

# Evaluation der Einsatz- und Forschungsgebiete von Predictive Maintenance anhand einer qualitativen Videoanalyse

Prof. Dr. Harald F.O. von Korflesch

Mathias Linden

Natalie Wick

WORKING PAPER 18-003

## EVALUATION DER EINSATZ- UND FORSCHUNGSGEBIETE VON PREDICTIVE MAINTENANCE ANHAND EINER QUALITATIVEN VIDEOANALYSE

Die Arbeitsberichte aus dem Competence Center for the Assessment of Railway Diagnostic and Monitoring Technologies (CCRDMT) dienen der Darstellung vorläufiger Ergebnisse, die in der Regel noch für spätere Veröffentlichungen überarbeitet werden. Die Autoren sind deshalb für kritische Hinweise dankbar. Alle Rechte sind vorbehalten, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen – auch bei nur auszugsweiser Verwertung.

The Working Papers of the Competence Center for the Assessment of Railway Diagnostic and Monitoring Technologies (CCRDMT) are in draft form and will usually be revised for subsequent publication. Critical comments are appreciated by the authors. All rights reserved. No part of this report may be reproduced by any means or translated.

**Arbeitsberichte des Competence Center for the Assessment of Railway Diagnostic and  
Monitoring Technologies (CCRDMT) - CCRDMT Working Paper Series 18 Volume 3**

**ISSN 2700-6506**

### **Kontaktdaten der Verfasser**

Natalie Wick  
Mathias Linden  
Prof. Dr. Harald F.O. von Korflesch

CCRDMT  
am Zentralen Institut für Scientific Entrepreneurship & International Transfer (ZIFET)  
Universität Koblenz-Landau  
Universitätsstraße 1  
D-56070 Koblenz  
E-Mail: [ccrdmt@uni-koblenz.de](mailto:ccrdmt@uni-koblenz.de)

März 2018

## Zusammenfassung

Die Instandhaltungsstrategie Predictive Maintenance, welche sich durch das Treffen von Vorhersagen zum Ausfallverhalten technischer Einheiten auf Basis von moderner Sensortechnik auszeichnet, nimmt vor dem Hintergrund einer Industrie 4.0 eine Schlüsselrolle in Smart Factories ein. In der vorliegenden Arbeit wird der gegenwärtige Forschungsstand zur Strategie evaluiert und ein Überblick der bisherigen Einsatzgebiete gegeben. Mithilfe einer qualitativen Videoanalyse wird die Realisierung in den involvierten Branchen und Unternehmensbereichen sowie die Art der überwachten Güter untersucht. Die analysierten Videoclips wurden von verschiedenen Unternehmen, welche unterschiedliche Blickwinkel auf Predictive Maintenance einnehmen, auf der Plattform YouTube beispielsweise zu Marketingzwecken hochgeladen. Anhand eines vorab festgelegten Kodierplans wurde im Rahmen der Videoanalyse die Kodierung des Videomaterials vorgenommen. Die Ergebnisse zeigen eine überwiegende Anwendung im produzierenden Gewerbe, in dem Predictive Maintenance zur Überwachung von Anlagen und Maschinen, welche an den Produktionsprozessen beteiligt sind, eingesetzt wird. Zudem wird die Strategie in hohem Maße zur Überwachung von Verkehrsmitteln eingesetzt, welche der Güter- und Personenbeförderung auf verschiedenen Verkehrswegen dienen. Resultierend aus der Videoanalyse wird der gegenwärtig hohe Erklärungsbedarf zu Predictive Maintenance sichtbar. Durch die Betrachtung dieser Erklärungen lassen sich die Besonderheiten in Abgrenzung zu anderen Instandhaltungsstrategien erkennen.

---

## **Abstract**

The maintenance strategy “predictive maintenance”, which is characterized by predicting the failure behavior of technical units based on modern sensor technology, plays a key role in smart factories against the background of an industry 4.0. This paper contains an evaluation of the current state of research on this strategy and gives an overview of the areas of application to date. With the aid of a qualitative video analysis, the implementation in the industries and company divisions involved and the type of goods monitored are examined. The analyzed video clips were uploaded to YouTube for example for marketing purposes by various companies with different perspectives on predictive maintenance. The video analysis was realized by applying a previously defined coding plan to the video material. The results show a predominant application in the manufacturing industry, in which predictive maintenance is used to monitor plants and machines. In addition, the strategy is also mainly applied to means of transport used for freight and passenger transport in various infrastructures. As a result of the video analysis, the currently high need for explanation of predictive maintenance becomes visible. By looking at these explanations, one also learns something about the special features that distinguish it from other maintenance strategies.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>9</b>
1.1 Erläuterung der Problemstellung .....	10
1.2 Beschreibung des Vorgehens.....	13
1.3 Beschreibung der Forschungsmethode .....	15
<b>2 Theoretische Grundlagen.....</b>	<b>16</b>
2.1 Betriebliche Instandhaltung .....	16
2.2 Ziele der betrieblichen Instandhaltung .....	23
2.3 Kosten der Instandhaltung .....	25
2.4 Instandhaltungsstrategien .....	28
2.4.1 Reactive Maintenance .....	28
2.4.2 Preventive Maintenance .....	30
2.4.3 Condition Based Maintenance .....	31
2.4.4 Predictive Maintenance .....	33
2.5 Anwendung von Predictive Maintenance .....	36
2.5.1 Messtechniken und Predictive Analytics .....	37
2.5.2 Chancen und Herausforderungen .....	41
2.5.3 Anwendungsfälle.....	43
<b>3 Anwendung der Methodik .....</b>	<b>45</b>
3.1 Qualitative Videoanalyse.....	45
3.2 Anwendung auf der Videoplattform YouTube.....	46
3.2.1 Vorbereitungsphase .....	47
3.2.2 Anwendungsphase.....	52
3.3 Auswertung.....	58
3.3.1 Branchen.....	62
3.3.2 Unternehmensbereiche .....	64
3.3.3 Überwachte Güter .....	65
3.3.4 Weitere Auswertung.....	67
<b>4 Fazit.....</b>	<b>75</b>
4.1 Zusammenfassung .....	75
4.2 Ergebnisse der Arbeit .....	77
4.3 Ausblick.....	79
<b>5 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>80</b>
<b>Anhang.....</b>	<b>89</b>

---

## Abkürzungsverzeichnis

BMBF .....	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CBM .....	Condition Based Maintenance
CCRDMT .....	Competence Center for the Assessment of Railway Diagnostic and Monitoring Technologies
CMS .....	Condition Monitoring Systeme
CPS .....	Cyber-physische Systeme
EDV .....	Elektronische Datenverarbeitung
IKT .....	Informations- und Kommunikationstechnik
IoT .....	Internet of Things
JIS .....	Just in Sequence
JIT .....	Just in Time
LCC .....	Life Cycle Cost
p.a. ....	per anno
PHM .....	Prognostic and Health Management
PM .....	Preventive Maintenance
RM .....	Reactive Maintenance
TPM .....	Total Productive Maintenance

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Lebenszyklus einer technischen Anlage .....	16
Abbildung 2: Durchschnittliche Verteilung der direkten Instandhaltungskosten in einem Unternehmen .....	25
Abbildung 3: Systematisierung der entgangenen Deckungsbeträge .....	27
Abbildung 4: Phasen beim Ablauf von Predictive Maintenance.....	34
Abbildung 5: Exemplarische Darstellung eines Videoergebnisses bei YouTube .....	48
Abbildung 6: Exemplarische Darstellung der MAXQDA Benutzeroberfläche .....	54
Abbildung 7: Geographische Verteilung der Herkunftsländer der betrachteten Unternehmen .....	59
Abbildung 8: Klassifizierung der betrachteten Unternehmen in Anwender und Softwarehersteller.....	60
Abbildung 9: Ergebnisse des Codes "Anwendung Predictive Maintenance - Branchen" .....	63
Abbildung 10: Anzahl der Nennungen der überwachten Parameter bei der Anwendung von Predictive Maintenance .....	70

---

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Prozessablauf der qualitativen Videoanalyse .....	14
Tabelle 2: Verwendete Suchbegriffe auf der Videoplattform YouTube .....	47
Tabelle 3: Kodierplan für die Videoanalyse .....	50
Tabelle 4: Ausschnitt der Übersicht über analysierte Videodateien am Beispiel AirFrance KLM S.A. ....	55
Tabelle 5: Legende: Spaltenüberschriften der Ergebnistabelle .....	56
Tabelle 6: Anzahl und durchschnittliche Länge der kodierten Sequenzen je Code .....	61
Tabelle 7: Anzahl der mit dem Code "Vorteile" kodierten Sequenzen .....	73

## 1 Einleitung

Ein englisches Sprichwort besagt „If it ain't broke, don't fix it“, was sich übersetzen lässt mit „Was nicht kaputt ist, soll man nicht reparieren“. Doch jüngste Entwicklungen setzen genau dort an: eine Verbesserung von Equipment, welches noch keine Spuren eines baldigen Ausfalls aufzeigt. Das Ziel dabei ist, dass es überhaupt nicht zu dem Auftreten eines Defekts oder einer Störung kommen kann. Eine sehr wünschenswerte Vorstellung in Anbetracht der zunehmenden Abhängigkeit von Autos, Smartphones, Computern und anderen technischen Gerätschaften in unserer Gesellschaft. Sowohl bei der Arbeit, im Studium, in der Freizeit – ohne diese technische Ausrüstung geht nichts mehr.

Schlimmer noch sieht es im betrieblichen Umfeld aus. Bei hochgradig verketteten Produktionsprozessen und teurer Maschinerie führt ein Anlagenausfall zu Kosten, welche sich schnell auf hohe Beträge summieren, die im Idealfall vermeidbar gewesen wären. Was wäre also, wenn es die Möglichkeit gäbe, diese Ausfälle vorherzusagen und somit rechtzeitig entgegenzuwirken?

Genau diese innovative Entwicklung findet in den letzten Jahren Einzug in die betriebliche Instandhaltung. Maschinenausfälle und Produktionsstillstände lassen sich bedingt durch die Entwicklung hin zu einer zunehmend digitalisierten Gesellschaft und Produktion vorhersagen und folglich vermeiden, was einen erheblichen Gewinn für die Unternehmen darstellt. Diese Strategie im Rahmen der Instandhaltung nennt sich Predictive Maintenance, übersetzt als vorausschauende Instandhaltung.

Während traditionell in erster Linie die oben genannte Strategie verfolgt wurde, bei der erst im Falle eines Defekts der Maschinerie reagiert wurde, erfolgt nun die Hinwendung zu einem proaktiven Ansatz, der sich durch die Prognose von vermeidbaren Ausfällen auszeichnet.

Warum also nicht diese Möglichkeit nutzen um bereits vorher zu wissen, wann Computer, Smartphone oder eben Produktionsanlagen ausfallen werden? Schließlich hat die Instandhaltung insbesondere im betrieblichen Kontext einen maßgeblichen Stellenwert an den Gewinnen und somit dem Erfolg eines Unternehmens. Bei der Wahl einer geeigneten Instandhaltungsstrategie müssen jedoch auch weitere spezifische Gegebenheiten betrachtet werden um die Leistungsfähigkeit einer technischen Einheit zu erhalten. Und auch Predictive Maintenance birgt einige Nachteile, welche berücksichtigt werden müssen.

In einigen Branchen fand diese unkonventionelle Instandhaltungsmethodik bereits Einzug, unter anderem wird unlängst in der Eisenbahnbranche darauf zurückgegriffen.

Am Competence Center for Railway Diagnostics and Monitoring Technologies (CCRDMT) der Universität Koblenz – Landau wird der Einsatz dieser Methodik untersucht um auf Grundlage dieser Daten Empfehlungen für den Bahnbetrieb und dessen Instandhaltungsmanagement zu geben. Dabei wird sich unter anderem auch an branchenfremden Erfahrungswerten orientiert, in welchen diese Methodik bereits eingesetzt wird.

## 1.1 Erläuterung der Problemstellung

Kaum eine Entwicklung hat in den letzten Jahren einen solch starken Einfluss auf die Wirtschaft genommen wie die der Digitalisierung. Eine deutlich zunehmende Bedeutung von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) im Zusammenspiel mit dem kontinuierlichen Trend zur Globalisierung der Märkte führt einerseits zu veränderten Anforderungen an die Unternehmen, als auch zu neuen Herausforderungen für diese (vgl. Pawellek 2016, 1).

Diese Entwicklung spiegelt sich ebenso in aktuellen politischen Geschehnissen wider. Erstmals im Jahre 2006 wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) die Hightech-Strategie erstellt, welche zur Steigerung der Attraktivität der Bundesrepublik Deutschland als Wirtschafts- und Forschungsstandort beitragen soll. Mit der letzten Erweiterung im Jahre 2014 wurde diese unter der Bezeichnung „Neue Hightech-Strategie“ ins Leben gerufen und sieht insbesondere in der digitalen Wirtschaft und Gesellschaft eine priorisierte Zukunftsaufgabe der Forschungs- und Innovationspolitik (vgl. BMBF 2014, 16). Die Schwerpunkte hierbei liegen thematisch unter anderem auf den Aktionsfeldern Industrie 4.0, Digitale Vernetzung und Digitale Wissenschaft sowie der Arbeitswelt der Zukunft in einer digitalisierten Welt (vgl. BMBF 2014, 17f).

Um die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten ist es für Unternehmen unvermeidlich geworden sich mit dem Thema der Digitalisierung auseinanderzusetzen und Strategien zur Implementierung von technischen Innovationen zu entwickeln. Dabei kommt es zunehmend zur Konfrontation mit Begrifflichkeiten wie der **Industrie 4.0** und dem **Internet der Dinge**. Was sich jedoch konkret hinter diesen heutzutage beinahe inflationär genutzten Termini verbirgt ist häufig unklar.

Der Begriff Industrie 4.0 wurde erstmals im Rahmen der Hannover Messe 2011 genutzt und ist seitdem aus unserer modernen Industriegesellschaft kaum mehr wegzudenken

(vgl. Reinhart 2017, XXXIV). Häufig wird von der Industrie 4.0 im Zusammenhang mit einer vierten industriellen Revolution nach den ersten drei technologiegetriebenen Revolutionen gesprochen und bezeichnet damit eine moderne Entwicklung hin zu einer „Digitalisierung der Produktion“ (vgl. Hänisch 2017, 9; Reinhart 2017, XXXI). Entwicklungen und Trends in der produzierenden Branche finden in der Regel nichtlinear statt, weshalb die Bezeichnung Revolutionen gewählt wird. Während bei der ersten industriellen Revolution im 18. Jahrhundert die Dampfmaschine und weitere mechanische Produktionsanlagen eine besondere Neuheit darstellten und implementiert wurden, führte beim nächsten technologischen Umbruch ab Ende des 19. Jahrhunderts besonders die elektrische Energie zu einem gravierenden, industriellen Fortschritt. Ebenfalls im Rahmen der zweiten industriellen Revolution wird häufig das arbeitsorganisatorische Prinzip des Taylorismus<sup>1</sup> erwähnt, welches den Start in die Massenfertigung ermöglichte. Die dritte industrielle Revolution fand in den 50er und 60er Jahren des 20. Jahrhunderts statt und zeichnete sich insbesondere durch Fortschritte im Einsatz von Elektronik und der Informationstechnologie aus. Es gab erstmals kommerziell nutzbare Computer, welche in vielen Unternehmen zu einer Revolutionierung der Abläufe im Verwaltungsbereich und zu einer weiteren Automatisierung der Produktion führten. (Vgl. Reinhart 2017, XXXIf)

Mit Beginn des 21. Jahrhunderts zeichnete sich durch den Einsatz von Software, welche die Fähigkeit zur Datenverarbeitung und selbstständigen Kommunikation verfügt sowie durch die zunehmende Implementierung von Sensoren und Aktoren im Produktionsprozess, der Beginn einer vierten industriellen Revolution ab – es entsteht die sogenannte Industrie 4.0 (vgl. Reinhart 2017, XXXIV).

Eine Vielzahl von vernetzten, sogenannten smarten Geräten erfasst mithilfe von modernen Messtechniken große Menge an Daten. Es entstehen dabei sogenannte **cyber-physische Systeme**, welche als eine Verbindung zwischen der digitalen und der physischen Welt agieren (vgl. ebd., XXXIV). Die zuvor erfassten Daten, welche jeweils abhängig von ihrer Strukturiertheit als **Big Data** oder **Smart Data** bezeichnet werden, können nach der zentralen Speicherung über interne oder externe Netzwerke für Nutzer und Nutzerinnen beispielsweise eines Unternehmens in Echtzeit bereitgestellt werden (vgl. Hänisch 2017, 11; Reinhart 2017, XXXIV). Dadurch entstand in den vergangenen

---

<sup>1</sup> Der Taylorismus bezeichnet das von Frederick W. Taylor geprägte Prinzip der Trennung von Hand- und Kopfarbeit sowie einer detaillierten Vorplanung aller anstehenden Arbeitsschritte. Auf diesem Prinzip aufbauend entstand daraufhin das Prinzip des Fordismus, welches nach dem Unternehmer Henry Ford benannt ist und die erste industrielle Massenfertigung des Ford-Modells T ermöglichte. (Reinhart, 2017, XXXI)

Jahren die Vision von **Smart Factories**, also Unternehmen, in welchen alle Bestandteile miteinander vernetzt sind und dadurch ein hoher Grad an Kommunikation erreicht wird (vgl. Reinhart 2017, XXXIX). Die Plattform hierfür bietet das **Internet of Things**, abgekürzt IoT oder zu Deutsch übersetzt Internet der Dinge (vgl. Hänisch 2017, 13). In Kombination mit der Nutzung von integrierten Netzwerken oder Cloud Diensten lassen sich schnell und effizient Lösungen für Probleme im Rahmen der Produktion finden, welche bis dato einen massiven Mehraufwand in Unternehmen darstellen konnten. Auf Basis dieser fortschrittlichen Technologie entstand die Methodik **Predictive Maintenance**, im Deutschen übersetzt als vorausschauende Instandhaltung (vgl. Schenk 2010, 31).

Da der Instandhaltung im Unternehmen eine maßgebliche ökonomische Bedeutung zugesprochen wird, soll diese auch möglichst effizient realisiert werden (vgl. Weißenbach 2017, 5). Hierzu wurde mithilfe des Ansatzes der Industrie 4.0 und auf Basis von CPS und IoT eine vollkommen neue und fortschrittliche Strategie geschaffen, welche aus Unternehmenssicht eine innovative und ökonomisch besonders wertvolle Lösung bietet, da hierdurch bereits vor dem Ausfall einer Maschine vorhergesagt werden kann, ob und ggf. wann diese Störung auftritt. Predictive Maintenance als betriebliche Instandhaltungsstrategie zeigt zahlreiche Chancen und Potenziale auf, birgt jedoch aufgrund der Neuartigkeit und dem bisherigen Mangel an Erfahrungswerten verschiedene Herausforderungen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es einen Überblick über den bisherigen Forschungsstand hinsichtlich der Methodik Predictive Maintenance zu geben sowie den aktuellen Einsatz der Strategie in Bezug auf die involvierten Branchen, Unternehmen und die zu überwachenden Güter und Produkte zu evaluieren. Aus der zuvor beschriebenen Problemstellung ergeben sich die nachfolgenden Forschungsfragen.

1. Welches sind Forschungsgebiete und -themen im Wirkungsgebiet von Predictive Maintenance?
2. Welche Branchen und Unternehmen sind involviert?
3. In welchen Unternehmensbereichen wird Predictive Maintenance angewandt?
4. Welche Güter werden mithilfe von Predictive Maintenance überwacht?

Die erste Forschungsfrage behandelt vorrangig den theoretischen Einsatz und die dazugehörige bisherige Forschung der Methode des Predictive Maintenance, also wie und weshalb die Realisierung stattfindet. Darauf aufbauend sollen die Fragen 2 und 3 der

Frage des örtlichen und logischen Einsatzes der Methodik nachgehen, und somit die Frage nach dem Wo beantworten. Zuletzt bezieht sich die Frage 4 direkt auf die Art der zu überwachenden Güter und beantwortet die Frage nach dem Was.

## 1.2 Beschreibung des Vorgehens

Um die zuvor erläuterten Forschungsfragen beantworten zu können wird zunächst, insbesondere bezugnehmend auf die erste Forschungsfrage, der aktuelle Forschungsstand hinsichtlich Instandhaltungsmanagement im Unternehmen und der unterschiedlichen Instandhaltungsstrategien dargelegt. Dabei wird erläutert, weshalb und in welcher Form Instandhaltung betrieben wird und welche Ziele damit verfolgt werden, um zunächst den Stellenwert dieser betrieblichen Komponente hervorzuheben. Die Methodik Predictive Maintenance, aber auch andere Instandhaltungsstrategien werden näher erläutert und die Besonderheiten der jeweiligen Strategien sowie ihre Vor- und Nachteile hervorgehoben um eine Vergleichbarkeit untereinander herzustellen. Der gegenwärtige Einsatz der unterschiedlichen Ansätze vor dem Hintergrund der Industrie 4.0 wird evaluiert, so dass ein umfassender Kontext zur Instandhaltung im betrieblichen Umfeld vorhanden ist.

An dieser Stelle setzt die anschließende Forschung an. Viele Unternehmen setzen heutzutage verstärkt auf Marketing über Soziale Medien und werben über Kanäle wie beispielsweise YouTube. Bei einer themenbezogenen Recherche über das Portal finden sich zahlreiche von deutschen und internationalen Unternehmen veröffentlichte Videoclips, welche mit dem Einsatz von Predictive Maintenance werben. Viele dieser Videoclips enthalten Informationen zu der Anwendung der Strategie, wie beispielsweise zu den Branchen, in denen Predictive Maintenance derzeit genutzt wird, welche Güter und Produkte überwacht werden oder welche Software hierzu im Unternehmen eingesetzt wird. Die Videoclips werden einer qualitativen Videoanalyse unterzogen, so dass insbesondere weitere Aussagen hinsichtlich der Forschungsfragen 2 bis 4 und somit zu dem gegenwärtigen Einsatz der innovativen Methode Predictive Maintenance in Unternehmen getroffen werden können. Der Ablauf der qualitativen Videoanalyse ist in Tabelle 1 durch eine Aufteilung in unterschiedliche Phasen dargestellt. Die Methodik und das Vorgehen werden in Kapitel 3 zudem ausführlich erläutert.

	Was? Vorgehen	Wie? Erläuterung	Ergebnis	Hilfsmittel
<b>Phase 1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Suchwörter/Tags zur Videosuche sammeln</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Keywords zur Thematik aus Kapitel „Theoretische Grundlagen“ filtern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Liste von Suchwörtern zur Videosuche auf Plattform YouTube</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Kapitel „Theoretische Grundlagen“ des Entwurfs der Thesis</li> </ul>
<b>Phase 2</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Videosuche auf der Plattform YouTube mithilfe der Tags</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Suchoptimierung, YouTube Empfehlungen ggf. aufnehmen</li> <li>▫ Verwandte Begriffe aus bereits gefundenen Videos als Tags weiterverwenden</li> <li>▫ Videoselektion hinsichtlich Relevanz und wiederkehrenden Inhalten</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Liste von zu analysierenden Videos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Videoplattform YouTube</li> <li>▫ Liste der Suchwörter (s. Phase 1)</li> </ul>
<b>Phase 3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Erstellung eines Kodierplans zur Videoanalyse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Coding hinsichtlich wiederkehrender oder besonderer Merkmale erstellen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Kodierplan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Videoplattform YouTube</li> </ul>
<b>Phase 4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Anwendung MAXQDA 11 (Kodierung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Integration der Videos in Software MAXQDA 11</li> <li>▫ Analyse der Videos mithilfe des Kodierplans</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Kodierte Videodateien</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ YouTube</li> <li>▫ MAXQDA 11</li> <li>▫ Kodierplan</li> <li>▫ Liste der zu analysierenden Videos (s. Phase 2)</li> </ul>
<b>Phase 5</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Export der Ergebnisse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Export der Ergebnisse aus MAXQDA 11 in MS Excel Tabelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ MS Excel Tabelle der kodierten Sequenzen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ MAXQDA 11</li> <li>▫ MS Excel</li> </ul>
<b>Phase 6</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Ausformulierung der Ergebnisse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Ausformulierung der Ergebnisse in Kapitel 3</li> <li>▫ Beantwortung der Forschungsfragen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ Verschriftlichte Darstellung der Ergebnisse und Beantwortung der Forschungsfragen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▫ MS Excel Ergebnisliste (s. Phase 5)</li> </ul>

Tabelle 1: Prozessablauf der qualitativen Videoanalyse (eigene Darstellung)

### 1.3 Beschreibung der Forschungsmethode

Als Basis der Videoanalyse und um die zugrunde liegende Kodierung zu erstellen wird zunächst das nötige Grundwissen beschafft (vgl. Saldaña 2000, 8). Um den aktuellen Forschungsstand zur Thematik der Instandhaltung und der Methode Predictive Maintenance darlegen zu können, folgt zunächst die Untersuchung der gegenwärtig hierzu veröffentlichten Fachschriften. Durch intensive Literaturanalyse und Internetrecherche werden der aktuelle Forschungsstand und Hintergrundwissen zum Thema betrieblicher Instandhaltung gesammelt im Kapitel „Theoretische Grundlagen“ mit der dieser Arbeit zugrunde liegenden Literatur vorgestellt.

Anschließend werden die auf der Plattform YouTube veröffentlichten Videoclips einer qualitativen Videoanalyse unterzogen. Diese werden hinsichtlich wiederkehrender Merkmale und Inhalte kategorisiert und kodiert. Diese Analyse wird mithilfe der Software MAXQDA Version 11 und einem zuvor angefertigten Kodierplan vorgenommen.

Zunächst werden hierzu relevante Schlagworte in die Suchleiste der Plattform YouTube eingegeben, welche sich auf die Thematik Predictive Maintenance beziehen. Diese Ergebnisse sowie die darauf basierenden empfohlenen Videoclips werden anschließend mithilfe MAXQDA 11<sup>2</sup> kodiert und analysiert. Durch die Unterstützung von diversen unterschiedlichen Formaten, unter anderem auch von Videodateien, und der breitgefächerten Funktionen ist die Software in diesem Fall die geeignete Wahl zur Analyse der themenbezogenen Videoclips.

Für die Analyse werden die Videoclips nach Integration in die Software an bestimmten Zeitpunkten mit Zeitstempeln, sogenannten Codes, versehen, welche zusammenfassend für diesen Zeitabschnitt als thematischer Oberbegriff dienen. Nach vollständiger Analyse werden alle Ergebnisse zur besseren Übersicht in eine Microsoft Excel Tabelle exportiert und anschließend zur Beantwortung der vorgehenden Forschungsfragen hinzugezogen.

---

<sup>2</sup> MAXQDA ist ein vom Unternehmen VERBI Software GmbH veröffentlichtes Computerprogramm zur Unterstützung von quantitativen wie auch qualitativen Forschungsprojekten (vgl. MAXQDA 2018).

## 2 Theoretische Grundlagen

Zur Beantwortung der Forschungsfragen werden zunächst die theoretischen Grundlagen zur Thematik der Instandhaltung und der Strategie Predictive Maintenance anhand des aktuellen Forschungsstands dargelegt. Dabei werden u.a. auch andere Instandhaltungsstrategien betrachtet und auf die Einordnung in der Industrie 4.0 Ära Bezug genommen.

### 2.1 Betriebliche Instandhaltung

Im Rahmen der Definition der Instandhaltung bietet es sich an zunächst den Lebenszyklus einer technischen Anlage und die verschiedenen Nutzungsphasen, wie in Abbildung 1 dargestellt, zu betrachten, um zu erkennen an welcher Stelle die Instandhaltung im Prozessablauf einsetzt.

