



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

## Diplomarbeit

# Erarbeitung eines Konzeptes für die OEE- Optimierung am Beispiel eines Bearbeitungs- zentrums in der Schienenfahrzeugindustrie

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

## Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl. Wirtsch.-Ing. Prof. eh. Dr. h.c. Wilfried Sihn**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung)

**Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Florian Öhlinger**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Betriebstechnik und Systemplanung,  
Fraunhofer Austria Research GmbH)

**MEng Guido Baumanns**

(Siemens Mobility Austria GmbH, Head of Industrial Engineering)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Michael Holzmann**

01525045 (066 482)



Wien, im September 2021

---

Michael Holzmann



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

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

## **Diplomarbeit**

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

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

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

Wien, im September 2021

---

Michael Holzmann

# Danksagung

Ich bedanke mich an erster Stelle bei meiner Freundin Marlies für ihre mentale Unterstützung während der gesamten Diplomarbeit.

Meinen außerordentlichen Dank richte ich an meine Eltern, welche mir mein Studium ermöglicht haben und während meines Studiums immer zur Seite gestanden sind.

Mein herzlichster Dank geht an mein Betreuer team im Unternehmen Siemens Mobility Austria GmbH an die Herrn Guido Baumanns, Alexander Sunk und Andreas Wieger für die engagierte Betreuung und fachliche sowie organisatorische Unterstützung bei meiner Diplomarbeit.

Mein großer Dank gilt meinem Betreuer Herr Florian Öhlinger vom Fraunhofer Austria Research GmbH für die lehrreichen Gespräche, verbunden mit dem kritischen und konstruktiven Feedback.

Ganz besonders bedanken möchte ich mich bei Herr Gernot Balluch und Herr Hakan Cihangir für die kompetente und hilfreiche Betreuung am Shopfloor.

Zum Abschluss widme ich ein großes Dankeschön an Marlies, Ingrid und Ute für das Korrekturlesen der Arbeit.

## Gender-Hinweis

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird in dieser Diplomarbeit bei Personenbezeichnungen und personenbezogenen Hauptwörtern die männliche Form verwendet. Es wird an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die ausschließliche Verwendung der männlichen Form geschlechtsunabhängig verstanden werden soll.

## Kurzfassung

Viele Fertigungsunternehmen sind aufgrund des intensiven und globalen Wettbewerbs bestrebt ihre Produktivität ständig zu optimieren und die Kosten zu senken, um ihre Wettbewerbsfähigkeit beizubehalten bzw. zu verbessern. Ein signifikanter Anteil der anfallenden Kosten ist direkt den Instandhaltungskosten zuordenbar. Das Total Productive Maintenance (TPM) ist ein hervorragendes Werkzeug, um Unternehmen im Bereich der Instandhaltung konkurrenzfähig zu machen. Die Overall Equipment Effectiveness (OEE) ist eine bewährte Kennzahl aus dem TPM-Konzept und dient zur Messung der Produktivität einer Anlage, indem mögliche Verluste aufdeckt und Potenziale zur Verbesserung aufzeigt werden.

Einzelne Unternehmen verfügen in der heutigen Zeit nach wie vor über eine fehlende Infrastruktur zur Erfassung von Maschinendaten oder invalid berechnete OEE-Kennzahlen. Das Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung eines universal anwendbaren wissenschaftlich fundierten Konzeptes zur Einführung und Optimierung einer validen OEE in Fertigungsunternehmen.

