

# **Analyse verschiedener Verfahren der Predictive Maintenance zur Implementierung in Produktion und Produkten**

## **Masterarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades „Master of Science (M. Sc.)“ im Studiengang Wirtschaftsingenieur der Fakultät für Elektrotechnik und Informatik, Fakultät für Maschinenbau und der Wirtschaftswissenschaftlichen Fakultät der Leibniz Universität Hannover

vorgelegt von

Name: Spardel

■■■■■■■■■■ ■■■■■■■■■■

Vorname: Finn

■ ■■■■■■■■■■

Prüfer: Prof. Dr. M. H. Breitner

Hannover, den 30. September 2019

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	III
Tabellenverzeichnis .....	IV
Abkürzungsverzeichnis .....	V
1 Einleitung .....	1
1.1 Motivation und Relevanz der Thematik .....	1
1.2 Aufbau und Zielsetzung .....	3
2 Grundlagen (Stand der Technik) .....	5
2.1 Informationstechnischer Bereich .....	5
2.1.1 Condition Monitoring .....	5
2.1.2 Digital Twin .....	8
2.1.3 Machine Learning .....	11
2.1.4 Industrie 4.0 .....	15
2.1.5 Big Data .....	18
2.1.6 KDD .....	21
2.1.7 Data Mining .....	23
2.1.8 Neuronale Netzwerke .....	25
2.2 Technischer Bereich .....	26
2.2.1 Sensorik .....	26
2.2.2 Technische Abnutzung .....	30
2.2.3 Instandhaltung .....	32
3 Methodisches Vorgehen .....	36
3.1 Recherche .....	36
3.2 Analyse .....	38
4 Recherche .....	40
4.1 Literaturrecherche .....	40
4.2 Patentrecherche .....	42
5 Literaturanalyse .....	43
5.1 Allgemein .....	43
5.2 Zeitliche Analyse .....	43

5.3 Konzeptmatrix .....	44
5.3.1 Aufbau .....	44
5.3.2 Matrix.....	47
5.3.3 Erkenntnisse.....	49
5.4 Inhaltsanalyse .....	51
5.5 Frequenzanalyse .....	57
6 Patentanalyse.....	61
6.1 Allgemein .....	61
6.2 Zeitliche Analyse .....	61
6.3 Meistzitierte Patente.....	62
6.4 Konzeptmatrix .....	64
6.4.1 Aufbau .....	64
6.4.2 Matrix.....	65
6.4.3 Erkenntnisse.....	68
6.5 Inhaltsanalyse .....	71
6.6 Frequenzanalyse .....	77
7. Gegenüberstellung .....	81
7.1 Vergleich der zeitlichen Analysen .....	81
7.2 Vergleich der Konzeptmatrizen .....	82
7.3 Vergleich der Frequenzanalysen .....	86
8 Diskussion .....	89
9 Limitationen .....	96
10 Implikationen und Ausblick .....	98
11 Fazit.....	100
Literaturverzeichnis .....	VI
Anhang.....	XVII

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation und Relevanz der Thematik

Das Forschungsfeld Predictive Maintenance (PM) besitzt ein enormes Potential, das sich in Zukunft auf Unternehmer und Verbraucher gleichermaßen auswirken wird. Das Potential entfaltet sich in der Möglichkeit, Schäden oder Defekte in Produktionsanlagen oder Endprodukten frühzeitig erkennen zu können. Die Revolution dieser Instandhaltungsstrategie besteht darin die Schäden bereits verhindern zu können, bevor daraus in der Folge ernsthafte Konsequenzen resultieren. Unter solchen Konsequenzen kann es sich bei einer Produktionsanlage, falls der Engpass betroffen sein sollte, um einen mit sehr hohen Kosten verbundenen Produktionsstillstand handeln. Das Predictive Maintenance oder auch die prädiktive Instandhaltung steht für eine Instandhaltungsstrategie, bei der der Anwender in der Lage ist, den Ausfallzeitpunkt eines technischen Systems vorherzusagen, indem mithilfe von Sensoren Zustandsdaten in Echtzeit aufgenommen und überwacht werden. Daraufhin werden diese Daten von Algorithmen verschiedener Auswertungsverfahren analysiert und auf der Basis der so gewonnenen Erkenntnisse die Wartung und Instandsetzung geplant. So kann es in keinem Teil des Systems zu keinem Zeitpunkt während des Betriebs zu einem Defekt aufgrund von regulärer technischer Abnutzung kommen.