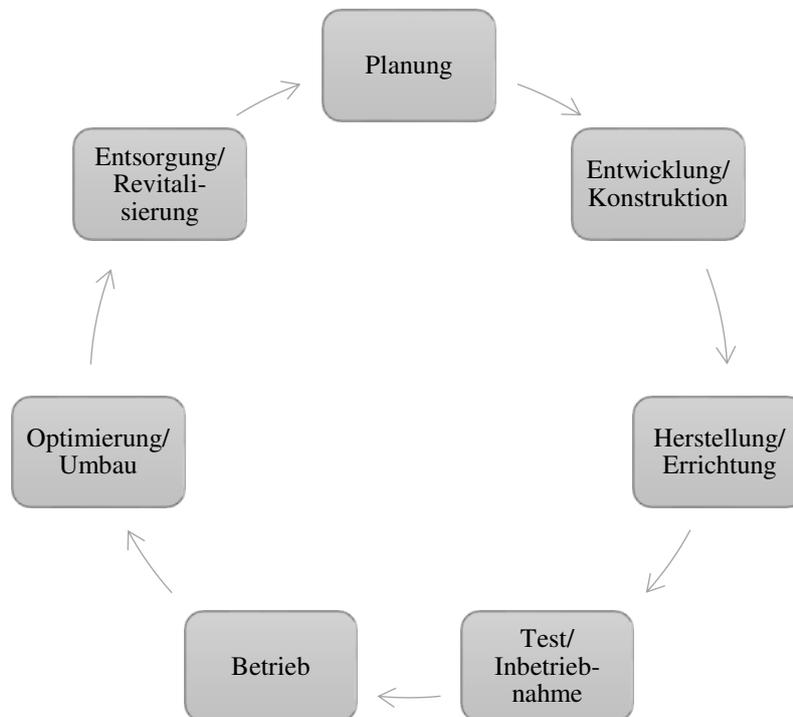


Abbildung 1: Lebenszyklus einer technischen Anlage (Quelle: eigene Darstellung nach Schenk 2010, 11)

Der Lebenszyklus einer technischen Anlage startet in der Regel mit der Entscheidung zur Entwicklung und der Investition in diese neue Anlage und ist anschließend begleitet von der Planung, welche ein interdisziplinäres Zusammenarbeiten von Ingenieuren aus den Bereichen des Maschinenbaus, der Elektrotechnik, des Bauwesens sowie Fachkräften aus der Informatik, den Betriebswissenschaften sowie der Sicherheits- und Umwelttechnik erfordert. Nach der darauffolgenden Entwicklung und Konstruktion der technischen

Anlage folgt die Phase der Herstellung und Errichtung, woraufhin ein vorläufiger Test sowie die erste Inbetriebnahme durchgeführt werden um potenzielle Montagefehler direkt zu beheben. Häufig werden Gerätschaften zur genauen Überprüfung der Anlagen erst im späteren Verlauf des Lebenszyklus eingerichtet, weshalb in diesen frühen Phasen ein besonderes Augenmerk auf der Reduzierung von Montagefehlern durch eine konsequente Qualitätsüberwachung liegt. Nachfolgend schließt die eigentliche Betriebsphase an, welche in der Regel die längste Phase im Anlagenlebenszyklus darstellt. An dieser Stelle setzt die Instandhaltung ein, welche bei der Verlangsamung von Abnutzungsprozessen unterstützt und dazu beiträgt, dass bestimmte Komponenten der technischen Anlage noch vor deren Versagen ausgetauscht werden. Auch die Phase der Optimierung und des Umbaus der Anlage fällt, zum Teil, mit in den Aufgabenbereich der Instandhaltung. Sobald jegliche Möglichkeiten zur Modernisierung ausgereizt sind bzw. wenn die Kosten der laufenden Instandhaltung die Ausgaben für eine Neuanschaffung übersteigen, folgt in der finalen Nutzungsphase die Entsorgung der Anlage und ggf. die Revitalisierung einzelner Komponenten. (Vgl. Schenk 2010, 11-14)

Gemäß der DIN-Norm EN 13306 ist Instandhaltung definiert als „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus einer Betrachtungseinheit zur Erhaltung des funktionsfähigen Zustandes oder der Rückführung in diesen, so dass sie die geforderte Funktion erfüllen kann“ (DIN EN 13306 2001). Eine Betrachtungseinheit bezeichnet dabei gemäß der selbigen DIN-Norm das jeweilige Instandhaltungsobjekt. Es wird unterschieden zwischen den vier Grundmaßnahmen *Wartung*, *Inspektion*, *Instandsetzung* und *Verbesserung*.

- Die *Wartung* wird dabei festgelegt als jegliche „Maßnahmen zur Verzögerung des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrats“ (DIN 31051 2003). Der Soll-Zustand des Instandhaltungsobjekts soll bewahrt werden, so dass Störungen oder Ausfälle nach Möglichkeit gar nicht erst auftreten und die Geschwindigkeit des Abbaus des vorhandenen Abnutzungsvorrats verringert wird (vgl. Weißenbach 2017, 13).
- Die *Inspektion* wird definiert als das Ergreifen von „Maßnahmen zur Feststellung und Beurteilung des Ist-Zustands einer Betrachtungseinheit einschließlich der Bestimmung der Ursachen der Abnutzung und dem Ableiten der notwendigen Konsequenzen für eine künftige Nutzung“ (DIN 31051 2003).

- Die *Instandsetzung* macht etwa die Hälfte aller Instandhaltungsaufwendungen aus (vgl. Pawellek 2017, 17) und wird definiert als „Maßnahmen zur Rückführung einer Betrachtungseinheit in den funktionsfähigen Zustand, mit Ausnahme von Verbesserungen“ (DIN 31051 2003).
- Die *Verbesserung* nimmt Einfluss auf die Funktions- und Leistungsfähigkeit einer Anlage und bezeichnet die „Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements zur Steigerung der Funktionssicherheit einer Betrachtungseinheit, ohne die von ihr geforderte Funktion zu ändern“ (DIN 31051 2003). Maßnahmen der Verbesserung können beispielsweise auf eine Erhöhung der Ausgabe-Qualität oder eine Korrektur der bisherigen Fehler abzielen.

Viele der Grundlagen der Instandhaltung werden in der DIN-Norm 31051, welche erstmals in den 1970er Jahren veröffentlicht und seit jeher regelmäßig aktualisiert wird, bereits definiert. Die stetig zunehmende Bedeutung von Instandhaltung und ein weiterer Abgrenzungsbedarf führten zudem zur Einführung der DIN-Norm EN 13306, welche weitere, damit zusammenhängende Begrifflichkeiten definiert und eine zusätzliche Gliederung der unterschiedlichen Instandhaltungsstrategien vorlegt (vgl. DIN EN 13306 2001; DIN 31051 2003; Schenk 2010, 24). Des Weiteren werden zum Teil übereinstimmend mit DIN 31051 vielfältige Tätigkeiten definiert, welche im betrieblichen Instandhaltungsmanagement angewandt werden können, u.a. die Inspektion, Überwachung, Nachweisprüfung, Funktionsprüfung, Revision, Grundüberholung, Wiederherstellung oder die Fehlerdiagnose (vgl. Schenk 2010, 26).

Der Prozess der betrieblichen Instandhaltung nimmt eine besondere Rolle ein, ist es doch häufig einer der kostenintensivsten und gleichzeitig der in der Regel am wenigsten vorhersagbare Ausgabenpunkt eines Unternehmens. Im Jahr 2014 wurden beispielsweise bei der DB Netz AG, welche die Instandhaltung des etwa 33.500 Kilometer langen Streckennetzes der Deutschen Bahn AG übernimmt, die Aufwendungen hierfür von 1,4 Milliarden Euro p.a. auf 1,6 Milliarden Euro erhöht, wovon ca. 356 Millionen Euro auf die Wartung und Inspektion entfallen (vgl. Deutsche Bahn AG 2014, 1). Nach Schätzungen des BMBF entfallen europaweit etwa 1.500 Milliarden Euro auf den Posten der direkten Instandhaltungskosten, während indirekte Aufwendungen auf 7.500

Milliarden Euro geschätzt werden<sup>3</sup> (vgl. Schröder 2010, 2). Insbesondere im Zeitalter der fortwährenden Internationalisierung von Unternehmen und stetig zunehmendem Wettbewerbsdruck muss rasch auf neue Anforderungen reagiert werden, während gleichzeitig auf Vorgaben des Gesetzgebers geachtet werden muss (vgl. Weißenbach 2017, 1). Insbesondere sich verkürzende Produktlebenszyklen, Ressourcenverknappung, steigende Anforderungen der Kundschaft an Qualität, Lieferzeit und Flexibilität sowie ein gleichzeitiges Streben nach einer Minimierung des Kapitaleinsatzes stellen Firmen vor zahlreiche Herausforderungen (vgl. Schröder 2010, 1). Während einerseits die Anforderungen an die Leistungen des Instandhaltungsmanagements steigen, sollen gleichzeitig die Kosten hierfür möglichst gering gehalten werden. Eine ökonomische Betrachtung des betrieblichen Instandhaltungsmanagements ist somit unerlässlich.

Instandhaltung zählt zudem zu einem der wenigen Einflussparameter auf die Wirtschaftlichkeit einer Bestandsanlage, neben dem Nutzungsgrad und der Fahrweise, welcher auch nach Inbetriebnahme einer Anlage noch gut beeinflussbar ist (vgl. Leidinger 2014, 2). Aus diesem Grund wird der Schwerpunkt von betrieblichen Initiativen, welche auf Kosteneinsparungen und -optimierungen im Unternehmen abzielen, immer wieder auf den Aufgabenbereich der Instandhaltung gelegt. Die richtige Balance im Hinblick auf einen haushälterischen Umgang ist hierbei schwer zu finden und lediglich in Anbetracht einer gut funktionierenden Zusammenarbeit zwischen den jeweiligen Verantwortlichen im Unternehmen möglich.

Dabei fällt der Rolle der ausführenden Person, dem ausführenden Instandhalter oder der Instandhalterin, eine Schlüsselrolle in diesem Prozess zu. Diese Arbeitskraft legt die erforderlichen Maßnahmenpakete sowie die anfallenden Aufwendungen auf Basis des persönlichen, vorhandenen Expertenwissens fest und muss sich in Zusammenarbeit mit der Leitungsebene auf eine möglichst ökonomische Strategie einigen (vgl. Leidinger 2014, 6). Da durch das Instandhaltungsmanagement keine direkten Gewinne erzielt werden und die Erfolge folglich nur indirekt dem Unternehmenserfolg zugeordnet werden können, lastet der Rolle des Instandhalters oder der Instandhalterin stets ein negatives Image als Kostenfaktor an (vgl. Leidinger 2014, 6).

---

<sup>3</sup> Die Differenzierung der unterschiedlichen Kostenarten erfolgt in Kapitel 2.3 der vorliegenden Arbeit.

Wenngleich die betriebliche Instandhaltung jedoch einen großen Einfluss auf die Kostendimension eines Unternehmens haben kann, so beeinflusst sie auch andere Faktoren wie Qualität, Zeit oder Flexibilität, wodurch ihr heutzutage eine so große Bedeutung zukommt (vgl. Schröder 2010, 36).

Der Faktor Kosten wird sowohl direkt durch die anfallenden Instandhaltungsaufwendungen beeinflusst als auch indirekt durch die erzielten Instandhaltungserfolge. Eine detaillierte Gliederung der Instandhaltungskosten folgt in Kapitel 2.3.

Darüber hinaus wird die jeweilige Produktqualität der produzierten Güter durch die Qualität der Produktionsprozesse sichergestellt, welche wiederum durch den Abnutzungsgrad der an der Fertigung beteiligten Anlagen bedingt und somit von einem gut funktionierenden Instandhaltungsmanagement abhängig ist (vgl. ebd., 40).

Der Erfolg oder Misserfolg der betrieblichen Instandhaltung zeigt sich zudem am Faktor Zeit. Produktionsbezogene Dimensionen wie Entwicklungs- oder Durchlaufzeit sowie die marktbezogenen Dimensionen der Liefer- und Servicezeit können durch Instandhaltung beeinflusst werden. Vor allem vor dem Hintergrund von „Just in Time“ (JIT) oder „Just in Sequence“ (JIS) Programmen, welche eine Verkürzung der Durchlaufzeiten der produzierten Güter beabsichtigen, ist eine hohe Qualität der betrieblichen Instandhaltung maßgeblich für deren Erfolg (vgl. ebd., 41).

Ferner wird heutzutage zunehmend der Einfluss der Instandhaltung auf die Flexibilität eines Unternehmens betrachtet. Durch hohe Investitionen in Konzeption und Realisierung von Anlagen sollen deren Leistungsfähigkeit und damit verbunden die jeweilige Flexibilität sichergestellt werden, was jedoch nur durch eine hohe Anlagenverfügbarkeit erreicht werden kann. Zudem ist insbesondere bei ungeplanten Instandhaltungsmaßnahmen ein hohes Maß an personeller Flexibilität notwendig, um diese bewältigen zu können (vgl. ebd., 43).

Durch eine differenzierte Betrachtung des betrieblichen Instandhaltungsmanagements lässt sich feststellen, dass die Instandhaltung auf verschiedenen Ebenen in einem Unternehmen agiert (vgl. Leidinger 2014, 6).

Zum einen wird auf einer wirtschaftlichen Ebene gehandelt. Dabei wird vor allem die Effektivität des Aufgabenbereichs Instandhaltung fokussiert sowie Kosten und Erlöse betrachtet. Da der Erfolg, wie zuvor bereits erwähnt, nur indirekt dem Unternehmenserfolg zugerechnet werden kann, ist es wichtig potenzielle

Kostenverursacher einzudämmen und die Erlöse nach Möglichkeit zu maximieren. (Vgl. ebd., 6)

Darüber hinaus werden auf der strategischen Ebene, auf Basis der vorhandenen Informationen, Maßnahmen und Leitfäden für das Instandhaltungsmanagement erarbeitet. Planung und Steuerung, auch betreffend der verfügbaren Ressourcen, spielen hierbei eine wichtige Rolle und detaillierte Planungen müssen vorgenommen werden. (Vgl. ebd., 7)

Demgegenüber werden auf der operativen Ebene die zuvor vorgenommenen Planungen umgesetzt, durch eine anlagenverantwortliche Arbeitskraft ausgeführt und nach deren Realisierung die Wirksamkeit der durchgeführten Maßnahmen festgestellt. Die Ergebnismessung, welche insbesondere nach Maßnahmen, welche der Verbesserung der Instandhaltungsobjekte dienen sollen, eine wichtige Rolle einnimmt, kann dabei sowohl über Standardkennzahlen als auch über gezielte Sondermessungen erfolgen (vgl. ebd., 9). Zuletzt fällt auf der Ressourcenebene der Instandhaltung die Planung jener zur Ausführung benötigten externen und internen Ressourcen an. Dazu zählt neben der Bereitstellung von EDV-Systemen auch das Treffen einer Make-Or-Buy-Entscheidung (vgl. ebd., 9).

Wenngleich heutzutage ein Trend zur Fremdvergabe des Aufgabenbereichs Instandhaltung sowohl auf strategischer als auch auf operativer Ebene festzustellen ist, müssen dennoch unternehmensspezifisch die Vor- und Nachteile von Insourcing gegenüber dem Outsourcing dieser Dienstleistung analysiert werden (vgl. Schenk 2010, 5). Insbesondere die Frage nach der Abhängigkeit von einem externen Unternehmen spielt dabei eine gewichtige Rolle, ebenso wie die erforderliche Vertrautheit im Umgang mit dem jeweiligen Instandhaltungsobjekt. Bei Anlagen, welche einen wesentlichen Teil zum Kerngeschäft beitragen oder eine eigene Rezeptur verwenden, wie beispielsweise in der chemischen Industrie, wird bevorzugt auf internes Know-How zurückgegriffen und es kommt zu keiner Auslagerung der Instandhaltung an externe Dienstleister (vgl. Leidinger 2014, 10).

Dahingegen wird bei Produktionsanlagen, welche nur im Rahmen eines Hilfsprozesses eingesetzt werden, so wie beispielsweise Stromgeneratoren, oder bei solchen, die einem stark standardisierten Prozessablauf folgen, eher auf externe Dienstleister zur Bewältigung dieser Aufgabe zurückgegriffen (vgl. Leidinger 2014, 10). Intern kommt es dadurch zu einem Verlust des Anlagen Know-How und zusätzlich kommt es zu einer

Abhängigkeit vom Anbieterunternehmen der Instandhaltungsdienstleistung und dessen Preisstruktur (vgl. Schenk 2010, 6). Durch das Outsourcing der Dienstleistung Instandhaltung wird der strategische Teil der Prozesse fokussiert, also Planung, Vorbereitung und Überwachung von Fremddienstleistungen, wohingegen die operativen Prozesse, wie Auftragsdurchführung und Ressourcenbereitstellung, an Bedeutung verlieren, da sie nicht mehr zum Leistungsportfolio des Unternehmens gehören (vgl. ebd., 5).

Die Make-or-Buy-Entscheidung in Bezug auf die betriebliche Instandhaltung ist von unterschiedlichen, unternehmensspezifischen Faktoren und Randbedingungen abhängig und daher stets individuell zu treffen. Durch verschiedene Methoden, wie beispielsweise einem Kostenvergleich, einer Nutzwertanalyse oder einer Kosten-Wirksamkeitsanalyse lassen sich Kriterien wie Qualität der Arbeit, Kosten oder Leistungsfähigkeit des Fremdbezugs im Gegensatz zur eigenen Bereitstellung im Rahmen der Instandhaltung vergleichen und tragen so zu einer Entscheidung für oder gegen das Outsourcing bei (vgl. Pawellek 2017, 271).

Das Unternehmen Lünendonk & Hossenfelder GmbH, welches auf die Marktforschung und -analyse im Bereich Business-to-Business spezialisiert ist, veröffentlicht seit 1983 jährlich die sogenannten Lünendonk-Listen mit den größten Anbietern aus unterschiedlichsten Branchen, unter anderem eine Lünendonk-Liste mit den führenden Industrieservice Dienstleistungsanbietern in Deutschland. Die dort aufgeführten Unternehmen erwirtschaften mehr als die Hälfte ihres Umsatzes durch Instandhaltungsdienstleistungen und mehr als zwei Drittel des Umsatzes wird durch externe Aufträge generiert. Die in Mannheim ansässige Bilfinger SE, welche im Jahr 2016 über 4 Milliarden Euro Umsatz generierte, führt das Ranking an und es zeigt sich zugleich, dass die aufgeführten Dienstleister im Durchschnitt ein Wachstum von 1,2 Prozent gegenüber 2015 verzeichnen konnten. Ein Verantwortlicher des Unternehmens Lünendonk & Hossenfelder GmbH spricht in diesem Zusammenhang über den Mangel an qualifizierten Technikern für die Instandhaltung und schlussfolgert, dass daher eine Vergabe von Aufträgen an Dienstleistungsunternehmen zunehmend bevorzugt wird aufgrund der flexibleren und professionelleren Abwicklung, insbesondere vor dem Hintergrund der zunehmenden Digitalisierung. (Vgl. Lünendonk & Hossenfelder 2017, 1-6). Schlussfolgernd scheint es, dass ein Outsourcing der Instandhaltungstätigkeiten insbesondere durch den Wandel zu einer Industrie 4.0 begünstigt wird und das Management diese Aufgaben daher zunehmend an externe Dienstleister vergibt.

## 2.2 Ziele der betrieblichen Instandhaltung

Mit dem Betrieb des Instandhaltungsmanagement sollen mehrere, teilweise untereinander konkurrierende Ziele, erreicht werden, welche stets unter Berücksichtigung der jeweiligen Unternehmensziele betrachtet werden müssen. Diese Ziele sind sowohl von monetärer als auch von nicht-monetärer Natur. Aus Unternehmenssicht spielt dabei langfristig insbesondere das Ziel der Gewinnerzielung eine maßgebliche Rolle (vgl. Pawellek 2017, 55; Schröder 2010, 26). Für das strategische Instandhaltungsmanagement bedeutet dies in erster Linie die Verfolgung des Ziels der „Sicherstellung einer betriebsspezifisch erforderlichen Verfügbarkeit und zuverlässigen Funktions- und Leistungsfähigkeit von technischen Einheiten zu einem gegebenen Zeitpunkt bei vertretbaren Gesamtkosten“ (vgl. Weißenbach 2017, 43).

Insbesondere soll die Wahrung der Sicherheit einer Anlage durch die angesetzten Instandhaltungsmaßnahmen sichergestellt werden, ebenso zählen Produktivitätserhalt bzw. -steigerung, die Energieeffizienz sowie ein aktiver Umweltschutz als wichtige Bestandteile zur Verfolgung des Hauptziels (vgl. Leidinger 2014, 15; Weißenbach 2017, 43). Anforderungen an die Arbeitssicherheit werden hierbei überwiegend, jedoch nicht ausschließlich, durch gesetzliche Regelungen festgelegt, welche sowohl Art, Umfang und Häufigkeit wiederkehrender Überprüfungen des Zustandes der jeweiligen Anlage und bzw. oder ihrer Sicherheitseinrichtungen vorgeben (vgl. Leidinger 2014, 15).

Ergänzend zu dem Hauptziel werden Unterziele der Instandhaltung definiert, welche in Sachziele, Formalziele sowie Sozialziele kategorisiert werden.

Sachziele legen dabei die Maßnahmen für eine effektive und effiziente Durchführung der Instandhaltung fest, wozu die Maximierung der Verfügbarkeit sowie der Zuverlässigkeit gehören. Die Verfügbarkeit einer Anlage wird durch die Norm DIN EN 13306 definiert als „die Fähigkeit einer Einheit, zu einem gegebenen Zeitpunkt oder während eines gegebenen Zeitintervalls in einem Zustand zu sein, dass sie eine geforderte Funktion unter gegebenen Bedingungen unter der Annahme erfüllen kann, dass die geforderten äußeren Hilfsmittel bereitgestellt sind“ (DIN EN 13306 2001). Mit der Zuverlässigkeit wird gemäß derselben DIN-Norm „die Beschaffenheit einer Einheit bezüglich ihrer Eignung, während oder nach vorgegebenen Zeitspannen bei vorgegebenen Anwendungsbedingungen die Zuverlässigkeitsforderungen zu erfüllen“ bezeichnet (DIN EN 13306 2001, 13).

Formalziele betrachten primär Möglichkeiten zur Reduzierung der entstehenden Instandhaltungskosten durch Optimierung der Instandhaltungsstrategie (vgl. Weißenbach

2017, 44). Dabei wird eine Minimierung der sogenannten Life-Cycle-Costs (LCC) oder auch Lebenszykluskosten einer technischen Anlage angestrebt und somit auf eine Reduzierung der direkten als auch der indirekten Instandhaltungskosten abgezielt (siehe Kapitel 2.3). LCC sind definiert als die gesamten anfallenden Kosten während der Lebensdauer einer Anlage und setzen sich zusammen aus den Anschaffungs-, Betriebs- und Entsorgungskosten, wobei der Faktor der Instandhaltung zu den Betriebskosten einer Anlage zählt (vgl. Pawellek 2017, 58).

Sozialziele sind auf die sozialen Verhaltensweisen der Mitarbeiter ausgerichtet und werden darum auch als Humanziele bezeichnet. Dazu zählen Maßnahmen zu Entfaltungsmöglichkeiten, Mitarbeiterqualifikation oder Kommunikationsverbesserung mit dem Ziel der Erleichterung der Aufgabenerfüllung sowie der Einhaltung der Arbeitssicherheitsvorschriften (vgl. Weißenbach 2017, 44).

Sach-, Wert- und Formalziele müssen in Einklang mit den Unternehmenszielen und stets unter Beachtung des Hauptziels der Instandhaltung formuliert werden, können jedoch in einer konkurrierenden Beziehung zueinander stehen, so wie dies beispielsweise bei dem Fall der Minimierung der Ausfallzeiten und der Minimierung der vorbeugenden Instandhaltungszeit der Fall sein kann (vgl. Pawellek 2017, 56).

### 2.3 Kosten der Instandhaltung

Im weiteren Zuge der Definition der Instandhaltung müssen ebenso die damit verbundenen Kosten differenziert betrachtet werden. Durch eine detaillierte Analyse der Kosten können Kennzahlensysteme erstellt werden, auf deren Basis Potenziale für Kosteneinsparungen aufgedeckt werden können. In der Regel erfolgt eine Unterscheidung in direkte und indirekte Instandhaltungskosten (vgl. Pawellek 2017, 62). **Direkte Kosten** bezeichnen dabei „diejenigen Kosten [...], die für den Verbrauch von Produktionsfaktoren für Planung, Durchführung und Kontrolle der Instandhaltung anfallen“. Dies kann Tätigkeiten der Inspektion, Wartung, Instandsetzung und Verbesserung umfassen und beinhaltet insbesondere Kosten für Personal, Ersatzteile, Material-, Hilfs- und Betriebsstoffe oder Aufwendungen für externe Dienstleister. (Vgl. ebd., 62)

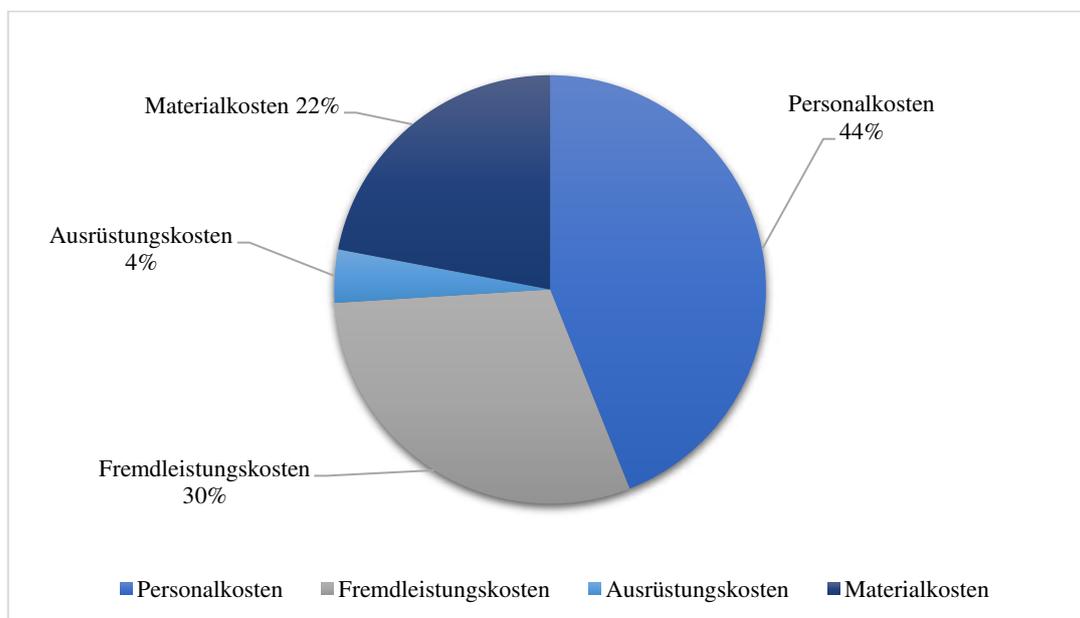


Abbildung 2: Durchschnittliche Verteilung der direkten Instandhaltungskosten in einem Unternehmen (Quelle: eigene Darstellung nach Pawellek 2017, 62)

Eine Untersuchung der direkten Instandhaltungskosten von Becker und Brinkmann aus dem Jahre 2000 kommt zu dem Ergebnis, dass die Personalkosten rund 44% und die Kosten für Fremdleistungen etwa 30% der direkten Instandhaltungskosten ausmachen, wohingegen die Materialkosten mit 22% anteilig berechnet werden und Ausrüstungskosten 4% ausmachen (vgl. ebd., 63). Die Verteilung ist in Abbildung 2 dargestellt.