Vor dem Beginn der Erarbeitung eines Konzeptes wurde eine ausführliche Literaturrecherche in die Themenbereiche Lean Production, TPM, OEE, Smart Manufacturing und State of the Art-Ansätze für die gegebenen und ähnliche Problemstellungen durchgeführt. Auf der Grundlage des erworbenen Wissens erfolgte die Erstellung eines Konzeptes für die Einführung und Optimierung der OEE. Das theoretische Konzept wird im Anschluss für ein Pilotprojekt am Standort Wien Leberstraße, des Unternehmens Siemens Mobility Austria GmbH, am Beispiel eines Bearbeitungszentrum in der Schienenfahrzeugindustrie, angewandt.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass für die Berechnung einer validen OEE mehrere Rahmenbedingungen erfüllt werden müssen und dass erhöhte Aufmerksamkeit auf mögliche Problemfelder gelegt werden sollte. Als technische und organisatorische Maßnahmen zur Steigerung der OEE erwiesen sich die bekannten Methoden und Werkzeuge aus der Theorie der Lean Production und des TPMs als besonders effizient. Die Stillstands-Musteranalyse und die Effektivitätsanalyse von NC-Programmen dienen als optimale Ergänzung zu den klassischen Methoden und Werkzeugen zur Identifikation von Verlusten. Die Umsetzung der ersten Verbesserungsmaßnahmen am Pilotprojekt haben einen Anstieg der durchschnittlichen OEE von 43,99% auf 51,92% verzeichnet.

## Abstract

Due to intense and global competition, many manufacturing companies are constantly striving to optimize their productivity and reduce costs to maintain their competitiveness. A significant portion of the costs incurred is directly attributable to maintenance costs. Total Productive Maintenance (TPM) is an excellent tool to make companies competitive in the maintenance field. Overall Equipment Effectiveness (OEE) is a proven metric from the TPM concept. This concept is used to measure the productivity of a plant by identifying possible losses and showing potential for improvement.

Unfortunately, individual companies today lack the infrastructure to collect machine data or invalidly calculated OEE metrics. This paper aims to create a universally applicable concept for the introduction and optimization of a valid OEE.

Before starting the development of a concept, extensive literature research into the topics of Lean Production, TPM, OEE, Smart Manufacturing and State of the Art approaches for the given and similar problems were conducted. Based on the acquired knowledge, a concept was developed for the introduction and optimization of OEE. The theoretical concept is then applied to a pilot project at the Vienna site of Siemens Mobility Austria GmbH. This concept is used for a machining center in the rail vehicle industry.

The main results of this paper show that for the calculation of a valid OEE several basic conditions have to be fulfilled. It is also clear that more attention should be paid to possible problem areas. As technical and organizational measures to increase OEE, the well-known methods and tools from the theory of lean production and TPM proved to be particularly efficient. The downtime pattern analysis and the effectiveness analysis of NC programs serve as an optimal supplement to the classic methods and tools for identifying losses. The implementation of the first improvement measures on the pilot project has recorded an increase in the average OEE from 43.99% to 51.92%.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung und Motivation</b>	<b>1</b>
1.1	Problemstellung / Forschungsfragen	1
1.2	Lösungsansatz / Arbeitspakete	3
1.3	Aufbau und Struktur der Arbeit	3
<b>2</b>	<b>Theoretische Grundlagen</b>	<b>7</b>
2.1	Lean Production	7
2.1.1	Arten der Verschwendungen	8
2.1.2	5S-Methode	11
2.1.3	Ursache-Wirkungs-Diagramm (Ishikawa-Diagramm)	13
2.1.4	Rüstzeitminimierung	15
2.1.5	Gemba-Kaizen	16
2.1.6	Pareto-Prinzip	17
2.1.7	Poka Yoke	18
2.1.8	Six Sigma	19
2.1.9	Mehrmaschinenbedienung	21
2.2	Total Productive Maintenance	23
2.2.1	Definition der Total Productive Maintenance	23
2.2.2	Entwicklung zum Total Productive Maintenance	24
2.2.3	Prinzipien der Total Productive Maintenance	26
2.2.4	Ziele der Total Productive Maintenance	28
2.2.5	Die acht Säulen des Total Productive Maintenance	29
2.2.6	Die Werkzeuge des Total Productive Maintenance	30
2.3	Overall Equipment Effectiveness	30
2.3.1	Entwicklung zur OEE	30
2.3.2	Berechnung der OEE	31
2.3.3	Weiterentwicklungen der OEE	35
2.3.4	Priorität der Datenaufzeichnung	39
2.3.5	Schlussfolgerung zur OEE	39
2.4	Smart Manufacturing	40
2.4.1	Entwicklung zum Smart Manufacturing	40