Indem die PM Instandhaltungsstrategie verfolgt wird, entstehen für den Industriekunden einige konkrete Vorteile. Die Anlagenverfügbarkeit wird gesteigert, die technische Lebensdauer der Anlage wird optimal ausgenutzt und die Instandsetzungskosten werden reduziert. Mit der Steigerung der Anlagenverfügbarkeit wird eine der wichtigsten Kennzahlen in einem Produktionsunternehmen signifikant verbessert. Von dieser Erhöhung profitiert direkt und indirekt ein Großteil des Unternehmens. So können beispielsweise Kundenaufträge schneller abgewickelt und gerade durch die steigende Einflussnahme der Industrie 4.0 und dem damit verbundenen Customizing eine höhere Flexibilität garantiert werden. Außerdem kann die technische Lebensdauer der Produktionsanlage durch die Kenntnis des Ausfallzeitpunktes berechnet und somit ideal genutzt werden. Damit wird die Wirtschaftlichkeit der Produktion, der Arbeitsvorbereitung und der Instandhaltung enorm gesteigert. Allein durch die bisher zu früh durchgeführten Instandhaltungsmaßnahmen gibt es ein starkes Kostensparpotential, da diese Bauteile womöglich noch einen längeren Zeitraum

einwandfrei funktioniert hätten, sie aber aufgrund des Wissens aus Erfahrungswerten, auf denen die klassische Instandhaltung basiert, ausgetauscht werden müssen. Durch die Kenntnis des Ausfallzeitpunktes kann die Anlage oder das Produkt je nach Risikoaversion des Nutzers oder Betreibers bis zu einem individuell wählbaren Zeitraum vor dem Ausfallzeitpunkt genutzt werden.

Durch die Industrie 4.0 und die fortschreitende Digitalisierung in allen Bereichen, seien es Cyberphysische Systeme (CPS) oder das Internet der Dinge und Dienste (IoT) ist es mittlerweile möglich, ein PM-System in allen Betrieben jeder Größenordnung wirtschaftlich zu betreiben. Des Weiteren ist es aber auch möglich, die PM-Systeme in technische Geräte für den Endverbraucher zu implementieren. Dazu können größere und komplexere technische Geräte wie ein Kraftfahrzeug, aber auch kleinere Geräte wie ein Föhn oder eine Wasserpumpe zählen. Den Möglichkeiten sind in diesem Einsatzgebiet in Zukunft keine Grenze mehr gesetzt.