Im Gegensatz zu den direkten Kosten bezeichnen die **indirekten Instandhaltungskosten** jene, welche durch Anlagenausfälle bzw. -stillstände und den daraus resultierenden entgangenen Deckungsbeiträgen entstehen sowie solche Aufwendungen, welche für die Wiederaufnahme der ausgefallenen Produktion aufgebracht werden müssen, weshalb sie unter dem Begriff Ausfall- und Ausfallfolgekosten zusammengefasst werden (vgl. Pawellek 2017, 61; Weißenbach 2017, 105). Aufgrund der Besonderheit ihres Ursprungs sowie wegen der Höhe der daraus resultierenden Kosten, welche etwa das Drei- bis Fünffache der direkten Kosten erreichen können, kommt ihnen eine besonders hohe Aufmerksamkeit zu (vgl. Pawellek 2017, 68).

Eine differenzierte Betrachtung der indirekten Instandhaltungskosten ergibt eine Gliederung in Stillstandskosten, entgangene Deckungsbeiträge sowie weitere Ausfallfolgekosten. Stillstandskosten bezeichnen dabei jene Kosten, welche durch Störungen und Ausfälle von technischen Anlagen anfallen und in der Folge aufgebracht werden müssen, sowie Kosten um die Produktionsverluste wieder aufzuholen. Hierunter zählen insbesondere Personalkosten oder Kapazitätskosten. (vgl. Weißenbach 2017, 107) Insbesondere bei hochgradig verketteten Produktionsanlagen können die Stillstandskosten sehr hoch ausfallen, wenn dadurch nachfolgende Prozesse behindert und somit weitere Anlagen zum Stillstand gezwungen werden (vgl. Pawellek 2017, 68). Entgangene Deckungsbeiträge entstehen aus den aus dem Produktionsausfall resultierenden Produktionsverlusten und den in Folge geringeren Erlösen der produzierten Güter, welche alle in Geldeinheiten quantifizierbar sind (vgl. Weißenbach 2017, 108). Diese können sowohl durch die Angebotsseite wie auch durch die Nachfrageseite veranlasst sein und lassen sich in Mengen- und Preiseffekte gliedern, wie in Abbildung 3 dargestellt.

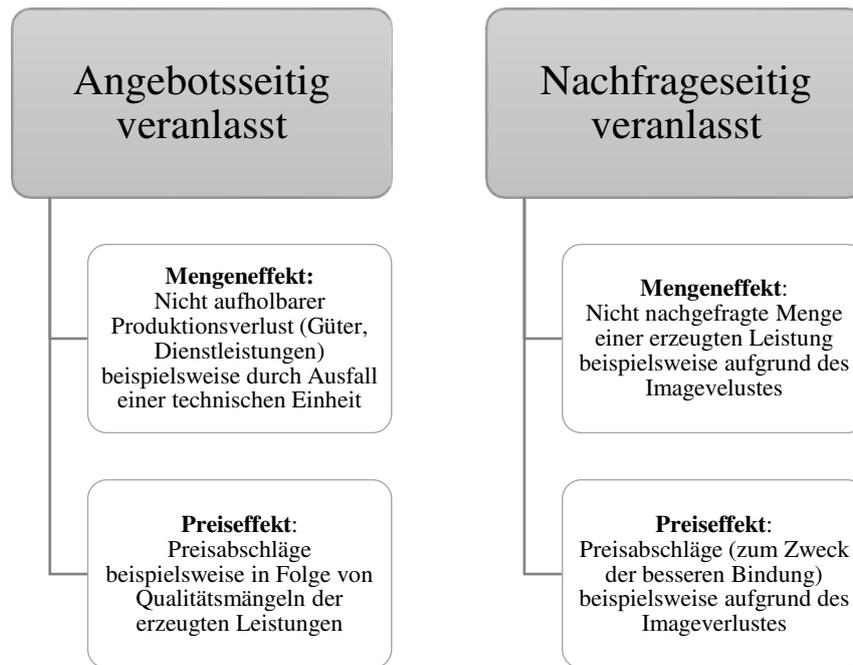


Abbildung 3: Systematisierung der entgangenen Deckungsbeträge (Quelle: eigene Darstellung nach Weißenbach 2017, 109)

Mengeneffekte entstehen angebotsseitig in der Regel durch einen nicht mehr aufholbaren Ausfall der planmäßig zu erbringenden Leistung, wodurch in der Folge unter Umständen Produktionsaufträge anderweitig vergeben werden. Zudem kann es durch den Produktionsverlust zu einem Imageverlust und Abwanderung von Kunden kommen, wodurch sich die Nachfrage nach den Gütern des produzierenden Unternehmens verringert. Der Preiseffekt entsteht durch Preisabschläge, welche beispielsweise in Folge von Qualitätsmängeln an den Ausbringungsgütern bedingt sein können und sich somit auf die Angebotsseite auswirken. Nachfrageseitig veranlasste Preiseffekte können bedingt sein durch die Anweisung eines finanziellen Ausgleichs für den Vertrauensverlust infolge von nicht eingehaltenen Lieferterminen. (Vgl. Weißenbach 2017, 109)

Weitere Ausfallkosten, welche den indirekten Instandhaltungskosten zurechenbar sind, können beispielsweise aus der Ersatzbeschaffung von beschädigtem Material, dem Zukauf von Teilen zur Verhinderung eines weiteren Produktionsausfalls in verketteten Prozessen, Strafzahlungen bei nicht erfolgter Leistung oder Schadenskosten, welche aus der Verletzung von Mensch und Umwelt entstehen, resultieren (vgl. Pawellek 2017, 68).

## 2.4 Instandhaltungsstrategien

Gemäß der DIN EN 13306 bezeichnet eine Instandhaltungsstrategie die “Vorgehensweise des Managements zur Erreichung der [jeweiligen] Instandhaltungsziele“ (DIN EN 13306 2001). Die Strategien geben inhaltlich, methodisch und umfangmäßig Richtlinien und grobe Handlungsanweisungen vor, auf denen basierend die Instandhaltungstätigkeiten (Wartung, Inspektion, Instandsetzung, Verbesserung) geplant werden (vgl. Pawellek 2017, 171). Bei der Wahl der geeigneten Instandhaltungsstrategie müssen unter Berücksichtigung der Unternehmens- und Instandhaltungsziele vor allem gesetzliche, aber auch sicherheitstechnische, technische, produktionsrelevante sowie wirtschaftliche Aspekte einkalkuliert werden (vgl. Schenk 2010, 26). Entscheidend bei der Wahl einer geeigneten Instandhaltungsstrategie ist die Ausführung der Instandhaltungsmaßnahmen „zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Qualität und im richtigen Umfang durch die richtige Person“ (Pawellek 2017, 171).

Die Unternehmensziele bilden den Ausgangspunkt des Instandhaltungsmanagements, woraus dann die Instandhaltungsziele abgeleitet werden. Unter Berücksichtigung dieser Ziele wird im Anschluss eine oder ggf. mehrere geeignete Instandhaltungsstrategien gewählt, welche im Betrieb umgesetzt werden. Es schließt sich die Phase der sogenannten Instandhaltungsabwicklung an, aus welcher sich das Ergebnis der gewählten Instandhaltungsstrategie ableitet. Dieses Instandhaltungsergebnis wird im Rahmen des Controllings mit den festgelegten Unternehmens- und Instandhaltungszielen abgeglichen, woraufhin ggf. die gewählte Strategie oder die Ziele angepasst werden. (Vgl. Pawellek 2017, 173)

Generell werden die verschiedenen Instandhaltungsstrategien hinsichtlich des Aspekts der Planbarkeit und der vorbeugenden Wirkung strukturiert, demzufolge erfolgt eine Trennung insbesondere zwischen planbaren und nicht planbaren Strategien (vgl. Weißenbach 2017, 45). Reactive Maintenance, Preventive Maintenance und Condition Based Maintenance zählen zu den drei klassischen Strategien (vgl. Weißenbach 2017, 45), wohingegen Predictive Maintenance eine moderne Form darstellt, welche nun im Rahmen der Industrie 4.0 zunehmend an Bedeutung gewinnt.

### 2.4.1 Reactive Maintenance

Die reaktive Instandhaltung, im Englischen als Reactive Maintenance (RM) bezeichnet, grenzt sich von den anderen Instandhaltungsstrategien insbesondere hinsichtlich des

Aspekts der Planbarkeit ab. Bei dieser Strategie wird erst nach dem Ausfall einer technischen Anlage reagiert und mit der Instandsetzung begonnen. Störungen und Ausfälle werden somit vom Management bewusst riskiert (vgl. Weißenbach 2017, 46). Häufig wird diese Strategie aus diesem Grund als ausfallabhängige Instandhaltung, störungsbedingte Instandsetzung oder Feuerwehrstrategie bezeichnet, da hierbei nur auf konkrete Störereignisse eine Reaktion des Instandhaltungsmanagements erfolgt (vgl. Schenk 2010, 27).

RM wird daher vorwiegend angewandt, wenn Anlagen nur wenig genutzt werden, wenn durch eine Unterbrechung der Produktion keine Lieferschwierigkeiten entstehen, wenn durch die defekte Anlage keine Gefahren für Mensch und Umwelt entstehen und/oder wenn durch redundante Einheiten die notwendige Verfügbarkeit gewährleistet werden kann (vgl. Pawellek 2017, 174; Weißenbach 2017, 46). Ebenso findet eine Anwendung statt, wenn keine konkreten Informationen zu dem Verschleiß- und Ausfallverhalten der Instandhaltungsobjekte vorliegen (vgl. Alcalde Rasch 2000, 87).

Obwohl RM aufgrund der geringen Planungsaufwände und der vollen Ausschöpfung des Abnutzungsvorrates zunächst als kostengünstige Strategie erscheint, sind plötzlich auftretende, unvorhergesehene Schadensfälle häufig mit außerordentlichen Kosten und einem gravierenden Zeitdruck verbunden. Des Weiteren können durch den Ausfall einer Anlagenkomponente auch weitere Elemente oder bei einem hohen Verkettungsgrad ggf. weitere Anlagen beeinträchtigt werden (vgl. Schenk 2010, 28). Dadurch ergeben sich im Vergleich zu anderen Strategien hierbei die längste Ausfallzeit und die höchsten Ausfallfolgekosten (vgl. ebd., 28).

Der Hauptvorteil dieser Strategie liegt in der vollen Ausschöpfung des Abnutzungsvorrates einer technischen Anlage, wodurch eine Minimierung des Instandhaltungsaufwands und des Verbrauchs von Ersatzteilen erreicht werden soll (vgl. Alcalde Rasch 2000, 87). Zusätzlich bedarf die Anwendung dieser Strategie nur einen geringen Planungs- und Personalaufwand sowie einen minimalen Einsatz von Ressourcen und Informationssystemen (vgl. Weißenbach 2017, 47). Dagegen spricht jedoch primär die geringe Planbarkeit durch das Fehlen von Informationen hinsichtlich Zeitpunkt und Umfang von Instandhaltungsmaßnahmen sowie die Unsicherheit hinsichtlich der Zuverlässigkeit der Anlage. Ebenso stellen die langen Stillstandzeiten und folglich hohe Ausfallfolgekosten sowie hohe Kosten für kurzfristig notwendige Ersatzteile gravierende Nachteile dieser Strategie dar (vgl. Weißenbach 2017, 47).

### 2.4.2 Preventive Maintenance

Bei der präventiven Instandhaltungsstrategie, auch als Preventive Maintenance (PM) bezeichnet, wird zwischen der präventiv periodischen und der präventiv leistungsabhängigen Instandhaltung unterschieden (vgl. Weißenbach 2017, 47). Wichtigste Voraussetzung hierfür ist das Vorhandensein von ausreichend Informationen über den erwarteten Ausfallzeitpunkt und Kenntnisse über das Verschleiß- und Ausfallverhalten des jeweiligen Instandhaltungsobjektes, so dass darauf basierend ein geeigneter Instandhaltungsplan mit definierten Instandhaltungsintervallen konzipiert und realisiert werden kann (vgl. Alcalde Rasch 2000, 88). Ohne Berücksichtigung des tatsächlichen Ist-Zustandes der Anlage werden hierbei Komponenten ausgetauscht oder gewartet, obwohl der jeweilige Abnutzungsvorrat unter Umständen noch nicht voll ausgeschöpft wurde und die Anlage bisher voll funktionstüchtig ist (vgl. Pawellek 2017, 174). Die Intervalle können in diesem Fall beispielsweise eine festgelegte Betriebsstundenzahl (präventiv periodisch) oder eine festgelegte Produktionsmenge (präventiv leistungsabhängig) sein, nach denen eine Instandhaltungsmaßnahme ergriffen wird (vgl. ebd., 174).

Preventive Maintenance wird insbesondere dann angewandt, wenn eine technische Anlage jederzeit zur Verfügung stehen muss und keine Verfügbarkeit durch redundante Einheiten gewährleistet werden kann. Häufig erfordern gesetzliche Vorschriften eine regelmäßige, präventive Instandhaltung. (Vgl. Weißenbach 2017, 48)

Die großen Vorteile bei der Wahl von Preventive Maintenance als Instandhaltungsstrategie liegen insbesondere in der guten Planbarkeit, da Zeitpunkt und Umfang der Maßnahmen bereits vorab definiert sind, sowie in der hohen Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der technischen Anlagen (vgl. ebd., 48). Als Resultat durch die gute Planbarkeit lassen sich durch genaue Bedarfsbestimmungen Ersatzteile pünktlich vorab beschaffen und Ausfallzeiten somit reduzieren (vgl. Alcalde Rasch 2000, 90).

Gegen PM spricht jedoch der hohe Planungsaufwand, zum einen zum Planen und Terminieren der Instandhaltungsmaßnahmen und zum anderen zur Beschaffung der Informationen bezüglich des Verschleiß- und Ausfallverhaltens der Anlagen (vgl. Weißenbach 2017, 48). Darüber hinaus kann der Abnutzungsvorrat der Anlage im Gegensatz zur Anwendung von Reactive Maintenance nicht voll ausgeschöpft werden, was tendenziell zu einem höheren Ersatzteilverbrauch und somit zu höheren LCC führt (vgl. Alcalde Rasch 2000, 90). Resultierend aus der hohen Anzahl durchgeführter Instandhaltungsmaßnahmen steigt die Gefahr von Montage- und Inbetriebnahmefehlern

(vgl. ebd., 90). Obwohl Preventive Maintenance zunächst oft als sinnvolle Strategie erscheint um Ausfälle und Stillstände in produzierenden Unternehmen zu vermeiden, so hat auch diese einige Nachteile und kann keine absolute Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit garantieren, da hier ebenso jederzeit unvorhergesehene Ausfälle eintreten können.

### **2.4.3 Condition Based Maintenance**

Die Inspektionsstrategie, zustandsabhängige Instandhaltungsstrategie oder auch Condition Based Maintenance (engl., CBM) versucht die Nachteile von Reactive sowie Preventive Maintenance zu umgehen und den Abnutzungsvorrat voll auszunutzen, ohne es zu einer Störung oder einem Ausfall einer technischen Anlage kommen zu lassen (vgl. Alcalde Rasch 2000, 91; Weißenbach 2017, 49). Nach festgelegten, regelmäßigen Intervallen wird der Zustand einer technischen Anlage einer Prüfung unterzogen und darauf basierend werden ggf. Instandhaltungsmaßnahmen vorgenommen (vgl. Weißenbach 2017, 49). Eine grundlegende Voraussetzung hierbei ist die Messbarkeit der Veränderung des Abnutzungsvorrats (vgl. Schenk 2010, 31).

Eine zentrale Rolle nehmen bei dieser Strategie die regelmäßigen Inspektion der Maschinen und ihrer einzelnen Bauteile ein (vgl. Leidinger 2014, 18). Diese Inspektionen können zum einen sowohl durch eine Überwachung vom Menschen und eine manuelle Erfassung von zustandsrelevanten Parametern stattfinden, wie auch durch den Einsatz von modernen Messtechniken, sogenannten Condition Monitoring Systemen (CMS), welche selbstständig die Inspektion der Anlagen und deren Komponenten durchführt (vgl. Schenk 2010, 31). Mithilfe der CMS kann der Zustand des Instandhaltungsobjekts in Echtzeit überwacht werden und bietet dadurch die Grundlage für ggf. anstehende Instandhaltungsmaßnahmen.

Im Rahmen von CBM wird unterschieden zwischen einer periodischen Inspektionsstrategie, bei der die Inspektionsintervalle für das Instandhaltungsobjekt bereits von Beginn an für dessen gesamte Lebensdauer festgelegt sind, und einer sequentiellen Inspektionsstrategie, die sich dadurch definiert, dass die Intervalle jederzeit in Abhängigkeit vom aktuellen Zustand der Anlage und von Erfahrungswerten neu festgelegt werden (vgl. Alcalde Rasch 2000, 91).

CBM wird vor allem in Unternehmen angewandt, in denen die permanente Verfügbarkeit einer technischen Anlage gewährleistet sein muss und keine redundanten Einheiten dies

sicherstellen können (vgl. Weißenbach 2017, 49). Neben der besseren Ausschöpfung des Abnutzungsvorrats einer Anlage zählt die Verfügbarkeit, welche bei angemessenen Inspektionsintervallen ähnlich wie bei Preventive Maintenance sehr hoch ist, zu einem der Hauptvorteile dieser Strategie (vgl. Alcalde Rasch 2000, 91). CBM bietet sich aufgrund der guten Planbarkeit an und kann insbesondere durch den Einsatz von CMS eine Entlastung hinsichtlich der Inspektionen für die ausführenden Mitarbeitenden der Instandhaltung bieten (vgl. Weißenbach 2017, 50).

Gleichzeitig kann der Einsatz dieser technischen Systeme jedoch Mehrkosten erzeugen, welche als Nachteil von CBM anzusehen sind. Darüber hinaus ist vor allem bei dieser Strategie eine hohe Fachkompetenz zur Beurteilung der Anlagenzustände notwendig und es gibt einen erhöhten Bedarf zur Planung der komplexen und häufigen Inspektionen (vgl. Weißenbach 2017, 50).

Grundsätzlich lässt sich durch die Anwendung von CBM eine hohe Verfügbarkeit von technischen Einheiten sicherstellen und die Ausfallwahrscheinlichkeiten werden reduziert. Jedoch gibt es bei dieser Strategie ebenso keine Gewährleistung, dass es zu keinem ungeplanten Ausfall der Anlagen kommt, da nur der gegenwärtige Zustand eines Objekts betrachtet wird und keine Vorhersagen für das zukünftige Verhalten erstellt werden.

#### 2.4.4 Predictive Maintenance

Predictive Maintenance wird im Deutschen mit prädiktiver oder auch vorausschauender Wartung übersetzt und bezeichnet eine moderne Instandhaltungsstrategie, welche als Weiterentwicklung von CBM entstanden ist und häufig irrtümlicherweise mit dieser Strategie gleichgesetzt wird (vgl. Schenk 2010, 31). Während bei der zustandsbasierten Instandhaltung lediglich der gegenwärtige Ist-Zustand des jeweiligen Instandhaltungsobjekts betrachtet wird, geht die prädiktive Instandhaltung noch einen Schritt weiter und versucht mithilfe von Algorithmen und weiteren Methoden der Prognostik Vorhersagen für das zukünftige Ausfallverhalten zu erstellen (vgl. Ahmad & Kamaruddin 2010, 140)

Erstmals wurde das Konzept hinter Predictive Maintenance in den 1940er Jahren von der Rio Grande Railway Company vorgestellt (vgl. Shin & Jun 2015, 120). Im selben Zusammenhang wird von Prognostic and Health Management (PHM) gesprochen, was die zugehörige Forschungsdisziplin bezeichnet (vgl. ebd., 120).

Das Ziel von Predictive Maintenance ist es, ebenso wie bei der zustandsabhängigen Instandhaltung, die Zeitintervalle zwischen den anfallenden Instandhaltungsmaßnahmen zu maximieren und dabei die Anzahl von ungeplanten Ausfällen und damit verbundene Kosten zu minimieren. Gleichzeitig soll durch ein gut funktionierendes Instandhaltungsmanagement eine hohe Produktivität und Produktqualität sichergestellt werden. (Vgl. Mobley 2002, 4)

Die Strategie basiert auf **Predictive Analytics**, einem Analyseverfahren welches auf Basis von Big Data Vorhersagen für die Zukunft trifft (vgl. Krüger et al. 2017, 103; Hoppenstedt et al. 2017, 22). Obwohl Predictive Analytics heutzutage in vielen unterschiedlichen Branchen und Bereichen angewandt wird, so nimmt es im Bereich Instandhaltung eine ganz spezielle Rolle ein.

Konkret werden bei Predictive Maintenance durch modernste Messtechniken große Mengen an Daten über die zu überwachenden Maschinen und Bauteile gesammelt, wodurch als direkte Reaktion ohne Verzögerungen bedarfsorientierte Prognosen über die anfallenden Instandhaltungsarbeiten getroffen werden können (vgl. Eckert 2017, 134). Notwendige Wartungsmaßnahmen können dadurch gut geplant und so terminiert werden, dass eine möglichst geringe Beeinträchtigung des Produktionsprozesses stattfindet (vgl. Scheffer & Girdhar 2004, 3). Eine der Grundannahmen in der prädiktiven Instandhaltung ist dabei, dass Unregelmäßigkeiten in der Produktion nicht unmittelbar auftreten, sondern sich in 99% der Fälle im Verlauf des Abnutzungsprozess entwickeln (vgl. Ahmad &

Kamaruddin 2012, 140). Anstehende Leistungsabfälle oder -ausfälle von Anlagen bzw. deren Komponenten können sich in der Vibration, im Geräuschniveau oder durch Auswirkungen auf andere Parameter der Maschine äußern und lassen sich daher vorhersagen (vgl. Shin & Jun, 2015, S. 119). Die prädiktive Instandhaltungsstrategie lässt sich, wie in Abbildung 4 dargestellt, in ihrem Ablauf in vier Prozesse einteilen.



Abbildung 4: Phasen beim Ablauf von Predictive Maintenance (Quelle: eigene Darstellung nach eoda GmbH 2014, 9)

Sowohl die Diagnostik als auch die Prognostik bilden wichtige Kernprozesse in der Anwendung dieser Instandhaltungsstrategie (vgl. Peng et al. 2011, 298). Die Messung von kritischen Parametern wie beispielsweise Temperatur oder Vibration kann Auskunft darüber geben, ob und wann ggf. ein Leistungsabfall oder gar ein Ausfall der Komponente stattfindet. Fehlerhafte Prognosen können in diesem Fall die gesamte Produktion potenziell stilllegen (vgl. Scheffer & Girdhar 2004, 3).

Neben den zuvor vorgestellten Instandhaltungsstrategien gibt es noch weitere moderne Managementkonzepte, welche bei der Errichtung eines funktionierenden Instandhaltungsmanagements unterstützen können und sich in der Vergangenheit etabliert haben. Häufig werden diese Konzepte im Zusammenhang mit den Instandhaltungsstrategien genannt, beeinflussen diese faktisch jedoch nicht und bezeichnen eher einen Ansatz zur Aufgaben- und Verantwortungsverteilung im Unternehmen.

Insbesondere haben sich hierbei die folgenden Konzepte bewährt, welche jeweils kurz vorgestellt werden:

- **Total Productive Maintenance** (TPM) bezeichnet ein langfristiges Managementkonzept „zur umfassenden kontinuierlichen Optimierung der Prozesse in Produktion und Instandhaltung über die gesamte Lebensdauer der Anlagen unter aktiver Beteiligung aller Mitarbeiter“ (Heller & Prasse 2017, 3). Im Deutschen wird hierbei von einer ganzheitlich integrierten Instandhaltung gesprochen, welche im Kern die Integration von Instandhaltungsmaßnahmen in

den eigentlichen Leistungserstellungsprozess beinhaltet, und auf dem Konzept der „**Lean Production**“<sup>4</sup> basiert (vgl. Weißenbach 2017, 57). Das Ziel dabei ist wie bei allen Maßnahmen, die auf die Instandhaltung abzielen, die Maximierung von Effizienz, Produktivität und Leistung sowie die Vermeidung von Wirkungsverlusten (vgl. Pawellek 2017, 5). Der Kern von TPM liegt im vollständigen (= „Total“) Einbezug aller Arbeitskräfte, d.h. nicht nur die ausführenden Mitarbeitenden der Instandhaltung kümmern sich um eine technische Anlage, sondern sämtliche Mitarbeitenden, die Einfluss auf den effektiven Einsatz dieser Anlage haben, also die bedienenden Personen sowie Mitarbeitende aus den Bereichen Konstruktion, Einkauf, Arbeitsvorbereitung, Qualitätssicherung und dem Management (vgl. Weißenbach 2017, 57). Der Teilaspekt der Ganzheitlichkeit bzw. „Total“ zielt jedoch ebenso auf eine vollständige Ausrichtung aller Maßnahmen auf die Effizienzsteigerung und Qualitätssicherung ab, sowie auf eine totale Integration der Instandhaltungsmaßnahmen in allen Lebensphasen einer technischen Anlage (vgl. Alcalde Rasch 2000, 190).

- **Reliability Centered Maintenance (RCM)** wird auch als funktionsfähigkeitsbezogene Instandhaltung bezeichnet und basiert auf dem Gedanken, dass die Kosten für vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen höher sind als solche für Anlagenausfälle und deren Folgen (vgl. Schröder 2010, 47; Pawellek 2017, 8). Die Basis bildet hierbei eine RCM-Analyse des Ausfallverhaltens der diversen Bauteile und Komponenten einer technischen Einheit, worauf basierend dann Aussagen zum Ausfallverhalten und etwaigen Schwachstellen getroffen werden (vgl. Weißenbach 2017, 52). Dabei findet häufig die Methodik der Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse (FMEA) Anwendung (vgl. Schröder 2010, 46). In diesem Zusammenhang erfolgt insbesondere eine Berücksichtigung der unterschiedlichen Ausfallverhalten (vgl. Pawellek 2017, 8). Auf Grundlage der RCM-Analyse wird eine Instandhaltungsdatenbank erstellt, welche einen Maßnahmenkatalog zur Leistungserhaltung einschließlich konstruktiver Modifikationen beinhaltet (vgl. Weißenbach 2017,

---

<sup>4</sup> Die Lean Production Philosophie – also die „schlanke Produktion“ - beinhaltet die absolute Ausrichtung eines Produktionsprozesses auf den Kunden und hat als Ziel die Gewährleistung einer hohen Flexibilität sowie die Beschleunigung der Auftragsdurchlaufzeiten durch eine Abflachung der Hierarchien. Diese soll u.a. durch eine Umverteilung der Arbeitsinhalte erfolgen, was unter anderem eine Integration von Instandhaltungstätigkeiten in anderen Unternehmensbereichen zur Folge hat. (Vgl. Pawellek 2017, 6f; Reinhart 2017, XXXIV)

52). Aufgrund des besonders hohen Aufwandes, der bei RCM betrieben werden muss, findet dieses Konzept in der Regel nur bei sehr kritischen Bauteilen und Anlagen, welche eine hohe Verfügbarkeit vorweisen müssen, Anwendung (vgl. Weißenbach 2017, 53).

Weitere in diesem Zusammenhang häufig genannte Konzepte des Instandhaltungsmanagements sind die **Risk Based Maintenance (RBM)**, **Knowledge Based Maintenance** oder die **Total Lifecycle Cost Strategy**, welche ebenso durch diverse Maßnahmen und Umstrukturierungen auf die Implementierung der Instandhaltung im Unternehmen abzielen. Auf eine detailliertere Ausführung dieser Konzepte wird hier verzichtet, da dies über den Rahmen dieser Arbeit hinausgeht.

