externen Tastatur als Hardware ein. Ein Nachteil von Web-Apps ist, dass eine Netzwerkverbindung bestehen muss. Einen nicht zu vernachlässigenden Teil dieser Erhebung stellt die subjektive Wahrnehmung des\*der Benutzers\*in dar. Ein Programm oder Tool kann funktional sehr gut aufgebaut sein, wenn jedoch die Benutzung des Tools keinen Spaß macht, wird das Tool zu keinem Erfolg. Um den\*die Benutzer\*in vor Frustration zu wahren und nach Rücksprache mit einer Stakeholderin, nämlich Nemeth Tanja, fiel die Wahl auf die Programmierung einer Web-App. Web-Apps können von allen Geräten aus geöffnet werden und verfügen meist über eine passende Eingabemöglichkeit. Außerdem kann hier der\*die Endnutzer\*in entscheiden, auf welchem Gerät das Tool verwendet werden soll. Große, möglicherweise externe, Bildschirme ermöglichen einen guten Überblick über die auszufüllenden Tabellen und außerdem können Web-Apps auch von unterwegs auf mobilen Geräten geöffnet und benutzt werden.

### 4.1.3 Recherche zu Programmiersprachen

Neben der Recherche zu Umsetzungsmöglichkeiten und der Vor- und Nachteile von nativen Applikationen im Vergleich zu Web-Apps wurde auch die Recherche zu Programmiersprachen durchgeführt.

Android und iOS

Android und iOS sind Betriebssysteme, die auf mobilen Geräten laufen. Sie ermöglichen eine genaue Entwicklung passend zum Betriebssystem. Hierbei können alle Stärken genutzt, sowie Schwächen versteckt werden. Für den\*die Benutzer\*in bedeutet dies eine bestmögliche Leistung, Geschwindigkeit und Nutzerfahrung. Funktionen verbunden mit der passenden Hardware, z.B. Kamera, Kalender, etc. können in die Applikation eingebunden werden. Zu einem weiteren Vorteil zählt die mögliche Offline-Funktionalität. Ist eine Applikation einmal installiert und ihre Daten heruntergeladen, können manche Funktionen auch ohne aktiver Netzwerkverbindung benutzt werden. Passendes Design der Apps verbunden mit sehr guter Nutzer\*innenführung führen meist zu sehr positivem Feedback. Native Applikationen

müssen jedoch meist über den jeweiligen App Store (Android Play Store, iOS App Store) distribuiert werden. Dazu braucht ein\*e Entwickler\*in ein passendes Konto bei Google für Android Applikationen und Apple für iOS Applikationen. Diese können von kostenlosen bis hin zu kostenpflichtigen Konten-Varianten variieren. Außerdem, wenn der Wunsch besteht jede\*n Besitzer\*in eines mobilen Endgerätes zu erreichen, müsste die App auf beiden Betriebssystem, Android und iOS, entwickelt werden. Dies bedeutet, obwohl die Design Phase für beide fast gleich ist, Doppelung der bereits nicht unerheblichen Kosten. Es ist heutzutage jedoch möglich beide Betriebssysteme mit nur einem Code zu erreichen, nämlich mit Flutter. Da jedoch die Bildschirmgröße bei der Benutzung des zu entwickelnden Tools eine große Bedeutung zugeschrieben wird, wird die Entwicklung nativer Applikationen nicht weiter in den Fokus gestellt<sup>195</sup>.

## Python

Die Programmiersprache gibt es bereits seit dem Jahr 1991 und seither erfreut sie sich großer Beliebtheit. Der Vorteil von Python ist die kostenlose und in vielen Bereichen anwendbare Nutzung der Programmiersprache. Namenhafte Nutzer\*innen von Python sind Instagram oder Youtube. Datenanalyse oder auch Benutzer\*innenoberflächen und Automationslösungen können mittels Python gelöst werden. Außerdem eignet sich diese Programmiersprache für Entwicklung von Spielen, Webentwicklung, CAD- und Business-Anwendungen. Da bereits die Vorteile von webbasierten Applikationen erläutert wurden und somit nativ entwickelte Programme nicht mehr in Frage kommen, wird die Nutzbarkeit von Python für genau diesen Fall näher beleuchtet. Um genau diese entwickeln zu können, werden externe Frameworks (Gerüste für Softwaretechnik) oder Bibliotheken genutzt. Um die Anforderungen des .csv Up- und Downloads, sowie die graphischen Darstellungen mittels Diagrammen mit Python entwickeln zu können, müssen unterschiedliche Frameworks oder Libraries benutzt werden. Bei der Entwicklung des Reifegradmodell-Tools wird großer Wert auf visuelle Inhalte gelegt. Zusammen mit Python und Qt oder Tkinter können Benutzer\*innenoberflächen programmiert werden. Tkinter ist ein GUI-Programm (Graphical User Interface) und wird für die Entwicklung von Benutzer\*innenoberflächen von Python angewandt. Das Tkinter Modul ist bereits in Python integriert und kann nach vorheriger Installation ohne weiteren Aufwand benutzt werden. Meist wird in Python linear programmiert. Dies bedeutet, dass in einem Programm ein Schritt nach dem anderen in vordefinierter Reihenfolge durchlaufen wird. Mit einer Benutzer\*innenoberfläche ist dies nicht mehr möglich, da der\*die Nutzer\*in in unterschiedlicher Reihenfolge unterschiedliche Funktionen ansteuern kann. Dies bedeutet, dass hier eine ereignisbasierte Programmierung notwendig wird. In Abbildung 23 wird ein Beispiel einer Benutzer\*innenoberfläche, das mit Hilfe von Python und Tkinter entwickelt wurde gezeigt.

---

<sup>195</sup> vgl. OV, App entwickeln: Native App vs. Hybride App, Web App & PWA, 07.11.2021.

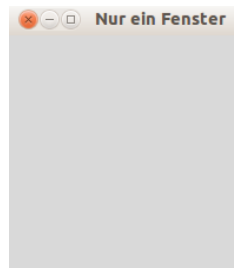


Abbildung 23: Beispielfenster entwickelt mit Python und Tkinter<sup>196</sup>

Da es sich hierbei um eine subjektiv nicht sehr schöne Ausführung handelt, und wie bereits erwähnt, das Reifegradmodell-Tool visuell sehr ansprechend gestaltet werden sollte, fällt die Wahl als geeignete Programmiersprache nicht auf Python und Tkinter. Um jedoch die Erwähnung aller Tools zu komplettieren, wird die Verbindung von Python und Qt auch noch näher erläutert. Qt zeigt im Gegensatz zu Tkinter eine Vielzahl an Möglichkeiten bei der Frage von Design und User Interface. Es ist möglich, ein sehr modernes und zugleich subjektiv schön aussehendes Design zu entwickeln, vgl. Abbildung 24. Da jedoch die Use Cases für Qt und Python zusammen nicht explizit für Webseiten angeführt werden, wird diese Kombination nicht als endgültige Wahl für die Programmierung des Reifegradmodell-Tools genommen. Qt wird meist für mobile oder Desktop-Applikationen genutzt. Hierbei ist der\*die Benutzer\*in an ein Gerät gebunden und ein Teil der Flexibilität geht verloren. Außerdem muss eine Vielzahl an Frameworks für die Implementierung der Anforderungen .csv Up- und Download und auch graphische Darstellung von Diagrammen benutzt werden. Dies bedeutet einen erheblichen weiteren Lernaufwand von neuen Tools und Programmiersprachen<sup>197,198,199,200</sup>.

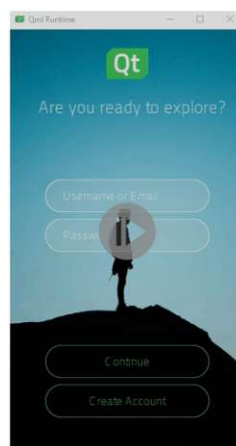


Abbildung 24: Qt Design-Beispiel<sup>201</sup>

<sup>196</sup> OV, Python Docs - 9. Graphische Benutzeroberfläche, 07.11.2021.

<sup>197</sup> vgl. OV, Python – Die wichtigsten Fragen für Anfänger, 07.11.2021.

<sup>198</sup> vgl. OV, Python Docs - 9. Graphische Benutzeroberfläche, 07.11.2021.

<sup>199</sup> vgl. OV, Qt, 07.11.2021.

<sup>200</sup> vgl. OV, Qt - Why Qt?, 07.11.2021.

<sup>201</sup> OV, Qt Docs - Your First UI, 07.11.2021.

Web-App mittels HTML, CSS und JavaScript

Web-Applikationen haben den Vorteil, dass sie vollständig auf browserbasierten Anwendungen, wie z.B. Chrome, Safari oder Firefox, laufen. Funktionen werden mit Hilfe von aktiver Netzwerkverbindung ausgeführt. Meist wird hierfür die Programmiersprache JavaScript angewandt. Ein Vorteil von Browsern ist die Unabhängigkeit vom Endgerät. Mobile Geräte sowie auch Laptops und Standcomputer können auf diese zugreifen. Da all diese Geräte unterschiedliche Bildschirmgrößen besitzen, muss die Web-Anwendung auf mobile Geräte aufgrund des kleinen Bildschirms optimiert werden. Mittels CSS kann Design im Allgemeinen und auch optimiert auf unterschiedliche Bildschirmgröße angegeben werden. Im Gegensatz zur Entwicklung von nativen Apps, wird bei der Programmierung in JavaScript der doppelte Entwicklungsaufwand vermieden. Kompatibilitätsprobleme treten so gut wie nie auf, da alle Benutzer\*innen auf die gleiche Version zugreifen können. Der einzige Nachteil einer Web-App ist die notwendige vorhandene Netzwerkanbindung. Schönes Design kann mit Hilfe von HTML und CSS relativ schnell geschaffen werden. Außerdem ist die Erlernung der Design-Sprache im Vergleich zu anderen Programmiersprachen sehr einfach. HTML dient zur Definition des Layouts der Webseite. Hier werden Überschriften, Paragraphen und Textfelder definiert. Das Styling, wie z.B. Schriftgröße, -farbe und Hintergrund, kann mit CSS erfolgen. In Abbildung 25 wird ein Beispiel für Design von Text mittels HTML und CSS gezeigt.

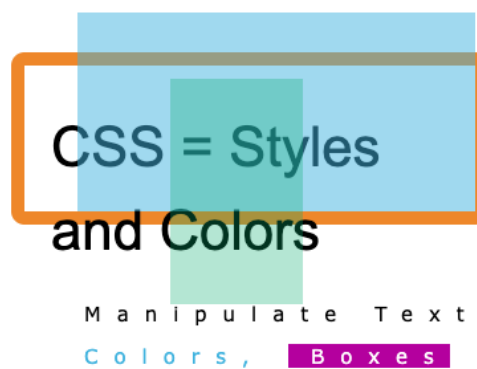


Abbildung 25: Design mit Hilfe von HTML und CSS<sup>202</sup>

Für Webanwendungen gibt es eine Vielzahl von Libraries, ein vorgeschriebener Code, den der\*die User\*in für seine\*ihre Anwendung anpassen kann. Damit können Zeit und somit auch Kosten gespart werden<sup>203,204</sup>.

---

<sup>202</sup> OV, HTML Styles - CSS, 07.11.2021.

<sup>203</sup> vgl. OV, App entwickeln: Native App vs Hybride App, Web App & PWA, 07.11.2021.

<sup>204</sup> vgl. OV, What are libraries in programming?, 07.11.2021.

### 4.1.4 Ideen zur Umsetzung der Berechnungslogik der Datenqualität in der Instandhaltung

Da die Wahl der passenden Programmiersprache auf JavaScript mit HTML und CSS gefallen ist, kann sich im nächsten Schritt dem Design zugewandt werden. Bei der Entwicklung von Software wird zunächst ein Konzept erstellt. Hier soll deutlich werden, welche Funktionen das Tool beinhaltet und auch die visuelle Darstellung soll abgeklärt werden. Mit Hilfe des Online-Tools namens Mockflow<sup>205</sup> wurden Wireframes erstellt. Anbei wird in Abbildung 26 der erste Entwurf der angedachten Funktion und visuellen Darstellung gezeigt. Ein Aussagekräftiger Titel und eine kurze Funktionsbeschreibung erklären dem\*der User\*in, welche Inhalte in dem Abschnitt zu erwarten sind. Unterschiedliche Quellen, wie z.B. Daten- oder Informationsquellen, können hinzugefügt werden und ihre Bezeichnung kann selbst gewählt werden. Mittels Checkboxen können Quellen für die Auswertung aktiviert oder deaktiviert werden. Eine Aggregation auf Quellenebene ist vorhanden und kann mittels Klicks auf den *Aggregation*-Button angesteuert werden. Eingegebene Inhalte von Quellen müssen vor der Aggregation und Grafikauswertung gespeichert werden. Der Inhalt von Quellen kann auch gelöscht werden. Grafiken können nach der Abspeicherung der Kennzahlen mittels Klicks auf den *Grafik*-Button erstellt werden. Die Grafiken werden dann in einem zusätzlichen Fenster im Webbrowser geöffnet und können mit einem weiteren Klick auf den *Download*-Button gespeichert werden.

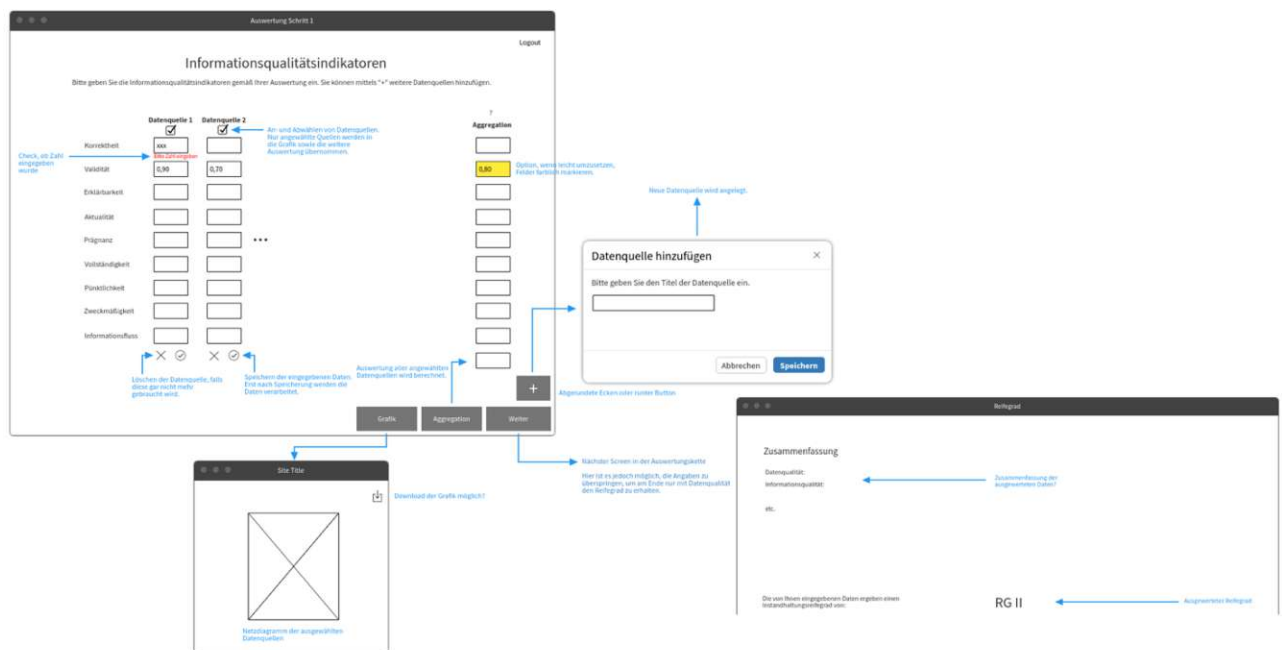


Abbildung 26: Wireframe - erster Entwurf

Die erste Idee für das Reifegradmodell war die einzelnen Qualitätsmetriken auf unterschiedlichen Seiten zu berechnen. Der\*Die User\*in würde sich von Metrik zu

<sup>205</sup> OV, Mockflow (2021).

Metrik handeln und innerhalb der Web-Applikation auf unterschiedlichen Seiten, die chronologisch nacheinander passiert würden, die Kennzahlen eintragen. Am Ende würde eine Seite mit Zusammenfassung der Zwischenergebnisse und des resultierenden Reifegrades, abgebildet in Abbildung 26 gezeigt werden. Es wurde jedoch entschieden, dass alle Berechnungen und Diagramme zwecks Übersicht auf einer einzelnen Seite gezeigt werden sollten. Die Eingaben auf einer Seite über alle Qualitätsmetriken hinweg ermöglicht dem\*der User\*in außerdem einen schnellen Wechsel zwischen den einzelnen Abschnitten und Berechnungen. Nach dieser Entscheidung wurde das Design und Konzept des Tools überarbeitet und findet sich in Abbildung 27 wieder. Hier wird bereits die Notwendigkeit der Funktion des Hinzufügens neuer Quellen, die Speicherung der Kennzahlen und auch Löschung einzelner Quellen angezweifelt. Außerdem finden sich die Checkboxen für die Aktivierung und Deaktivierung von Quellen an einer anderen Stelle. Die Quellenspalten sind mit den Spalten der Qualitätsmetriken getauscht worden. Der Wunsch nach einem einzigen Screen, der die gesamte Berechnung und Auswertung erhält, wurde erfüllt.