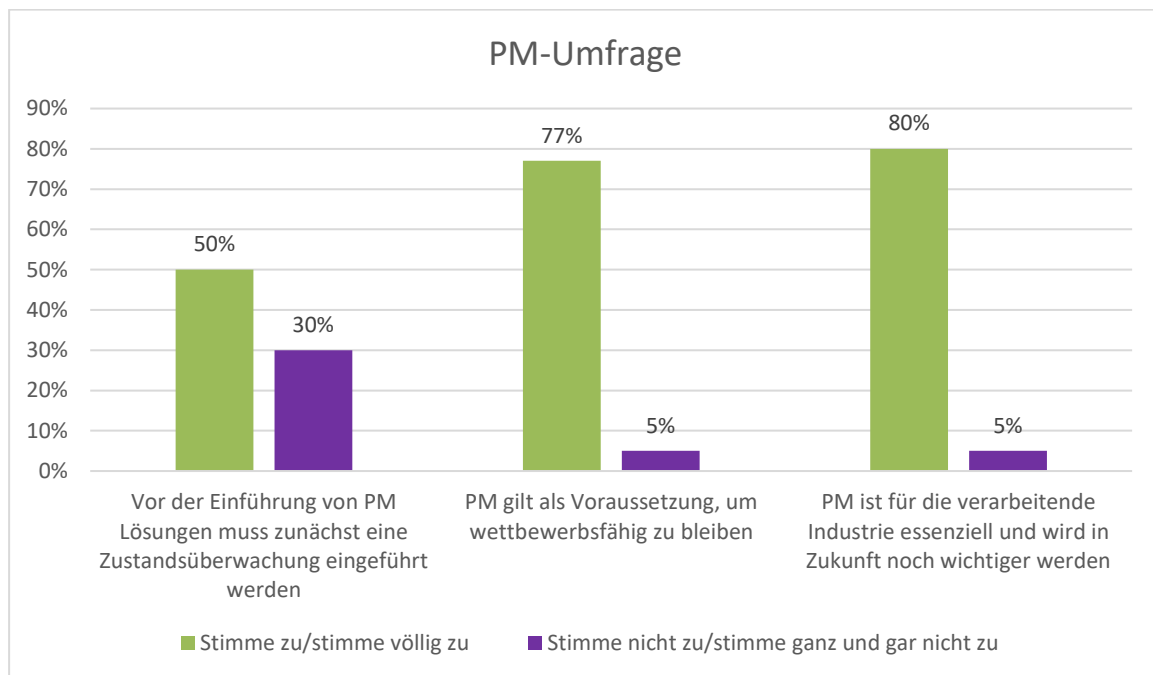


Abbildung 1: PM-Umfrage

(Frenus und T-Systems 2017)

Die Abbildung 1 zeigt eine Umfrage, die 2017 in Westeuropa in der verarbeitenden Industrie bei 288-293 Personen durchgeführt worden ist. Sie verdeutlicht die Relevanz des Themengebietes der PM in dem zweimal etwa 80 % der Befragten angeben, dass PM mittlerweile als Voraussetzung gilt, um in Zukunft wettbewerbsfähig zu bleiben. Zumal die heute schon hohe Relevanz des Themengebietes PM zukünftig noch weiter ansteigen wird.

## 1.2 Aufbau und Zielsetzung

Die Zielsetzung dieser Arbeit besteht darin, mögliche Unterschiede im Bereich PM zwischen der theoretischen Literatur und den praktischen Patentschriften aufzuzeigen. Aus dieser Zielsetzung leitet sich die Forschungsfrage ab:

*Welche Unterschiede und Gemeinsamkeiten bestehen zwischen der theoretischen Literatur und den praktischen Patentschriften im Fachbereich Predictive Maintenance?*

Auf dieser Forschungsfrage basiert der Aufbau der gesamten Arbeit der nun vorgestellt wird:

Zunächst wird im Grundlagenteil das nötige Kontextwissen vermittelt, um im späteren Verlauf der Arbeit den Forschungsprozess und die Forschungsergebnisse nachvollziehen zu können. Die Grundlagen bestehen aus einem Abschnitt, der den informationstechnischen Bereich behandelt und einem Abschnitt, der den technischen Bereich abdeckt. Der informationstechnische Bereich geht hierbei insbesondere auf die Punkte Condition Monitoring, Digital Twin, Machine Learning, Industrie 4.0, Big Data, Knowledge Discovery in Databases (KDD), Data Mining und Neuronale Netzwerke ein. Der technische Bereich besteht aus den Unterkapiteln Sensorik, technische Abnutzung und Instandhaltung. Es folgt eine Erklärung des methodischen Vorgehens dieser Arbeit, indem die theoretischen Hintergründe der hier verwendeten Forschungsmethodik erläutert werden. Anschließend beginnt die Umsetzung der Forschungsmethodik aufgeteilt in die Kapitel Recherche, Literaturanalyse, Patentanalyse und Gegenüberstellung. Die Recherche ist zweigeteilt und besteht aus einer Literatur- und einer Patentrecherche. Im Anschluss daran erfolgt, basierend auf den Recherchen, die Literatur- und Patentanalyse. Beide Analysen bestehen aus einer zeitlichen Analyse, einer Konzeptmatrix, einer

Inhaltsanalyse und einer Frequenzanalyse. Die Patente werden zusätzlich nach der Zitationshäufigkeit untersucht. Nach der Durchführung der beiden Analysen folgt die Gegenüberstellung als zentraler Vergleich der beiden Bereiche. Mögliche Unterschiede und Gemeinsamkeiten werden herausgearbeitet und nach möglichen Ursachen geforscht. Danach erfolgt noch eine abschließende Diskussion der Ergebnisse aus der Gegenüberstellung. Anschließend folgen die Limitationen, die Implikationen und der Ausblick sowie das abschließende Fazit dieser Arbeit.