## 2.5 Anwendung von Predictive Maintenance

Insbesondere in Smart Factories kommt der Strategie Predictive Maintenance bedingt durch die Entwicklung der CPS, des IoT und folglich der Industrie 4.0 eine stetig wachsende Aufmerksamkeit zuteil. Smart Factories bezeichnen dabei jene Unternehmen, welche eine hochgradige Vernetzung und Echtzeitkommunikation der am Wertschöpfungsprozess beteiligten Maschinen und Anlagen anstreben und Big Data zunehmend in ihre Unternehmensprozesse integrieren (vgl. Hänisch 2017, 14-16). Viele deutsche wie auch internationale Unternehmen haben die Potenziale der Strategie erkannt und setzen die intelligente Technik bereits im Rahmen ihrer Instandhaltung ein. Dennoch birgt Predictive Maintenance einige Nachteile und Risiken, welche kritisch betrachtet und evaluiert werden müssen.

Mit der Anwendung von Predictive Maintenance müssen zunächst die Voraussetzungen und der Prozess im Hintergrund näher betrachtet werden. Dazu zählen zum einen insbesondere die Messtechniken, welche mittels modernster Sensorik und Aktorik realisiert werden, aber auch die Anwendung von Predictive Analytics, was sich durch fortschrittliche Diagnostik und Prognostik auszeichnet.

Erst durch die Kenntnis über die genauen Prozesse können die jeweiligen Chancen und Risiken, welche durch den Einsatz von Predictive Maintenance bedingt sind, hinterfragt werden. Dabei können aktuelle Beispiele von Unternehmen, welche sich bereits dieser Methodik bedienen, betrachtet werden und geben Aufschluss über das Potenzial.

### 2.5.1 Messtechniken und Predictive Analytics

In einer Ära von Industrie 4.0, Big Data und IoT nehmen moderne Messtechniken eine bedeutende Rolle ein und gelten als Voraussetzung für das Entstehen vieler fortschrittlicher Entwicklungen und Forschungen, wie beispielsweise bei autonomem Fahren, Smart Cities, oder Smart Factories (vgl. Schütze & Helwig 2017, 310). Das Zusammenspiel von Diagnostik<sup>5</sup> und Prognostik<sup>6</sup> nimmt eine maßgebliche Rolle bei der Anwendung von Predictive Maintenance ein. Innovative Technologien im Bereich der Sensorik und Aktorik begünstigen die Aufzeichnung von Big Data (großen, zunächst unstrukturierten Datenmengen) und ermöglichen die Umwandlung in Smart Data (strukturierten, nutzbringenden und hochwertigen Daten) mit der Möglichkeit zur Bereitstellung einer Wissensbasis auf Basis von IKT und CPS (vgl. Kalinin et al. 2015, 16). Das wirtschaftliche Potenzial moderner Messtechniken zeichnet sich zudem am Umsatzwachstum dieser Branche ab, welches in den vergangenen 12 Jahren über 6% p.a. betrug, weshalb die Herstellung und der Vertrieb von Sensorik als besonders lukrativer Industriezweig gilt (vgl. Schütze & Helwig 2017, 311).

Im Instandhaltungssektor werden diese Überwachungstechnologien maßgeblich aus zwei Gründen eingesetzt. Zum einen soll dadurch der gegenwärtige Zustand des jeweiligen Instandhaltungsobjekts festgestellt werden, gleichzeitig soll damit Wissen über die Ausfallursachen und Fehlerauswirkungen generiert werden (vgl. Ahmad & Kamaruddin 2012, 140). Zu diesem Zweck werden unterschiedliche Arten von Daten gesammelt. Es erfolgt eine Unterscheidung zwischen den Überwachungsdaten des Anlagenzustands, welche anhand verschiedener Parameter gemessen werden, und den so genannten Ereignisdaten, welche Information darüber enthalten, welche Maßnahmen wann in der Vergangenheit durchgeführt wurden, beispielsweise die Ersteinrichtung oder eine Reparatur des Instandhaltungsobjekts (vgl. Jardine et al. 2006, 1485).

Im Bereich der Sensorik wird zwischen verschiedenen Arten von Sensoren unterschieden, wie beispielsweise mikromechanischen Beschleunigungssensoren, Ultraschallsensoren, akustischen Emissionssensoren, chemischen Sensoren oder magnetoresistiven Stromsensoren (vgl. Schütze & Helwig 2017, 312; Jardine et al. 2006, 1485). Aktuell gibt

---

<sup>5</sup> Die Diagnostik ist die Lehre von der Diagnose, worunter im industriellen Bereich konkret die Störungserkennung, Fehleranalyse und Fehleridentifikation bei auftretenden Anomalitäten von Maschinen oder deren Bauteilen gemeint ist (vgl. Peng et al. 2010, 298)

<sup>6</sup> Die Prognostik ist die Lehre von der Prognose, welche im industriellen Bereich die Vorhersage von Verschlechterungsprozessen und bevorstehenden Störungen vor deren Auftreten beinhaltet (vgl. Peng et al. 2010, 298).

es zudem einen starken Trend hin zu sogenannten Smart Sensoren, mit integrierten, intelligenten Mikroprozessoren und der Fähigkeit zur Echtzeitkommunikation, welche die Grundlage für die Selbstdiagnose von Bauteilen und die Verknüpfung mehrerer einzelner Sensoren, die sogenannte Sensorfusion, darstellen (vgl. Schütze & Helwig 2017, 311; Spencer Jr. et al. 2004, 352). Durch die Sensorik können im Bereich der Instandhaltung unter anderem Parameter wie Temperatur, Vibrationen, Schall, Lubrikation und die Korrosion genau gemessen und überwacht werden (vgl. Swanson 2001, 238).

Die Messungen können dabei auf zwei unterschiedliche Arten stattfinden. Es wird unterschieden zwischen der on-line Verarbeitung, bei der die Überwachungen zeitgleich mit dem Betrieb der Anlagen stattfinden, oder einer off-line Verarbeitung, welche während dem Stillstand der Maschinen ausgeführt wird (vgl. Ahmad & Kamaruddin 2012, 140). Zusätzlich erfolgt die Differenzierung zwischen einer periodischen Überwachung, bei der regelmäßig in vorab definierten Intervallen Messungen durchgeführt werden, und der kontinuierlichen Überwachung, welche eine ununterbrochene und üblicherweise vollautomatische Datenmessung beinhaltet (vgl. ebd., 140).

Um den Zustand einer Anlage oder deren einzelner Komponenten zu überwachen gibt es eine Vielzahl von modernen, auf Sensoren basierenden Technologien, welche die Anwendung von Predictive Maintenance unterstützen und überhaupt erst möglich machen.

Eine der am häufigsten verwendeten Methoden zur Zustandsüberwachung ist die Schwingungs- und Vibrationsüberwachung (vgl. Ahmad & Kamaruddin 2012, 140). Diese Art der Überwachung bietet sich insbesondere daher an, da eine Vielzahl der industriell genutzten Anlagen aus einzelnen elektromechanischen Systemen bestehen, welche Energie durch Vibrationen aussenden (vgl. Mobley 2002, 99). Diese Schwingungen und Vibrationen können mithilfe von Sensoren gemessen werden und die gesammelten Messergebnisse anschließend durch geeignete Software verwaltet und evaluiert werden (vgl. ebd., 99). Insbesondere bei rotierender Maschinerie wird die Messung der mechanischen Schwingungen als primäres Instrument zur Zustandsüberwachung angewandt (vgl. Scheffer & Girdhar 2004, 7).

Doch auch andere Arten der Zustandsüberwachung werden im Rahmen von CBM und Predictive Maintenance erfolgreich angewandt. Unter dem Oberbegriff der Tribologie

werden Analysemethoden zusammengefasst, welche sich mit der Reibung und dem Verschleiß der Maschine befassen (vgl. Mobley 2002, 202). Dazu zählen beispielsweise die Schmierölanalyse, die Partikelanalyse, analytische Ferrographie oder spektrographische Analyseverfahren (vgl. ebd., 202). Mithilfe der Schmierölanalyse wird die Qualität des verwendeten Öls betrachtet um herauszufinden ob es für einen weiteren Einsatz noch geeignet ist (vgl. Ahmad & Kamaruddin 2012, 141). Dabei werden u.a. die Viskosität, der Feststoffgehalt, der Wassergehalt und der Siedepunkt bewertet (vgl. Scheffer & Girdhar 2004, 169). Gleichzeitig lässt sich damit der Verschleißzustand von internen, ölbenetzten Komponenten feststellen und auf Basis dessen Vorhersagen zum Ausfallverhalten treffen (vgl. Ahmad & Kamaruddin 2012, 141). Bei der Partikelanalyse werden die Verschleißpartikel mithilfe eines Mikroskops analysiert und festgestellt ob Schmutzpartikel, Feuchtigkeit oder Brennstoffteilchen, welche die Funktionsweise der Anlage beeinträchtigen können, in den Kreislauf der Maschine eingetreten sind (vgl. Scheffer & Girdhar 2004, 169).

Bei der Durchführung von thermographischen Analyseverfahren wird die Emission von Infrarotenergie und somit die Temperatur einer Anlage bzw. derer Bauteile gemessen (vgl. Mobley 2002, 172). Mithilfe von Infrarotthermometern oder anderen bildgebenden Verfahren wird der Wärmegrad der Maschine sowie die Umgebungstemperatur gemessen und auf dieser Basis dieser Daten Vorhersagen getroffen (vgl. Ahmad & Kamaruddin 2012, 141; Mobley 2002, 172).

Überdies werden Verfahren angewandt, welche den Schallpegel messen oder durch Ultraschallsensoren realisiert werden, um den aktuellen Zustand einer Maschine zu beurteilen und darüber hinaus Vorhersagen zum Ausfallverhalten treffen zu können (vgl. Ahmad & Kamaruddin 2012, 141; Mobley 2002, 256).

Hashemian und Bean unterteilen darüber hinaus Predictive Maintenance in drei verschiedene Techniken, welche sich hinsichtlich der jeweiligen Datenquellen, die im Rahmen der Zustandsüberwachung und der darauf basierenden Prognostikverfahren verwendet werden, unterscheiden. Es wird eingeteilt in die sensorbasierte Instandhaltungstechnik, die prüfsensorbasierte Technik und die prüfsignalbasierte Technik. Die sensorbasierte Instandhaltungstechnik greift auf Daten zurück, welche aus ohnehin bereits eingesetzten Sensoren gewonnen werden, wie beispielsweise Temperatur oder Drucklevel. Bei einer Anwendung der prüfsensorbasierten Technik werden die Daten mithilfe von speziellen Prüfsensoren generiert, wozu beispielsweise Beschleunigungsmesser zur Vibrationsüberwachung oder akustische Sensoren gezählt

werden. Im Fall dieser Technik werden die jeweiligen Sensoren lediglich zum Zweck der Prüfung und Kontrolle der Anlage an einem bestimmten Zeitpunkt eingesetzt. Während diese ersten beiden Klassen eher passive Techniken umfassen, beschreibt die Kategorie der prüfsignalbasierten Instandhaltungstechnik aktive Maßnahmen, bei denen vorsätzlich Signale an das zu überwachende Equipment abgegeben werden um die jeweilige Performanz zu messen. (Vgl. Hashemian & Bean 2011, 3482)

Nach dem Abschluss der Datengenerierung werden diese mithilfe geeigneter Software aufbereitet und verwaltet, Big Data wird zu Smart Data, so dass die Verfahren, welche im Rahmen der Prognostik durchgeführt werden, direkt anschließen können. Die so generierten Smart Data können über interne oder externe Netzwerke oder über Cloud-Dienste in Echtzeit von allen Beteiligten im Unternehmen abgerufen werden. Im Rahmen der Prognostik und als Grundlage für Predictive Analytics werden anschließend statistische Verfahren und Modelle angewandt, Muster der beobachteten Prozessabläufe erstellt und Abweichungen können somit direkt erkannt werden (vgl. Reinhart 2017, 103; eoda GmbH 2014, 11).

Peng et al. haben die Prognostik im Rahmen von Predictive Maintenance in vier unterschiedliche Ansätze kategorisiert: das physikalische Modell, das wissensbasierte Modell, das datengetriebene Modell und ein Kombinationsmodell. Diese Ansätze unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Prognoseverfahren, welche beispielsweise auf künstlicher Intelligenz, Algorithmen und mathematisch-statistischen Regeln basieren. (Vgl. Peng et al. 2010, 299-309)

Shin und Jun nehmen in ihrer Forschung eine ähnliche Einteilung in einen datengestützten Ansatz, einen modellbasierten Ansatz sowie einen hybriden Ansatz vor (vgl. Shin & Jun 2015, 122). Beispiele für Techniken, welche im Rahmen dieser Modelle zur Prognostik angewandt werden, sind Expertensysteme, Fuzzylogik, ein Bayes'sches Netz oder ein neuronales Netzwerk (vgl. Peng et al. 2010, 299-309; Shin & Jun 2015, 123).

Die Mehrzahl dieser Ansätze bedient sich der Vorteile von modernen Technologien und es können darauf basierend verlässliche Vorhersagemodelle getroffen werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass selbst bei einem Ausfall eines oder mehrerer Sensoren eine hohe Genauigkeit von über 80% bei der Prognose von Ausfallwahrscheinlichkeiten eintritt (vgl. Schütze & Helwig 2017, 315). Das Potenzial von intelligenten Messtechniken und Predictive Analytics spiegelt sich in den hohen Investments wider, welche in diesen Bereichen gemacht werden. Eine 2006 durchgeführte Studie zeigte, dass durchschnittlich 600.000 US-Dollar pro Unternehmen,

welche Predictive Analytics bereits implementiert haben und anwenden, jährlich in die Anwendung von vorausschauender Technik investiert werden (vgl. Eckerson 2006, 10) und die enorme Bedeutung von modernen Messtechniken resultierte bereits in Aussagen wie „Industrie 4.0: Ohne Sensorsysteme geht nichts“ (Arnold 2014).

## 2.5.2 Chancen und Herausforderungen

Der Gedanke einer modernen, vorausschauenden Instandhaltungsstrategie steckt voller Chancen und Potenziale, birgt jedoch wie die meisten Innovationen zunächst viele Risiken.

Im Vordergrund steht zunächst das Potenzial von Predictive Maintenance gegenüber den klassischen Instandhaltungsstrategien. Verschiedene Studien, wie beispielsweise von Swanson im Jahre 2001, haben bereits eine verbesserte Leistungsfähigkeit als einen der Hauptvorteile der Strategie belegen können (vgl. Swanson 2001, 241). Der Abnutzungsvorrat der Maschinen kann auf diese Weise optimal ausgeschöpft und unnötige Inspektionen können vermieden werden (vgl. Shin & Jun 2015, 121). Notwendige Instandhaltungsmaßnahmen können effizient geplant werden, so dass die Produktion durch diese nicht beeinflusst wird und somit die Instandhaltungskosten möglichst gering bleiben (vgl. Mobley 2002, 48). Zusätzlich kann durch die gute Planbarkeit das Ersatzteillager auf ein Minimum reduziert werden (vgl. Scheffer & Girdhar 2004, 3).

Am Beispiel eines durch Predictive Maintenance überwachten Automobils wird zudem deutlich, dass es aus Sicht des Endkunden oder der -kundin zu einem Komfortgewinn bedingt durch das vorherige Wissen über das Ausfallverhalten des Fahrzeugs kommt, was wiederum zu einem positiven Unternehmensimage des Fahrzeugherstellers beiträgt (vgl. Matzkovits et al. 2017, 88).

Insbesondere vor dem Hintergrund von Big Data und IoT birgt die Anwendung von Predictive Maintenance jedoch einige Herausforderungen und Risiken. Im Fokus steht dabei insbesondere die Datenspeicherung der generierten, enorm großen Datenmassen, nicht nur in Bezug auf Instandhaltung. Dies lässt sich anhand eines Beispiels aus Italien verdeutlichen. Statistiken des italienischen Verkehrsministeriums ergaben, dass im Jahr 2012 täglich jeweils ca. 8000 Züge auf den italienischen Bahnstrecken verkehrten. Mit durchschnittlich zehn Waggons pro Zug ergibt dies ungefähr 80 Achslager pro Zug, was

für alle Züge gesamthaft etwa 600.000 Achslagern entspricht. Deren Zustand soll täglich mithilfe von modernen Messtechniken überwacht werden, wodurch eine Datenmenge von etwa 10 Terabyte pro Tag generiert wird. (Vgl. Fumeo et al. 2015, 439f)

Schätzungen von IBM ergaben, dass die in der Welt vorkommenden Datenmengen sich aktuell alle 18 Monate bereits verdoppeln (vgl. ebd., 437). Vor dem Hintergrund der Problematik der Datenspeicherung und -verwaltung von Big Data wird bereits seit einigen Jahren intensive Forschung betrieben, wenngleich auch noch keine optimale Lösung gefunden wurde. Cloud Computing und ähnliche Ansätze bieten bereits eine gute Grundlage, jedoch werden auch diese Ressourcen in Anbetracht des derzeitigen Wachstum eines Tages ausgeschöpft sein (vgl. Eckert 2017, 117). Vor allem durch eine kontinuierliche Anlagenüberwachung werden enorme Mengen an Daten generiert, die zum Zweck des Verstehens vergangener Fehler bewahrt werden sollen.

Eine weitere Herausforderung, welche durch die Anwendung von Predictive Maintenance in den Vordergrund rückt, ist die IT-Sicherheit (vgl. Hänisch & Rogge 2017, 93). Durch den hohen Investitionsbedarf für moderne Messtechnologien und geschultes Personal wird vor allem bei Anwendung dieser Strategie auf externe Dienstleister gesetzt, teilweise auch nur zur reinen Messung der Parameter. Aus den zu überwachenden Daten lassen sich wiederum häufig weitere Informationen ableiten, wie beispielsweise Produktionsstückzahlen (vgl. Schütze & Helwig 2017, 318). Eine Herausgabe dieser Daten an externe Dienstleister ist in der Regel unerwünscht. Infolgedessen ist es notwendig ein funktionierendes Geschäftsmodell zu implementieren, welches als Grundvoraussetzung auf einer gewissen Vertrauensbasis arbeitet (vgl. ebd., 318).

Auch die hohen Anschaffungs- und Betriebskosten können bei der Anwendung von Predictive Maintenance als eine maßgebliche Herausforderung für viele, insbesondere kleine und mittelständische, Unternehmen anzusehen sein. Die Einrichtung der Zustandsüberwachung erfordert innovatives Equipment und demzufolge hohe Ausgaben. Matzkovits et al. gehen jedoch davon aus, dass aufgrund der rasanten Entwicklungen in dieser Branche die Preise für die benötigte Sensortechnik in den kommenden Jahren immer weiter fallen werden (vgl. Matzkovits et al. 2017, 85). Neben den Aufwendungen für die Hardware fallen zusätzlich Kosten für die Weiterbildungen der Belegschaft an, um einen reibungslosen Ablauf der Instandhaltung zu gewährleisten (vgl. Shin & Jun 2015, 121).

Weiterhin stellen Matzkovits et al. am Beispiel der Anwendung in der Automobilbranche dar, dass eine fehlerhafte Funktionsweise der Sensorik zu überflüssigen Wartungsarbeiten

führen kann und folglich für Hersteller- und Anwenderunternehmen einen erheblichen Imageschaden bedeuten kann (vgl. Matzkovits et al. 2017, 88).

In Anbetracht dieser Herausforderungen schrecken viele Unternehmen vor der Anwendung von vorausschauender Instandhaltung zurück. Laut Hashemian und Bean profitieren mehr als 30% der industriellen Anlagen nicht von dieser innovativen Strategie (vgl. Hashemian & Bean 2011, 3480). Dementgegen stehen jedoch zahlreiche Firmen, welche bereits jetzt das Potenzial erkannt haben und erfolgreich Predictive Maintenance Programme implementiert haben. Nachfolgend sollen einige Anwendungsfälle betrachtet werden.

### **2.5.3 Anwendungsfälle**

Generell ist die Anwendung von Predictive Analytics in vielen unterschiedlichen Branchen möglich, so finden sich prädiktive Analyseverfahren vor allem in den Bereichen Marketing und Cross Selling, im Vertrieb, bei der Kundenakquisition sowie bei der Kundenbindung. Darüber hinaus ist der Einsatz von Predictive Analytics bereits in der Medizin, in der Energieproduktion, in der Automobilbranche oder im Bereich der Finanzdienstleistungen erprobt und kann so für viele Teams unterschiedlicher Fachrichtungen einen erheblichen Mehrwert bieten. (Vgl. Eckerson 2016, 6)

Von der Anwendungsmöglichkeit des Analyseverfahrens im Rahmen von Predictive Maintenance können unterschiedliche Instandhaltungsobjekte und Branchen zur Vorhersage des Ausfallverhaltens profitieren. Dabei kann es sich beispielsweise um industriell genutzte Maschinen, Gebäudestrukturen oder medizinisches Equipment handeln (vgl. Ahmad & Kamaruddin 2012, 142).

Verschiedene Unternehmen haben gegenwärtig eine erfolgreiche Implementierung von Predictive Maintenance bereits vorgenommen. Veröffentlichte Whitepaper bieten einen Überblick über die bisherige Anwendung und sollen nachfolgend zur Einführung in die anschließende Videoanalyse dienen.

Die IBM Corporation, eines der weltweit führenden Unternehmen im Bereich der IT-Dienstleistungen, hat das Potenzial der Strategie bereits erkannt und bietet seinen Kunden seit einigen Jahren erfolgreich die dafür erforderlichen Software- und Hardware-Lösungen an. Diese werden beispielsweise an Flughäfen, in der Güterverkehrslogistik oder im Speziellen im Schienenverkehr eingesetzt. Die IBM Predictive Maintenance and Quality Softwarelösung vereint hierzu Funktionalitäten aus den Bereichen der

Datenintegration und -analyse sowie dem Entscheidungsmanagement. Eine von IBM durchgeführte Studie belegt, dass Unternehmen, welche Predictive Maintenance integriert haben, eine Reduzierung von Instandhaltungskosten um 20-25 % sowie eine Minderung von Ausfällen um 70-75 % vorweisen können gegenüber Unternehmen, welche klassische Instandhaltungsstrategien anwenden. (Vgl. IBM Corporation 2014, 2f; IBM Corporation 2015a, 2f; IBM Corporation 2015b, 2f)

Auf nationalem Gebiet zählt die DB Netz AG zu einem Vorreiter im Bereich Predictive Maintenance. Rund 10.000 Mitarbeiter sind zuständig für die Instandhaltung der Infrastruktur der Deutschen Bahn AG, welche sich auf ca. 61.000 Kilometer Gleislänge summiert (vgl. Deutsche Bahn AG 2014, 1f). Der Aufwand für Instandhaltungsmaßnahmen beläuft sich derzeit auf etwa 1,6 Milliarden Euro p.a. und viele dieser Maßnahmen werden teil- oder gar vollautomatisiert durchgeführt, wie beispielsweise Ultraschallprüfungen und Inspektionen der eingesetzten Leit- und Sicherheitstechnik (vgl. ebd., 1f). In Zusammenarbeit mit der DB Engineering & Consulting GmbH, ebenfalls ein Tochterunternehmen der Deutschen Bahn AG, wird Predictive Maintenance nicht nur auf den Gleisnetzen, sondern auch in den Zügen, realisiert (vgl. Deutsche Bahn AG 2014, 1f; DB Engineering & Consulting GmbH 2016, 1f).

Die zuvor beschriebenen Unternehmen werden in der anschließenden Videoanalyse ebenfalls thematisiert. Durch die vorherige Betrachtung der Anwendungsfälle kann nachfolgend verglichen werden, ob die genannten Einsatzgebiete und Vorteile in den Videos ebenfalls diskutiert werden.

### 3 Anwendung der Methodik

Im folgenden Kapitel werden zunächst die Art der Untersuchung sowie die Durchführung auf der Videoplattform YouTube erläutert. Dabei wird auch auf die Erstellung des verwendeten Kodierplans eingegangen. Es wird zwischen der Vorbereitungs- und der Anwendungsphase im Rahmen der qualitativen Videoanalyse unterschieden und beide Phasen werden detailliert beschrieben. Anschließend folgt eine Ausführung des Vorgehens bei der Auswertung. Die Ergebnisse werden im Anschluss dargelegt.

#### 3.1 Qualitative Videoanalyse

Um die Forschungsfragen dieser Arbeit beantworten zu können wird relevantes Videomaterial einer qualitativen Videoanalyse unterzogen.

Bei einer Videoanalyse handelt es sich um „eine Reihe von methodischen Verfahren, bei denen audiovisuelle Daten für sozialwissenschaftliche Untersuchungen verwendet werden“ (Tuma & Schnettler 2014, 875). Bei der qualitativen Forschung wird im Gegensatz zur quantitativen Sozialforschung keine standardisierte, einheitliche Forschungsmethode gewählt, sondern es wird mithilfe von realitätsnahen Daten ein dynamischer, deduktiver Forschungsprozess geschaffen, in dem die Erforschung eines konkreten Rahmenthemas und des jeweiligen Sinns im Vordergrund steht (vgl. Strübing 2013, 1f). Als Videomaterial werden alle Darstellungen von bewegten Bildern z.T. mit Hilfe von digitalen Videokameras, sowohl professionell wie auch nicht-professionell bezeichnet (vgl. Reichertz & Englert 2011, 10). Die zu analysierenden Videos wurden zudem unbeeinflusst durch wissenschaftliche Ansprüche erstellt, also nicht von Wissenschaftlern oder Wissenschaftlerinnen zum Zweck der Analyse kreiert (vgl. ebd., 12). Darüber hinaus werden bei der nachfolgenden Analyse sowohl deutsch- als auch englischsprachige Videos betrachtet. Aufgrund der Besonderheiten von Videodaten, welche einem beliebigen Genre und einer beliebigen Gattung angehören können, nimmt die Videoanalyse in der qualitativen Forschung eine ganz besondere Rolle ein.

Grundsätzlich besitzen Videos sowohl eine visuelle wie auch eine auditive Ebene. Auf visueller Ebene lässt sich wiederum unterscheiden zwischen der Ebene, die sich durch das Agieren der Kamera beispielsweise durch die Schnitttechnik ergibt und der Ebene, die aus den Geschehnissen der Akteure vor der Kamera resultiert. Eine ähnliche Differenzierung lässt sich auch auf der auditiven Ebene machen. Hier wird unterschieden zwischen der Ebene des Agierens der Kamera, beispielsweise durch Voice-Over-

Kommentare, und der Ebene, die sich auf das gefilmte Geschehen, wie beispielsweise Dialogführung, fokussiert. (Vgl. Englert 2014, 75)

In der nachfolgenden Videoanalyse erfolgt eine Konzentration auf den auditiven Anteil der Videodateien, da vor allem betrachtet werden soll, wie die Unternehmen die Strategie Predictive Maintenance extern darstellen und den jeweiligen Zielgruppen erklären. Dadurch kommt hierbei der visuellen Ebene ein geringerer Stellenwert zu. Durch die Fokussierung auf den sprachlichen Inhalt der Videoclips ist es sinnvoll, Videotranskriptionen zu erstellen. Der Prozess der Transkription kann als Teil der Forschung betrachtet werden und trägt zur Auswertung der anschließenden Analyse bei.