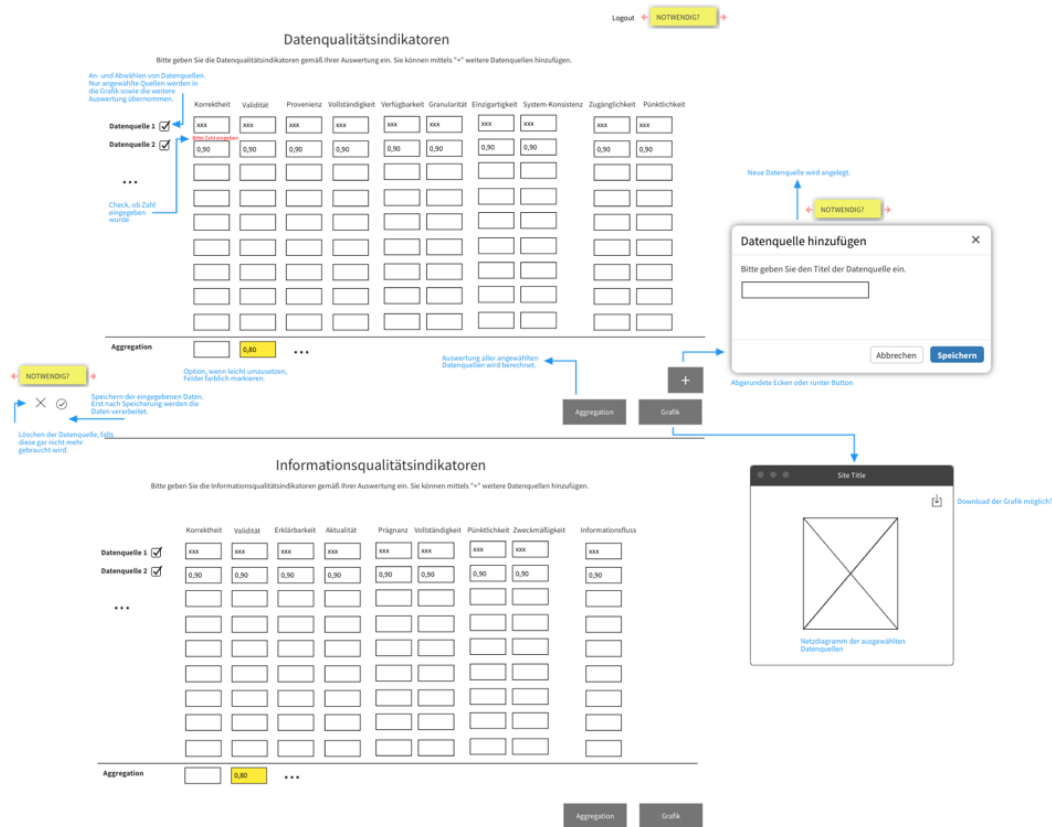


Abbildung 27: Wireframes Teil 1 - zweiter Entwurf

Da sich die Auswertung der Instandhaltungsqualität von den Auswertungen der Daten-, Informations- und Wissensqualität unterscheidet, musste das Design und Konzept angepasst werden. Hierbei werden unterschiedliche Perspektiven aggregiert und

ausgewertet. In Abbildung 28 wird das erste Konzept für die Instandhaltungsqualität gezeigt.

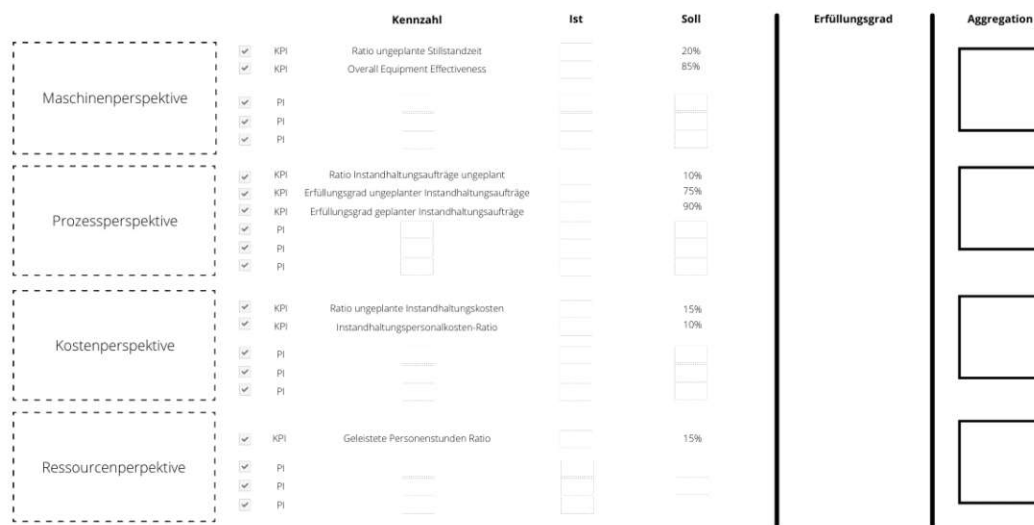


Abbildung 28: Wireframe Instandhaltungsqualität - erster Entwurf

Die Maschinen-, Prozess-, Kosten- und Ressourcenperspektive werden einzeln und unabhängig voneinander aggregiert. Mit Hilfe der jeweiligen Ist- und Soll-Kennzahl wird der Erfüllungsgrad berechnet. KPIs (Key-Performance-Indicators) und ihre fixen Soll-Werte sind für einzelne Perspektiven Pflicht, und PI (Performance Indicators) können von dem\*der Benutzer\*in frei gewählt werden. Um einen KPI oder PI in die Auswertung einfließen zu lassen, muss die Checkbox neben der jeweiligen KPI bzw. PI aktiviert werden. Möchte der\*die User\*in nicht, dass die KPI bzw. PI in die Auswertung und grafische Darstellung eingebracht wird, kann die Checkbox deaktiviert werden.

#### 4.1.5 Umsetzung der Berechnungslogik und Visualisierung der Datenqualität in der Instandhaltung

Nachdem das Design und das Konzept alle Anforderungen erfüllt, kann mit der Programmierung des Tools angefangen werden. Die Wahl der Programmiersprache fiel auf JavaScript in Addition zu HTML und CSS. JavaScript wird als meist verwendete Programmiersprache für Web-Anwendungen genannt<sup>206</sup>. Sie ist leicht zu lernen und es gibt eine Vielzahl an Tutorials und Kursen, die beim Lernen von JavaScript unterstützen können. Ein erheblicher Aufwand dieser Arbeit besteht darin, die Programmiersprache JavaScript in Kombination mit HTML und CSS zu erlernen. Dazu

<sup>206</sup> vgl. OV, JavaScript Tutorial, 07.11.2021.

wurden einige Kurse auf der Plattform Udemy<sup>207,208,209</sup> in Anspruch genommen. Nach Input professioneller Webentwickler und der Frage nach den gängigen Entwicklungsmethoden für Web-Applikationen wurde die Library React<sup>210</sup> genannt. React ist eine Addition zu JavaScript und hilft, das User Interface, die Benutzer\*innenoberfläche, aktuell zu halten. Zum Beispiel werden nur die notwendigen Komponenten nach der Ausführung einer Funktion neu geladen, um die Benutzer\*innenoberfläche aktuell zu halten. Dies spart Ladezeiten und schlägt sich so positiv auf die Performance nieder. Außerdem übernimmt diese Aktualisierung React selbst und es muss nicht extra Code geschrieben werden, um genau diese Aktualisierung durchzuführen. Als weiteren Vorteil für Entwickler wurde TypeScript<sup>211</sup> genannt. Es basiert auf der Programmiersprache JavaScript, ermöglicht jedoch typensichere Entwicklung. Bei der Initiierung und Definition von Größen wird auch der gewünschte Typ, z.B. Integer (Zahl) oder String (Zeichenkette), mit angegeben. TypeScript prüft in weiterer Folge bei Funktionen, wo genau diese Größe ihre Verwendung findet und ob ihr Typ immer noch stimmig ist. So können Denk- und Logikfehler schnell herausgefiltert und behoben werden. In der Welt der Entwickler\*innen gibt es eine Vielzahl von Libraries, die das Leben erleichtern. Für das Design von Inputfeldern oder Buttons fiel die Wahl auf Ant Design<sup>212</sup>. Hier können vorprogrammierte Komponenten, die direkt ein wunderschönes Design haben, das jedoch noch granular individuell angepasst werden kann, in den eigenen Code eingefügt werden. So wird das Design über das komplette Programm gleich gehalten und verfügt über Kontinuität. Da im Reifegradmodell-Tool Grafiken in Form von Diagrammen verwendet werden, wurde auch hier nach einer passenden Library gesucht. Die Wahl fiel auf Apex Charts<sup>213</sup>. Apex Charts bietet eine Vielzahl an verschiedenen Diagramm-Arten, die individuell angepasst werden können. Anpassungen können in Form von Farbe, Größe und Beschriftung getätigt werden. Für den .csv Up- und Download wurde Papa Parse<sup>214</sup> verwendet. Papa Parse erleichtert die Implementierung von Dateien-Up- und -Downloads erheblich. Vorgeschriebener Code, der im Hinblick auf Dateientyp und einzusetzenden Inputfeldern adaptiert wird, kann gut eingesetzt werden.

Während der Programmierung des Tools wurden einige Schwächen des Konzepts bzw. des Designs sichtbar. Einige Funktionen wurden ausgetauscht bzw. verbessert. Welche dies sind, wird im nächsten Kapitel *Das Reifegradmodell-Tool* zusammen mit der Beschreibung der endgültigen Funktion des Tools erläutert.

---

<sup>207</sup> Panjuta, Udemy - Der Komplette Webentwickler Kurs 2.0, 12.08.2020.

<sup>208</sup> Winkler, Udemy - Der ultimative HTML5 und CSS3 Komplettkurs, 29.09.2020.

<sup>209</sup> Winkler, Udemy - Der ultimative JavaScript Komplettkurs, 03.10.2020.

<sup>210</sup> OV, React (2020).

<sup>211</sup> OV, TypeScript (2021).

<sup>212</sup> OV, Ant Design, 07.11.2021.

<sup>213</sup> OV, Apex Charts, 07.11.2021.

<sup>214</sup> OV, Papa Parse, 07.11.2021.



## 5 Das Reifegradmodell-Tool

Im folgenden Abschnitt wird das finale Tool zur Berechnung des Reifegrades der wissensbasierten Instandhaltung, basierend auf der Doktorarbeit von Tanja Nemeth<sup>215</sup>, vorgestellt. Hierbei wird die Fallstudie 2 zur Vorstellung des Tools herangezogen.

### 5.1 User Interface

Passende Beschreibungen jedes Abschnittes sollen dem\*der Benutzer\*in erläutern, welche Funktionen vorhanden sind und welche Eingaben benötigt werden. In Abbildung 29 wird die Einleitung (engl. introduction, Abk. Intro) in das Tool gezeigt. Um hier ein stimmiges Farbschema zu gewährleisten, wurde das Tool in blauen Farbschattierungen gehalten. Es wurde sichergestellt, dass eine Schriftart mit Dekorationen, wie z.B. unterstrichen oder eine andere Textgröße an notwendigen Stellen, verwendet wird, um Überschriften und Bereiche hervorzuheben. Für Absetzungen von Inputfeldern und Abschnitten wurden Elemente in Grauschattierungen gewählt. Buttons, die eine Funktionen mit großen Auswirkungen beinhalten, wurden zwecks Sichtbarkeit in Rot gehalten. Um die Diagramme vom Hintergrund abzuheben, wurden gut sichtbare Farben, Orange, Grün, Gelb und Dunkelblau, gewählt. Um einzelne Bereiche, wie z.B. unterschiedliche Qualitätsmetriken, voneinander unterscheiden zu können, wurde auf verschiedene Hintergrundfarbschattierungen und weiße Abstände zwischen diesen gesetzt. Bei der Wahl der visuellen Darstellung der Ergebnisse fiel die Wahl auf das Spinnennetzdiagramm. Es war einerseits der Wunsch der Stakeholder\*innen, andererseits bildet es so bestmöglich die Ergebnisse ab. In Abbildung 30 wird das beschriebene Design gezeigt.



Abbildung 29: Einleitung des Tools

<sup>215</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken.

**INSTANDHALTUNGSQUALITÄTSINDIKATOREN**

Bitte geben Sie die Instandhaltungsqualitätsindikatoren gemäß Ihrer Auswertung ein.  
Für Prozentangaben werden ganze Zahlen zwischen Null und 100 akzeptiert.  
PI Kennzahlen können selbst benannt werden.

.CSV

**Maschinenperspektive**

An/Aus	Stufe	Kennzahl	Ist, [%, €]	Soll, [%, €]	Erfüllungsgrad
<input checked="" type="checkbox"/>	KPI	Res.Lagep	<input type="text"/>	30	0 %
<input checked="" type="checkbox"/>	KPI	OEE	<input type="text"/>	85	0 %
<input checked="" type="checkbox"/>	PI	PI Name 1	<input type="text"/>		0 %
<input checked="" type="checkbox"/>	PI	PI Name 2	<input type="text"/>		0 %
<input checked="" type="checkbox"/>	PI	PI Name 3	<input type="text"/>		0 %

Aggregation: 0.00

Res.Lagep...Ratio ungeplante Stillstände, OEE...Overall Equipment Effectiveness.

[Zurücksetzen](#)

**Maschinenperspektive Diagramm**

Res.Lagep  
100.00  
80.00  
60.00  
40.00  
20.00  
0.00

PI Name 3 OEE  
PI Name 2 PI Name 1

● Erfüllungsgrad, [%]

Abbildung 30: Design des Tools

## 5.2 Daten-, Informations- und Wissensqualität

In diesem Abschnitt wird die Berechnung und Funktionsweise der Daten-, Informations- und Wissensqualität erläutert. Da diese drei Qualitätsmetriken auf gleicher Berechnung basieren und sich nur in den einzelnen Qualitätsindikatoren unterscheiden, wird im Folgenden nur die Datenqualitätsberechnung und Funktionsweise genau erklärt. Abbildung 31 zeigt genau diesen Abschnitt der Datenqualität. Eine kurze Beschreibung dient zur näheren Erläuterung der Funktionsweise und als Hilfestellung zu Eingabemöglichkeiten für den\*die User\*in. Als Bezeichnungen der Quellen werden zunächst vorausgefüllte Platzhalter nummerierter Datenquellen, wie z.B. „Datenquelle 1“, angezeigt. Diese können jedoch zu jedem beliebigen Wert geändert werden, siehe Abbildung 32. Um die Berechnung der Datenqualität starten zu können, muss mindestens ein Qualitätsindikator einer einzigen Datenquelle eingegeben werden, z.B. Korrektheit für Maschine 125. Der\*Die Benutzer\*in kann bis zu 15 Quellen jeweils mit den angegebenen Qualitätsindikatoren ausfüllen. Es wurde davon abgesehen, dem\*der Nutzer\*in die Möglichkeit zu geben, zusätzliche Quellen hinzuzufügen, da meist die Anzahl von 15 Quellen ausreicht und es eine Möglichkeit mittels .csv Upload gibt, dennoch mehr Quellen hinzuzufügen. Die Funktion des .csv Up- und Downloads wird in einem späteren Abschnitt erläutert. Die Werte der Eingaben müssen Zahlenwerte zwischen Null und Eins sein. Falls eine Zahl größer oder kleiner als die vorgegebenen Werte eingegeben wird, wird diese automatisch auf Null oder Eins korrigiert, je nach Näherung zum Wert. Da es sich um ein Zahleninputfeld handelt, kann mit Hilfe von Pfeilen im Inputfeld der Wert in 0.01-Schritten nach oben oder nach unten korrigiert werden, siehe auch Abbildung 33. Für die Berechnung werden die einzelnen Qualitätsindikatoren, wie z.B. Korrektheit, Validität und Provenienz mit Hilfe der Formel der Gewichtungen, Formel 2: Gewichtung der Qualitätsindikatoren aggregiert. Um eine Aussage über die Qualität der jeweiligen Quelle geben zu können, werden außerdem die Quellen selbst nach Formel 2 aggregiert. Die Berechnung erfolgt automatisch nach jeder neuen Eingabe bzw.

Änderung der Eingabe und muss nicht mittels extra Button initiiert werden. Dies stellt eine Änderung des ursprünglichen Konzepts dar und bedeutet weniger Klicks für den\*die Nutzer\*in.