## 11 Fazit

Diese Arbeit hat sich mit der Fragestellung beschäftigt, welche Unterschiede und Gemeinsamkeiten es zwischen den praktischen Patentschriften und der theoretischen Literatur im Forschungsfeld PM gibt. Dafür wurden zunächst einige Grundlagen definiert, um dem Leser das Thema etwas zugänglicher zu gestalten. Anschließend wurde die Theorie der Forschung im methodischen Teil definiert und in den folgenden Kapiteln umgesetzt. Nach der erfolgreichen Recherche wurden die Literatur und die Patente jeweils mithilfe verschiedener Kriterien und Methoden sowie Verfahren analysiert und daraufhin beide Ergebnisse miteinander verglichen, in der Diskussion bewertet und eingeordnet.

Insgesamt ist bei der Einordnung der Literatur und der Patente durch die Konzeptmatrix in die verschiedenen Kategorien wie Machine Learning in die einzelnen Phasen des PM-Prozesses, der auf dem KDD-Prozess beruht, festzuhalten, dass es sich hierbei um ein nützliches qualitatives Analyseinstrument handelt, das aufzeigt, welche Bereiche des PM-Prozesses von der jeweiligen Literatur oder dem Patent behandelt werden. Außerdem ist es möglich zu sehen, welche Datenauswertungsmethode zum Einsatz kommt. Alles in allem ist dieses Analyseverfahren sehr gut geeignet, einen großen Teil an Quellen realistisch abzubilden und in einen idealen vergleichbaren Prozess zu überführen.

Die endgültige Beantwortung der Forschungsfrage besagt, dass es im Forschungsfeld Predictive Maintenance sowohl Gemeinsamkeiten als auch Unterschiede zwischen den Bereichen der theoretischen Literatur und den praktischen Patenten gibt. So zeigt der Trend der letzten zehn Jahre, dass auch in den kommenden Jahren mit steigenden Publikationen beider Bereiche im Forschungsfeld PM zu rechnen ist. Somit überwiegen in diesem Analyseinstrument die Gemeinsamkeiten der beiden untersuchten Bereiche. Die Auswertung des Vergleiches der qualitativen Analysen hat dagegen ergeben, dass es zwischen den beiden Bereichen ein gemischtes Bild im Hinblick auf Unterschiede und Gemeinsamkeiten gibt. So überwiegen bei zwei der fünf Prozessschritte die Gemeinsamkeiten zwischen der Literatur und den Patenten. Es handelt sich dabei um die Schritte Datenaufnahme und Datenauswertung. Während des Prozessschrittes der Datenaufnahme werden sowohl in der Literatur als auch in den Patenten Zustandsdaten mittels Sensoren aufgenommen. Zur Auswertung der so gewonnenen Daten kommen in beiden Bereichen größtenteils die Technologien Data Mining und Machine Learning zum Einsatz. Dagegen bestehen während der drei Prozessschritte Datenauswahl und -vorverarbeitung, Datentransformation sowie



Informationsdarstellung und -nutzung mehr Unterschiede als Gemeinsamkeiten zwischen der Literatur und den Patenten. Dies drückt sich hauptsächlich durch verschiedene Prioritäten des Einsatzes bestimmter Technologien, wie beispielsweise das CBM oder der Visualisierung aus. Ein Ergebnis ist, dass Unterschiede in den Kategorien Datenbanken und CBM zwischen den Patenten und der Literatur in Bezug auf die Häufigkeit des Vorkommens in den untersuchten Quellen bestehen. Interessanterweise genießen diese Technologien in den Patenten nach der qualitativen Inhaltsanalyse der Konzeptmatrizen eine höhere Priorität als in der Literatur, obwohl die Zustandsüberwachung unter allen Experten als essentielles Verfahren der prädiktiven Instandhaltung gilt.

Die quantitative Methode der Frequenzanalyse hat ebenfalls ergeben, dass es sowohl Unterschiede als auch Gemeinsamkeiten im Forschungsfeld PM zwischen der Literatur und den Patenten gibt. In den drei Kategorien Condition Monitoring, Machine Learning und Neuronale Netze überwiegen die Gemeinsamkeiten. Dagegen gibt es in den Kategorien Sensor, Data Mining und Predictive Maintenance mehr Unterschiede als Gemeinsamkeiten in der Häufigkeit des Vorkommens in der Literatur und den Patenten. Abschließend ist somit zu sagen, dass weder Unterschiede noch Gemeinsamkeiten zwischen den Bereichen der Literatur und den Patenten im Forschungsfeld Predictive Maintenance dominieren. Je nach Art der Untersuchung und Auswahl der Quellen oder des Zeitraumes, dominieren die Unterschiede oder die Gemeinsamkeiten etwas mehr oder weniger.