Zur Beantwortung der Forschungsfragen und um eine Generalisierbarkeit herzustellen, wurden die Videos mithilfe eines vorab erstellten Kodierplans analysiert. Durch Kodierungen können Videos in einzelne Abschnitte oder Sequenzen unterteilt werden, in denen ein bestimmter Aspekt im Vordergrund steht. Ein Code wird definiert als summatives, hervorstechendes Attribut, welches die Eigenschaften eines bestimmten Abschnittes von Daten, in diesem Fall visuellen Daten, zusammenfasst (vgl. Saldaña 2009, 3). Für die Festlegung der Kodierungen gibt es unterschiedliche Methoden. Unter Berücksichtigung der Forschungsfragen wurden hier deskriptive Codes gewählt, da diese aufgrund der wiederkehrenden Muster in den Videoclips für die Analyse die geeignetste Wahl darstellen (vgl. ebd., 3-6).

Zur Videoanalyse wurde die Software MAXQDA Version 11 von Verbi Software eingesetzt. Die Ergebnisse der Analyse sollen zur Beantwortung der zuvor vorgestellten Forschungsfragen dienen.

### **3.2 Anwendung auf der Videoplattform YouTube**

Im Zeitalter von Social Media setzen viele Unternehmen zu Marketingzwecken auf eine verstärkte Präsenz auf sozialen Plattformen. Dazu zählt auch eine Unternehmensrepräsentation in Form von bewegten Bildern auf Videoplattformen zum Zweck einer besseren Außendarstellung und größeren Reichweite, so dass alle Zielgruppen erreicht werden können.

Das Google Tochterunternehmen YouTube wird hierbei insbesondere aufgrund seines großen Marktanteils gewählt. Die Plattform wird von mehr als einer Milliarde Menschen genutzt und zählt nach Google als zweitgrößte Suchmaschine der Welt (vgl. YouTube

LCC 2018; Seehaus 2016, 1). Alleine in Deutschland nutzt durchschnittlich jede zweite Person YouTube mindestens einmal monatlich (vgl. Seehaus 2016, V).

Der Suchbegriff „Predictive Maintenance“ ergibt auf der Plattform etwa 76.000 Treffer<sup>7</sup>. Zur Durchführung der Forschungsmethode werden in der Suchleiste von YouTube Schlüsselbegriffe aus dem Bereich Predictive Maintenance eingegeben und die so gefundenen Videos nach Relevanz gefiltert. Dabei unterscheiden sich die Videos mit Hinblick auf Gestaltung und Länge voneinander als auch durch die fokussierten Kernthemen.

Bei der Anwendung auf der Videoplattform YouTube lässt sich unterscheiden zwischen der Vorbereitungsphase und der Anwendungsphase, welche nachfolgend näher dargelegt werden. Die Auswertung der gesammelten Ergebnisse erfolgt anschließend.

### 3.2.1 Vorbereitungsphase

In der Vorbereitungsphase der Videoanalyse standen zunächst die Beschaffung von geeignetem Videomaterial sowie die Erstellung des Kodierplans im Vordergrund.

Zur Beschaffung der Videoclips wurde zunächst mit der Möglichkeit gearbeitet verschiedene Schlüsselbegriffe in die Suchleiste der Plattform YouTube einzugeben. Die verwendeten Suchbegriffe und die jeweilige Anzahl der Ergebnisse sind in Tabelle 2 dargestellt.

Suchbegriff	Ergebnisse <sup>8</sup> (Stand: 20.03.2018)
Predictive Maintenance	~ 76.000 Ergebnisse
Predictive Analytics	~ 377.000 Ergebnisse
Predictive Analytics Maintenance	~ 17.800 Ergebnisse
Prädiktive Instandhaltung	5 Ergebnisse
Industrie 4.0	~ 257.000 Ergebnisse
Smart Factory	~ 2.740.000 Ergebnisse
Maintenance	~ 6.650.000 Ergebnisse

Tabelle 2: Verwendete Suchbegriffe auf der Videoplattform YouTube (eigene Darstellung)

<sup>7</sup> Die Eingabe des YouTube Suchbegriffs „Predictive Maintenance“ führte zu 76.000 Ergebnissen (Screenshot siehe Anhang).

<sup>8</sup> Die Anzahl der Suchergebnisse wird in den der Arbeit anhängenden Screenshots dargestellt.

Der Suchbegriff „Predictive Maintenance“ erwies sich als besonders zielführend im Gegensatz zu anderen Suchbegriffen im Hinblick auf die Relevanz der Videos. Der bei YouTube integrierte Filter erlaubt es die Ergebnisse nach unterschiedlichen Kriterien zu sortieren. In diesem Fall und auch bei weiteren Suchvorgängen wurde die Sortierung nach Relevanz gewählt. Bei der Sichtung der Ergebnisse wurde in der Reihenfolge der angezeigten Videos vorgegangen und in einem ersten Schritt kontrolliert, ob der Clip inhaltlich für die weitere Forschung geeignet ist. Jedes hochgeladene Video kann von dem zugehörigen Kanal frei mit möglichst relevanten Tags versehen werden, wodurch diese von einem Algorithmus der Webseite einem thematischen Schwerpunkt zugeordnet werden (vgl. Seehaus 2016, 4). Dadurch besteht die Möglichkeit, dass ein Video inhaltlich, obwohl es auf der Plattform vorgeschlagen wurde, nicht zum Suchbegriff passt und folglich nicht relevant ist. Weiterhin wurde bei Aufrufen eines Videos über die vorgeschlagenen Video-Empfehlungen gearbeitet. Die Darstellung eines einzelnen, exemplarischen Videos und der darauf basierenden Empfehlungen auf der Plattform YouTube ist in Abbildung 5 gezeigt.

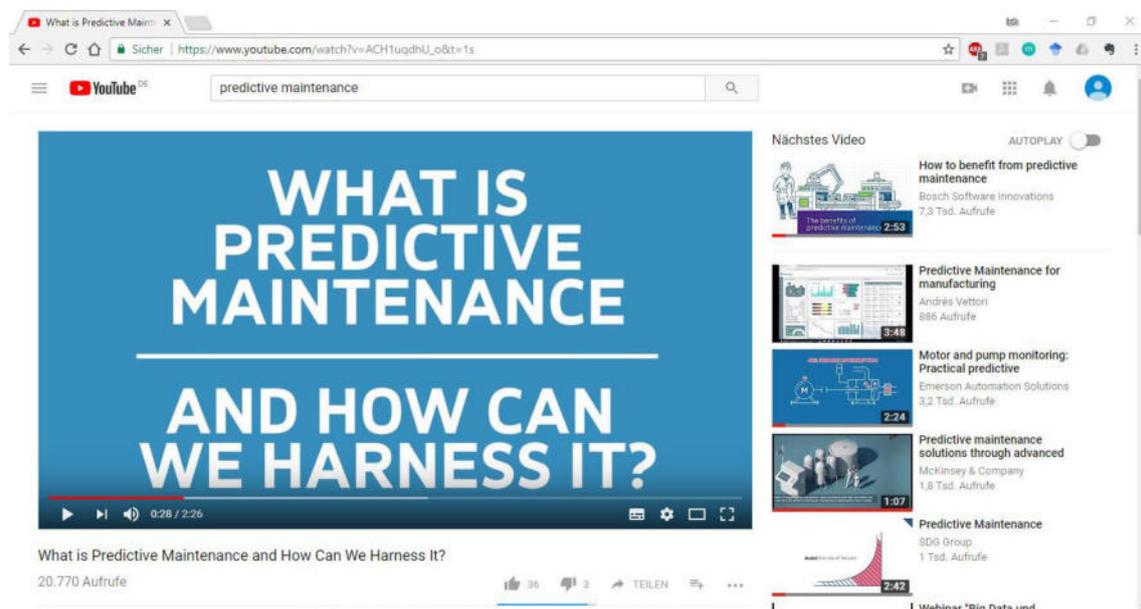


Abbildung 5: Exemplarische Darstellung eines Videoergebnisses bei YouTube (Quelle: relayr 2017)

In der ersten Suchphase konnten somit bereits 41 Videos in die weitere Analyse aufgenommen wurden. Die ausgewählten Videos wurden mithilfe der Software Free YouTube Download Version 4.1.70 von DVDVideoSoft als MP4 Dateien heruntergeladen, so dass diese zur weiteren Analyse in MAXQDA integriert werden

konnten. Die Namen der einzelnen Dateien wurde nach dem Download ins folgende Format umbenannt: „Name des hochladenden YouTube Kanals – Videotitel“.

Nach erfolgreichem Download der Videodateien wurde mit der Transkription von diesen begonnen. Bereits während der Transkription wurde absehbar, dass einige der Videoclips für die weitere Forschung keine Relevanz haben, da keiner der Codes anwendbar war oder inhaltlich kein Bezug zu Instandhaltung bestand, weshalb ein zweiter Suchvorgang gestartet wurde. Es wurde ebenso wie im ersten Suchvorgang insbesondere über die Suchbegriffe und die darauf basierenden Video-Empfehlungen vorgegangen, jedoch mit einigen Erweiterungen. Da bereits abzusehen war, dass insbesondere große, international agierende Unternehmen Videos zu dem Thema veröffentlichen, wurde gezielt nach dem Suchbegriff „Predictive Maintenance“ in Verbindung mit Namen großer Firmen gesucht, wie beispielsweise „Predictive Maintenance Daimler“, „Predictive Maintenance SAP“ oder „Predictive Maintenance Deutsche Bahn“. Auf diese Weise konnten speziell Videoclips dieser Unternehmen aufgefunden werden. Nach dem zweiten Suchvorgang wurden zunächst 27 weitere Ergebnisse in die weitere Analyse aufgenommen. Anschließend erfolgte hierbei ebenso zunächst die Transkription des Videomaterials.<sup>9</sup>

Zeitgleich mit der Beschaffung des Videomaterials wurde der Kodierplan erstellt. Nach Sichtung der ersten Suchergebnisse wurde dieser, wie in Tabelle 3 dargestellt, erarbeitet. Die Festlegung der Codes erfolgte unter Berücksichtigung der Forschungsfragen. Insbesondere die Branchen und Unternehmensbereiche, in welchen die Anwendung von Predictive Maintenance vorgestellt wird, sowie die überwachten Güter sind für die weitere Analyse vorrangig relevant. Auf einer übergeordneten, ersten Ebene gibt der jeweilige Code eine grobe Zuordnung, dabei wird unterschieden zwischen generellen Informationen zu Predictive Maintenance („*Predictive Maintenance*“) oder der konkreten Anwendung der Strategie an einem Fallbeispiel („*Anwendung Predictive Maintenance*“). Auf der jeweils nächsten Ebene wurde die Zuschreibung eines jeweiligen Attributs zu den Codes des vorherigen, übergeordneten Levels näher konkretisiert.

---

<sup>9</sup> Die Transkriptionen der analysierten Videos befinden sich auf dem digitalen Speichermedium (CD-ROM), welches dieser Arbeit beiliegt.

First Level Code	Second Level Code	Third Level Code
Anwendung Predictive Maintenance	Branchen	
Anwendung Predictive Maintenance	Unternehmensbereiche	
Anwendung Predictive Maintenance	Überwachte Güter	Überwachte Güter/Maschinen/Objekte
Anwendung Predictive Maintenance	Überwachte Güter	Überwachte Komponenten
Anwendung Predictive Maintenance	Verwendete Software	
Predictive Maintenance	Angewandte Überwachungstechnik	
Predictive Maintenance	Erklärung der Anwendungsweise	
Predictive Maintenance	Vorteile	
Problemstellung - Andere Strategien		

Tabelle 3: Kodierplan für die Videoanalyse (eigene Darstellung)

Durch die ersten Sichtungen konnte bereits die Beobachtung gemacht werden, dass es sich bei der Mehrzahl der Videoclips um Erklärvideos handelt. Lediglich die Videos „SAP Predictive Maintenance and Service“ (SAP Technology) sowie „Industrie 4.0 Case – Predictive Maintenance“ (Solutions Factory) zählen nicht zu dieser Gattung, da in diesen in Form eines Tutorials die Anwendungsweise und Funktionen einer Software vorgestellt werden. In den Erklärvideos stellen die Unternehmen die Strategie Predictive Maintenance vor und bieten in der Regel anschließend in diesem Zusammenhang ein bestimmtes Produkt oder eine Dienstleistung an. Diese Form wird häufig gewählt, da Predictive Maintenance ein komplexes, beratungsintensives Thema bzw. Produkt darstellt. Mit den Videoclips wird die Anwendung vereinfacht erklärt und schwer verständliche Zusammenhänge mithilfe von Case Studies erläutert. Für den Erkläranteil der Anwendungsweise wurde der Code „Predictive Maintenance – Erklärung der Anwendungsweise“ festgelegt. Weiterhin wurde in vielen der Videos erwähnt, welche Überwachungstechniken angewandt bzw. welche Parameter gemessen werden. Für diese Sequenzen wurde der Code „Predictive Maintenance – Angewandte Überwachungstechnik“ gesetzt. Weiterhin wurde in den Videoclips ein besonderes Augenmerk auf die

Vorteile von Predictive Maintenance gelegt, so dass hierfür der Code „*Predictive Maintenance – Vorteile*“ festgelegt wurde.

Im Fall des Codes „*Anwendung Predictive Maintenance – Überwachte Güter*“ erfolgte noch nach Abschluss der Transkription eine weitere Unterscheidung auf einer dritten Ebene zwischen den jeweiligen überwachten Gütern, Maschinen oder Objekten (z.B. Eisenbahn) und den überwachten Komponenten der jeweiligen Güter (z.B. Weichenantriebe), da viele Videoclips Informationen zu beiden Attributen bereitstellen. Das Videomaterial gibt darüber hinaus Aufschluss über die Art der verwendeten Software in den jeweiligen, vorgestellten Anwendungsfällen. Der Code „*Anwendung Predictive Maintenance – Verwendete Software*“ wurde daher gewählt um die Gemeinsamkeiten bzw. Unterschiede verschiedener Unternehmen in Hinblick auf die Wahl ihrer Software darzustellen.

Der Code „*Problemstellung/Andere Strategien*“ ist keinem weiteren Code untergeordnet, da hierbei keine direkte Verbindung zur Anwendung von Predictive Maintenance vorhanden ist, sondern vorrangig die Nachteile anderer Instandhaltungsstrategien genannt werden.

Nach der Transkription und dem Erstellen des Kodierplans wurde eine Auslese des nicht relevanten Videomaterials vorgenommen. Wie bereits zuvor dargelegt, wurden einige Videoclips vor der Anwendungsphase aussortiert, da diese thematisch keinen Bezug zur Instandhaltungsstrategie Predictive Maintenance herstellen, sondern beispielsweise vorrangig den Einsatz von Predictive Analytics in unterschiedlichen Branchen darlegen. Andere Videos geben eine technische Einführung in die Anwendung unterschiedlicher Software, welche im Rahmen von Predictive Maintenance benutzt wird, wobei keiner der Codes angewandt werden kann, weshalb diese keine Relevanz für die weitere Analyse haben. Von den 68 Videos, welche nach den zwei Suchvorgängen zunächst näher betrachtet wurden, blieben nach der Auslese noch 43 Videodateien für die weitere Betrachtung im Analyseverfahren übrig.

Als abschließender Schritt in der Vorbereitungsphase wurden der Kodierplan sowie die ausgewählten Videos in die Software MAXQDA integriert.

### 3.2.2 Anwendungsphase

Nach erfolgreicher Beschaffung des Videomaterials und der Erstellung des Kodierplans sowie der Integration dieser Schlüsselkomponenten in die Software MAXQDA wurde die Anwendung der Videoanalyse durchgeführt.

Dabei wurde das nachfolgend aufgeführte Videomaterial bei der weiteren Analyse betrachtet. Hierbei werden jeweils der Name des YouTube Kanals und anschließend der Videotitel angegeben.

- AirFrance Industries KLM Engineering & Maintenance – *“PROGNOS – Predictive Maintenance by AFI KLM E&M“*
- Atos Group – *“Predictive Maintenance for Manufacturing”*
- Banner Engineering – *“Vibration Monitoring & Predictive Maintenance Solution”*
- Baumüller Gruppe – *“BAUDIS IoT – Das Predictive Maintenance System”*
- Bentley Transportation Asset Management – *“Rail Predictive Maintenance”*
- BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik – *“Instandhaltung 4.0 – preagierende Instandhaltung”*
- Bosch Rexroth Global – *“Minimize your downtime: Predictive Maintenance“*
- Bosch Software Innovations – *“How to benefit from predictive maintenance“*
- Capgemini Group – *“Predictive Maintenance and Worker Management on Azure”*
- Cloudera, Inc. – *“Navistar: Reducing Maintenance Costs up to 40 percent for Connected Vehicles”*
- Deutsche Bahn Konzern – *“Predictive Maintenance by DB Engineering & Consulting”*
- Deutsche Telekom – *“Predictive Maintenance”*
- Emerson Automation Solutions – *“Motor and pump monitoring: Practical predictive maintenance in action”*
- FlukeEurope – *“Performing predictive maintenance with the Fluke Connect app”*
- Hannover Messe – *“Predictive Maintenance: Die intelligente Wartung von Maschinen”*
- HCL Technologies – *“Predictive Maintenance Solution by IoT WoRKS”*
- HitachiConsulting TV – *“Smart Trains for a Smart Future – Predictive Maintenance for the Rail Industry“*

- IBM Analytics – *“IBM Predictive Quality Maintenance Helps Predict the Future”*
- IBM – *“Predictive Analytics for Aircraft Maintenance”*
- IBM – *“Predictive Maintenance: From fixing to predicting problems”*
- IBM – *“Predictive Maintenance: How to plan for the unplannable”*
- KPIT – *“Vehicle Diagnosis + Predictive Analytics for the automobile industry”*
- Lueg TV – *“Mercedes-Benz Uptime für Lkw”*
- Lufthansa Technik Group – *“Condition Analytics”*
- McKinsey & Company – *“Predictive maintenance solutions through advanced analytics”*
- Microsoft – *“Predictive Maintenance – Identify manufacturing equipment failures before they happen”*
- Oracle – *“End-to-End Predictive Maintenance Using Big Data”*
- Orianda Solutions AG – *“Predictive Maintenance @Orianda DE”*
- Preteckt – *“Preteckt: Predictive Maintenance”*
- PwC – *“PwC uses predictive maintenance to help airlines and other sectors avoid costs”*
- relayr – *“What is Predictive Maintenance and How Can We Harness It?”*
- SAP Technology – *“SAP Predictive Maintenance and Service”*
- SAP – *“SAP Process Automation & SAP Predictive Maintenance (English)”*
- SAS Software – *“The Connected Vehicle: How Analytics Drives Telematics Value”*
- Schneider-Electric – *“Predictive Maintenance Diagnosis Tools”*
- SDG Group – *“Predictive Maintenance”*
- Sense4Things – *“Machine Learning & Predictive Maintenance”*
- Siemens – *“Effiziente Instandhaltung in der Endmontage bei Audi in Neckarsulm”*
- SOFTWARE AG – *“IoT Predictive Maintenance from Software AG“*
- Solutions Factory – *“Industrie 4.0 Case – Predictive Maintenance”*
- Statistica – formerly StatSoft – *“StatSoft Solution – Predictive Maintenance”*
- swagelok – *“Swagelok uses predictive maintenance for equipment productivity”*
- T-Systems Multimedia Solutions – *“Predictive Maintenance – Immer einen Schritt voraus”*

Beim weiteren Vorgehen wurden zunächst die jeweils transkribierten Texte betrachtet. Relevante Sequenzen wurden an dieser Stelle bereits einem bestimmten Code zugewiesen, so dass die Kodierungen anschließend in MAXQDA übertragen werden mussten. Zur tatsächlichen Anwendung wurden die Videodateien in dem in der Software integrierten Media Player abgespielt. Der Media Player bietet die Möglichkeit einzelne Sequenzen zu markieren und anschließend zu kodieren. Abbildung 6 zeigt eine exemplarische Darstellung der Benutzeroberfläche während des Kodier-Vorgangs.

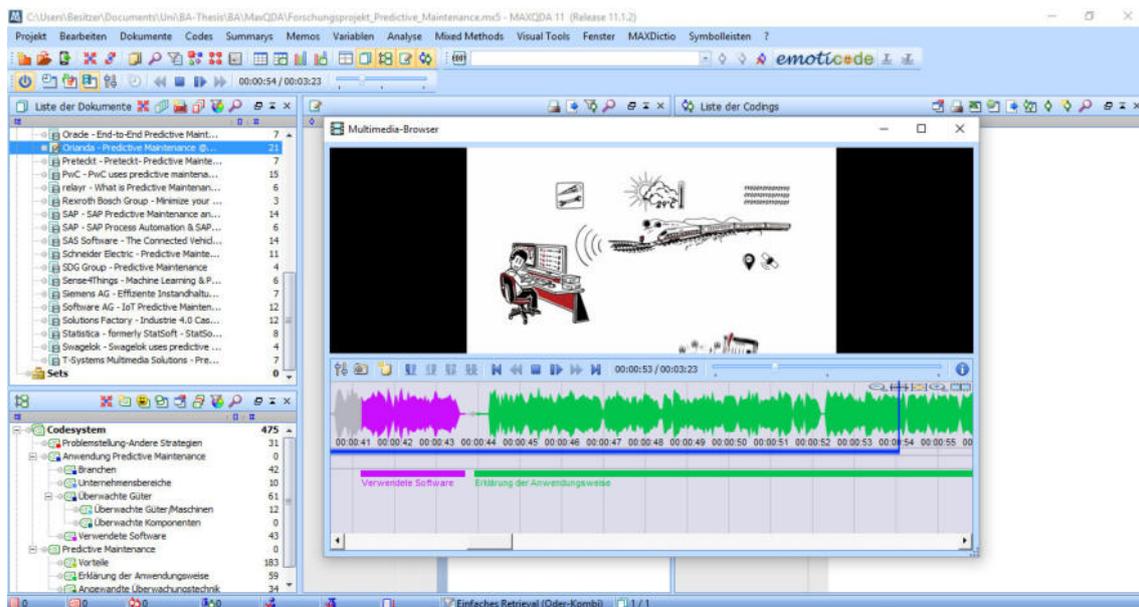


Abbildung 6: Exemplarische Darstellung der MAXQDA Benutzeroberfläche (Quelle: MAXQDA)

Im Anschluss an die Kodierung der Videoclips wurde das Material für die darauffolgende Auswertung vorbereitet.

Zunächst wurde eine MS Excel Mappe angelegt, welche eine tabellenartige, alphabetische Auflistung der analysierten Videos enthält sowie allgemeine Informationen zu den Unternehmen und dem Video. Pro Zeile werden eine Datei und jeweils zugehöriger Kontext angegeben. Eine Darstellung der Tabellenüberschriften am Beispiel der Videodatei der AirFrance KLM Société Anonyme ist in Tabelle 4 aufgeführt.

Name YouTube Kanal	Offizielle Unter- nehmens- bezeich- nung	Land des Firmen- sitzes	Einordnung des Unter- nehmens	Branche (WZ 2008 Code)	Videotitel	Gesamt- länge des Videos	Gattung
AirFrance Industries KLM Engineering & Maintenance	AirFrance KLM S.A.	Frankreich	Anwender und Software- hersteller	33.16.0 51.10.0 51.21.0	PROGNOS - Predictive Maintenance by AFI KLM E&M	00:03:31	Erklärvideo

Tabelle 4: Ausschnitt der Übersicht über analysierte Videodateien am Beispiel AirFrance KLM S.A. (eigene Darstellung)

Die 43 analysierten Videoclips wurden von 39 verschiedenen Firmen hochgeladen. Unter dem Videomaterial befinden sich insgesamt zwei Clips des Unternehmens SAP SE und vier Clips der IBM Corporation<sup>10</sup>. Aus diesem Grund wurde in der Tabelle eine separate Mappe mit einer Übersicht über die Unternehmen erstellt.

Anschließend wurden die Kodierungen aus MAXQDA in eine Mappe der MS Excel Tabelle exportiert. Die nun erzeugte Tabelle wurde daraufhin modifiziert um eine bessere Übersichtlichkeit der Daten zu erreichen.<sup>11</sup> In der Ursprungstabelle waren lediglich Spalten für die Dokumentenbezeichnung, den jeweils angewandten Code und Anfangs- sowie Endzeitpunkt der kodierten Sequenz vorhanden. Weitere Spalten, welche zur Bereitstellung allgemeiner Informationen sowie als Hilfestellung bei der weiteren Auswertung dienen sollten, wurden ergänzt. Dabei wurden zum Zweck der Vollständigkeit auch die Informationen aus der Übersicht über das analysierte Videomaterial erneut eingefügt. Die Zeilen wurden zunächst hinsichtlich des Namens des verantwortlichen YouTube Kanals alphabetisch sortiert. Innerhalb der Zeilen für die jeweils analysierte Videodatei wurde nochmals chronologisch sortiert, so dass in der Reihenfolge der Zeilen zunächst die erste kodierte Sequenz, anschließend die zweite kodierte Sequenz usw. angeführt werden.

<sup>10</sup> Die Unternehmen SAP SE und IBM Corp. verfügen über mehrere YouTube Kanäle, welche teilweise durch die Verantwortlichkeit von verschiedenen Landesvertretungen oder durch unterschiedliche thematische Schwerpunktthemen der Channels entstanden ist. Der Konzern IBM verwaltet beispielsweise neben dem offiziellen Kanal „IBM“ auch „IBM Deutschland, Österreich & Schweiz“, „IBMbrasil“, „IBM Analytics“, „IBM Cloud“ oder „IBM Watson Internet of Things“. Dabei sind alle zuvor genannten Kanäle offizielle Firmenaccounts, können jedoch z.T. auch durch Tochterfirmen des Konzerns betreut werden.

<sup>11</sup> Die Microsoft Excel Tabelle mit den Ergebnissen der analysierten Videos befindet sich auf dem digitalen Speichermedium (CD-ROM), welches dieser Arbeit beiliegt.

Nach der Überarbeitung haben die jeweiligen Spalten die in Tabelle 5 aufgeführten Überschriften. Die Legende mit den Erläuterungen zu den Tabellenüberschriften ist ebenfalls in einer Mappe der MS Excel Datei enthalten, so dass diese insgesamt die vier folgenden Mappen enthält: eine Übersicht aller analysierten Videodateien, eine Übersicht aller betrachteten Unternehmen, die Ergebnisse der Kodierung sowie eine Legende zu den Überschriften der jeweiligen Mappen.

<b>Spaltenüberschrift</b>	<b>Erläuterung</b>
<b>Name Hochladender YouTube Kanal</b>	Bezeichnung des jeweils für das Video verantwortlichen YouTube Kanals
<b>Unternehmensbezeichnung</b>	Bezeichnung des jeweiligen Unternehmens, welches den YouTube Kanal betreibt
<b>Land des Firmensitzes</b>	Land des Firmensitzes
<b>Einordnung des Unternehmens</b>	Einordnung der Unternehmen hinsichtlich Anwendung von Predictive Maintenance bzw. Herstellung von Software zur Anwendung
<b>Branche (WZ 2008 Code)</b>	Einordnung der Unternehmen in eine Branche gemäß der Klassifizierung des Statistischen Bundesamts (Ausgabe 2008)
<b>Videotitel</b>	Bezeichnung des Videotitels (übernommen von YouTube)
<b>Anfang</b>	Anfangszeitpunkt der jeweils kodierten Sequenz (Format hh:mm:ss)
<b>Ende</b>	Endzeitpunkt der jeweils kodierten Sequenz (Format hh:mm:ss)
<b>Länge der Sequenz</b>	Länge der jeweils kodierten Sequenz (Format hh:mm:ss)
<b>Länge der Sequenz in %</b>	Länge der jeweils kodierten Sequenz in %
<b>Gesamtlänge des Videos</b>	Gesamtlänge des jeweiligen Videos (Format hh:mm:ss)
<b>Kodierte Sequenz (deutsch)</b>	Transkription bzw. Übersetzung der jeweils kodierten Sequenz
<b>Kategorie</b>	Einordnung der kodierten Sequenz in eine Kategorie (nur für die Codes „Vorteile“, „Branchen“ und „Verwendete Software“)
<b>Kommentar</b>	Freie Kommentare zu den Videos bzw. zu den kodierten Sequenzen

Tabelle 5: Legende: Spaltenüberschriften der Ergebnistabelle (eigene Darstellung)

Da für den Namen des verantwortlichen YouTube Kanals zumeist nicht die offizielle Firmenbezeichnung verwendet wurde, wurde diese Information in den Ergebnissen ergänzt. Durch die zusätzliche Kenntnis über den Hauptsitz der Firmen können weitere Hintergrundinformationen, welche im Rahmen der Analyse interessant sind, erlangt werden. Ebenfalls wurde eine Einteilung der betrachteten Unternehmen in die jeweiligen Branchen gemäß der Klassifizierung des Statistischen Bundesamts vorgenommen (vgl. Statistisches Bundesamt 2008). Informationen bezüglich der Firmenbezeichnung, dem jeweiligen Hauptsitz und der Branchenzugehörigkeit wurden den offiziellen Webseiten der Unternehmen entnommen.