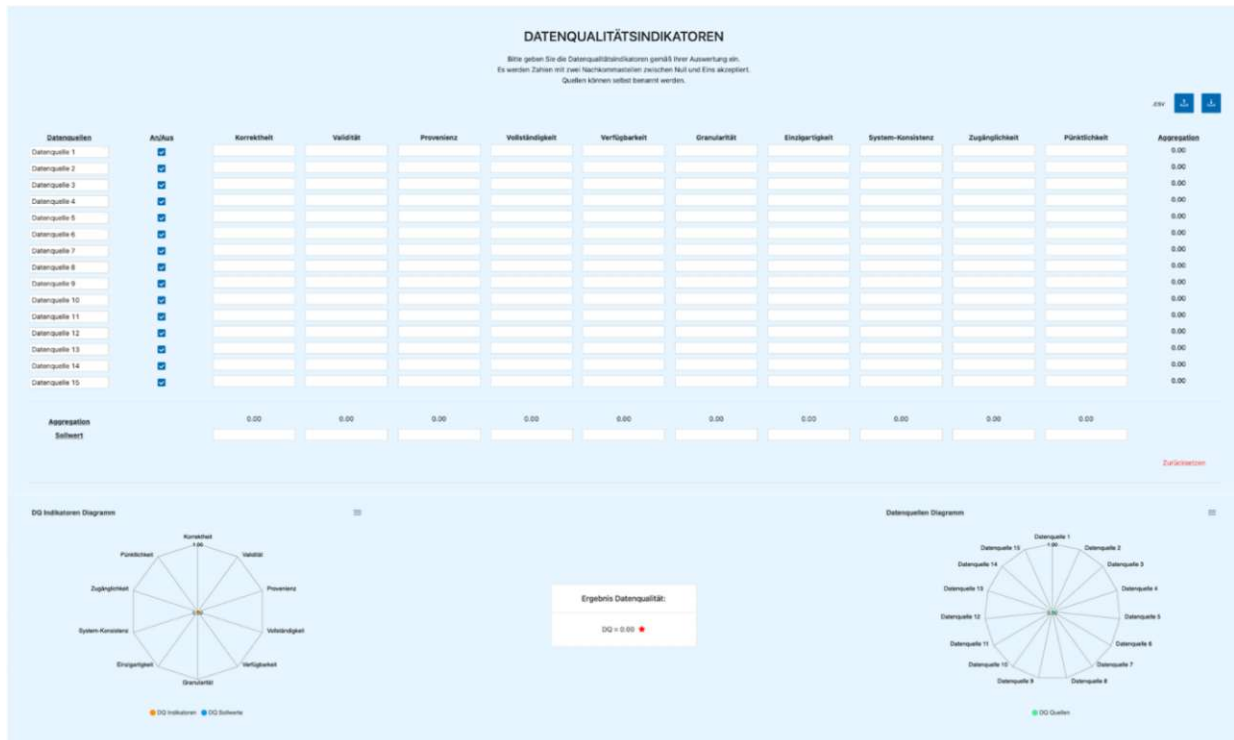


Abbildung 31: Tool – Datenqualität

Datenquellen	An/Aus	Korrekt
Maschine 125	<input checked="" type="checkbox"/>	
	<input checked="" type="checkbox"/>	
Datenquelle 3	<input checked="" type="checkbox"/>	
Datenquelle 4	<input checked="" type="checkbox"/>	
Datenquelle 5	<input checked="" type="checkbox"/>	

Abbildung 32: Tool - Datenqualität – Quellen

Korrektheit	Validität	Proven
0.97	0.30	0.67
0.83	0.55	0.40

Abbildung 33: Tool - Datenqualität - Eingabe Zahl

In Abbildung 34 wurden ein paar Werte für die ersten fünf Qualitätsindikatoren innerhalb von zwei Datenquellen angegeben. Die Aggregationsspalte ganz rechts zeigt die Aggregation der zwei ausgefüllten Datenquellen *Maschine 125* und

*Maschine 9.* Die Zeile Aggregation unterhalb der Datenquellenzeilen zeigt die Berechnung der Aggregation auf Qualitätsindikatorenebene (spaltenweise), z.B. für Korrektheit oder Vollständigkeit. Für weitere Erläuterungen wurde das Beispiel der Berechnung auf den Platz der 14. und 15. Quelle verschoben, um übersichtlichere Darstellungen aufzeigen zu können.

**DATENQUALITÄTSINDIKATOREN**

Bitte geben Sie die Datenqualitätsindikatoren gemäß Ihrer Auswertung ein.  
Es werden Zahlen mit zwei Nachkommastellen zwischen Null und Eins akzeptiert.  
Quellen können selbst benannt werden.

.csv

Datenquellen	An/Aus	Korrektheit	Validität	Provenienz	Vollständigkeit	Verfügbarkeit	Granularität	Einzigartigkeit	System-Konsistenz	Zugänglichkeit	Pünktlichkeit	Aggregation
Maschine 125	<input checked="" type="checkbox"/>	0.97	0.30	0.67								0.62
Maschine 9	<input checked="" type="checkbox"/>	0.63	0.55	0.40	1.00	0.00						0.52
Datenquelle 3	<input checked="" type="checkbox"/>											0.00
Datenquelle 4	<input checked="" type="checkbox"/>											0.00
Datenquelle 5	<input checked="" type="checkbox"/>											0.00
Datenquelle 6	<input checked="" type="checkbox"/>											0.00
Datenquelle 7	<input checked="" type="checkbox"/>											0.00
Datenquelle 8	<input checked="" type="checkbox"/>											0.00
Datenquelle 9	<input checked="" type="checkbox"/>											0.00
Datenquelle 10	<input checked="" type="checkbox"/>											0.00
Datenquelle 11	<input checked="" type="checkbox"/>											0.00
Datenquelle 12	<input checked="" type="checkbox"/>											0.00
Datenquelle 13	<input checked="" type="checkbox"/>											0.00
Datenquelle 14	<input checked="" type="checkbox"/>											0.00
Datenquelle 15	<input checked="" type="checkbox"/>											0.00
<b>Aggregation</b>		0.90	0.41	0.52	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
<b>Subwert</b>												

Abbildung 34: Tool - Datenqualität der Fa

Eine weitere Funktion des Tools ist die Möglichkeit Datenquellen zu aktivieren oder zu deaktivieren. Wenn eine Datenquelle aktiviert ist, siehe blaues Häkchen als Markierung der Checkbox in der Spalte *An/Aus*, wird diese in die Berechnung und die Anzeige in den Diagrammen inkludiert. Möchte der\*die Benutzer\*in die Berechnung und visuelle Auswertung ohne eine oder mehrere bestimmte Quellen sehen, kann diese mittels Deaktivierung der Checkbox der jeweiligen Quelle erfolgen. Zum Vergleich werden Abbildung 35 und Abbildung 36 aufgeführt. In Abbildung 35 sind alle Quellen aktiviert und werden in der Berechnung sowie in den Diagrammen berücksichtigt. Abbildung 36 zeigt die gleiche Berechnung und visuelle Auswertung mit der deaktivierten Quelle *Maschine 9*. Hierbei kann beobachtet werden, dass die Datenquellenzeile visuell als deaktiviert dargestellt wird, die Berechnung der Datenqualität und der Aggregation auf Qualitätsmetrikebene ein anderes Ergebnis liefert und außerdem die Datenquelle *Maschine 9* in den Diagrammen nicht mehr vorhanden ist. Deaktivierte Datenquellen verschwinden komplett aus dem Datenquellen Diagramm und werden gar nicht aufgeführt. Um diesen Umstand sichtbar zu machen, wurde dies in Abbildung 37 dargestellt. Wie auch die Berechnung der Aggregation und der Qualitätsmetrikenergebnisse werden die Diagramme automatisch nach einer Änderung der Eingabe neu generiert und müssen nicht mit Hilfe eines Buttons initiiert werden.

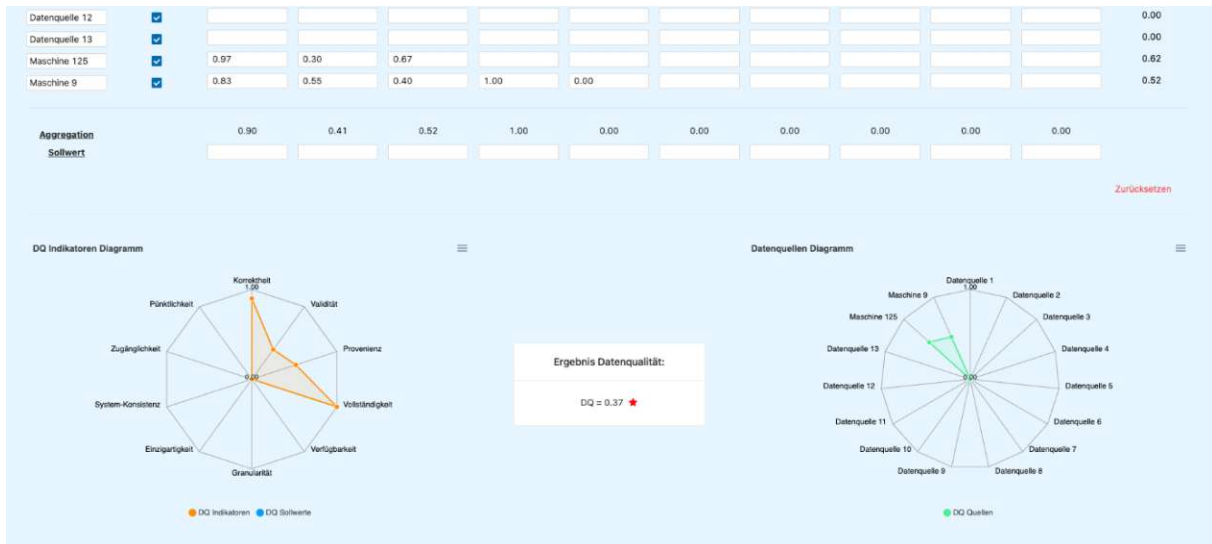


Abbildung 35: Tool - Datenqualität - Quellen aktiviert

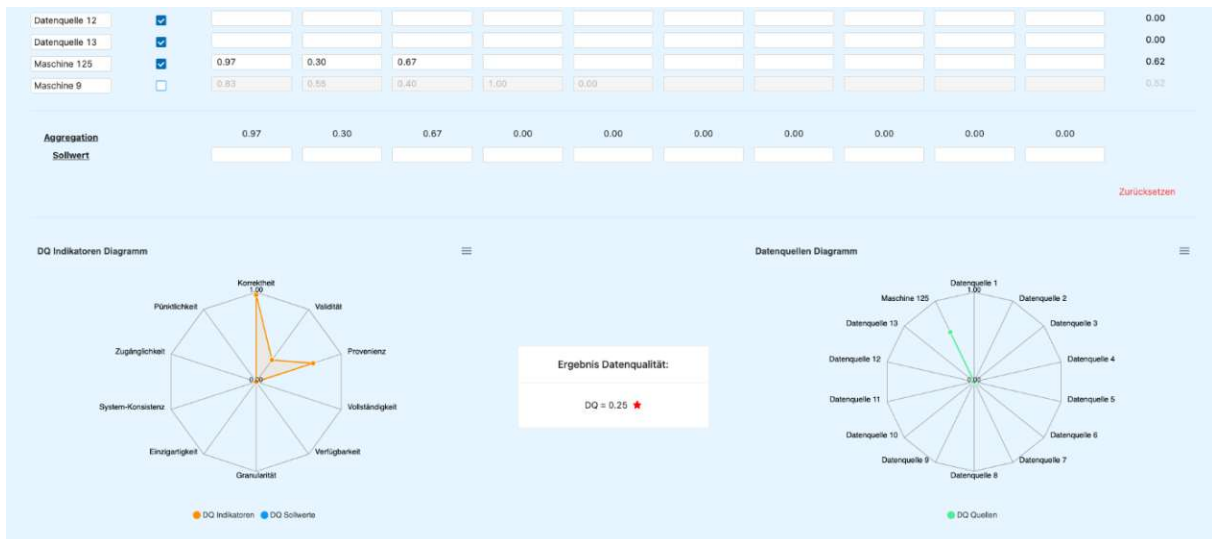


Abbildung 36: Tool - Datenqualität - Quelle deaktiviert

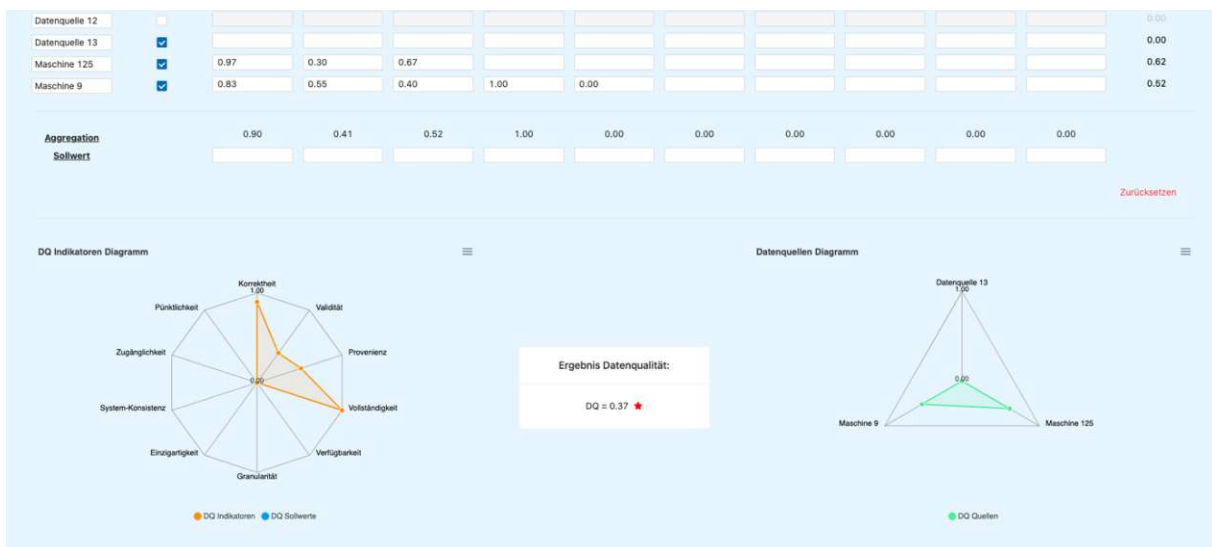


Abbildung 37: Tool - Datenqualität – deaktivierte Datenquellen

Die Berechnung der Datenqualität erfolgt nach Formel 3. Im Berechnungstool wird die Anzeige des Ergebnisses dieser Berechnung mittig zwischen beiden Diagrammen platziert, um eine gewissen Symmetrie zu wahren. Außerdem soll dem\*der Benutzer\*in mittels farblich markiertem Stern-Symbol die Reife des berechneten Wertes gezeigt werden. Für die farbliche Markierung wurden ähnlich wie beim Skalenbereich des resultierenden Reifegrades, siehe Tabelle 6, vier Stufen gewählt. In Tabelle 8 werden die Stufen und die farbliche Zugehörigkeit der Einteilung der Qualitätsmetrikergebnisse aufgeführt. Da die Anzeige des Reifegradergebnisses der einzelnen Metriken auf zwei Nachkommastellen gerundet wird, kann es in geringen Fällen dazu kommen, dass bei einem angezeigten Ergebnis von 0.82 aufgrund der Rundung ein grüner oder gelber Stern angezeigt wird. Abbildung 37 zeigt bereits die rote Farbmarkierung für die berechnete Datenqualität. In Abbildung 38, Abbildung 39 und Abbildung 40 werden die Farbmarkierungen für alle anderen, höheren Skalenbereiche in den Farbmarkierungen Orange, Gelb und Grün aufgezeigt. Außerdem können hier die unterschiedlichen Auswertungen der Diagramme beobachtet werden. Hier wurden die eingegebenen Werte der Datenquellen und ihre Qualitätsindikatoren verändert. Die Berechnung der einzelnen Ergebnisse der Qualitätsindikatoren beruht auf den Formeln angegeben auf Seite 62, Formel 2 bis Formel 7.