2.4.2	Aufgaben und Ziele des Smart Manufacturing	40
2.4.3	Internet of Things	41
<b>3</b>	<b>State of the Art Ansätze für die Optimierung der OEE</b>	<b>43</b>
3.1	Allgemeine Maßnahmen zur Erhöhung der OEE	43
3.2	Existierender Lösungsansatz für die Problemstellung	46
3.3	Weitere Lösungsansätze für spezifische Problemstellungen	48
3.3.1	Verbesserung der OEE durch SMED-Implementierung	48
3.3.2	Verbesserung der OEE in Klein- und Mittelbetriebe durch Mobile Maintenance	49
3.3.3	Reduzierung der Verluste durch Kobetsu Kaizen	50
3.3.4	Verbesserung der OEE durch statische Prozesslenkung und autonome Instandhaltung	50
<b>4</b>	<b>Erstellung eines Konzeptes für die Erhebung und Optimierung der OEE</b>	<b>53</b>
4.1	Überlegungen zur OEE-Berechnung mit dem Manufacturing Executions System	53
4.1.1	Herleitung von Problemfelder bei der Nutzung eines MES	53
4.1.2	Diskussion und Empfehlungen bei der Nutzung des MES	54
4.2	Die Vorgehensweise des Konzeptes	57
4.2.1	Grundlegende Voraussetzungen	60
4.2.2	Erhebung der OEE	60
4.2.3	Analyse der OEE	61
4.2.4	Erstellung von Verbesserungsmaßnahmen	65
4.2.5	Priorisierung der Verbesserungsmaßnahmen	68
4.2.6	Kosten-Nutzen-Analyse einzelner Verbesserungsmaßnahmen	68
4.2.7	Umsetzung einzelner Verbesserungsmaßnahmen	69
<b>5</b>	<b>Anwendung des Konzeptes in der Schienenfahrzeugindustrie</b>	<b>71</b>
5.1	Siemens Mobility Austria GmbH	71
5.1.1	Vorstellung des Unternehmens	71
5.1.2	Vorstellung des Standortes Wien	71
5.1.3	Das Kernteam	72
5.2	Überprüfung der grundlegende Voraussetzungen zur Datenerfassung	72
5.3	Erhebung der OEE	73
5.3.1	Vorgehensweise für die Berechnung der OEE	73

5.3.2	Bestimmung des Pilotprojekt	79
5.3.3	Berechnung der OEE-Kennzahl	79
5.3.4	Berechnung der IST-Ausbringung	80
5.4	IST-Analyse der OEE	82
5.4.1	Identifikation der Verluste durch die Pareto-Analyse	82
5.4.2	Effektivitätsanalyse von NC-Programmen	84
5.4.3	Stillstands-Musteranalyse	85
5.4.4	IST-Analyse des Arbeitsplatzes	86
5.4.5	Identifikation der Ursachen durch das Ishikawa-Diagramm	91
5.5	Erstellung von Verbesserungsmaßnahmen	91
5.6	Priorisierung der Verbesserungsmaßnahmen	96
5.7	Kosten-Nutzen-Analyse einzelner Verbesserungsmaßnahmen	98
5.8	Umsetzung einzelner Verbesserungsmaßnahmen	101
5.8.1	Umgesetzte Maßnahmen	101
5.8.2	Maßnahmen in Umsetzung	102
5.8.3	Geplante Verbesserungsmaßnahmen	104
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung der Ergebnisse</b>	<b>107</b>
6.1	Allgemeine Ergebnisse in Bezug auf die Problemstellung	107
6.2	Entwicklung der OEE am Standort Wien Leberstraße	110
6.3	Resultate der ersten umgesetzten Verbesserungsmaßnahmen	110
6.4	Auswertung einzelner Analyseverfahren	113
6.4.1	Auswertung der Stillstands-Musteranalyse	113
6.4.2	Auswertung der Effektivitätsanalyse von NC-Programmen	115
6.5	Zusammenfassung und Festlegung weiterer Maßnahmen	117
<b>7</b>	<b>Ausblick</b>	<b>121</b>
7.1	Allgemeiner Ausblick	121
7.1.1	Zustandsmodell für die Projektierung des MES	121
7.1.2	Automatisierung und Standardisierung der Berechnung	121
7.1.3	Skalierung des Grundkonzeptes für weitere Maschinenanlagen	122
7.1.4	Anwendung von Analysesoftware am Shopfloor	122
7.1.5	Prognoseberechnung der zukünftigen OEE	122
7.2	Anwendungsspezifischer Ausblick	123