Ebenso bietet die Einordnung der Unternehmen in „Anwender von Predictive Maintenance“ und/oder „Hersteller von Software zur Anwendung von Predictive Maintenance“ eine aufschlussreiche Kategorisierung bei der weiteren Auswertung. Da einige der Unternehmen keine Zugehörigkeit zu den beiden zuvor genannten Kategorien haben, wurden Sonderkategorien wie „Sonstige“, „Hersteller Messtechnologien“ oder „Hersteller Sensortechnologien“ erstellt.

Die darauffolgenden Spalten fokussieren den kodierten Videoabschnitt und enthalten Angaben zu Anfangs- und Endzeitpunkt sowie zu der Länge der jeweiligen Sequenzen. Um festzustellen welchen prozentualen Anteil bestimmte Codes an der Gesamtlänge des Videoclips einnehmen, wurde diese Angabe ergänzt.

Anschließend enthält die Tabelle die Angabe des jeweiligen Codes sowie die (sinngemäße) Transkription der kodierten Sequenz. Um eine Einheitlichkeit herzustellen wurden alle Transkriptionen aus englischsprachigen Videos in der Tabelle sinngemäß in der deutschen Sprache wiedergegeben.

Während der Sichtung und Analyse des Videomaterials wurde deutlich, dass teilweise ein unterschiedlicher Wortlaut für inhaltlich deckungsgleiche Sequenzen in den verschiedenen Videos verwendet wurde, wie beispielsweise „Fahrzeugmontage“ oder „Autohersteller“. Aus diesem Grund wurde nach der Kodierung eine manuelle Zusammenfassung und Zuordnung der kodierten Sequenzen zu homogenen Kategorien vorgenommen, welche in der Spalte „Kategorien“ wiedergegeben wird. Dabei wurde die Kategorisierung nur bei solchen Codes vorgenommen, für welche diese sinnvoll ist. Die Auswertung der Ergebnisse konnte durch die Zusammenfassung zu Kategorien anschließend besser realisiert werden.

Die Kategorisierung des Codes „Anwendung Predictive Maintenance“ wurde dabei zwischen eigens vom Unternehmen entwickelter Software und Fremdbezug der Software

vorgenommen. Die Angabe welche Software in den konkreten Anwendungsfällen verwendet wird erfolgt bereits bei der (sinngemäßen) Transkription.

In der Spalte „Kommentar“ wurden freie Anmerkungen zu den Videos oder den jeweiligen Sequenzen gemacht. So wurde beispielsweise im Verlauf der Anwendung festgestellt, dass das Video der IBM Corporation mit dem Titel „*Predictive Analytics for Aircraft Maintenance*“ mittlerweile nicht mehr auf YouTube vorhanden ist, was in der Kommentarspalte des Videos vermerkt ist.

Nachdem alle noch ausstehenden Fehler manuell ausgefüllt wurden, schließt die Phase der Ergebnisauswertung an.

### **3.3 Auswertung**

Die Auswertung des analysierten Videomaterials erfolgt mithilfe der zuvor erstellten MS Excel Tabelle. Zunächst erfolgt eine Betrachtung der Unternehmensdaten.

Durch eine Betrachtung der jeweiligen Länder der Hauptsitze der Unternehmen ergibt sich die in Abbildung 7 dargestellte Verteilung.

Unter den 39 Unternehmen befinden sich jeweils 14 mit Hauptsitz in Deutschland und den USA. Vier Firmen haben ihre Zentrale in Frankreich und zwei weitere in Indien. Von den verbleibenden fünf Unternehmen ist jeweils eines aus Italien, Österreich, der Schweiz, den Vereinigten Arabischen Emiraten und dem Vereinigten Königreich. Da sich lediglich auf deutsch- und englischsprachiges Videomaterial fokussiert wurde, ist die Verteilung in Hinblick auf den vorrangigen geographischen Einsatz von Predictive Maintenance jedoch nicht repräsentativ. Eine überwiegende Anwendung in Industrienationen wie Deutschland und den USA erscheint jedoch aufgrund des Bedarfs von hochgradig fortschrittlicher Technik zur Realisierung von Predictive Maintenance sehr wahrscheinlich.

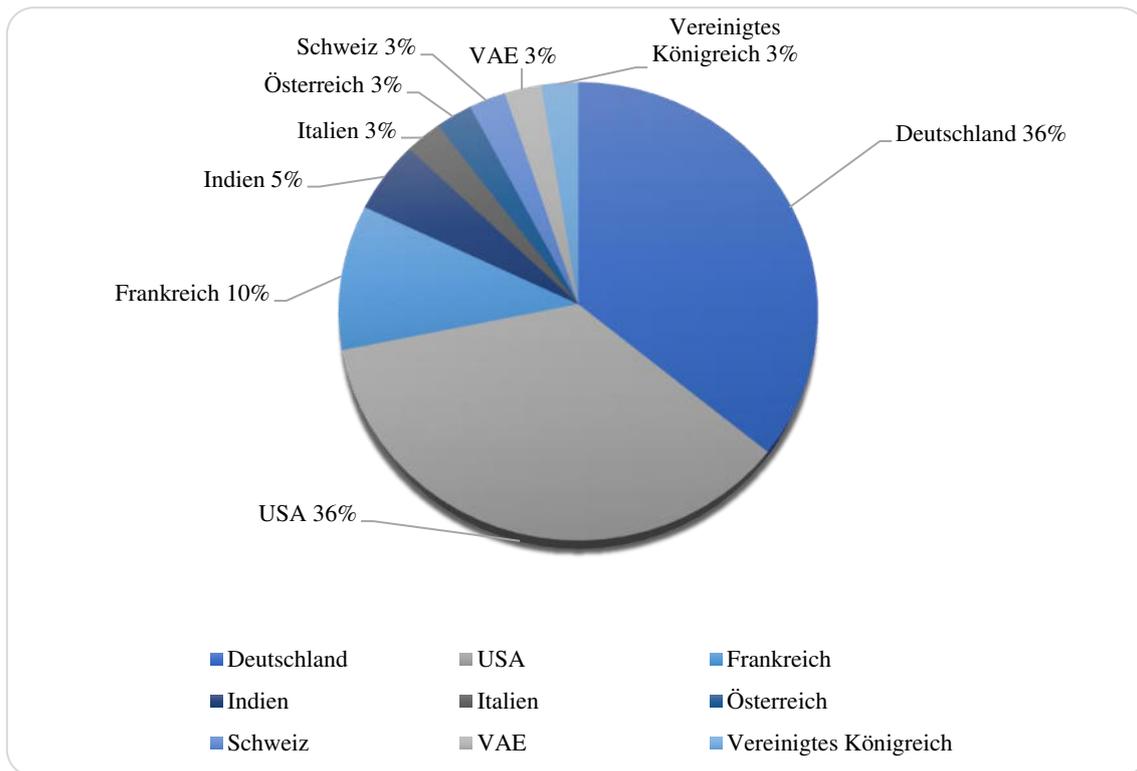


Abbildung 7: Geographische Verteilung der Herkunftsländer der betrachteten Unternehmen (Quelle: eigene Darstellung)

Durch die Zuordnung zu Branchen gemäß der Klassifizierung des Statistischen Bundesamts lassen sich weitere, zunächst allgemeine Aussagen treffen. Die Mehrzahl der betrachteten Unternehmen bietet ein breites Produkt-Portfolio an, weshalb eine Zuordnung zu nur einer Branche selten möglich ist. In der Regel steht jedoch ein Produkt oder eine Dienstleistung im Hinblick auf Predictive Maintenance im Vordergrund, beispielsweise die Rolle eines Unternehmens als ausführender Instandhaltungsdienstleister oder als IT-Beratungsunternehmen.

Viele der betrachteten Firmen kommen aus der IT-Branche, wie beispielsweise Microsoft Corporation, Bentley Systems Inc. oder SAP SE. Diese Unternehmen treten im Rahmen von Predictive Maintenance in der Regel als Hersteller der verwendeten Software auf und sind ggf. für den weiteren Betrieb der Programme zuständig. McKinsey & Company sowie PricewaterhouseCoopers sind Unternehmensberatungen, welche andere Firmen bei der Implementierung der Strategie beraten und unterstützen. Beispiele für die Position als ausführende Anwender von Predictive Maintenance sind die Bosch Rexroth GmbH und die Swagelok Company. Auch eine Forschungseinrichtung, das Bremer Institut für Produktion und Logistik, ist unter den betrachteten Unternehmen. (Vgl. Statistisches Bundesamt 2008)

Dementsprechend gibt die Einteilung der Unternehmen in Anwender oder Softwarehersteller bzw. -implementierer eine Übersicht über die jeweilige Perspektive auf Predictive Maintenance. Nur wenige Unternehmen, wie die Hannover Messe, das Bremer Institut für Produktion und Logistik sowie die beiden Unternehmensberatungen McKinsey & Company und PricewaterhouseCoopers können hierbei weder der Anwenderrolle noch der Rolle als IT-Verantwortlichen zugeordnet werden, und werden daher der Kategorie „Sonstige“ zugeordnet, welche damit einen Anteil von 10% annimmt. Abbildung 8 stellt einen Überblick über die Klassifizierungen der Unternehmen dar. Dabei wird die hohe Anzahl von 25 Softwareunternehmen im Vergleich zu den anderen Kategorien sichtbar.

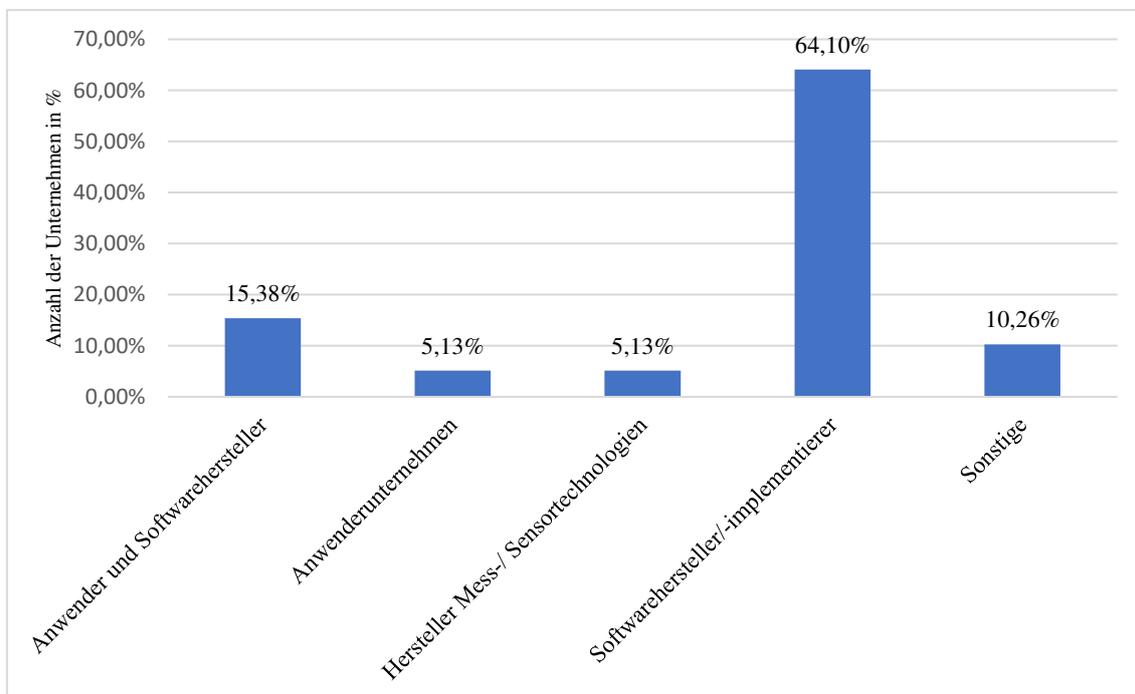


Abbildung 8: Klassifizierung der betrachteten Unternehmen in Anwender und Softwarehersteller (Quelle: eigene Darstellung)

Insgesamt sechs der betrachteten Unternehmen treten sowohl in der Anwenderrolle als auch als Hersteller der jeweils verwendeten Software auf. Diese Firmen lassen intern oder teilweise von Tochterunternehmen durch IT-Experten eine Individualsoftware entwickeln, welche exakt an die unternehmensspezifischen Anforderungen angepasst ist, und können diese im Anschluss zur Überwachung des eigenen Equipments einsetzen. Mit dem Hintergrundwissen über die Perspektive der Unternehmen auf die Strategie Predictive Maintenance kann anschließend die Auswertung des Videomaterials erfolgen.

Bei den Videos handelt es sich um deutsch- und englischsprachige Clips mit einer Länge zwischen 0:45 Minuten und 7:55 Minuten. 65% der Videos hat eine Dauer von ein bis drei Minuten, was charakteristisch für die Gattung der Erklärvideos ist.

In der nachfolgenden Betrachtung der kodierten Sequenzen wird insbesondere die auditive Ebene der Videos fokussiert. Insgesamt konnten 504 Sequenzen aus 43 Videos kodiert werden. Alle der neun zuvor festgelegten Codes wurden im Rahmen der Kodierung angewandt. Eine Übersicht über die Anzahl der kodierten Sequenzen je Code ist in Tabelle 6 dargestellt.

Code	Anzahl der kodierten Sequenzen je Code	Mittelwert der Länge der kodierten Sequenzen (hh:mm:ss)
Anwendung Predictive Maintenance – Branchen	50	00:00:02
Anwendung Predictive Maintenance – Unternehmensbereiche	6	00:00:02
Anwendung Predictive Maintenance – Überwachte Güter – Überwachte Güter/Maschinen/ Objekte	60	00:00:03
Anwendung Predictive Maintenance – Überwachte Güter – Überwachte Komponenten	25	00:00:11
Anwendung Predictive Maintenance – Verwendete Software	42	00:00:03
Predictive Maintenance – Erklärung der Anwendungsweise	60	00:00:16
Predictive Maintenance – Angewandte Überwachungstechnik	32	00:00:04
Predictive Maintenance – Vorteile	198	00:00:03
Problemstellung/Andere Strategien	31	00:00:11
<b>Gesamtanzahl kodierte Sequenzen</b>	<b>504</b>	<b>00:00:05</b>

Tabelle 6: Anzahl und durchschnittliche Länge der kodierten Sequenzen je Code (eigene Darstellung)

In knapp 40% der kodierten Sequenzen werden die Vorteile von Predictive Mainenance thematisiert. Dies lässt sich daran erklären, da in der Regel je Video beispielsweise nur ein bis zwei verschiedene, zu überwachende Güter genannt werden. Dementgegen steht jedoch eine Auflistung von durchschnittlich drei oder mehr Vorteilen je Clip.

Für die Unternehmensbereiche, in denen Predictive Maintenance angewandt wird, konnten nur wenige Kodierungen vorgenommen werden. Der Anteil der mit diesem Code belegten Sequenzen beträgt etwa 1%.

Die nachfolgende Auswertung evaluiert die einzelnen Kodierungen detailliert. Dabei werden zunächst die Codes betrachtet, welche im Hinblick auf die Forschungsfragen eine besondere Relevanz besitzen.

### **3.3.1 Branchen**

Der Anteil der kodierten Sequenzen, welche sich auf die Anwendung von Predictive Maintenance in bestimmten Branchen fokussiert, beträgt knapp 10% an der Gesamtkodierung. Insbesondere Unternehmen der Softwareindustrie nennen in den Clips häufig Beispiele für Einsatzmöglichkeiten in unterschiedlichen Branchen. Wie in Kapitel 3.2.2 bereits beschrieben, erfolgte zum Zweck der Übersichtlichkeit eine Kategorisierung. Die Verteilung der Ergebnisse ist in Abbildung 9 dargestellt.

Unter der in der Abbildung genannten Kategorie „Sonstige“ wurden die Anteile der Aussagen „alle Industrien“, „alle Industrien, in welchen Güter auf dem Verkehrsweg JIT verfügbar sein müssen“ und „alle Industrien, in welchen mit schweren/teuren Anlagen gearbeitet wird“ zur übersichtlicheren Darstellung zusammengefasst.

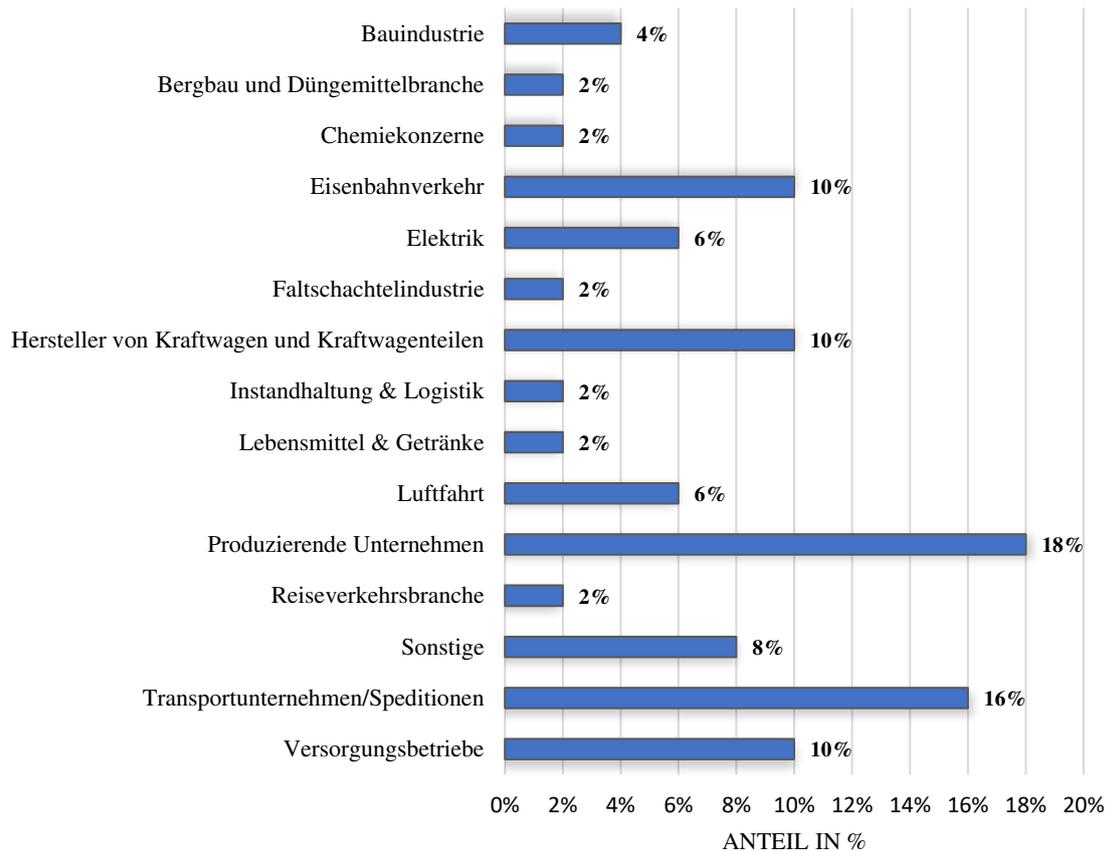


Abbildung 9: Ergebnisse des Codes "Anwendung Predictive Maintenance - Branchen" (Quelle: eigene Darstellung)

Aus den Ergebnissen lässt sich zunächst ableiten, dass der scheinbar größte Bereich der Anwendung in der produzierenden Industrie stattfindet. Dieser Industriezweig wird in 18% der Ergebnisse als vorrangiges Einsatzgebiet von Predictive Maintenance genannt. Darüber hinaus ist der Einsatz der Strategie insbesondere in den Branchen der Transportunternehmen und Speditionen, im Eisenbahnverkehr, bei Herstellern von Kraftwagen und Kraftwagenteilen sowie in Versorgungsbetrieben thematisiert. Im eigentlichen Sinne zählen auch Hersteller von Kraftwagen und Kraftwagenteilen sowie die Faltschachtelindustrie zum produzierenden Gewerbe, so dass sich tatsächlich eine eindeutige Mehrheit bei der Anwendung der Strategie in diesen Wirtschaftssegmenten herausbildet. Diese Branchen wurden aufgrund ihrer Spezialisierung nicht direkt dem allgemeinen Industriezweig des produzierenden Gewerbes zugerechnet.

Die Transportbranche, welche in den Ergebnissen mit einem Anteil von 16% genannt wurde, scheint sich ebenfalls auf einen Einsatz von Predictive Maintenance gegenüber anderen Instandhaltungsstrategien zu fokussieren. Die Aussage der T-Systems Multimedia Solutions GmbH, dass der Einsatz in allen Industriezweigen, in welchen

Güter auf dem Verkehrsweg JIT verfügbar sein müssen, erfolgen sollte, spricht ebenfalls für die Anwendung im Bereich Transport und Logistik. Auch auf anderen Verkehrswegen, wie dem Zweig der Luftfahrt oder im Eisenbahnverkehr, wird Predictive Maintenance priorisiert. Da in diesen Branchen sowohl Güter- als auch Personenbeförderung auf den jeweiligen Verkehrswegen stattfindet, wurden diese nicht unmittelbar den Transportunternehmen zugeordnet. Durch eine Summierung der Anteile der Ergebnisse, welche sich für einen Einsatz auf unterschiedlichen Verkehrswegen aussprechen, ergibt sich in der Summe einen Gesamtanteil von 32%.

Weiterhin belegen 10% der Ergebnisse eine Anwendung von Predictive Maintenance im Bereich der Versorgungsunternehmen. Unter den insgesamt fünf Erwähnungen dieses Gewerbes wurden jeweils einmal die Wasser- und die Stromversorgung und zweimal die Öl-/Gasversorgung als konkrete Anwendungsfälle dargelegt. Für einen Einsatz in Versorgungsbetrieben sprechen sich sowohl die Unternehmen Capgemini SE, Emerson Electric Company, IBM Corporation, PricewaterhouseCoopers sowie das SAS Institute Inc. aus. Bei diesen handelt es sich jeweils um Softwareunternehmen, welche die Versorgungsbetriebe im Rahmen der möglichen Einsatzgebiete mit aufzählen.

Generell erfolgt von Unternehmen, welche Predictive Maintenance im Rahmen ihrer betrieblichen Instandhaltung selbst ausüben, in den Videos nur jeweils eine bis maximal zwei Erwähnung von Einsatzgebieten in verschiedenen Branchen, nämlich der eigenen. Demgegenüber wird in Videos von Unternehmen, welche im Bereich der Softwareherstellung bzw. -implementierung tätig sind, eine Aufzählung von mehreren unterschiedlichen Zielgruppen vorgenommen. Die jeweilige Software der Konzerne ist für unterschiedliche Branchen und somit auch Güter anpassbar, weshalb durch die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten eine weite Bandbreite von Zielgruppen erreicht werden soll.

### **3.3.2 Unternehmensbereiche**

Aus den insgesamt 504 kodierten Sequenzen konnte nur sechsmal der Code der Unternehmensbereiche angewandt werden. Das seltene Vorkommen einer expliziten Nennung dieser Bereiche lässt sich vermutlich darauf zurückführen, dass Nennung der Branche und der überwachten Güter die Anwendung von Predictive Maintenance bereits spezifizieren.

Zu den Unternehmensbereichen, in welchen ein Einsatz der Strategie erfolgt, kommt in dem analysierten Videomaterial jeweils eine Aussage der Unternehmen Bentley Systems Inc., Capgemini SE, IBM Corporation, Siemens AG, StatSoft Inc. und Swagelok Company vor.

Die Firma Siemens AG stellt in dem analysierten Video das Fallbeispiel der Instandhaltung bei der Audi AG vor. Audi stellt hierbei das ausführende Unternehmen dar, welches die Softwareherstellung und -betrieb an Siemens outsourcte. In diesem Video wird daher die Anwendung von Predictive Maintenance im Bereich der Fahrzeugmontage genannt.

Das Unternehmen Bentley Systems Inc. stellt einen ähnlichen Fall vor. Die Kundschaft des Softwareunternehmens, welche hierbei nicht explizit genannt wird, ist jedoch nicht der Automobilindustrie, sondern der Eisenbahnbranche zuzuordnen. Der genannte Unternehmensbereich, in welchem Predictive Maintenance angewandt wird, ist hier die Gleisinstandhaltung.

Die vier verbleibenden Kodierungen beziehen sich auf den allgemeinen Geschäftsbereich der Produktion. Die Fahrzeugmontage, welche einen spezialisierten Teilbereich der betrieblichen Fertigung darstellt, lässt sich ebenfalls dem Bereich der Produktion zuweisen.

Dieses Ergebnis deckt sich mit den Beobachtungen aus Kapitel 3.3.1, in welchem bereits die Feststellung gemacht wurde, dass eine Anwendung im verarbeitenden Gewerbe priorisiert wird. Die Konzentration auf die Produktion ist in Anbetracht dessen sinnvoll, dass in anderen Unternehmensbereichen wie Marketing und Vertrieb, Forschung und Entwicklung, Einkauf oder Personalwesen schlicht keine Instandhaltungsobjekte vorhanden sind. Diese Prozesse werden vorrangig von Menschenhand und unter Zuhilfenahme von elektronischen Maschinen oder Anlagen gesteuert. In der industriellen Produktion wird hingegen in der Regel heutzutage der größte Anteil der Prozesse von Maschinen gesteuert und ausgeführt.

### **3.3.3 Überwachte Güter**

Bei der Kodierung der überwachten Güter wurde eine zusätzliche Unterscheidung zwischen den überwachten Gütern, Maschinen oder Objekten und den jeweils überwachten Komponenten vorgenommen. Von den kodierten Sequenzen beziehen sich 60 auf konkrete Güter, Maschinen oder Objekte und weitere 25 auf jeweils kontrollierte

Komponenten. Zur Verdeutlichung der Notwendigkeit dieser Trennung dient das folgende Beispiel. In dem Video der IBM Corporation mit dem Titel „*Predictive Maintenance: From fixing to predicting problems*“ wird die Anwendung der Strategie bei einem Automobilhersteller dargelegt. Die überwachten Güter stellen dabei die Automobile dar, wohingegen die Bremslichter der Fahrzeuge den überwachten Komponenten zuzuordnen sind. Zunächst erfolgt die Betrachtung der übergeordneten, überwachten Güter, anschließend werden die Ergebnisse bezüglich der einzelnen Komponenten dargelegt.