Farbe	Skalenbereich
Rot	0 bis 0.4999999999
Orange	0.50 bis 0.6599999999
Gelb	0.66 bis 0.8199999999
Grün	0.82 bis 1.00

Tabelle 8: Farbskalenbereiche der einzelnen Qualitätsmetrikergebnisse

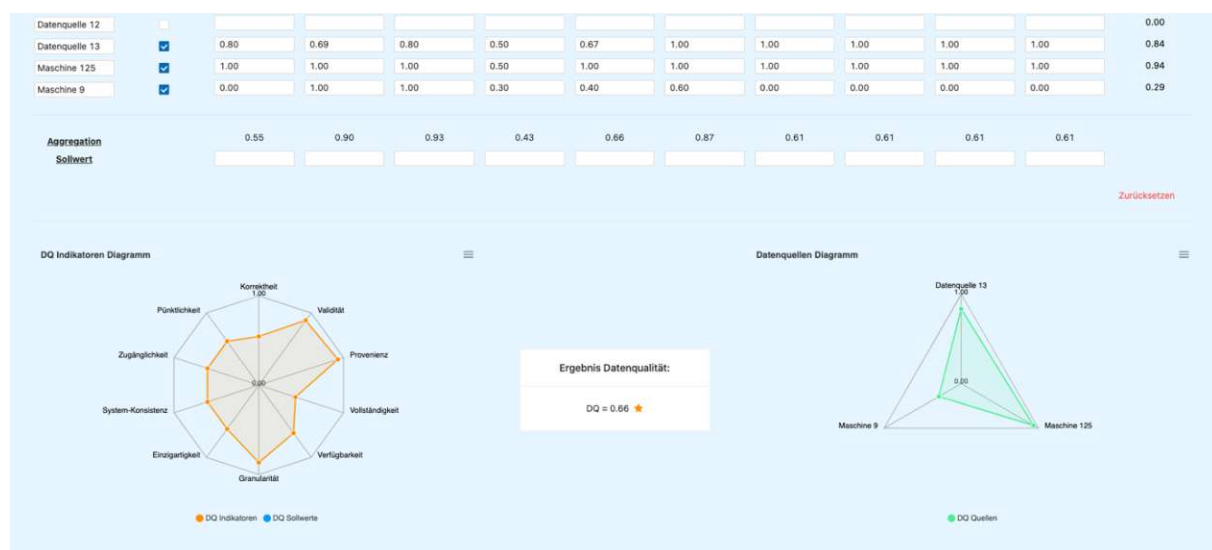


Abbildung 38: Tool - Datenqualität - Metrikergebnis Orange

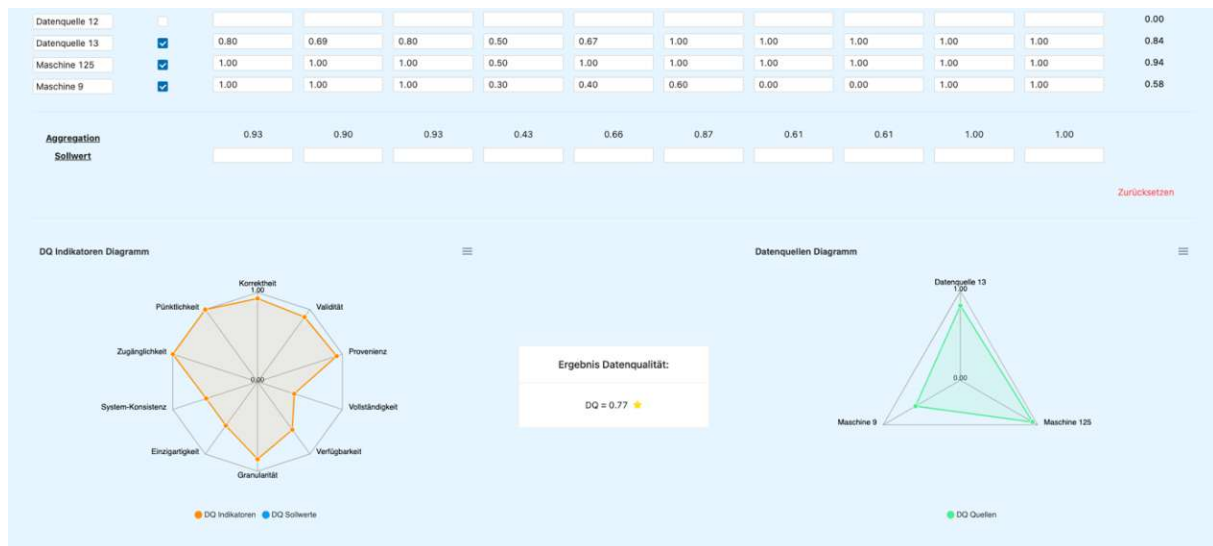


Abbildung 39: Tool - Datenqualität - Metrikergebnis Gelb

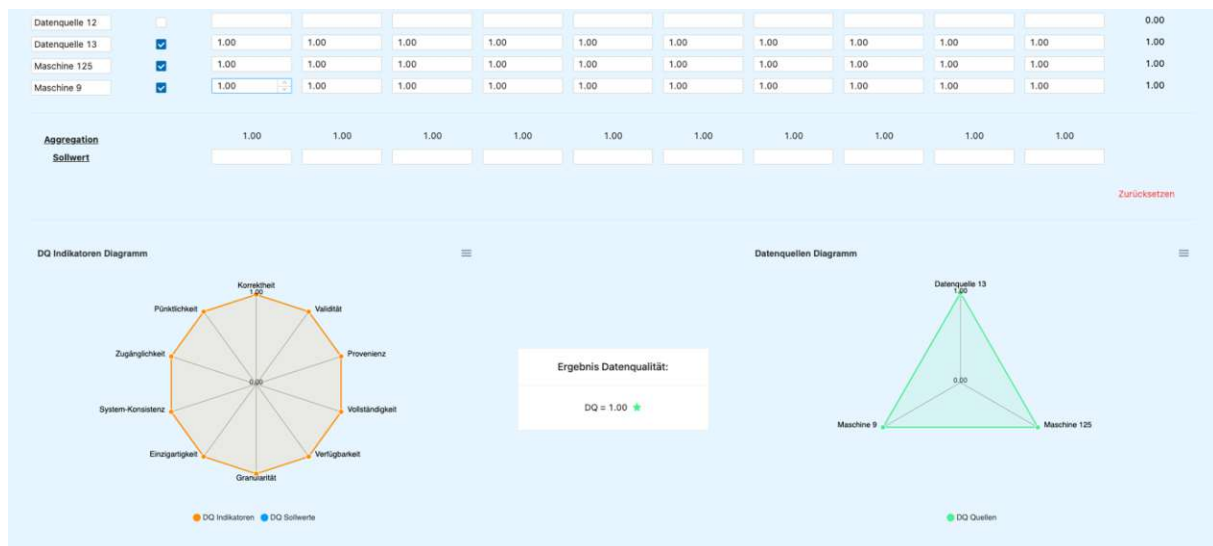


Abbildung 40: Tool - Datenqualität - Metrikergebnis Grün

Um die Anforderung der visuellen Darstellung der Ergebnisse nachzukommen, wurden zwei Diagramme eingeführt. Da sich die Bezugsgrößen so stark unterscheiden, wurde entschieden, Datenquellen und deren Aggregation sowie die Aggregation der Qualitätsindikatoren und ihren Sollwerten zu trennen. Im Tool werden die Aggregation der Qualitätsindikatoren und ihre Sollwerte im linken Diagramm (*Indikatoren Diagramm*) und die Datenquellenaggregation im rechten Diagramm (*Quellen Diagramm*) gezeigt. Die Bezeichnungen der Diagramme variieren zwischen den Qualitätsmetriken Daten-, Informations- und Wissensqualität um dem\*der Benutzer\*in bestmöglich zu zeigen, in welchem Bereich er\*sie sich gerade befindet. Wie bereits erwähnt, können einzelne Datenquellen deaktiviert werden und scheinen somit nicht in der Auswertung der Berechnung und der visuellen Darstellung auf. Bei der visuellen Darstellung der Qualitätsmetriken können zum besseren Vergleich gewünschte Sollwerte eingegeben werden. Im *Indikatoren Diagramm* werden dann zwei Skalen in

unterschiedlichen Farben aufgezeigt und dienen zur visuellen Untermalung der Ergebnisse. Abbildung 41 zeigt genau diesen Umstand des Vergleiches der Sollwerte und der tatsächlich berechneten Aggregationswerte der Qualitätsmetriken. In Abbildung 36 und Abbildung 40 kann gesehen werden, dass verschiedene aktivierte und deaktiverte Datenquellen in die visuelle Darstellung einfließen. Außerdem werden die eingegebenen Benennungen der Datenquellen im *Quellen Diagramm* übernommen.

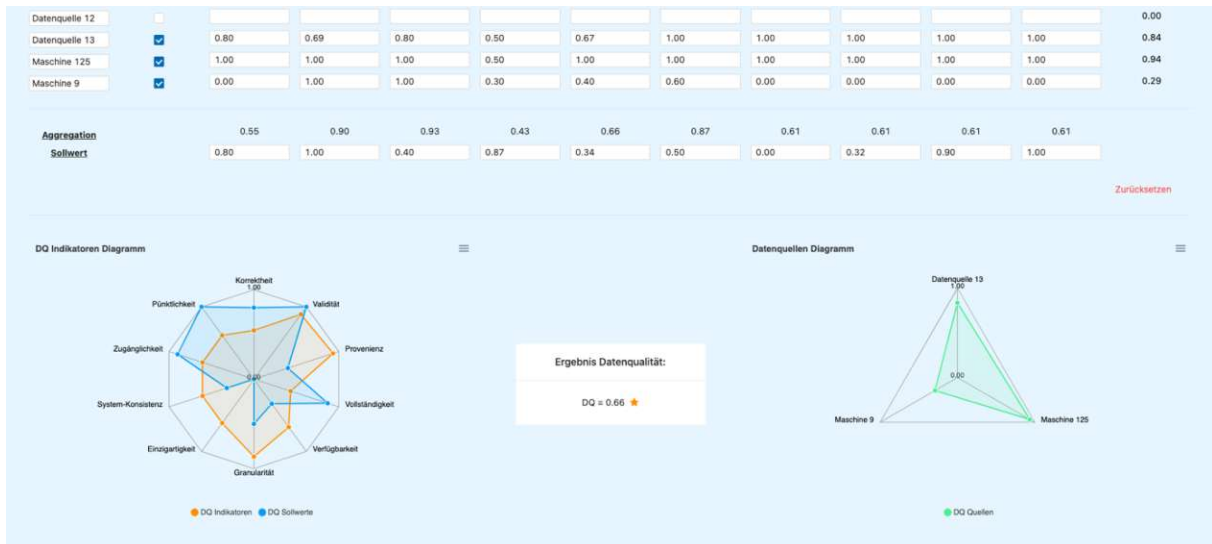


Abbildung 41: Tool - Datenqualität - Sollwerte

Im *Indikatoren Diagramm* kann direkt die Sollwertskala mittels Klicks auf die Legende deaktiviert werden, siehe Abbildung 42, erkennbar am ausgegrauten Teil der Legende. Außerdem können die einzelnen Werte der Eckpunkte direkt im Diagramm angezeigt werden, indem mit der Maus über diese gefahren wird. Diesen Status zeigt Abbildung 43. Mit Hilfe des sogenannten Burgermenüs in der rechten Ecke des jeweiligen Diagrammbereichs können die gerade in dem Moment generierten Diagramme als .jpg, .svg oder .csv heruntergeladen werden, siehe Abbildung 44.



Abbildung 42: Tool - Datenqualität - Sollwert in Diagramm deaktiviert



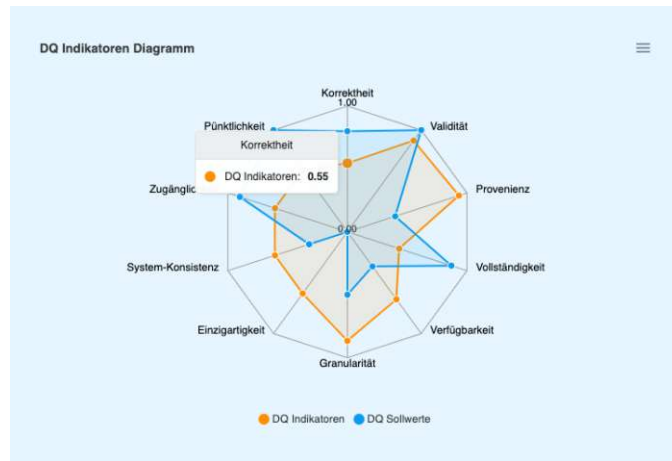


Abbildung 43: Tool - Datenqualität - Einzelwert in Diagramm

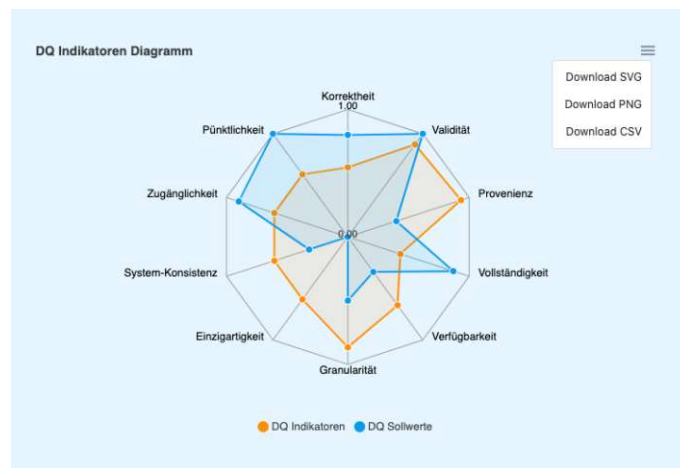


Abbildung 44: Tool - Datenqualität - Diagramm Download

Um das Tool aus einem sauberen Start nutzen zu können, gibt es die Funktion des Zurücksetzens der kompletten Tabelle und Berechnung. Mit Hilfe des Buttons Zurücksetzen und der erneuten Bestätigung, siehe Abbildung 45, wird die komplette Tabelle, alle Ergebnisse und Diagramme geleert bzw. zurückgesetzt. Diese Funktion wird je Tabelle, also Daten-, Informations- und Wissensqualität, unabhängig voneinander ausgeführt.

<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="1.00"/>	<input type="text" value="1.00"/>	0.94
<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	<input type="text" value="0.00"/>	0.29

<input type="text" value="0.61"/>	⚠ Wollen Sie die Werte dieses Abschnitts wirklich zurücksetzen? <input type="button" value="Abbrechen"/> <input type="button" value="OK"/>
<input type="text" value="0.32"/>	

Abbildung 45: Tool - Datenqualität – Zurücksetzen

Damit der\*die Benutzer\*in nicht bei der Benutzung und Auswertung des gleichen Falls alle Werte neu eingeben muss, kann pro Tabelle und Datenqualitätsmetrik ein Download der .csv-Datei erfolgen. Mit Klick auf *.csv-Download* Button, siehe Abbildung 46, werden die momentan eingegebenen Daten in eine .csv-Datei gepackt, heruntergeladen und an einem dem Betriebssystem angepassten Ort gespeichert. Die Datei kann dann mit Hilfe eines passenden Programms bearbeitet und erneut hochgeladen werden. Dabei werden die Tabellen direkt mit den richtigen Werten pro Datenquelle und Qualitätsindikator befüllt. Es erfolgen auch direkt Berechnungen und die Befüllung der Diagramme. Eine Besonderheit beim Upload einer .csv-Datei ist die Anpassung der Datenquellenzeilen. Es werden immer genau so viele Datenquellenzeilen wie ausgefüllte Zeilen in der .csv-Datei generiert. Wenn also mehr als 15 Datenquellen benötigt werden sollten, kann dies mittels einer .csv-Datei Upload mit vorausgefüllten Daten erfolgen. Es wurde jedoch davon abgesehen direkt so viele Inputmöglichkeiten anzuzeigen, da sonst die automatische Berechnung und Diagrammgenerierung längere Ladezeiten nach sich ziehen würde. Dies würde in einer nicht sehr nutzer\*innenfreundlichen Bedienung enden und möglicherweise schnell als frustrierend aufgefasst werden.

Zugänglichkeit	Pünktlichkeit	Aggregation
<input type="text"/>	<input type="text"/>	0.00
<input type="text"/>	<input type="text"/>	0.00
<input type="text"/>	<input type="text"/>	0.00

Abbildung 46: Tool - Datenqualität - .csv Up- und Download

Wie bereits erwähnt, erfolgt die Bedienung und Berechnung der Informations- und Wissensqualität ähnlich zu der der Datenqualität. Sie unterscheidet sich lediglich im Bezug auf verwendete Qualitätsindikatoren, die jedoch auf den gleichen Formeln, Formel 2 bis Formel 7, beruhen. Um die Vollständigkeit zu wahren, werden in Abbildung 47 und Abbildung 48 die Bereiche Informations- und Wissensqualität aufgezeigt. Beim Abschnitt Informationsqualität ist gut zu sehen, dass bei kleineren Bildschirmen die Bezeichnungen mit „...“ abgekürzt werden, um eine gewisse Form zu wahren. Das *Indikatoren Diagramm* der Wissensqualität und auch die Qualitätsindikatoren selbst hingegen werden mit Abkürzungen benannt. Die eigentlichen Indikatorenbezeichnungen sind zu lang und würden die Tabellenform der Eingabe sowie den Bereich des Diagramms unpassend skalieren. Es wurde eine Lösung mit Abkürzungen und einer Legende als Erläuterung dieser Größen gewählt. Die nacheinander folgenden Bereiche der Daten-, Informations-, Wissens- und Instandhaltungsqualität werden außerdem mit einem farblich etwas unterschiedlichen Hintergrund gekennzeichnet, um die einzelnen Bereiche voneinander abzuheben.