7.2.1	Projektierung des MES	123
7.2.2	Automatisierung und Standardisierung der Berechnung	123
7.2.3	Grundkonzept für weitere Maschinenanlagen am Standort	124
7.2.4	Anwendung einer Analysesoftware am Shopfloor	124
7.2.5	Entwurf einer Prognoseberechnung zur Bestimmung der zukünftigen OEE	124
7.3	Weitere Schritte zur Erhöhung der OEE	126
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>131</b>
<b>9</b>	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>134</b>
<b>10</b>	<b>Formelverzeichnis</b>	<b>136</b>
<b>11</b>	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>137</b>
<b>12</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>138</b>

# 1 Einleitung und Motivation

Im heutigen wettbewerbsintensiven und schnell verändernden Marktumfeld nimmt der Konkurrenzkampf zwischen Fertigungsunternehmen stetig zu. In der Ära der Globalisierung ist es notwendig, dass heimische Industrien durch moderne, effiziente Fertigungssysteme und nachhaltige Instandhaltungskonzepte eine Steigerung der Produktivität, bei gleichzeitiger Senkung der Kosten aufweisen. Dadurch kann gewährleistet werden, dass die heimische Industrie den Konkurrenzdruck von Industrien aus Japan, Korea, China, etc. standhalten.<sup>1</sup>

In der globalen Weltwirtschaft ist eine kosteneffiziente Instandhaltung essenziell, da dieser Anteil, je nach Branche, zwischen 15% und 60% der Gesamtbetriebskosten betragen kann.<sup>2</sup> Das Total Productive Maintenance (kurz TPM) ist ein modernes Instandhaltungskonzept, welches die Konkurrenzfähigkeit der Instandhaltung, durch Steigerung der Produktivität und Senkung der Instandhaltungskosten signifikant verbessern kann.<sup>3</sup>

Die Overall Equipment Effectiveness (kurz OEE) ist eine Kennzahl aus dem TPM-Konzept und dient zur Messung der Effektivität von Maschinen. Die Ermittlung der OEE erfolgt durch die Produktbildung des Verfügbarkeits-, Leistungs- und Qualitätsfaktor. Ein wesentlicher Vorteil der OEE ist, dass nach erfolgreicher Umsetzung einzelner Verbesserungsmaßnahmen, Rückschlüsse auf die Auswirkung quantifiziert werden können. Die OEE bildet somit ein leistungsfähiges Werkzeug zur Identifikation und Beseitigung von Verlusten. Dies führt langfristig zu einer Steigerung der Effektivität, sowie folglich zu einer Erhöhung der Margen und damit verbunden eine Sicherung von Arbeitsplätzen.<sup>4</sup>

## 1.1 Problemstellung / Forschungsfragen

Die valide Berechnung und Interpretation der OEE in Fertigungsunternehmen führt in zahlreichen Fertigungsunternehmen zur Verwirrung. Eine signifikante Anzahl von Fertigungsunternehmen verfügt aufgrund moderner Manufacturing Execution Systems (kurz MES) über ermittelte OEE-Werte einzelner Maschinen. Der ermittelten Kennzahl wird zumeist jedoch zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Die Ursache hierfür ist oft das Fehlen eines fundierten Grundverständnisses. Häufig ist die Berechnungsmethodik für die Mitarbeiter undurchsichtig, inkorrekt oder aufgrund erhöhter Komplexität unverständlich.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> vgl. Hangad; Kumar, 2013, S.492