Unter Berücksichtigung der vorherigen Ergebnisse entsteht die Erwartung einer überwiegenden Überwachung von Produktionsanlagen. Die Analyse des Videomaterials ergab jedoch nur sechs aus insgesamt 60 kodierten Sequenzen, also einen Anteil von 10%, welche sich auf diese Art der Maschinerie bezieht. Das Unternehmen HCL Technologies Ltd. bezieht sich dabei allgemein auf eine Überwachung von Schwermaschinen, wohingegen die Emerson Electric Company insbesondere rotierende Maschinerie betrachtet, welche mithilfe von Predictive Maintenance kontrolliert werden soll. Konkrete Maschinentypen der Produktion können laut Oracle und Solutions Factory eine Rube Goldberg Maschine, eine Heidelberg Maschine oder eine Hochpräzisionsmaschine sein.

Wesentlich häufiger erfolgt gemäß der Kodierungen eine Überwachung von Fahrzeugen unterschiedlicher Arten. Dabei werden sowohl Nutzfahrzeuge wie Busse oder Lastkraftwagen genannt, aber auch Personenkraftwagen betrachtet. Die Kategorie der Fahrzeuge wird in den analysierten Videos 14-mal erwähnt, was einem Anteil von 23% entspricht.

Ähnlich wie bei den vorherigen Ergebnissen werden hier nicht nur Straßenfahrzeuge, sondern ebenso Mittel zur Beförderung von Gütern und Personen auf anderen Verkehrswegen betrachtet. Weitere überwachte Objekte sind Flugzeuge und Helikopter sowie Schienenfahrzeuge der Eisenbahn. Die Nennung der Flugzeuge erfolgt sechsmal, die Eisenbahn rückt siebenmal in den Betrachtungsfokus von Predictive Maintenance und IBM erwähnt in einem der Videos einmal die Überwachung von Helikoptern. Durch eine Zusammenfassung der genannten Verkehrsmittel ergibt sich bei der Analyse gesamthaft ein Anteil von 46% der kodierten Sequenzen, in welchen diese die zentralen Betrachtungsobjekte der Strategie darstellen.

Weitere Güter, welche gemäß der Kodierungen überwacht werden, sind beispielsweise Energieversorgungsnetze (5%), Baumaschinen (5%), Klimaanlage (3%) oder

Rolltreppen (2%). Das Bremer Institut für Produktion und Logistik nennt weiterhin in den vorgestellten Fallstudien jeweils einmal Ballastwassertanks, Offshore-Windanlagen oder Hafenumschlagsgeräte als mithilfe von Predictive Maintenance überwachte Güter.

Durch die Analyse der überwachten Komponenten, welche im Videomaterial genannt werden, können weitere Beobachtung gemacht werden. Predictive Maintenance wird im Rahmen der Instandhaltung von Flugzeugen beispielsweise zur Überwachung der Motoren, der Vorflügel und Landeklappen, der Antriebstechnik oder der Sensoren zur Positionierung des Bugfahrwerks eingesetzt.

Im Bereich des Eisenbahnverkehrs werden beispielsweise Gleisweichen, Radbelastungen, Gleislage und Spurweite oder der Verschleiß der Schienen betrachtet und mithilfe von Sensoren überwacht, so dass es zu keinem vermeidbaren Ausfall oder Stillstand der überwachten Güter kommt.

Da sich ein breites Spektrum an Komponenten zur Überwachung durch Predictive Maintenance anbietet, lassen sich hierzu keine eindeutigen Aussagen hinsichtlich des überwiegenden Einsatzgebiets machen. Moderne Messtechniken sind in der Lage viele verschiedene Parameter zu überwachen und bieten daher die Möglichkeit zur Anwendung an Komponenten der unterschiedlichsten Art. Insbesondere kritische Komponenten, also solche die wichtige Schlüsselprozesse im Unternehmensablauf einnehmen, sollten jedoch die bestmögliche Kontrolle erhalten und daher sorgfältig betrachtet werden um Fehler zu vermeiden. Durch die hohe Präzision von Predictive Maintenance bleiben folglich die direkten und indirekten Instandhaltungskosten möglichst gering und es kommt zu keinen Verzögerungen im Prozessablauf.

### **3.3.4 Weitere Auswertung**

Neben den betrachteten Branchen, Unternehmensbereichen und überwachten Gütern wurden im Rahmen der Videoanalyse weitere Kodierungen vorgenommen, durch welche sich Aussagen zur Anwendung von Predictive Maintenance treffen lassen. Diese lassen weitere Rückschlüsse auf den gegenwärtigen Einsatz der Strategie zu und bieten damit wertvolle Einblicke in die Anwendung im betrieblichen Kontext.

Durch die Betrachtung des Codes „*Problemstellung/Andere Strategien*“ lassen sich zunächst Motive erkennen, welche zu einem Einsatz von Predictive Maintenance führen können. Diese Sequenzen nehmen im Mittel etwa 7,24% der Gesamtlänge eines

Videoclips und damit gemessen an diesem Wert den zweitgrößten Anteil des Videomaterials ein. Unter den 31 kodierten Sequenzen, welche die Probleme bei der Anwendung anderer Instandhaltungsstrategien fokussieren, bezieht sich die Mehrheit auf den Kosten-, Zeit- und Sicherheitsaspekt. Beispielsweise erwähnt PwC, dass ungeplante Instandhaltungsmaßnahmen für 30% der Verspätungen im Flugsektor verantwortlich sind und einen großen Kostenfaktor darstellen. Das Unternehmen relayr konkretisiert weiter die Nachteile von RM und stellt fest, dass in der Instandhaltungshistorie bisher vor allem reaktiv agiert wurde. Folglich erfolgten Reparaturen erst, wenn es bereits zu spät war und die Ausfälle und Stillstände resultieren in zusätzlichen Aufwendungen. Diese können beispielsweise durch Überstunden der Mitarbeitenden entstehen, wie IBM in seinem Fallbeispiel im Video „*IBM Predictive Maintenance Quality Helps Predict the Future*“ erläutert. Dementgegen fokussiert Cloudera im Video „*Navistar: Reducing Maintenance Costs up to 40 percent for Connected Vehicles*“ die indirekten Instandhaltungskosten, welche in Folge von unvorhergesehenen Ausfällen auftreten. Am Beispiel einer Spedition wird hierbei erläutert, dass die Firma keine Gewinne machen kann, wenn es zu einem Stillstand im Unternehmensablauf kommt.

Die Software AG betrachtet auch die Problemstellung bei der Anwendung der Strategie PM und stellt die Frage, warum etwas repariert werden soll, was überhaupt nicht kaputt ist. Die französische Firma Schneider Electric SE behauptet gar, dass ohne gutes diagnostisches Equipment in einem Unternehmen die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls dreimal so hoch ist wie mit Einsatz der Diagnostik.

In ihrem Video fasst das arabische Unternehmen Sense4Things die Problematik bei der Anwendung anderer Strategien zusammen und stellt folgende Behauptung auf: „If maintenance best practices are used and machines still break down, aren't those practices also broken?“ (Sense4Things 2015).

Nach dem Code, welcher die Problematik bei der Anwendung anderer Instandhaltungsstrategien betrachtet, nimmt die Erklärung von Predictive Maintenance in den Videoclips den größten Anteil ein. Die durchschnittliche Länge einer kodierten Sequenz beträgt hierbei 16 Sekunden, das entspricht einem durchschnittlichen Anteil von 11,1% an der Gesamtlänge eines Videos. Neun kodierte Sequenzen nehmen sogar einen Anteil von mehr als 20% im gesamten Videoverlauf ein. Im Clip der amerikanischen Swagelok Company „*Swagelok uses predictive maintenance for equipment productivity*“ wird der Höchstwert mit 35% Anteil der Erklärung von Predictive Maintenance an der

Gesamtlänge des Videos erreicht. Daraus ergibt sich, dass offensichtlich viele Unternehmen, welche die Zielgruppe der Videoclips darstellen, noch einen hohen Erklärungsbedarf haben. Dies deckt sich mit der Beobachtung aus Kapitel 2.5.2 von Hashemian und Bean, welche feststellen, dass bisher nicht viele Anlagen und Güter von Predictive Maintenance profitieren, was möglicherweise unter anderem durch die Unwissenheit über die Anwendungsweise bedingt sein kann.

Bei den nachfolgend betrachteten Kodierungen werden die jeweils überwachten Parameter im Rahmen der Überwachungsmaßnahmen fokussiert. Der Code „*Predictive Maintenance – Angewandte Überwachungstechnik*“ konnte 32-mal in den Videodateien angewandt werden und hat somit einen Anteil von 6% an allen Kodierungen, folglich ist er nicht sehr häufig vertreten. Sequenzen, welche sich auf die Anwendungsweise der Überwachungstechniken konzentrieren, betrachten diese in der Regel sehr vereinfacht und fokussieren sich fast ausschließlich auf mögliche Parameter, welche sich zur Überwachung anbieten, nicht jedoch wie diese realisiert wird. Nur vier kodierte Sequenzen benennen konkrete Diagnostik- und/oder Prognostikverfahren. Zu den genannten gehören “Machine Learning“ (Cloudera Inc. - „*Navistar: Reducing Maintenance Costs up to 40 percent for Connected Vehicles*“), “Continuous Track Monitoring” (DB Engineering & Consulting GmbH - „*Predictive Maintenance by DB Engineering & Consulting*“), “Condition Analytics” (Lufthansa Technik AG - „*Condition Analytics*“) sowie die Anwendung von neuronalen Netzwerk Algorithmen (relayr GmbH - „*What is Predictive Maintenance and How Can We Harness It?*“) bzw. generell der Einsatz von Algorithmen zur Zustandsüberwachung (HCL Technologies Ltd. – „*Predictive Maintenance Solution by IoT WoRKS*“).

Unter den 28 genannten und potenziell überwachten Parametern ergibt sich aus den Videos die in Abbildung 10 dargestellte Verteilung. Die unter „Sonstige“ genannten Parameter wurden alle jeweils einmal genannt, wie beispielsweise die Messung des PH-Werts, des Salzgehalts, des Stromverbrauchs oder der Durchlaufrate.

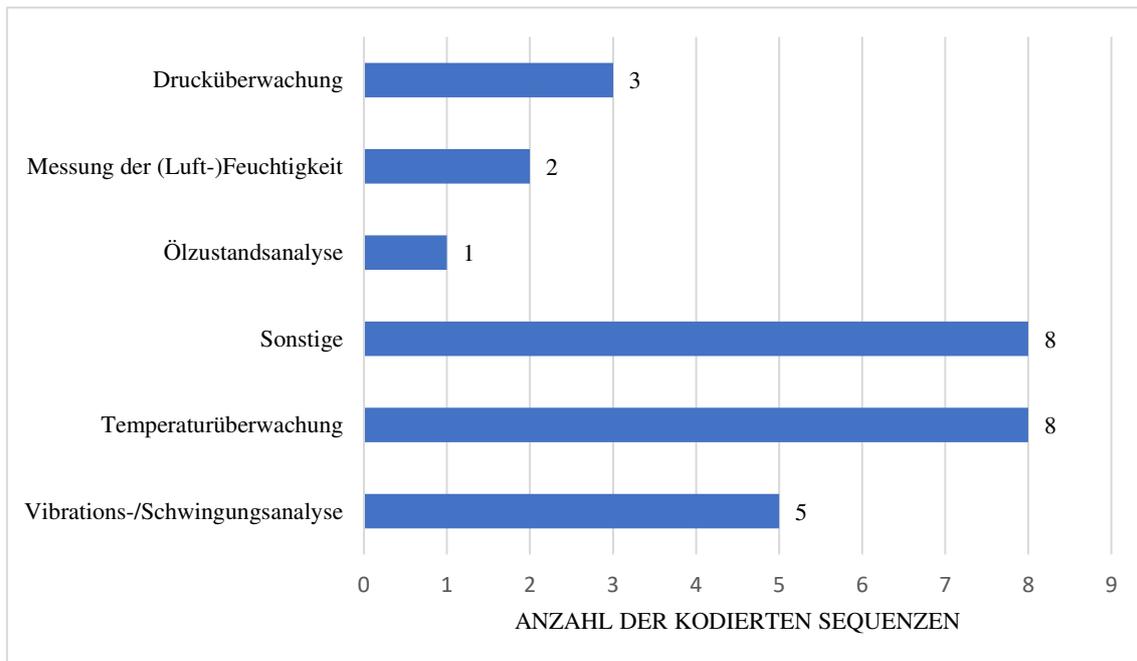


Abbildung 10: Anzahl der Nennungen der überwachten Parameter bei der Anwendung von Predictive Maintenance (Quelle: eigene Darstellung)

Die Beobachtung, dass insbesondere die Temperatur- wie auch die Schwingungsanalyse besonders häufig erwähnt werden, deckt sich mit den Ergebnissen der vorherigen Literaturanalyse. Dort werden diese beiden Parameter ebenfalls vielfach genannt und scheinen sich folglich als besonders effizient und wirksam im Rahmen der Zustandsüberwachung einsetzen zu lassen.

Welche Software im Unternehmen bei der Anwendung von Predictive Maintenance zum Einsatz kommt ist maßgeblich von unternehmensspezifischen Gegebenheiten abhängig, insbesondere von der Art der überwachten Güter.

Unter den vier Unternehmen, welche ihre Software unternehmensintern entwickeln lassen und dann als Lösung an den eigenen Produkten anwenden, gehören AirFrance KLM, Hitachi Consulting und Schneider Electric. Hitachi Consulting ist faktisch eine Beratungsfirma, gehört jedoch als Tochterunternehmen zum weltweit agierenden Maschinenbaukonzern Hitachi Ltd. Corporation. Die entwickelte Software *Lumada* wird u.a. in der Transport-Sparte des Konzerns eingesetzt. AirFrance KLM entwickelte zur Anwendung von Predictive Maintenance die Software *PROGNOS*, welche sich zur Überwachung verschiedener Komponenten und Bauteile der eingesetzten Flugzeuge eignet. Der französische Elektrotechnik-Konzern Schneider Electric lässt zur

Überwachung der Produkte die *ProDiag Diagnostic Tools* einsetzen. Der Deutsche Bahn Konzern nutzt im Rahmen der Instandhaltung die vom Tochterunternehmen entwickelte infraView Plattform, welche speziell auf den Schienenverkehr ausgerichtet ist.

Generell beträgt die Verteilung zwischen dem Fremdbezug der Software und einer Eigenentwicklung etwa 1:3. Unter den 42 kodierten Sequenzen der verwendeten Software werden bei 67% die eigenen Plattformen genannt, 33% nutzen demgegenüber von anderen Unternehmen entwickelte Lösungen.

Bei einer Betrachtung der 14 kodierten Sequenzen, in welchen von anderen Firmen entwickelte Software zum Einsatz kommt, befindet sich viermal das Softwareunternehmen Microsoft, was einem Anteil von 29% an diesen Sequenzen ausmacht. Die Cloud Computing Lösung *Microsoft Azure* und das dazugehörige Produktportfolio scheinen besonders häufig dort eingesetzt zu werden, wo auf externe Dienstleister zurückgegriffen wird. Zusätzlich wird im Video des Konzerns selbst ebenfalls die Azure Lösung genannt, hier jedoch nicht mitgezählt, da es sich in diesem Fall um die eigene, intern entwickelte Software und nicht um einen Fremdbezug handelt. Ebenso befinden sich Lösungen des deutschen Softwareunternehmens SAP viermal in den kodierten Sequenzen zu den eingesetzten Programmen, jedoch sind drei dieser Kodierungen aus den Videoclips, welche von dem Unternehmen selbst hochgeladen wurden.

Die amerikanische IBM Corporation bewirbt mit ihren Videos die *IBM Predictive Maintenance and Quality Solution*, jedoch wird diese nur in zwei der vier Clips explizit genannt, da der Fokus der anderen Videos des Unternehmens insbesondere auf der Erklärung und den Vorteilen der Strategie Predictive Maintenance liegt. Andere genannte Softwarelösungen sind beispielsweise das *TIA-Portal* der Siemens AG, *SAS Analytics* der Firma SAS Institute Inc., *Oracle's Internet of Things Cloud Service* oder die *IoT Predictive Maintenance Software* der Software AG.

Wie der konkrete Anwendungsbereich der jeweils eingesetzten Software aussieht unterscheidet sich bei den Unternehmen. Einige benennen beispielsweise Programme wie *SAP Predictive Maintenance and Service*, welche Alarme aussenden, sobald ein überwachter Parameter einen bestimmten Wert erreicht. In anderen Videoclips werden lediglich Cloud Computing Lösungen wie *Microsoft Azure* betrachtet, welche einen unterstützenden Charakter bei der Anwendung von Predictive Maintenance haben, indem sie die gesammelten Daten verwalten und anderen Nutzern und Nutzerinnen dort bereitstellen, wo sie benötigt werden.

Unter der Mehrzahl der kodierten Sequenzen befinden sich mit einem Anteil von 39% die Vorteile von Predictive Maintenance. Da es sich bei 95% der Videos um Erklärvideos handelt und viele der Unternehmen ihre Software vermarkten wollen, ist dieser Fokus auf den Nutzen der Strategie nicht besonders verwunderlich. Gleichzeitig wird, wie bereits erläutert, in der Regel eine Aufzählung von mehreren Vorteilen pro Video vorgenommen. Durchschnittlich finden sich in den 43 Videodateien je 4,6 kodierte Sequenzen mit dem Code „*Predictive Maintenance – Vorteile*“ pro Clip. Dementgegen beträgt der Mittelwert der kodierten Sequenzen mit den weiteren Codes zwischen 0,14 („*Anwendung Predictive Maintenance – Unternehmensbereiche*“) bis maximal 1,4 („*Anwendung Predictive Maintenance – Überwachte Güter – Überwachte Güter/Maschinen/Objekte*“ bzw. „*Predictive Maintenance – Erklärung der Anwendungsweise*“) pro Videodatei. Durch die vorherige Einteilung der Vorteile in unterschiedliche Kategorien, in welchen jeweils inhaltlich übereinstimmende Sequenzen zusammengefasst wurden, ergibt sich die in Tabelle 7 dargestellte, prozentuale Verteilung der 198 genannten Vorteile.

Dabei steht neben der Reduzierung der Kosten und der Umsatzsteigerung der Unternehmen insbesondere die Vermeidung von Ausfällen und Stillständen der überwachten Güter an oberster Stelle. Obwohl es nicht explizit genannt wird ist das Streben nach einem reibungslosen Prozessablauf vermutlich ebenso bedingt durch das Ziel der Kostenminimierung, in diesem Fall mit der Fokussierung der indirekten Instandhaltungskosten. Die Vermeidung bzw. Reduzierung von Verspätungen und Ausfall- oder Stillstandzeiten nimmt innerhalb der kodierten Sequenzen zu den Vorteilen den größten Anteil von knapp 20% ein. Das Ziel der Kostenminimierung nimmt hierbei einen Anteil von etwa 18% ein, die explizite Umsatzsteigerung durch Predictive Maintenance wird nur einmal genannt und hat daher kaum Relevanz. Da durch die Senkung der Kosten und Ausgaben der jeweiligen Unternehmen folglich die Erlöse steigen ist indirekt dennoch die Gewinnmaximierung als oberste Priorität der unterschiedlichen Firmen anzusehen.

Ebenfalls hohe Anteile weisen die Vorteile der Erhöhung der Effizienz der Instandhaltungsobjekte mit 9% sowie die Maximierung der Verfügbarkeit bzw. der Zuverlässigkeit der überwachten Güter mit 8% bzw. 5% auf.

	Anzahl der kodierten Sequenzen	Anteil der kodierten Sequenzen in %
Bessere Ersatzteilplanung	4	2,02%
Bessere Planbarkeit	12	6,06%
Erhöhung der Kundenzufriedenheit	10	5,05%
Erhöhung der Sicherheit	7	3,54%
Fehler erkennen, bevor diese eintreten	6	3,03%
Längere Nutzungsdauer der überwachten Güter	5	2,53%
Maschine ist während der Überwachung in Betrieb	2	1,01%
Minimierung der Kosten (Instandhaltungs-/ Lebenszykluskosten)	35	17,68%
Proaktive Ursachenanalyse	8	4,04%
Reduzierung von ungeplanter Instandhaltung	5	2,53%
Reduzierung von Verspätungen und Ausfall-/Stillstandzeit	39	19,70%
Sonstige	20	10,10%
Steigerung der Effizienz/Produktivität der überwachten Güter	17	8,59%
Steigerung der Verfügbarkeit der überwachten Güter	16	8,08%
Steigerung der Zuverlässigkeit der überwachten Güter	11	5,56%
Umsatzsteigerung	1	0,51%
<b>Gesamt</b>	<b>198</b>	<b>100,00%</b>

Tabelle 7: Anzahl der mit dem Code "Vorteile" kodierten Sequenzen (eigene Darstellung)

Die gute Planbarkeit bei der Anwendung von Predictive Maintenance steht in 6% der kodierten Sequenzen im Vordergrund, wohingegen 5% die Erhöhung der Kundenzufriedenheit fokussieren. Die proaktive Ursachenanalyse der auftretenden Fehler besitzt einen Anteil von 4%, die Erhöhung der Sicherheit nimmt etwa 3,5% ein und die frühzeitige Fehlererkennung, bevor diese Fehler überhaupt eintreten, wird in 3% der Sequenzen als Kernvorteil genannt.

Unter der Kategorie „Sonstige“, welche etwa 10% der Gesamtkodierungen zu den Vorteilen von Predictive Maintenance ausmacht, wurden weitere Vorteile zusammengefasst. Hierzu zählen beispielsweise die Transparenz des Instandhaltungsprozesses, die Maximierung der Präzision der ausgeführten Maßnahmen, die Optimierung der Arbeitsabläufe oder die Erhöhung der Mitarbeiterproduktivität.

Sowohl aus Perspektive der Softwareunternehmen wie auch aus Sicht der Unternehmen, welche die intern entwickelte Software an den eigenen Gütern einsetzen, werden durchschnittlich etwa sechs Vorteile pro Unternehmen genannt, wohingegen von den Firmen, welche Predictive Maintenance lediglich in internen Unternehmensabläufen anwenden, durchschnittlich jeweils zwei Vorteile betrachtet werden. Dies lässt sich mutmaßlich durch den gewünschten Effekt der veröffentlichten Videodateien begründen. Solche Firmen, welche Instandhaltung oder damit verbundene Produkte als Dienstleistung vermarkten möchten, erreichen die jeweilige Zielgruppe durch die Konzentration auf die Vorteile von Predictive Maintenance effektiv besser. Im Gegensatz hierzu hat die reine Anwenderseite keinen Bedarf, ein Produkt oder eine Dienstleistung zu vermarkten, sondern möchte vor allem die Fortschrittlichkeit in diesem und ggf. weiteren Bereichen darlegen.

Insgesamt zeigt sich, dass die Strategie Predictive Maintenance ein breites Spektrum von Vorteilen gegenüber anderen Instandhaltungsstrategien vorweisen kann. Die betrachteten Sequenzen ergaben, ähnlich wie bei der Literaturanalyse, eine Fokussierung auf den Faktor der Unternehmensausgaben und -einnahmen. Durch die Anwendung der Strategie wird eine Reduzierung der Aufwendungen im Rahmen der betrieblichen Instandhaltung angestrebt und dadurch insbesondere die Erreichung der Unternehmensziele. Ebenso wird die Perspektive der Stakeholder eines jeweiligen Unternehmens betrachtet, was sich daran zeigt, dass die Erhöhung der Kundenzufriedenheit durch den Einsatz von Predictive Maintenance ein weiteres, bedeutendes Argument für die Anwendung darstellt.

Es sollte jedoch kritisch betrachtet werden, dass die analysierten Videos zu Marketingzwecken erstellt wurden und aus diesem Grund keine Auseinandersetzung mit möglichen Nachteilen oder Risiken stattfindet.

## 4 Fazit

In der vorliegenden Arbeit wird der gegenwärtige Einsatz der Strategie Predictive Maintenance im betrieblichen Instandhaltungsmanagement betrachtet und anhand der vorhergehenden Literatur- und Videoanalyse ein Überblick über den aktuellen Forschungs- und Anwendungsstand gegeben. Das nachfolgende Fazit gibt eine Zusammenfassung der gesammelten Beobachtungen und Ergebnisse und schließt mit einem Ausblick auf die kommenden Entwicklungen ab.

### 4.1 Zusammenfassung

Instandhaltung nimmt im betrieblichen Kontext eine essenzielle Rolle ein und bietet einen gut regulierbaren Ansatzpunkt zur Reduzierung der Kosten und Ausgaben eines Unternehmens im Vergleich zu anderen üblicherweise anfallenden Kostenpositionen, folglich trägt es im Umkehrschluss zur Steigerung des Gewinns bei. Wenngleich in der Vergangenheit erst im Falle eines Ausfalls oder Stillstands von Maschinen und Anlagen mit einer Reparatur reagiert wurde, so wurde zuletzt doch eine Reihe von vorbeugenden Maßnahmen implementiert, durch welche die hohen Instandhaltungskosten beispielsweise einer reaktiven Instandhaltung minimiert werden sollten. Durch die Digitalisierung und die Entstehung von vernetzten Systemen erschließen sich im Bereich der Instandhaltung vielfältige Potenziale, welche bei der weiteren Entwicklung eines Unternehmens berücksichtigt werden sollten um die Wettbewerbsfähigkeit zu erhalten. Gleichzeitig sind viele neuartige Themen- und Handlungsfelder bisher kaum erforscht und es ist unklar, in welche Richtung die Digitalisierung sich in der weiteren Zukunft entwickelt.

Predictive Maintenance, also die vorausschauende Instandhaltung von intelligenten Anlagen und Maschinen mit der Möglichkeit zur Vorhersage von Ausfällen und Stillständen, stellt eines dieser Potenziale dar und grenzt sich von den anderen Instandhaltungsstrategien ab, da hierbei der Abnutzungsvorrat der jeweiligen Betrachtungseinheit voll ausgeschöpft werden kann und die zukunftsgerichteten Prognosen zum Verhalten einen möglichst ökonomischen und ökologischen Umgang ermöglichen. Zunächst erscheint Predictive Maintenance somit als optimale Lösung für die bisherigen Probleme im Kontext der betrieblichen Instandhaltung. Doch Innovationen und neue Lösungen sind zu Beginn ihres Entstehens in der Regel kaum erforscht und es ist schwer absehbar wie die weitere Entwicklung bei einer Langzeitanwendung der

modernen Strategie unter Zuhilfenahme von Sensorik und Aktorik aussieht. Zudem ist durch die Neuartigkeit unklar, ob die Anwendung von Predictive Maintenance für die Instandhaltung in allen Branchen und für alle Güter tatsächlich geeignet ist.

Bei einer ordnungsgemäßen Funktionsweise von Predictive Maintenance stellt der Einsatz einen erheblichen Mehrwert dar. Die Betrachtungseinheiten senden selbstständig Meldungen an die beteiligten Mitarbeitenden mit Informationen zum aktuellen Ist-Zustand und die vernetzten Systeme erstellen darauf basierend Prognosen über das zukünftige Ausfallverhalten. Doch auch das Gebiet der Messtechniken und insbesondere der Sensorik hat in den vergangenen Jahren massive Fortschritte gemacht und die Innovationen sind bisher kaum einsatzerprobt. Die unterschiedlichen Sensorarten stellen ebenso technische Bauteile da, welche mithilfe von Elektronik realisiert und umgesetzt werden. Dabei gibt es ebenso keine Garantie, dass es zu keinem Ausfall oder Fehler dieser Einheiten kommt, wodurch der gesamte Unternehmensablauf unterbrochen werden würde. Neben der vollständigen Abhängigkeit von Sensorik und deren Funktionsweise kommt auch dem Kostenpunkt eine maßgebliche Bedeutung zu. Neue, innovative Technologien, insbesondere solche, welche einer Reihe von Soft- und Hardwareneuerungen bedürfen, stellen einen kostspieligen Ausgabenpunkt für den Betrieb dar.