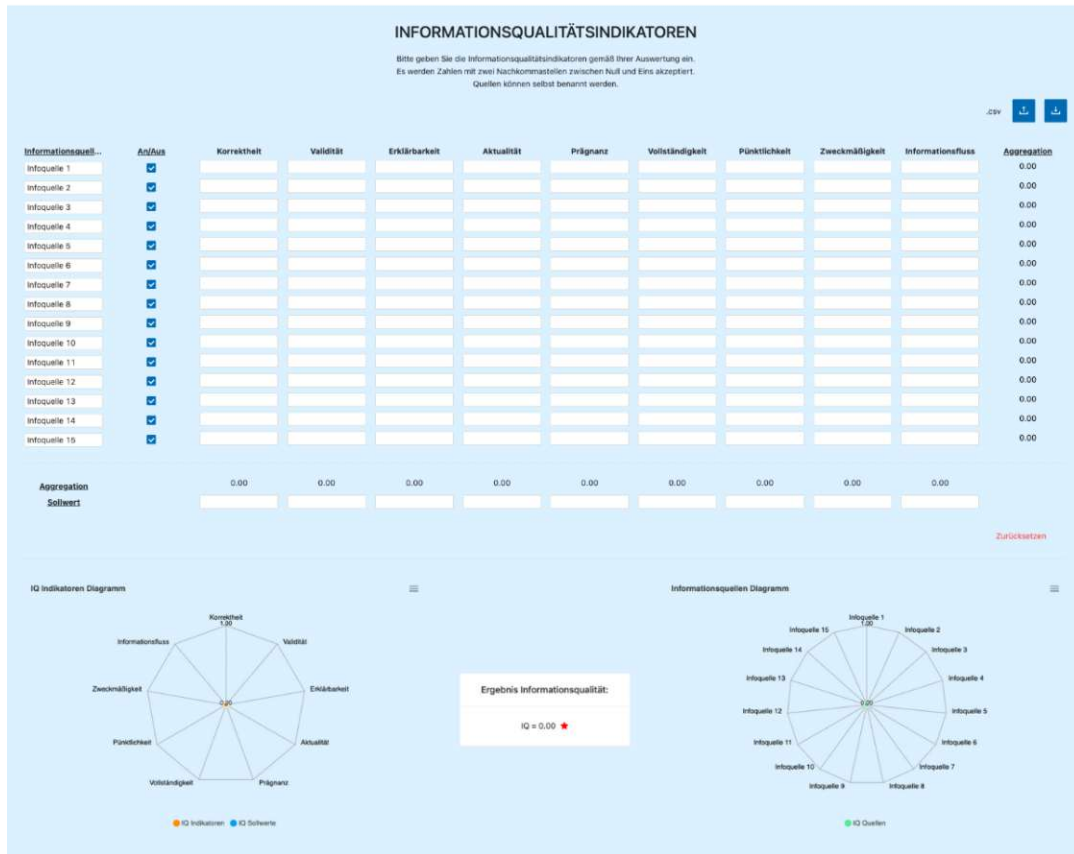


Abbildung 47: Tool - Informationsqualität

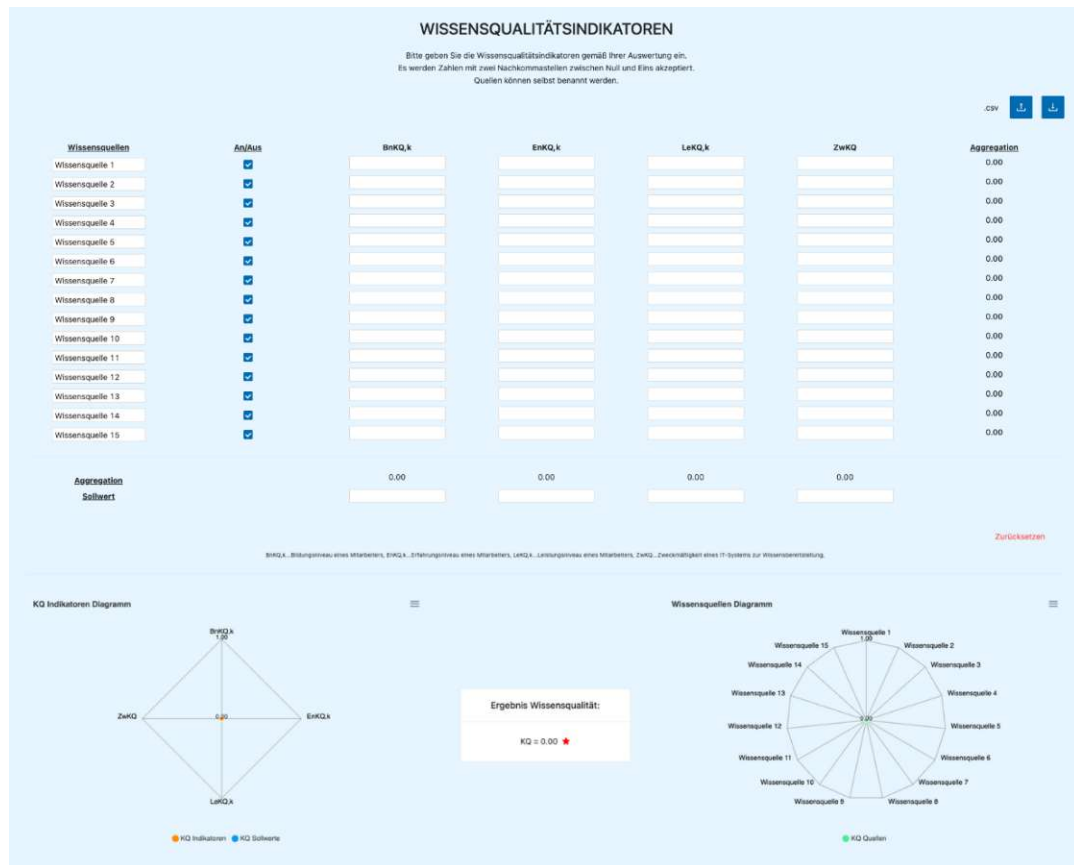


Abbildung 48: Tool - Wissensqualität

## 5.3 Instandhaltungsqualität

Die Berechnung der Instandhaltungsqualität unterscheidet sich von der Berechnung der Daten-, Informations- und Wissensqualität und wird folglich anhand der Umsetzung des Tools näher erläutert. In der Instandhaltungsqualität werden insgesamt vier Perspektiven, die Maschinen-, Prozess-, Kosten- und Ressourcenperspektive angeführt. Abbildung 49 zeigt die Umsetzung der Instandhaltungsqualität. Hier wird deutlich, dass die endgültige Umsetzung vom zu Beginn geplanten Design abweicht, vgl. Abbildung 28. In der Entwicklung machte es Sinn, das Design zu ändern, um die Berechnung und den .csv Up- und Download der einzelnen Bereiche modularisieren zu können und den Code somit einfacher und deutlicher ohne notwendige Wiederholungen gestalten zu können. Wie bereits in den anderen Abschnitten des Tools können einzelne Quellen aktiviert und deaktiviert werden. Key Performance Indicator (KPI) sind fix vorgegeben und können im Gegensatz zu Performance Indicator (PI) nicht eigens benannt werden. Einzelne Quellen, KPIs oder PIs, können wie auch Quellen der anderen Metriken aktiviert und deaktiviert werden. Aktiviert werden sie in der Berechnung und im Diagramm berücksichtigt, bei Deaktivierung nicht. Die Berechnung der Instandhaltungsqualität beruht auf dem Erfüllungsgrad. Hierbei werden die jeweiligen Ist- und Soll-Werte verglichen und ergeben nach Formel 8 den Erfüllungsgrad. Die KPIs und PIs werden gruppiert und mit Hilfe von Formel 2 gewichtet. Für die Aggregation der einzelnen Perspektiven wird Formel 6 zur Hand genommen. Um das Ergebnis der Metrik Instandhaltungsqualität zu erhalten, werden die einzelnen Perspektiven addiert und daraus das arithmetische Mittel berechnet.

$$EG = \frac{Soll}{Ist}, \text{ wenn } Soll < Ist; EG = \frac{Ist}{Soll}, \text{ wenn } Ist < Soll$$

### Formel 8: Erfüllungsgrad Instandhaltungsqualität

Die Funktionsweise bezüglich .csv Up- und Download, Diagramm und Zurücksetzen ist gleich wie die bereits erwähnten Funktionen der Daten-, Informations- und Wissensqualität. Im Gesamten wird bei den einzelnen Perspektiven auf Abkürzungen der Größen und der Anzeige einer Legende gesetzt. Die Diagramme zeigen die aktivierten Quellen, die zunächst von vorausgefüllten Platzhaltern beschrieben sind, jedoch von dem\*der Benutzer\*in umbenannt werden können. Diagramme können in den bereits erwähnten Dateiformaten heruntergeladen und für weitere Zwecke gespeichert werden. Das Zurücksetzen ermöglicht eine komplett neue Eingabe von Daten. Der .csv Upload ermöglicht es, die PI Zeilen zu erweitern. KPI Zeilen sind jedoch fix und können auch mit einem .csv Upload nicht geändert werden. Das Ergebnis der Instandhaltungsqualitätsmetrik wird ebenso nach Tabelle 8 in Skalen eingeteilt und farblich markiert.

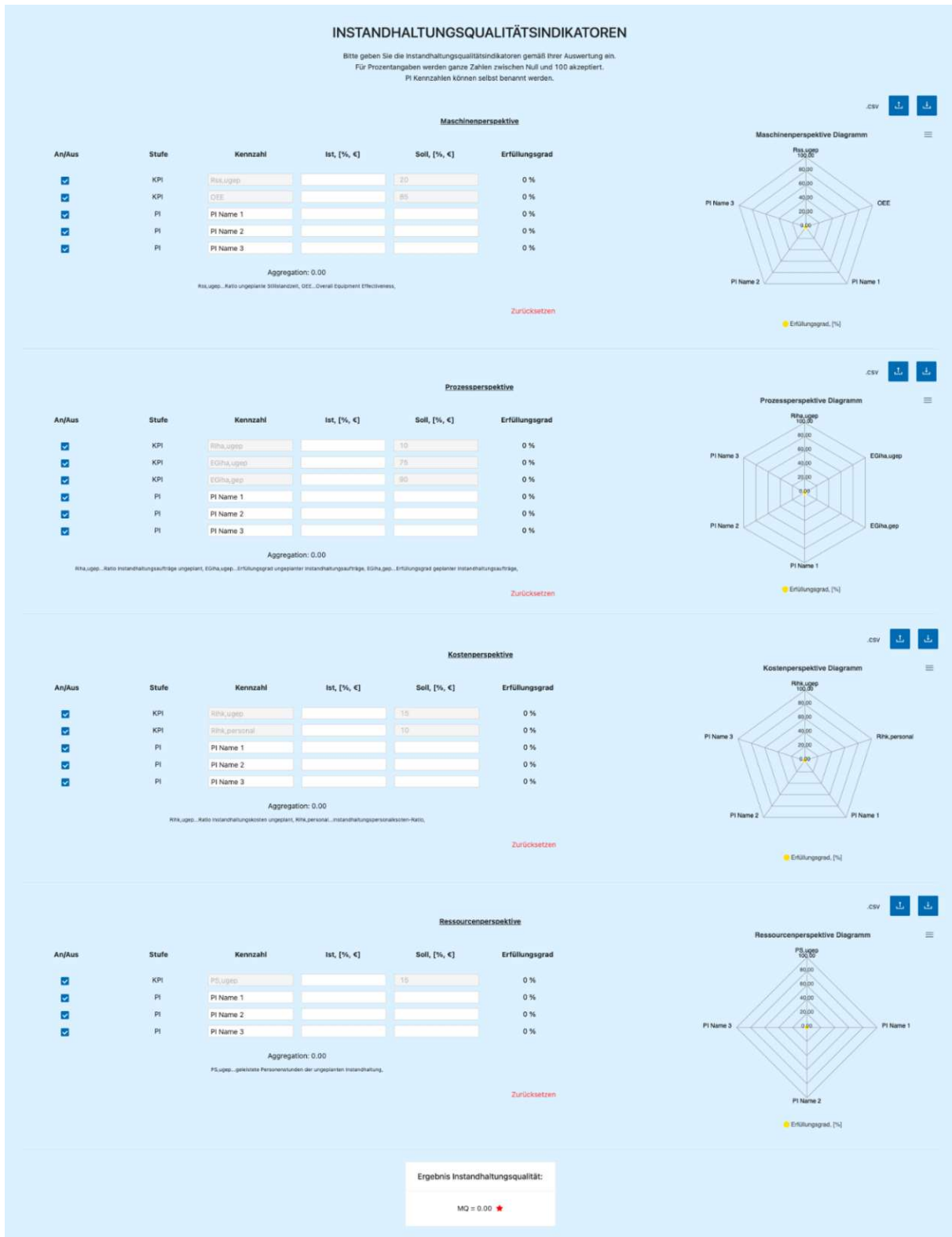


Abbildung 49: Tool - Instandhaltungsqualität

## 5.4 Ergebnis

Das Endergebnis des Reifegrades der wissensbasierten Instandhaltung wird im Abschnitt *Ergebnis* aufgezeigt. Hierbei wird mit Hilfe der Formel 7: Reifegrad der wissensbasierten Instandhaltung das Ergebnis berechnet und visuell im Tool

dargestellt. Die Skalenbereiche nach Tabelle 6 werden dem\*der Nutzer\*in in einer Legende näher erläutert und genauso wie bereits die Ergebnisse der Qualitätsmetriken farblich mit einem Stern-Icon visuell unterteilt.

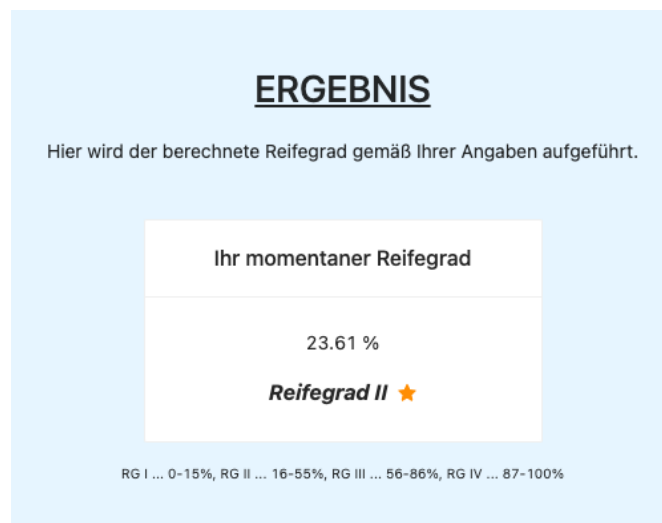


Abbildung 50: Tool - Ergebnis des wissensbasierten Reifegrades

## 5.5 Berechnungstool anhand eines Praxisbeispiels

Für die Berechnung des Reifegrades wurden in der Arbeit „Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken“<sup>216</sup> zwei Fallstudien vorgestellt. Anbei soll eine dieser Fallstudien, Fallstudie 2, als Praxisbeispiel zur Veranschaulichung des entwickelten Tools gezeigt werden. Bei dieser Fallstudie wurde ein österreichischer Standort eines Automobilkonzerns herangezogen. Dieser Standort weist bereits einen hohen Stand an Instandhaltung dar, jedoch wurden noch keine präskriptiven Analysen durchgeführt. Für die Fallstudie wurde eine dreiaxige Werkzeugmaschine, die bestimmten Dreh-, Bohr- und Fräsarbeiten an einem Getriebegehäuse ausführt, herangezogen. Die Problematiken dieser Anlage sind wie folgt zusammenfassen<sup>217</sup>:

- 65 % ungeplante Maschinenstillstände
- Zu hohe Stillstandzeiten
- Relevanz gesammelter Daten ist unbekannt
- Nicht berücksichtigtes Expertenwissen
- Neu eingeführtes IM-System führt zu hohen Rückmeldeaufwänden aufgrund von unklar definierten Eingabemöglichkeiten

<sup>216</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken.

<sup>217</sup> vgl. Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 153.

Das Ziel des Unternehmens ist es, ungeplante Maschinenstillstände zu identifizieren und diese zu reduzieren. Außerdem sollen Prognoseergebnisse visualisiert und eine passende Datenpflege bei bekannter Datenrelevanz im IM-System eingeführt werden.

Den Beginn der Auswertung macht die Durchsicht der Jahres-Instandhaltungsreports der relevantesten Jahre. Dabei können Anlagenkomponenten, die für fast die Hälfte der Maschinenausfälle verantwortlich sind, identifiziert werden. Für die Auswertung der Korrelation zwischen Komponentenausfällen und Qualitätsmessdaten wurden Daten aus der NC-Steuerung und dem Produktionsprogramm herangezogen. Dabei wurde außerdem das Expertenwissen der Mitarbeiter\*innen für die Bestätigung der Zusammenhänge erfragt. Nach weiteren Auswertungen, die in der Arbeit von Tanja Nemeth<sup>218</sup> nachgelesen werden können, wurden neun relevante Datenquellen identifiziert. In Abbildung 51 sind diese neun Datenquellen mit den für den Reifegrad ausschlaggebenden Kennzahlen dargestellt.

D <sub>Q</sub> Metrik		0,84										
Indikatoren	Datenquelle 1	Datenquelle 2	Datenquelle 3	Datenquelle 4	Datenquelle 5	Datenquelle 6	Datenquelle 7	Datenquelle 8	Datenquelle 9	Quellen-unabhängige Faktoren	Aggregation zu Qualitätsindikatoren	
	NC-Daten	QM-Daten	Sensor Temp. 1-3	Stromaufnahme	Sensor Beschleunigung	IM-System	IM-System (alt)	Produktionsprogramm	IM-Controlling			
K <sub>0DQ</sub>	1,00	0,98	0,87	1,00	0,80	0,82	0,82	0,74	1,00		0,89	
V <sub>0DQ</sub>	0,84	1,00	0,82	1,00	1,00	0,56	0,68	0,83	1,00		0,86	
P <sub>0DQ</sub>	0,90	1,00	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	0,78	1,00		0,94	
V <sub>0DQ</sub>	0,86	1,00	1,00	1,00	1,00	0,69	0,73	1,00	0,36	0,88	0,85	
V <sub>0DQ</sub>	0,87	1,00	0,66	0,66	0,25	1,00	1,00	0,64	0,46		0,70	
G <sub>0DQ</sub>	1,00	1,00	1,00	0,54	0,84	0,73	0,73	0,85	0,57		0,81	
E <sub>0DQ</sub>	0,90	1,00	1,00	0,88	1,00	1,00	0,85	1,00	1,00	0,92	0,94	
SK <sub>0DQ</sub>	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		0,86	
Z <sub>0DQ</sub>	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00		0,73	
P <sub>ü0DQ</sub>	1,00	0,79	1,00	0,55	0,77	1,00	1,00	0,89	0,81		0,87	
Aggregation je Q <sub>0DQ</sub>	0,94	0,75	0,90	0,81	0,81	0,86	0,88	0,85	0,76			

Abbildung 51: Datenqualität der Fallstudie 2<sup>219</sup>

Als Vergleich dient in Abbildung 52 die Anzeige der Daten im Tool der Reifegradmodellberechnung. Die Visualisierung der Werte anhand von zwei getrennten Diagrammen untermalt die Bewertungen der einzelnen Datenquellen sowie der Qualitätsindikatoren. Aufgrund der gerundeten Werte auf zwei Nachkommastellen in Abbildung 51 weisen manche Aggregationen von Datenquellen oder einzelner Qualitätsindikatoren unterschiedliche Ergebnisse im Zehntelbereich auf. Im Bereich des Ergebnisses der Datenqualität kann der berechnete Wert 0,84 nachgelesen werden. Mit einem grün markierten Stern wird dem\*der User\*in die Bewertung dieses Wertes angezeigt. Hierbei handelt es sich bereits um einen hohen Wert, der für die hohe Datenqualität spricht.

<sup>218</sup> vgl. Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 155–158.

<sup>219</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 158.

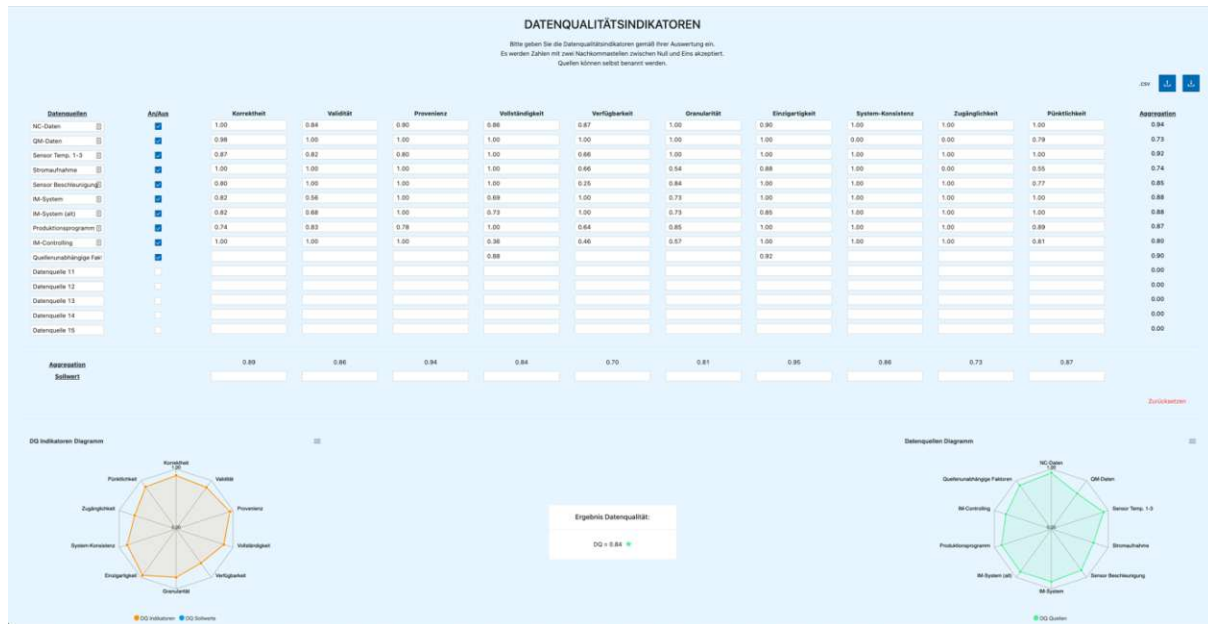


Abbildung 52: Datenqualität im Reifegradmodelltool

Als nächste Qualitätsmetrik werden in Abbildung 53 die Werte der Fallstudie 2 der Informationsqualität und Wissensqualität gezeigt.

<b>I<sub>Q</sub> Metrik</b>					<b>K<sub>Q</sub> Metrik</b>				
<b>0,83</b>					<b>0,82</b>				
Indikatoren	Informations- quelle 1	Informations- quelle 2	Informations- quelle 3	Aggregation	Indikatoren	Wissens- quelle 1	Wissens- quelle 2	Wissens- quelle 3	Aggregation
	Prog. Motor- Spindel	Prog. KR- Spindel	Prog. Spannv.	zu Qualitäts- indikatoren		Mitarbeiter operativ	Mitarbeiter taktisch	IM-System	zu Qualitäts- indikatoren
Ko <sub>IQ</sub>	0,88	0,90	0,93	<b>0,90</b>	Bn <sub>KQ</sub>	0,69	0,76		<b>0,73</b>
Va <sub>IQ</sub>	0,86	0,85	0,83	<b>0,85</b>	En <sub>KQ</sub>	0,70	0,79		<b>0,75</b>
Er <sub>IQ</sub>	1,00	1,00	1,00	<b>1,00</b>	Le <sub>KQ</sub>	0,84	0,82		<b>0,83</b>
Ak <sub>IQ</sub>	0,76	0,76	0,78	<b>0,77</b>	Zw <sub>KQ</sub>			1,00	<b>1,00</b>
Pg <sub>IQ</sub>	0,84	0,84	0,84	<b>0,84</b>	Aggregation je Q <sub>Ki</sub>	<b>0,74</b>	<b>0,79</b>	<b>1,00</b>	
Vo <sub>IQ</sub>	1,00	1,00	1,00	<b>1,00</b>	Tr <sub>KQ</sub>	RG III	RG IV		
Pü <sub>IQ</sub>	1,00	1,00	1,00	<b>1,00</b>	Um <sub>KQ</sub>	RG III	RG III		
Zw <sub>IQ</sub>	0,61	0,61	0,61	<b>0,61</b>	If <sub>KQ</sub>	RG III	RG III		
In <sub>IQ</sub>	0,24	0,24	0,24	<b>0,24</b>	Ku <sub>KQ</sub>	RG III	RG III		
Aggregation je Q <sub>Ij</sub>	<b>0,83</b>	<b>0,83</b>	<b>0,84</b>		MU <sub>KQ</sub>		RG IV		
Wa <sub>IQ</sub>	RG II	RG II	RG II		Wau <sub>KQ</sub>	RG III	RG III		
					War <sub>KQ</sub>			RG IV	

Abbildung 53: Informations- (links) und Wissensqualität (rechts) der Fallstudie 2<sup>220</sup>

Abbildung 54 und Abbildung 55 zeigen dementsprechende berechnete Werte der beiden Qualitätsmetriken Information und Wissen. Auch hier können Werte aufgrund von gerundeten Originalwerten auf zwei Nachkommastellen auftreten. Aufgrund der Angabe von weniger als 5 Quellen, können alle anderen nicht ausgefüllten Quellen mit Hilfe der Deaktivierung mittels Checkbox aus der Anzeige der Diagramme entfernt werden. Für die Berechnung ist die Deaktivierung der Datenquellen nicht relevant, da

<sup>220</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 159.



für einzelne Indikatoren keine Werte eingetragen wurden. Ebenso wie bei der Datenqualität wird im Ergebnisfeld beider Metriken ein Qualitätswert angegeben. Die Informationsqualität schneidet mit einem Wert von 0,85 im Gegensatz zur Wissensqualität mit einem Wert von 0,82 besser ab.



Abbildung 54: Informationsqualität im Reifegradmodelltool



Abbildung 55: Wissensqualität im Reifegradmodelltool

Die letzte Qualitätsmetrik ist die Instandhaltungsqualität, die sich in vier Perspektiven gliedert. In Abbildung 56 werden die Werte der Fallstudie 2, geteilt in Maschinen-, Kosten-, Prozess- und Ressourcenperspektive, aufgezeigt.

M <sub>Q</sub> Metrik		0,63							
Maschinenperspektive	Kennzahl	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4 (M/B)	Ist	Soll	Erfüllungsgrad	Aggregation
	R <sub>SS ugep</sub>	KPI	nf	t	(l/s)	44%	20%	0,45	
	OEE	KPI	nf	t	(s/s)	83%	85%	0,98	
	SH [SS/m]	PI	nf	t	(l/s)	2,3	1,5	0,65	
	MTTR [min]	PI	nf	t	(l/l)	41	35	0,85	
t <sub>SS</sub> [h/Jahr]	PI	nf	o	(l/s)	84	60	0,71	0,72	
Prozessperspektive	Kennzahl	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4 (M/B)	Ist	Soll	Erfüllungsgrad	Aggregation
	R <sub>IHA ugep</sub>	KPI	nf	t	(l/s)	34%	10%	0,29	
	EG <sub>IHA ugep</sub>	KPI	nf	t	(l/s)	64%	75%	0,85	
	EG <sub>IHA gep</sub>	KPI	nf	t	(l/s)	85%	90%	0,94	
#IHA <sub>ugep [p.a]</sub>	PI	nf	o	(l/s)	59	25	0,42	0,61	
Kostenperspektive	Kennzahl	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4 (M/B)	Ist	Soll	Erfüllungsgrad	Aggregation
	R <sub>IHK ugep</sub>	KPI	nf	t	(l/s)	42%	15%	0,36	
	R <sub>IHK</sub>	KPI	nf	s	(l/s)	15%	10%	0,67	
	SSK	PI	f	t	(s/s)	€ 564.454	€ 461.697	0,82	
R <sub>IHK Personal</sub>	PI	f	t	(l/s)	34%	30%	0,88	0,62	
Ressourcenperspektive	Kennzahl	Stufe 1	Stufe 2	Stufe 3	Stufe 4 (M/B)	Ist	Soll	Erfüllungsgrad	Aggregation
	PS <sub>ges</sub>	PI	nf	o	(l/s)	560.776	510.000	0,91	
	ÜA	PI	nf	t	(l/s)	5,5%	3%	0,55	
R <sub>PS ugep</sub>	KPI	nf	t	(l/s)	41%	15%	0,37	0,49	

Abbildung 56: Instandhaltungsqualität Fallstudie 2<sup>221</sup>

Auch im Berechnungstool wird die Reife der Instandhaltungsqualität berechnet und visualisiert. Abbildung 57 zeigt die Berechnung und Visualisierung genau dieser Instandhaltungsqualitätsreife. Im Tool werden einzelne Perspektiven zusammengefasst und anschließend zu einem Ergebniswert aggregiert. In der Ergebnisbox wird die Reife der Instandhaltung mit einem Wert von 0,59 im drittbesten Bereich, sichtbar durch einen orangen gefärbten Stern, platziert.

<sup>221</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken 159.

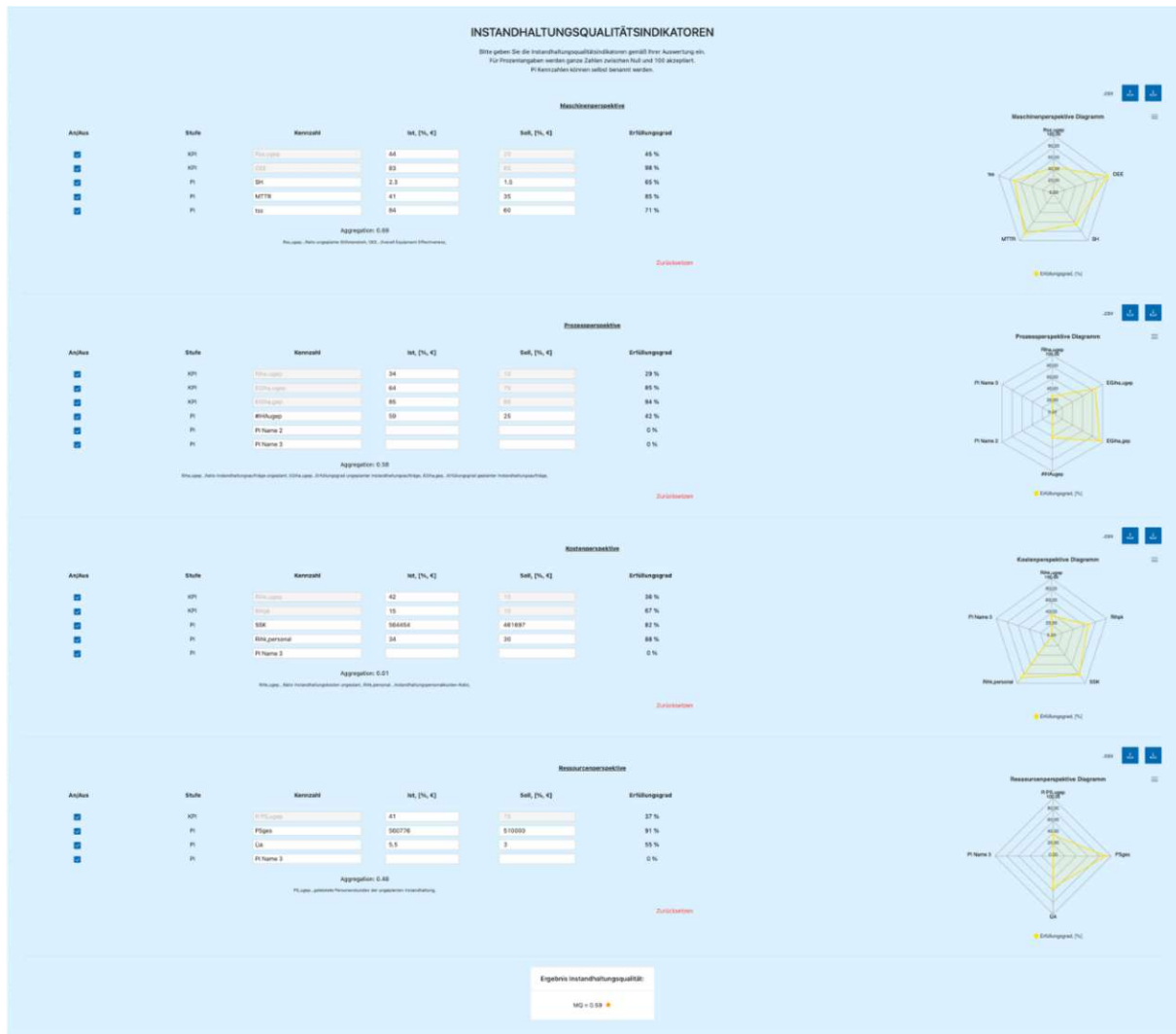


Abbildung 57: Instandhaltungsqualität im Reifegradmodelltool

Am Ende kann ein Ergebnis zur berechneten Reife, die aus allen eingegebenen Werten gebildet wird, angezeigt werden. Genauso wie alle vorher angegebenen Metriken, wird auch dieser Wert mit einem je nach Reife gefärbten Stern bewertet. Abbildung 58 zeigt das endgültige Ergebnis des Reifegrades der Fallstudie 2, mit einem Wert von 80,25%. Mit der Berücksichtigung aller Gewichtungen ergibt das einen Reifegrad III. Da auch hier Potenzial zur Verbesserung zum Reifegrad IV vorliegt, können Maßnahmen ergriffen werden, um genau dies zu erreichen. Die detaillierten Aufschlüsselungen der Quellen und Indikatoren liefern Indizien zu möglich Ansätzen bei diesem Vorhaben.