Daraus lässt sich schließen, dass insbesondere diese hohen Kosten bei der Realisierung von Predictive Maintenance, dafür verantwortlich sind, dass die Implementierung in den Unternehmen vergleichsweise langsam stattfindet. Hinzu kommt, dass sich aufgrund des hohen Aufwands der Einsatz der Strategie erst bei teuren Anlagen und Maschinen rentiert, da hierbei eine Reparatur oder Neuanschaffung mit höheren Ausgaben verbunden ist und dieses Risiko nicht eingegangen werden soll. Im Vergleich sind kleinere Maschinen im Falle eines Ausfalls günstiger zu reparieren oder neu zu beschaffen, weshalb das Risiko eher in Kauf genommen wird.

Durch das im Rahmen der Videoanalyse untersuchte Material erschließen sich weitere Beobachtungen, welche unter Berücksichtigung der Forschungsfragen insbesondere den gegenwärtigen Einsatz von Predictive Maintenance darlegen.

## 4.2 Ergebnisse der Arbeit

Zielsetzung der vorliegenden Arbeit war es, einen Überblick hinsichtlich aktuellen Forschungs- und Einsatzgebieten von Predictive Maintenance zu geben. Neben der Erläuterung aktueller Forschungsgebiete und -themen sollte unter Berücksichtigung der vier zu Beginn dargelegten Forschungsfragen dabei mit Fokus auf die involvierten Branchen und Unternehmen, die beteiligten Unternehmensbereiche und die jeweils überwachten Güter gearbeitet werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass zur Anwendung der Strategie Predictive Maintenance in den kommenden Jahren noch maßgeblicher Untersuchungsbedarf besteht. Die der Arbeit zugrunde liegende Literatur fokussiert sich in diesem Zusammenhang wiederholt auf die eingesetzten Messtechniken, Sensorik und Aktorik sowie Verfahren der Diagnostik und Prognostik. Wenngleich sich durch den Einsatz von intelligenten Techniken eine Vielzahl von Chancen und weiteren Potenzialen offenbaren, so gilt es ebenso die Risiken und die Nachteile kritisch zu hinterfragen. Nicht nur der Kostenaspekt, auch das Thema der IT-Sicherheit wird dabei zunehmend in den Mittelpunkt gerückt. Bereits im privaten Umfeld ist die Datensicherheit im Internet ein Thema zahlreicher Debatten, wohingegen eine Verletzung des Datenschutzes im betrieblichen Kontext noch verheerendere Auswirkungen haben kann.

Durch die in Kapitel 3 beschriebene, durchgeführte, qualitative Videoanalyse der auf YouTube veröffentlichten Clips von Unternehmen aus verschiedenen Branchen und mit unterschiedlichen Perspektiven auf die Anwendung der Strategie lassen sich weitere Feststellungen machen.

Mit dem Fokus auf die zweite Forschungsfrage zu den involvierten Unternehmen ergibt sich durch die Analyse folgende Beobachtung. Die betrachteten Unternehmen waren unterschiedlichen Branchen zugehörig, so kamen beispielsweise IT-Dienstleister und Softwareunternehmen, Managementberatungen, Forschungsinstitute oder Konzerne aus dem Transportwesen darunter vor. Abhängig von der jeweiligen Perspektive findet sich Predictive Maintenance in Unternehmen unterschiedlichster Branchen wieder. Gemessen an der Häufigkeit der Nennungen in den Videos zeigt sich, dass die Strategie überwiegend im produzierenden Gewerbe sowie in Transportunternehmen angewandt wird. Unter den Transportunternehmen finden sich dabei sowohl Unternehmen des Güterverkehrs wie auch des Personenverkehrs, welche sich wiederum gleichermaßen unterteilen in Unternehmen, welche die Güter- und Personenbeförderung mithilfe von Verkehrsmitteln des Straßen-, Luft- oder Schienenverkehrs realisieren.

Die dritte Forschungsfrage hinterfragt den Einsatz von Predictive Maintenance in den unterschiedlichen Unternehmensbereichen. Im Hinblick auf diese Frage ergibt sich durch die Videoanalyse die Beobachtung, dass der Einsatz in Unternehmen vor allem im Bereich der Produktion stattfindet. Jedoch muss bei der Interpretation berücksichtigt werden, dass nur eine sehr geringe Anzahl von kodierten Sequenzen in dem Videomaterial auf die Unternehmensbereiche eingeht, in welchen die Strategie eingesetzt wird. Dadurch erweist sich die Analyse im Hinblick auf diesen Aspekt als nicht repräsentativ. Unter Berücksichtigung der weiteren Forschungs- und Analyseergebnisse erscheint die vorwiegende Anwendung in der Produktion eines jeweiligen Unternehmens jedoch als sehr wahrscheinlich.

Mit der vierten Forschungsfrage soll die Frage nach den überwachten Gütern und Produkten beantwortet werden. Dabei wurde ein Einsatz von Predictive Maintenance insbesondere zur Überwachung von Fahrzeugen und Transportmitteln unterschiedlichster Art festgestellt. Auch Produktionsanlagen werden, wie aus den vorherigen Beobachtungen zu erwarten war, vergleichsweise häufig mithilfe der Strategie gewartet. Im Gegensatz dazu werden Güter aus anderen Bereichen, wie beispielsweise Rohre von Versorgungsbetrieben selten mithilfe von Predictive Maintenance überwacht.

Generell erfolgt der Einsatz von Predictive Maintenance häufig an solchen Gütern, welche im Unternehmensablauf eine Schlüsselrolle einnehmen, so wie beispielsweise ein Lastkraftwagen maßgeblich den Ablauf und Erfolg in einer Spedition bestimmen kann, oder Schwermaschinen im Rahmen einer reibungslosen Montage und Produktion genutzt werden. Durch einen Ausfall dieser bereits sehr teuren Maschinerie würden hohe indirekte Instandhaltungskosten entstehen, weshalb das Management lieber in eine sichere Alternative investiert, obwohl diese zunächst eventuell sehr kostspielig erscheint. Wünschenswert wäre ein Vergleich der Ergebnisse der Videoanalyse mit weiteren kleinen und mittelständischen Unternehmen. Da kleineren Firmen in der Regel nur begrenzte Mittel zu Marketingzwecken zur Verfügung stehen und diese selten in aufwändige Videoproduktionen investiert werden, sind diese im betrachteten Videomaterial kaum vertreten. Daher kann keine Aussage darüber getroffen werden, ob sich die Art und Weise der Instandhaltung in Großunternehmen von kleinen und mittelständischen Unternehmen ggf. voneinander unterscheidet.

Insgesamt lässt sich jedoch feststellen, dass Predictive Maintenance bisher viel positive Resonanz erfahren hat und zunehmend im betrieblichen Kontext angewandt wird.

### 4.3 Ausblick

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführte qualitative Videoanalyse bietet einen grundlegenden Überblick über Einsatzmöglichkeiten der Instandhaltungsstrategie Predictive Maintenance. Dabei wurden die involvierten Branchen und Unternehmen sowie Unternehmensbereiche betrachtet, in denen die Strategie angewandt, sowie die jeweils überwachten Güter.

Zukünftig wird Predictive Maintenance weitere Aufmerksamkeit erfahren und es liegt nahe, dass der Anteil der Unternehmen, welche mithilfe von vorausschauender Technik arbeiten, stetig wächst. Durch voraussichtlich geringere Preise im Bereich der Messtechniken steigt die Wahrscheinlichkeit, dass eine Vielzahl von Geräten und Maschinen in naher Zukunft miteinander vernetzt sein werden und somit der Einsatz der Strategie in steigendem Maße realisiert wird.

Auch im privaten Umfeld werden die Auswirkungen der Digitalisierung deutlich unter Betrachtung der zunehmenden Präsenz von Smarten Geräten. Smart TV, Smartwatch oder Smartphone sind Innovationen der letzten Jahre, die mittlerweile in der Mehrzahl der Privathaushalte angekommen sind. Haushaltsgeräte, wie beispielsweise Kühlschränke, werden mittlerweile mit einer eingebauten Internetverbindung geliefert und nutzen die Vorzüge der Konnektivität. Angesichts dieser Entwicklung liegt es nahe, dass Predictive Maintenance hier ebenfalls zum Einsatz kommt. Dabei sollte jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass die Sensorik auch Ausfällen und Störungen unterliegen kann. Ebenso können die Geräte manipuliert werden um dem Verbraucher fälschlicherweise zu signalisieren, dass es zu einem Ausfall kommen wird, um dadurch den Willen zu einer Ersatzinvestition zu begünstigen. Der Einsatz im privaten Umfeld ist daher kritisch zu betrachten.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Anwendung von Predictive Maintenance viele Vorteile bietet, bisher jedoch nicht ausreichend Erfahrungswerte vorhanden sind um den langfristigen Einsatz und die Eignung für unterschiedliche Betrachtungseinheiten zulänglich zu beurteilen. Unter Berücksichtigung der zunehmend rasanten Entwicklungen wird in den kommenden Jahren aller Wahrscheinlichkeit nach ein Anstieg der Anwendung, auch in weiteren Branchen, zu verzeichnen sein. Durch die Mehrzahl an Erfahrungswerten wird es darauf basierend möglich sein weitere Aussagen hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten zu geben.

## 5 Literatur- und Quellenverzeichnis

### Literatur

- Ahmad, R.; Kamaruddin S. (2012). *An overview of time-based and condition-based maintenance industrial application*. Computers & Industrial Engineering, 63, 135-149.
- Alcalde Rasch, A. (2000). *Erfolgspotenzial Instandhaltung: theoretische Untersuchung und Entwurf eines ganzheitlichen Instandhaltungsmanagements*. Berlin: Erich Schmidt Verlag.
- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.) DIN EN 13306:2001-09 (2001). *Begriffe der Instandhaltung. Dreisprachige Fassung*.
- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.) DIN 31051:2003-06 (2003). *Grundlagen der Instandhaltung*.
- Eckert, C. (2017). *Cyber-Sicherheit in Industrie 4.0*. In: Reinhart, G. (Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik*. München: Carl Hanser Verlag, 111-136.
- Englert, C. J. (2014). *Do It Yourself – Die hermeneutisch-wissenssoziologische Videoanalyse in praktischer Anwendung*. In: Moritz, C. (Hrsg.): *Transkription von Video- und Filmdaten in der Qualitativen Sozialforschung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Verlag, 73-102.
- Fumeo, E.; Oneto, L.; Anguita, D. (2015). *Condition Based Maintenance in Railway Transportation Systems Based on Big Data Streaming Analysis*. *Procedia Computer Science*, 53, 437-446.
- Hänisch, T. (2017). *Grundlagen Industrie 4.0*. In: Andelfinger, V. P.; Hänisch, T. (Hrsg.): *Industrie 4.0. Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Verlag, 9-31.
- Hänisch, T.; Rogge, S. (2017). *IT-Sicherheit in der Industrie 4.0*. In: Andelfinger, V. P.; Hänisch, T. (Hrsg.): *Industrie 4.0. Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Verlag, 91-98.
- Hashemian, H.M.; Bean, W.C. (2011). *State-of-the-Art Predictive Maintenance Techniques*. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 60 (10), 3480-3492.
- Heller, T.; Prasse, C. (2018). *Total Productive Management - ganzheitlich, Einführung in der Praxis*. Berlin: Springer Vieweg.

- Hoppenstedt, B.; Pryss, R.; Treß, A.; Biechele, B.; Reichert, M. (2017). *Datengetriebene Module für Predictive Maintenance. Betrachtung verschiedener Module für eine datengetriebene, vorausschauende Wartung*. *productivITy*, 22, 21-23.
- Jardine, A. K. S.; Lin, D.; Banjevic, D. (2005). *A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance*. *Mechanical System and Signal Processing*, 20, 1483-1510.
- Krüger, J.; Vick, A.; Chemnitz, M.; Rosenstrauch, M.; Hügler, J.; Fechteler, M.; Blankenburg, M. (2017). *Daten, Informationen und Wissen in Industrie 4.0*. In: Reinhart, G. (Hrsg.): *Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik*. München: Carl Hanser Verlag, 89-110.
- Leidinger, B. (2014). *Werteorientierte Instandhaltung. Kosten senken, Verfügbarkeit erhalten*. Wiesbaden: Springer Gabler Verlag.
- Matzkovits, J.; Saumer, S.; Steinbach, F.; Zielke, M.; Seitz, J. (2017). *Predictive Maintenance – Integration und Kommunikation im Automobilsektor*. In: Andelfinger, V. P.; Hänisch, T. (Hrsg.): *Industrie 4.0. Wie cyber-physische Systeme die Arbeitswelt verändern*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Verlag, 83-89.
- Mobley, R. K. (2002): *An Introduction to Predictive Maintenance*. 2. Auflage. Oxford: Butterworth-Heinemann Publications.
- Pawellek, G. (2016). *Integrierte Instandhaltung und Ersatzteillogistik: Vorgehensweise, Methoden, Tools*. 2. Auflage, Berlin: Springer Verlag.
- Peng, Y.; Dong, M.; Zuo, M. J. (2010). *Current status of machine prognostics in condition-based maintenance: a review*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 50 (1), 297-313. London: Springer Verlag.
- Reichert, J.; Englert, C. J. (2011). *Einführung in die qualitative Videoanalyse. Eine hermeneutisch-wissens-soziologische Fallanalyse*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Reinhart, G. (2017). *Handbuch Industrie 4.0. Geschäftsmodelle, Prozesse, Technik*. München: Carl Hanser Verlag.
- Saldana, J. (2009). *The Coding Manual for Qualitative Researchers*. London: SAGE Publications Ltd.
- Scheffer, C.; Girdhar, P. (2004). *Practical machinery vibration analysis and predictive maintenance*. Amsterdam: Elsevier Ltd.

- Schenk, M. (2010). *Instandhaltung technischer Systeme: Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs*. Berlin: Springer Verlag.
- Schröder, W. (2010). *Ganzheitliches Instandhaltungsmanagement. Aufbau, Ausgestaltung und Bewertung*. Wiesbaden: GWV Fachverlage.
- Schütze, A.; Helwig, N. (2017). *Sensorik und Messtechnik für die Industrie 4.0*. tm – Technisches Messen, 84 (5), 310-319.
- Seehaus, C. (2016). *Video-Marketing mit YouTube: Video-Kampagnen strategisch planen und erfolgreich managen*. Wiesbaden – Springer Fachmedien Verlag.
- Shin, J.-H.; Jun, H.-B. (2015). *On condition based maintenance policy*. Journal of Computational Design and Engineering, 2, 119-127.
- Spencer Jr., B.F.; Ruiz-Sandoval, M. E.; Kurata, N. (2004). *Smart sensing technology: opportunities and challenges*. Structural Control and Health Monitoring, 11, 349-368.
- Strübing, J. (2013). *Qualitative Sozialforschung. Eine komprimierte Einführung für Studierende*. München: Oldenburg Verlag.
- Swanson, L. (2001). *Linking maintenance strategies to performance*. International Journal of Production Economics, 70, 237-244.
- Tuma R.; Schnettler, B. (2014). *Videographie*. In: Baur, N.; Blasius, J. (Hrsg.): *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Verlag, 875-886.
- Weißbach, A. (2017). *Professionelles Instandhaltungsmanagement. Strategie – Organisation – Kooperation*. Berlin: Erich Schmidt Verlag.

## Internetquellen

- AirFrance Industries KLM Engineering & Maintenance (2017). *PROGNOS - Predictive Maintenance by AFI KLM E&M* [YouTube-Video], veröffentlicht am 03. Oktober, online unter: [https://www.youtube.com/watch?v=KUNLPt\\_t1-M](https://www.youtube.com/watch?v=KUNLPt_t1-M), Zugriff: 31.01.2018.
- Arnold, H. (2014). *Industrie 4.0: Ohne Sensorsysteme geht nichts*, [Markt & Technik]. Online unter: <http://www.elektroniknet.de/markt-technik/messen-testen/industrie-4-0-ohne-sensorsysteme-geht-nichts-110776.html>, Zugriff: 18.02.2018.
- Atos Group (2017). *Predictive Maintenance for Manufacturing* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 19. Juni, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=QStfd20NH3I>, Zugriff: 31.01.2018.
- Banner Engineering (2015). *Vibration Monitoring & Predictive Maintenance System* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 26. Mai, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=h4yDSTeDMUI>, Zugriff: 31.01.2018.
- Baumüller Gruppe (2016). *BAUDIS IoT – Das Predictive Maintenance System* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 05. Dezember, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=nr4Q7W-nMXw>, Zugriff: 03.02.2018.
- Bentley Transportation Asset Management (2016). *Rail Predictive Maintenance* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 08. September, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=Z-1V3mdZBJU>, Zugriff: 31.01.2018.
- BIBA – Bremer Institut für Produktion und Logistik (2015). *Instandhaltung 4.0 – preagierende Instandhaltung* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 23. April, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=TVBNKh8Y4cY>, Zugriff: 31.01.2018.
- Bosch Rexroth Global (2017). *Minimize your downtime: Predictive Maintenance* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 14. April, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=aLZEJa3WX40>, Zugriff: 31.01.2018.
- Bosch Software Innovations (2017). *How to benefit from predictive maintenance* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 06. April, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=BzHg11QmEwI>, Zugriff: 31.01.2018.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (2014). *Die neue Hightech-Strategie. Innovationen für Deutschland*. Online unter:

- <https://www.bmbf.de/de/die-neue-hightech-strategie-86.html> Zugriff: 02.02.2018.
- Capgemini Group (2017). *Predictive Maintenance and Worker Management on Azure* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 22. Dezember, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=v6v7dO2FMdQ>, Zugriff: 31.01.2018.
- Cloudera, Inc. (2018). *Navistar: Reducing Maintenance Costs up to 40 percent for Connected Vehicles* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 15. Februar, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=xJL5wusN-0I>, Zugriff: 19.02.2018.
- DB Engineering & Consulting (2016). *Predictive Maintenance, Investition in die Eisenbahn für die Welt von morgen*. Online unter: [https://www.db-engineering-consulting.de/db-ec-de/consulting/digital\\_solutions-1349526](https://www.db-engineering-consulting.de/db-ec-de/consulting/digital_solutions-1349526), Zugriff: 14.02.2018.
- Deutsche Bahn AG (2014). *Faktenblatt – Instandhaltung bei der DB Netz AG*. Online unter: [https://www.deutschebahn.com/file/pr-duesseldorf-de/8597574/LLRa-a5dN1rkKfynNLPaMw4JctU/8604084/data/Faktenblatt\\_Instandhaltung.pdf](https://www.deutschebahn.com/file/pr-duesseldorf-de/8597574/LLRa-a5dN1rkKfynNLPaMw4JctU/8604084/data/Faktenblatt_Instandhaltung.pdf), Zugriff: 12.02.2018.
- Deutsche Bahn Konzern (2016). *Predictive Maintenance by DB Engineering & Maintenance* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 30. Dezember, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=zVJ-Z66wH7I>, Zugriff: 31.01.2018.
- Deutsche Telekom (2016). *Predictive Maintenance* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 26. August, online unter: [https://www.youtube.com/watch?v=uRWYJD\\_3yYE](https://www.youtube.com/watch?v=uRWYJD_3yYE), Zugriff: 03.02.2018.
- Eckerson, W. W. (2006). *Predictive Analytics – Extending the Value of Your Data Warehousing Investment*. TDWI Best Practices Report. Online unter: <https://tdwi.org/research/2007/01/bpr-1q-predictive-analytics.aspx>, Zugriff: 12.02.2018.
- Emerson Automation Solutions (2017). *Motor and pump monitoring: Practical predictive maintenance in action* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 04. April, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=BoFToRcfL0k>, Zugriff: 31.01.2018.
- eoda GmbH (2014). *Predictive Maintenance (mit R). Leistung immer und überall dank vorausschauender Wartung basierend auf statistischen Modellen*. Online unter: [https://www.eoda.de/files/Use\\_Case\\_Seiten/Whitepaper/Predictive\\_Maintenance\\_mit\\_R.pdf](https://www.eoda.de/files/Use_Case_Seiten/Whitepaper/Predictive_Maintenance_mit_R.pdf), Zugriff: 11.02.2018.

- FlukeEurope (2014). *Performing predictive maintenance with the Fluke Connect™ app* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 04. Juni, online unter: [https://www.youtube.com/watch?v=5yF6Fc46\\_o8](https://www.youtube.com/watch?v=5yF6Fc46_o8), Zugriff: 03.02.2018.
- Hannover Messe (2016). *Predictive Maintenance: Die intelligente Wartung von Maschinen* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 27. April, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=gHaTpUs0qgk>, Zugriff: 31.01.2018.
- HCL Technologies (2017). *Predictive Maintenance Solution by IoT WoRKS* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 02. November, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=FqxOLEog50w>, Zugriff: 31.01.2018.
- HitachiConsultingTV (2017). *Smart Trains for a Smart Future – Predictive Maintenance for the Rail Industry* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 25. April, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=aBq1CFgNkZI>, Zugriff: 31.01.2018.
- IBM (2012a). *Predictive Maintenance: How to plan for the unplannable* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 24. August, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=A75d37ZK2sQ>, Zugriff: 31.01.2018.
- IBM (2012b). *Predictive Maintenance: From fixing to predicting problems* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 06. September, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=mlaXbGuMV00>, Zugriff: 31.01.2018.
- IBM (2013). *Predictive Maintenance for Aircraft Maintenance* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 12. November, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=015kbmn9uss>, Zugriff: 31.01.2018.
- IBM. (2014). *Predictive maintenance benefits for the airline industry*. IBM Sales and Distribution, online unter: <https://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?htmlfid=TTE03004USEN>, Zugriff: 31.01.2018.
- IBM. (2015a). *Predictive maintenance benefits for the freight logistics industry*. IBM Sales and Distribution, online unter: <https://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?htmlfid=TTE03009USEN>, Zugriff: 31.01.2018.
- IBM. (2015b). *Predictive maintenance benefits for the railway industry*. IBM Sales and Distribution, online unter: <https://www-01.ibm.com/common/ssi/cgi-bin/ssialias?htmlfid=TTE03007USEN>, Zugriff: 31.01.2018.
- IBM Analytics (2014). *IBM Predictive Quality Maintenance Helps Predict the Future* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 11. Juli, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=4vhbz7Lu9Hw>, Zugriff: 03.02.2018.

- Kalinin, S. V.; Sumpter, B. G.; Archibald, R. K. (2015). *Big, Deep and Smart Data: Guiding Materials Design through Imaging*. Perspective for Nature Materials, online unter: <https://www.osti.gov/servlets/purl/1393877>, Zugriff: 29.01.2018.
- KPIT (2017). *Vehicle Diagnostics + Predictive Analytics for the automobile industry* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 21. März, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=nS3TAUDzNbk>, Zugriff: 03.02.2018.
- LuegTV (2017). *Mercedes-Benz Uptime für Lkw* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 04. August, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=7yvx5smzE7M>, Zugriff: 03.02.2018.
- Lufthansa Technik Group (2016). *Condition Analytics* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 19. Oktober, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=cQgSDOC-UxA>, Zugriff: 31.01.2018.
- Lünendonk & Hossenfelder GmbH (2017). *Lünendonk® -Liste 2017: Führende Industrieservice Unternehmen in Deutschland*, online unter: <http://lunenendonk-shop.de/Luenendonk-Listen/Luenendonk-Liste-2017-Fuehrende-Industrieservice-Unternehmen-in-Deutschland.html>, Zugriff: 25.01.2018
- McKinsey & Company (2016). *Predictive maintenance solutions through advanced analytics* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 20. Oktober, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=YxCU3x-bJ1A>, Zugriff: 31.01.2018.
- Microsoft (2017). *Predictive Maintenance – Identify manufacturing equipment failures before they happen* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 11. April, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=DmRVAiqTx8I>, Zugriff: 31.01.2018.
- Oracle (2017). *End-to-End Predictive Maintenance Using Big Data* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 06. Januar, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=WHKr2V6T-ys>, Zugriff: 31.01.2018.
- Orianda Solutions AG (2016). *Predictive Maintenance @OriandaDE* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 01. März, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=RrC09K9GWHg>. Zugriff: 31.01.2018.
- Preteckt (2017). *Preteckt: Predictive Maintenance* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 13. Oktober, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=zQVq4rFcrU>, Zugriff: 03.02.2018.
- PwC (2017). *PwC uses predictive maintenance to help airlines and other sectors avoid costs* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 13. Juli, online unter: [https://www.youtube.com/watch?v=oCsXOj\\_tu0Q](https://www.youtube.com/watch?v=oCsXOj_tu0Q), Zugriff: 03.02.2018.

- relayr (2017). *What is Predictive Maintenance and How Can We Harness It?* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 22. Juni, online unter: [https://www.youtube.com/watch?v=ACH1uqdhU\\_o](https://www.youtube.com/watch?v=ACH1uqdhU_o), Zugriff: 31.01.2018.
- SAP (2017). *SAP Process Automation & SAP Predictive Maintenance (English)* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 28. März, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=2qpiUUfQkL4>, Zugriff: 31.01.2018.
- SAP Technology (2016). *SAP Predictive Maintenance and Service* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 28. September, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=2qpiUUfQkL4>, Zugriff: 31.01.2018.
- SAS Software (2016). *The Connected Vehicle: How Analytics Drives Telematics Value* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 08. März, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=EhYUNn3ltUo>, Zugriff: 03.02.2018.
- Schneider-Electric (2015). *Predictive Maintenance Diagnosis Tools* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 14. September, online unter: [https://www.youtube.com/watch?v=kQSTz\\_qozXo](https://www.youtube.com/watch?v=kQSTz_qozXo), Zugriff: 31.01.2018.
- SDG Group (2015). *Predictive Maintenance* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 12. Oktober, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=EW0YXcRehL4>, Zugriff: 03.02.2018
- Sense4Things (2015). *Machine Learning & Predictive Maintenance* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 22. März, online unter <https://www.youtube.com/watch?v=sQ0bI13t4NM> Zugriff: 31.01.2018.
- Siemens (2016). *Effiziente Instandhaltung in der Endmontag bei Audi in Neckarsulm* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 27. Juli, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=4jbwW5TORjU>, Zugriff: 31.01.2018.
- SOFTWARE AG (2015). *IoT Predictive Maintenance from Software AG* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 07. Mai, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=DmRVAiqTx8I>, Zugriff: 31.01.2018.
- Solutions Factory (2016). *Industrie 4.0 Case – Predictive Maintenance* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 06. Oktober, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=fEAPxetY0Oc>, Zugriff: 03.02.2018.
- Statistica – formerly StatSoft (2013). *StatSoft Solution – Predictive Maintenance* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 19. Juni, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=DzUxOwmHXMQ>, Zugriff: 03.02.2018.

- Statistisches Bundesamt (2008). *Gliederung der Klassifikationen der Wirtschaftszweige, Ausgabe 2008 (WZ 2008)*, online unter: <https://www.destatis.de/DE/Methoden/Klassifikationen/GueterWirtschaftsklassifikationen/Content75/KlassifikationWZ08.html>, Zugriff: 26.01.2018.
- swagelok (2015). *Swagelok uses predictive maintenance for equipment productivity* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 09. September, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=0OOz2KXq--c>, Zugriff: 31.01.2018.
- T-Systems Multimedia Solutions (2016). *Predictive Maintenance – Immer einen Schritt voraus* [YouTube-Video], veröffentlicht am: 11. März, online unter: <https://www.youtube.com/watch?v=dNvfs5GDc6k>, Zugriff: 31.01.2018.
- VERBI GmbH (2018). *Was ist MAXQDA?*, online unter: <https://www.maxqda.de/was-ist-maxqda>, letzter Zugriff: 22.02.2018.
- YouTube LCC (2018). *YouTube-Presseinhalte*, online unter: <https://www.youtube.com/intl/de/yt/about/press/>, Zugriff: 28.01.2018.