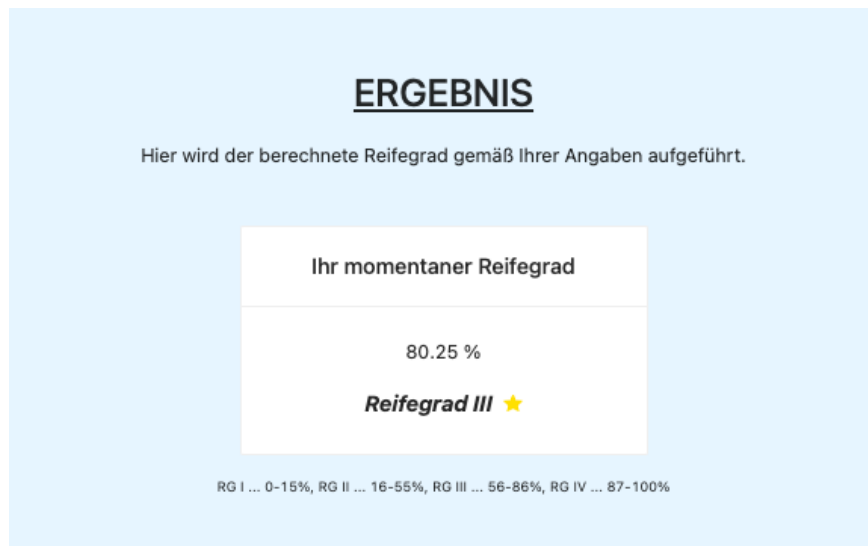


Abbildung 58: Ergebnis der Fallstudie 2 berechnet im Reifegradmodelltool

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

In dieser Arbeit wurde eine Berechnungslogik der Datenqualität für die Bemessung des Reifegrades der wissensbasierten Instandhaltung vorgestellt. Es wurden Dimensionen erörtert, die einen großen Anteil an der Datenqualität haben. Mit den vorgelegten Formeln kann die Datenqualität gesammelter Daten in aussagekräftige Ergebnisse in Form von Zahlen und Fakten gebracht werden. Mit dem in dieser Arbeit entwickelten Tool wurden unterschiedliche mögliche Umsetzungsmöglichkeiten für die Berechnung des wissensbasierten Reifegrades nach Tanja Nemeth<sup>222</sup> erörtert. Nach einer ausführlichen Beschreibung der aktuellen Praktiken in der Instandhaltung dieses Thema betreffend, wurde die Wichtigkeit der Verbesserung der Instandhaltung der einzelnen Unternehmen gezeigt. Mit Hilfe von smarten Produktionsanlagen können sehr viele Daten gesammelt und ausgewertet werden. Sie helfen dabei Maßnahmen für die Zukunft zu setzen und den Reifegrad der Instandhaltung zu verbessern. Der erste Schritt zur Verbesserung ist es den Ist-Stand zu erheben. Bei der Ist-Stand Erhebung und der damit verbundenen Berechnung des momentanen wissensbasierten Reifegrades kann das in dieser Arbeit entwickelte Tool helfen. Mit einem berechneten Reifegrad kann die momentane Situation erhoben und damit verbundene Maßnahmen für die Zukunft getroffen werden. Die Aggregation der einzelnen Quellen kann außerdem Aufschlüsse über gesammelte Daten geben und deren Anpassung einfordern. Als Ziel sollte sich jedes Unternehmen die präskriptive Instandhaltung setzen, um so die Kosten und Aufwände für Instandhaltung langfristig zu senken.

### 6.1 Diskussion der Ergebnisse

Datenqualität wird in der heutigen digitalen Welt immer wichtiger. Viele Unternehmen möchten den Sprung in die Digitalisierung schaffen und sehen Vorteile darin, Daten zu sammeln, zu analysieren und auszuwerten. Dies kann einen erheblichen Wettbewerbsvorteil gegenüber der wachsenden Konkurrenz bedeuten. Entscheidungsfindungen und auch Prozessanpassungen können anhand von ausgewerteten Daten passieren. Niedrige Datenqualität kann außerdem immense Kosten verursachen und es sollte demnach nach sehr guter Datenqualität gestrebt werden. Die erforschten Formeln zur Berechnung der Datenqualität anhand von Qualitätsmetriken wurden in ein Berechnungstool gegossen. Da jedoch nicht nur die Daten-, sondern auch die Informations-, Wissens- und Instandhaltungsqualität bei der Berechnung des wissensbasierten Reifegrades der Instandhaltung einfließen, wurden alle Metriken im Berechnungstool beachtet. Nach einer ausführlichen Recherche zu unterschiedlichen Umsetzungsmöglichkeiten und Programmiersprachen, konnte die

---

<sup>222</sup> Tanja Nemeth, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken.

Wahl auf ein webbasiertes Tool fallen. Native Applikationen sind auf Betriebssysteme limitiert und würden in Bezug auf Entwicklung einen doppelten Aufwand bedeuten. Außerdem kann die Anforderung an die Übersichtlichkeit und visuelle Darstellung der großen Berechnungstabellen auf kleinen Bildschirmen von Geräten mit Android und iOS unterstützten Betriebssystemen nicht gewährleistet werden und würde schnell zu Frustration bei Benutzer\*innen führen. Um die Anforderungen aller Stakeholder\*innen einzubeziehen und zu erfüllen, musste eine Entwicklungsart, die visuell ansprechendes Design ermöglicht, gewählt werden. Dies ist mit Hilfe von HTML und CSS in webbasierten Applikationen möglich. Die Teilung in einzelne Abschnitte ermöglicht dem\*der User\*in eine etwas abgekapselte Form der Berechnung und auch in Entwicklungssicht eine Modularisierung der Komponenten. Ähnliche Bereiche konnten somit so entwickelt werden, dass wenig dynamischer Code für mehrere Abschnitte gültig ist und je nach Eingabe, dennoch die richtigen Ergebnisse liefert. Hierbei handelt es sich um die nahezu idente Berechnung der Aggregation der Daten-, Informations- und Wissensqualität und auch der einzelnen Perspektiven der Instandhaltungsqualitätsmetrik. Die Eingabe der einzelnen Werte der Indikatoren und Metriken wurde so übersichtlich wie nur möglich umgesetzt. Da es sich um eine große Anzahl an Werten handelt, muss hier jedoch beachtet werden, dass große Bildschirme benötigt werden, um einen guten Überblick zu haben. Eine möglichst intuitive Bedienung des Tools wurde ebenfalls gewährleistet. Die Aggregation auf Datenquellen- und Indikatoren-Ebene sollte für jede\*n Nutzer\*in eindeutig sein. Diagramme und deren visuelle Darstellung sowie die Deaktivierung der Datenquellen konnte mit Hilfe von zwei Diagrammen gut getrennt werden. Die Darstellung der Ist- und Soll-Werte der Indikatoren in einem Diagramm ermöglicht eine gute Vergleichbarkeit. Die direkte Bewertung mittels farblicher Markierung der einzelnen Metrikenergebnisse und des endgültigen Reifegrades der Instandhaltung zeigt dem\*der User\*in direkt die Bewertung dieser. Die visuelle Darstellung des Tools könnte jedoch auch anders ausfallen. Um die User Experience noch zu steigern, könnten Ansätze der User Interface und User Experience noch mehr miteinbezogen werden. Diese Arbeit beschäftigte sich jedoch mit der Umsetzung der Funktionen und einer zufriedenstellenden visuellen Darstellung der Ergebnisse. Würde jedoch ein\*e Webseiten-Designer\*in aufgefordert werden, dieses Tool umzugestalten, würden bestimmt einige visuelle Darstellungen anders ausfallen.

## 6.2 Mögliche nächste Schritte zur Weiterentwicklung

Aufgrund der immer größer werdenden Bedeutung von Datenqualität, sollte dieser Bereich weiter erforscht werden. Gerade aus Gründen der stetigen Veränderungen moderner Industrieanlagen und der Technik im Allgemeinen, können Daten auf unterschiedliche Weise gesammelt und mittels ausgereifter Methoden ausgewertet werden. Da die Berechnung des Reifegrades der wissensbasierten Instandhaltung aus

mehreren Schritten besteht, sind die Sammlung von Daten, Auswahl und Berechnung der einzelnen Größen, wie z.B. Validität und Korrektheit bzw. die einzelnen KPIs und PIs sowie die anschließende Berechnung des Reifegrades Teil des gesamten Prozesses. In dieser Arbeit wurde jedoch nur der letzte Teil, der die Berechnung der bereits vorhandene KPIs und PIs voraussetzt, beachtet und als Tool umgesetzt. Um ein Rundumpaket der Auswertung der Reifegradberechnung der wissensbasierten Instandhaltung zu bieten, könnten die Berechnungen der einzelnen Indikatoren auch in das Tool oder ein anderes Tool gegossen werden. Ein großer Teil der Berechnung und Bewertung der einzelnen Qualitäten stellt eben diese Auswahl und Berechnung der einzelnen Größen dar. Dieser Teil wurde jedoch in dieser Arbeit nicht beachtet, da sich die Aufwände sonst multiplizieren würden und somit keinen Platz gefunden haben. Eine weitere Möglichkeit das Tool weiterzuentwickeln und es an die jetzigen Designvorgaben anzupassen, wäre, wie bereits erwähnt, eine visuelle Überarbeitung von einem\*r professionellen User-Interface- und User-Experience-Designer\*in. Heutzutage müssen Applikationen nicht nur funktional, sondern auch visuell überzeugen, um ein Gesamterlebnis bieten zu können.

## 7 Anhang

### 7.1 Zeitaufschrieb

Datum	Von	Bis	Nettozeit [h]	Arbeit
02.06.2020	10:00	11:00	1	Erstbesprechung mit Betreuerin
09.06.2020	12:00	13:00	1	Besprechung mit Betreuerin
11.06.2020	10:00	13:00	3	Exposé erstellen
16.07.2020	13:00	17:00	4	Exposé erstellen
10.08.2020	08:00	10:00	2	Exposé
08.08.2020	10:00	10:30	0,5	Besprechung mit Betreuerin
12.08.2020	09:00	12:00	4	Programmierkurs Webentwicklung
14.08.2020	17:00	19:00	2	Programmierkurs Webentwicklung
25.08.2020	14:00	20:00	3	Programmierkurs Webentwicklung
24.09.2020	16:00	19:00	3	Recherche Programmiersprachen
15.09.2020	17:00	19:00	2	Entscheidung Programmiersprache
29.09.2020	08:00	12:00	4	HTML & CSS Programmierkurs
09.10.2020	17:00	18:30	1,5	HTML & CSS Programmierkurs
10.10.2020	14:00	16:00	2	HTML & CSS Programmierkurs
13.10.2020	08:00	12:00	4	HTML & CSS Programmierkurs
16.10.2020	08:00	10:00	2	HTML & CSS Programmierkurs
20.10.2020	14:00	18:00	4	HTML & CSS Programmierkurs
24.10.2020	14:00	15:00	1	HTML & CSS Programmierkurs
25.10.2020	12:00	14:00	2	HTML & CSS Programmierkurs
26.10.2020	14:00	18:00	4	HTML & CSS Programmierkurs
31.10.2020	09:00	10:00	1	HTML & CSS Programmierkurs
08.11.2020	08:00	12:00	4	HTML & CSS Programmierkurs
28.11.2020	08:00	14:00	6	HTML & CSS Programmierkurs
04.12.2020	08:00	12:00	4	Design Webseite
07.12.2020	09:00	10:00	1	Design Webseite
30.01.2021	12:00	16:00	4	JavaScript Programmierkurs
31.01.2021	08:00	10:00	2	JavaScript Programmierkurs
15.01.2021	14:00	14:30	0,5	Besprechung mit Betreuerin
01.02.2021	17:00	19:00	2	JavaScript Programmierkurs
03.02.2021	10:00	11:00	1	JavaScript Programmierkurs
04.02.2021	12:00	14:00	2	JavaScript Programmierkurs
05.02.2021	17:00	20:00	3	JavaScript Programmierkurs
07.02.2021	09:00	11:00	2	JavaScript Programmierkurs
08.02.2021	14:30	16:00	1,5	JavaScript Programmierkurs
11.02.2021	12:00	18:00	6	JavaScript Programmierkurs
12.02.2021	08:00	12:30	4,5	JavaScript Programmierkurs
14.02.2021	10:00	12:00	2	JavaScript Programmierkurs
16.02.2021	17:00	18:00	1	JavaScript Programmierkurs
21.02.2021	17:00	21:00	4	JavaScript Programmierkurs
26.02.2021	16:00	17:30	1,5	JavaScript Programmierkurs
27.02.2021	18:00	20:00	2	JavaScript Programmierkurs
02.03.2021	09:00	10:00	1	JavaScript Programmierkurs
12.03.2021	08:00	09:30	1,5	JavaScript Programmierkurs
16.03.2021	14:00	17:00	3	JavaScript Programmierkurs
30.03.2021	10:00	12:00	2	JavaScript Programmierkurs
02.04.2021	09:00	10:00	1	JavaScript Programmierkurs
03.04.2021	14:00	19:00	5	JavaScript Programmierkurs



05.04.2021	09:00	10:30	1,5	React & Redux Programmierkurs
09.04.2021	08:30	11:00	2,5	Bericht des aktuellen Standes
10.04.2021	10:00	12:00	2	React & Redux Programmierkurs
13.04.2021	12:00	14:30	2,5	React & Redux Programmierkurs
18.04.2021	15:00	17:0	2	React & Redux Programmierkurs
20.04.2021	10:00	13:00	3	React Programmierkurs
23.04.2021	14:00	18:00	4	React Programmierkurs
27.04.2021	14:00	15:00	1	React Programmierkurs
04.05.2021	10:00	12:00	2	React Programmierkurs
07.05.2021	17:00	19:00	2	React Programmierkurs
11.05.2021	09:00	12:00	3	React Programmierkurs
15.05.2021	16:00	20:00	4	React Programmierkurs
17.05.2021	09:00	12:00	3	React Programmierkurs
18.05.2021	11:00	13:00	2	React Programmierkurs
19.05.2021	16:00	20:30	4,5	React Programmierkurs
20.05.2021	13:00	16:00	3	React Programmierkurs
24.05.2021	10:00	15:00	5	React Programmierkurs
25.05.2021	17:00	19:00	2	React Programmierkurs
27.05.2021	08:00	12:00	4	Tool: Umbau Projekt auf React
28.05.2021	09:00	12:00	3	Tool: Umbau Projekt auf React
29.05.2021	18:00	19:00	1	Tool: Umbau Projekt auf React
01.06.2021	17:00	19:00	2	Tool: Umbau Projekt auf React
06.06.2021	10:00	13:00	3	Tool: Umbau Projekt auf React
07.06.2021	18:00	20:00	2	Tool: Umbau Projekt auf React
08.06.2021	15:00	18:00	3	Strukturierung Diplomarbeit
12.06.2021	16:00	17:00	1	Einleitung
14.06.2021	18:00	20:00	2	Tool: Code Refactoring
16.06.2021	12:00	13:30	0,5	Besprechung mit Betreuerin
19.06.2021	13:30	17:00	3,5	Tool: Code Refactoring
19.06.2021	19:00	22:00	3	Tool: Code Refactoring, Tabellen UI verbessern
20.06.2021	16:00	19:00	3	Tool: Tabellen Validierung, UI
21.06.2021	18:00	20:00	2	Tool: Berechnung
22.06.2021	12:00	15:30	3,5	Tool: Berechnung, MQ Tabelle UI
25.05.2021	17:00	22:00	5	Tool: MQ Tabelle UI; Einleitung
26.05.2021	15:30	19:30	4	Tool: Berechnung
27.06.2021	08:30	11:30	3	Theoretische Grundlagen
28.06.2021	18:00	20:00	2	Tool: Berechnung
29.06.2021	16:00	19:00	3	Tool: Berechnung, Diagramme
03.07.2021	19:00	20:30	1,5	Tool: Charts
04.07.2021	14:00	17:00	3	Theoretische Grundlagen
06.07.2021	16:00	20:00	4	Theoretische Grundlagen
09.07.2021	13:30	16:00	2,5	Theoretische Grundlagen
10.07.2021	13:30	16:30	3	Theoretische Grundlagen
12.07.2021	18:00	20:00	2	Tool: Charts, Berechnung
13.07.2021	14:30	17:30	3	Tool: Charts, Berechnung
14.07.2021	12:00	13:30	1,5	Tool: Charts, Berechnung
14.07.2021	18:00	19:00	1	Theoretische Grundlagen
20.07.2021	18:00	22:30	4,5	Tool: Charts, Berechnung
24.07.2021	09:30	12:00	3,5	Tool: Instandhaltungstabelle
25.07.2021	16:30	18:00	1,5	Tool: Instandhaltungstabelle
26.07.2021	12:00	13:00	1	Besprechung mit Betreuerin
26.07.2021	17:00	20:00	3	Tool: MQ Tabelle
27.07.2021	09:00	11:30	2,5	Tool: MQ Tabelle

31.07.2021	16:00	18:00	2	Tool: MQ Tabelle
02.08.2021	17:30	20:00	2,5	Tool: MQ Tabelle
03.08.2021	18:00	19:30	1,5	Tool: MQ Tabelle
04.08.2021	11:00	12:00	1	Tool: MQ Tabelle
07.08.2021	14:30	16:00	1,5	Tool: MQ Tabelle
08.08.2021	11:30	14:30	3	Tool: MQ Tabelle
09.08.2021	18:00	20:30	2,5	Tool: MQ Tabelle, Start .csv Upload
10.08.2021	08:30	13:00	4,5	Tool: .csv Upload Theoretische Grundlagen
11.08.2021	17:00	17:30	0,5	Theoretische Grundlagen
12.08.2021	16:00	18:00	2	Theoretische Grundlagen
13.08.2021	12:00	14:00	2	Theoretische Grundlagen
17.08.2021	17:00	20:00	3	Tool: csv Upload
19.08.2021	20:30	22:00	1,5	Tool: csv Upload
20.09.2021	09:30	10:30	1	Tool: csv Upload
21.09.2021	15:30	19:00	3,5	Tool: csv Upload Theoretische Grundlagen
22.09.2021	13:30	18:00	4,5	Theoretische Grundlagen
23.09.2021	18:00	19:30	1,5	Tool: csv Upload
24.09.2021	07:30	12:00	4,5	Tool: csv Upload, Download Theoretische Grundlagen
28.09.2021	14:30	17:30	3,0	Tool: User Interface anpassen
29.09.2021	13:30	17:30	4,0	Tool, Theoretische Grundlagen
30.09.2021	10:00	11:00	1,0	Tool: User Interface
16.10.2021	14:30	18:00	3,5	Theoretische Grundlagen
17.10.2021	16:30	19:30	3,0	Theoretische Grundlagen
18.10.2021	18:30	19:00	0,5	Theoretische Grundlagen
31.10.2021	17:30	20:00	2,5	Reifegradmodell
01.11.2021	10:30	13:00	2,5	Reifegradmodell, Implementierung des Tools
02.11.2021	18:30	19:30	1,0	TISS Eintrag
07.11.2021	14:00	17:30	3,5	Implementierung des Tools
28.11.2021	11:00	16:00	5,0	Beschreibung des Tools
29.11.2021	18:00	22:00	4,0	Kurzfassung, Text überarbeiten
13.12.2021	18:00	20:00	2,0	Überarbeitung
29.12.2021	18:00	20:00	2,0	Überarbeitung Rechtschreibung
19.01.2022	17:30	18:00	0,5	Besprechung mit Betreuerin
23.01.2022	11:00	15:00	4,0	Überarbeitung Kapitel 2.2
27.01.2022	09:00	10:30	1,5	Tool Updaten
28.01.2022	17:00	19:00	2,0	Überarbeitung Kapitel 2.2
29.01.2022	11:30	15:00	3,5	Überarbeitung Kapitel 2.1
30.01.2022	14:00	18:00	4,0	Überarbeitung Kapitel 2.1
31.01.2022	17:30	19:30	2,0	Überarbeitung Kapitel 2.1
01.02.2022	20:30	22:00	1,5	Überarbeitung Kapitel 2.1
02.02.2021	20:00	22:00	2,0	Anpassung Kapitel 3
04.02.2021	14:00	21:00	7,0	Letzte Anpassungen der kompletten Arbeit
14.02.2021	08:00	10:00	2,0	Letzter Schliff
03.03.2021	08:00	10:00	2,0	Letzter Schliff
Summe			370,5	

Tabelle 9: Zeitaufschrieb (Hoskova Klara)

## 8 Literaturverzeichnis

*Ahrendts/Marton*, IT-Risikomanagement leben! Wirkungsvolle Umsetzung für Projekte in der Softwareentwicklung ; [mit Risiko- und Maßnahmenlexikon]<sup>1. Aufl.</sup>, Springer, Berlin Heidelberg 2008

*Bauernhansl/Hompel, ten/Vogel-Heuser* (Hrsg), Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden 2014

*Brandt-Pook/Kollmeier*, Softwareentwicklung kompakt und verständlich: wie Softwaresysteme entstehen<sup>3., verbesserte Auflage</sup>, Springer Vieweg, Wiesbaden [Heidelberg] 2020

*Dick/Hull/Jackson*, Requirements Engineering, Springer International Publishing, Cham 2017

*Donick*, Nutzerverhalten verstehen – Softwarenutzen optimieren: Kommunikationsanalyse bei der Softwareentwicklung, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden [Heidelberg] 2020

*Dr. Kurz*, Industrie 4.0 verändert die Arbeitswelt,

*Eilebrecht/Starke*, Patterns kompakt: Entwurfsmuster für effektive Softwareentwicklung<sup>5., aktualisierte und erweiterte Auflage</sup>, Springer Vieweg, Berlin [Heidelberg] 2019

*Eppler*, Managing information quality: increasing the value of information in knowledge-intensive products and processes<sup>2nd ed</sup>, Springer, Berlin ; New York 2006

*Erol*, Design of Information Systems for Production Management, Design Process and Requirements Engineering

*Fields/Harvie/Fowler/Beck*, Refactoring Ruby Edition, Pearson Education Inc. 2010

*Ghasemaghaei/Calic*, Can big data improve firm decision quality? The role of data quality and data diagnosticity, Decision Support Systems 2019, 38–49

*Glawar/Karner/Nemeth/Matyas/Sihn*, An Approach for the Integration of Anticipative Maintenance Strategies within a Production Planning and Control Model, Procedia CIRP 2018, 46–51

*Glawar/Kemeny/Nemeth/Matyas/Monostori/Sihn*, A Holistic Approach for Quality Oriented Maintenance Planning Supported by Data Mining Methods, Procedia CIRP 2016, 259–264

*Güntner/Eckhoff/Isopp/Loidl/Markus*, Bedürfnisse, Anforderungen und Trends in der Instandhaltung 4.0, 2014, 12

*Matyas*, Instandhaltungslogistik<sup>7.</sup>, Hanser, München 2018

*Matyas/Nemeth/Kovacs/Glawar*, A procedural approach for realizing prescriptive maintenance

planning in manufacturing industries, CIRP Annals 2017, 461–464

*Moges/Vlasselaer/Lemahieu/Baesens*, Determining the use of data quality metadata (DQM) for decision making purposes and its impact on decision outcomes — An exploratory study, Decision Support Systems 2016, 32–46

*Moser*, User-experience-Design: mit erlebniszentrierter Softwareentwicklung zu Produkten, die begeistern<sup>1. Aufl.</sup>, Springer Vieweg, Berlin Heidelberg 2012

*Naumann*, Datenqualität, Informatik-Spektrum 2007, 27–31

*Nicola Askham et al.*, The six Primary dimensions for Data Quality Assessment, 2013, 17

*Ofner/Otto/Österle*, A Maturity Model for Enterprise Data Quality Management, Enterprise Modelling and Information Systems Architectures 2013, 4–24

*OV*, 15288-2008, 2008

*OV*, React (2020)

*OV*, App entwickeln: Native App vs Hybride App, Web App & PWA, 07.11.2021

*OV*, Python Docs - 9. Graphische Benutzeroberfläche, 07.11.2021

*OV*, Python – Die wichtigsten Fragen für Anfänger, 07.11.2021

*OV*, Qt, 07.11.2021

*OV*, Qt - Why Qt?, 07.11.2021

*OV*, Qt Docs - Your First UI, 07.11.2021

*OV*, HTML Styles - CSS, 07.11.2021

*OV*, What are libraries in programming?, 07.11.2021

*OV*, Mockflow, Wien 2021

*OV*, JavaScript Tutorial, 07.11.2021

*OV*, TypeScript (2021)

*OV*, Ant Design, 07.11.2021

*OV*, Apex Charts, 07.11.2021

*OV*, Papa Parse, 07.11.2021

*OV*, Manufacturing Data Analytics, Industry Study 2016, General Report

*OV*, DIN EN 13306

*OV*, DIN EN 31051

*OV*, DIN ISO 55000:2017-05, Asset Management\_- Übersicht, Leitlinien und Begriffe (ISO\_55000:2014); Text Deutsch und Englisch

*OV*, Industry 4.0 How to navigate digitization of the manufacturing sector

*OV*, ISO\_IEC\_12207-2-2020.pdf

*OV*, Vallon Raoul - 2011 - Lean and Agile Software Development Planung und...pdf

*OV*, ISO\_IEC\_29148-2018.pdf

*Panjuta*, Udemy - Der Komplette Webentwickler Kurs 2.0, 12.08.2020

*Pichler/Roock*, Agile Entwicklungspraktiken mit Scrum<sup>1. Auflage</sup>, dpunkt.verlag, Heidelberg 2011

*Pipino/Lee/Wang*, Data quality assessment, Communications of the ACM 2002, 211–218

*Reichel/Müller/Haeffs* (Hrsg), Betriebliche Instandhaltung<sup>2. Auflage</sup>, Springer Vieweg, Berlin [Heidelberg] 2018

*Sadiq* (Hrsg), Handbook of Data Quality, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg 2013

*Schenk* (Hrsg), Instandhaltung technischer Systeme: Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs, Springer, Berlin Heidelberg 2010

*Sneed/Jungmayr*, Produkt- und Prozessmetriken für den Softwaretest, Informatik-Spektrum 2006, 23–38

*Strunz*, Instandhaltung, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg 2012

*Tanja Nemeth*, Vorgehensmodell zur Einführung einer präskriptiven Instandhaltungsstrategie und Reifegradbewertung unter Zuhilfenahme von Qualitätsmetriken., Technische Universität (2020)

*Wang/Strong*, Beyond Accuracy: What Data Quality Means to Data Consumers, Journal of Management Information Systems 1996, 5–33

*Watts/Shankaranarayanan/Even*, Data quality assessment in context: A cognitive perspective, Decision Support Systems 2009, 202–211

*Winkler*, Udemy - Der ultimative HTML5 und CSS3 Komplettkurs, 29.09.2020

—, Udemy - Der ultimative JavaScript Komplettkurs, 03.10.2020

*Womack/Jones/Roos*, Die Zweite Revolution in Der Autoindustrie: Konsequenzen Aus Der

Weltweiten Studie Aus Dem Massachusetts Insitute of Technology<sup>2</sup>, Campus-Verl., Frankfurt, Main 1991

*Würthele*, Datenqualitätsmetrik für Informationsprozesse: Datenqualitätsmanagement mittels ganzheitlicher Messung der Datenqualität., ETH Zurich (2003)

*Zhang/Indulska/Sadiq*, Discovering Data Quality Problems: The Case of Repurposed Data, Business & Information Systems Engineering 2019, 575–593

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beispiel eines möglichen Verlaufs einer Abnutzungskurve .....	9
Abbildung 2: Bedeutung der Instandhaltung .....	11
Abbildung 3: Kostenverläufe abhängig von Instandhaltungsintensität .....	13
Abbildung 4: Reifegrade der wissensbasierten Instandhaltung.....	14
Abbildung 5: Instandhaltungsstrategien mit ihren Wechselbeziehungen.....	15
Abbildung 6: Entwicklung der Instandhaltung seit 1940 .....	17
Abbildung 7: Smart Maintenance .....	20
Abbildung 8: Wissensgenerierung auf Datenbasis .....	26
Abbildung 9: Der generische Data-Science Prozess.....	29
Abbildung 10: In- und Output eines Prognosemodells .....	30
Abbildung 11: Bewertungsprozess der Datenqualität.....	37
Abbildung 12: Klassifikation von Datenfehlern .....	38
Abbildung 13: Das Basismodell der Softwareentwicklung.....	42
Abbildung 14: Einfach dargestelltes Wireframe.....	44
Abbildung 15: Abnahmeprozess.....	46
Abbildung 16: Rollen in der Softwareentwicklung .....	48
Abbildung 17: Wasserfallmodell .....	49
Abbildung 18: V-Modell I .....	50
Abbildung 19: V-Modell IP .....	50
Abbildung 20: Spiralmodell.....	51
Abbildung 21: Scrum .....	53
Abbildung 22: Anforderungsmanagement-Prozess .....	55
Abbildung 23: Beispielfenster entwickelt mit Python und Tkinter .....	70
Abbildung 24: Qt Design-Beispiel.....	70
Abbildung 25: Design mit Hilfe von HTML und CSS .....	71
Abbildung 26: Wireframe - erster Entwurf .....	72
Abbildung 27: Wireframes Teil 1 - zweiter Entwurf.....	73
Abbildung 28: Wireframe Instandhaltungsqualität - erster Entwurf .....	74
Abbildung 29: Einleitung des Tools .....	76
Abbildung 30: Design des Tools.....	77
Abbildung 31: Tool – Datenqualität .....	78
Abbildung 32: Tool - Datenqualität – Quellen.....	78
Abbildung 33: Tool - Datenqualität - Eingabe Zahl.....	78
Abbildung 34: Tool - Datenqualität der Fa.....	79
Abbildung 35: Tool - Datenqualität - Quellen aktiviert .....	80
Abbildung 36: Tool - Datenqualität - Quelle deaktiviert .....	80
Abbildung 37: Tool - Datenqualität – deaktivierte Datenquellen.....	80
Abbildung 38: Tool - Datenqualität - Metrikergebnis Orange .....	81
Abbildung 39: Tool - Datenqualität - Metrikergebnis Gelb.....	82

Abbildung 40: Tool - Datenqualität - Metrikergebnis Grün .....	82
Abbildung 41: Tool - Datenqualität - Sollwerte .....	83
Abbildung 42: Tool - Datenqualität - Sollwert in Diagramm deaktiviert .....	83
Abbildung 43: Tool - Datenqualität - Einzelwert in Diagramm .....	84
Abbildung 44: Tool - Datenqualität - Diagramm Download .....	84
Abbildung 45: Tool - Datenqualität – Zurücksetzen.....	84
Abbildung 46: Tool - Datenqualität - .csv Up- und Download.....	85
Abbildung 47: Tool - Informationsqualität .....	86
Abbildung 48: Tool - Wissensqualität .....	86
Abbildung 49: Tool - Instandhaltungsqualität .....	88
Abbildung 50: Tool - Ergebnis des wissensbasierten Reifegrades .....	89
Abbildung 51: Datenqualität der Fallstudie 2 .....	90
Abbildung 52: Datenqualität im Reifegradmodelltool.....	91
Abbildung 53: Informations- (links) und Wissensqualität (rechts) der Fallstudie 2 ....	91
Abbildung 54: Informationsqualität im Reifegradmodelltool .....	92
Abbildung 55: Wissensqualität im Reifegradmodelltool.....	92
Abbildung 56: Instandhaltungsqualität Fallstudie 2 .....	93
Abbildung 57: Instandhaltungsqualität im Reifegradmodelltool .....	94
Abbildung 58: Ergebnis der Fallstudie 2 berechnet im Reifegradmodelltool .....	95



## 10 Formelverzeichnis

Formel 1: Datenqualitätsmaß nach Würthele .....	37
Formel 2: Gewichtung der Qualitätsindikatoren .....	62
Formel 3: Reifegrad der Datenqualität .....	64
Formel 4: Reifegrad der Informationsqualität .....	64
Formel 5: Reifegrad der Wissensqualität .....	64
Formel 6: Reifegrad der Instandhaltungsqualität.....	64
Formel 7: Reifegrad der wissensbasierten Instandhaltung .....	65
Formel 8: Erfüllungsgrad Instandhaltungsqualität .....	87

# 11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Dimensionen der Datenqualität .....	34
Tabelle 2: Qualitätsindikatoren der Datenqualität.....	60
Tabelle 3: Qualitätsindikatoren der Informationsqualität .....	61
Tabelle 4: Qualitätsmetriken der Wissensqualität .....	61
Tabelle 5: Gewichtungen der Qualitätsindikatoren aller Qualitätsmetriken .....	63
Tabelle 6: Skalenbereiche der Reifegrade .....	65
Tabelle 7: Pflichtenheft .....	67
Tabelle 8: Farbskalenbereiche der einzelnen Qualitätsmetrikergebnisse .....	81
Tabelle 9: Zeitaufschrieb (Hoskova Klara) .....	101

## 12 Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
D <sub>Q</sub>	Datenqualitätsmetrik
IHP	Instandhaltungsplanungssystem
IHS	Instandhaltungssteuerungssystem
IM	Innovative Mechatronic
IPS	Instandhaltungsplanungs- und -steuerungssysteme
IT	Informationstechnologie
I <sub>Q</sub>	Informationsqualitätsmetrik
K <sub>Q</sub>	Wissensqualitätsmetrik
M <sub>Q</sub>	Instandhaltungsqualitätsmetrik
OEE	Overall Equipment Effectiveness
RFID	Radio-frequency-identification
RG	Reifegrad
RUL	Remaining Useful Life
XP	Extreme Programming
z.B.	zum Beispiel