<sup>2</sup> vgl. Mobley, 2002, S. 1

<sup>3</sup> vgl. Jain; Bhatti; Singh, 2014, S.294

<sup>4</sup> vgl. Gupta; Vardhan, 2016, S.2976

<sup>5</sup> vgl. Kennedy, 2017, S.7f

Eine Studie von Hedman, Subramaniya und Almström (2016) zeigt, dass bei der Berechnung der OEE von 23 verschiedenen Unternehmen mit insgesamt 884 Maschinen, über 80% der Maschinen einen Leistungsfaktor von 100% und über 90% einen Qualitätsfaktor von 100% aufwiesen. Anhand dieser Studie wird ersichtlich, dass die Berechnung der OEE Schwierigkeiten bereitet, da solche Ergebnisse für einen Untersuchungszeitraum von sechs Monaten sehr unplausibel erscheinen.<sup>6</sup>

Eine weitere interessante Tatsache ist, dass Mitarbeiter zumeist ein mangelndes Grundverständnis für die OEE aufweisen. Fertigungsmitarbeiter vermuten, dass der primäre Zweck der OEE eine Überwachungsfunktion darstellt. Dies entspricht nicht der Realität, da die OEE Verluste aufdeckt, welche durch gezielte Verbesserungsmaßnahmen vermieden werden können. Die Aufmerksamkeit wird dadurch in der Fertigung auf die wertschöpfenden Tätigkeiten verlagert und Maßnahmen so konzipiert, dass nicht wertschöpfende Tätigkeiten vermieden werden.<sup>7</sup>

Unterschiedliche Fertigungsunternehmen weisen in der Realität dieselben oder ähnliche Probleme auf. Darunter fallen häufige kurze und längere Stillstände, verlängerte Rüstzeiten, technische Störungen, mangelnde Qualität, reduzierte Geschwindigkeiten etc. Die OEE stellt dem Prozessoptimierer, nach Identifikation der Effizienzverluste, passende Werkzeuge zur Verfügung, damit gezielte Gegenmaßnahmen zur Vermeidung dieser erstellt werden können.<sup>8</sup>

Auf Grundlage der erwähnten Problematiken zur Berechnungsmethodik, mangelndem Grundverständnis und Verbesserungsmaßnahmen zur Reduzierung der Verluste, wird eine Vorgehensweise zur Erhebung und Optimierung der OEE für Fertigungsunternehmen erstellt.

Der Schwerpunkt dieser Diplomarbeit beschäftigt sich mit der Einführung der OEE in einem Unternehmen. Aus diesem Grund wird die Forschungsfrage wie folgt definiert:

**Wie kann die Einführung der OEE in einem Unternehmen nach dem Stand der Wissenschaft erfolgen und welche Herausforderungen sind dabei zu bewältigen?**

- *Welche Rahmenbedingungen sind bei einer OEE-Berechnung zu erfüllen?*
- *Welche Probleme können bei der Ermittlung einer validen OEE anfallen?*
- *Welche technischen und organisatorischen Maßnahmen bewirken eine Erhöhung der OEE?*
- *Wie kann eine Priorisierung der ermittelten Verbesserungsmaßnahmen erfolgen?*

<sup>6</sup> vgl. Hedman; Subramaniyan; Almström, 2016, S.128ff

<sup>7</sup> vgl. Kennedy, 2017, S.1ff

<sup>8</sup> vgl. ebenda, S.2

## 1.2 Lösungsansatz / Arbeitspakete

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde ein systematisches Vorgehen konzipiert. Hierfür wurden die einzelnen Aufgaben in die vier Arbeitspakete Theorie und Grundlagen, Konzeption, Anwendung des Konzeptes sowie Ergebnisse und Ausblick unterteilt. Das erste Arbeitspaket *Theorie und Grundlagen* umfasst die Kapitel Einleitung, theoretische Grundlagen sowie State of the Art Ansätze für die Optimierung der OEE und vermittelt das notwendige Grundwissen an die Leser. Im zweiten Arbeitspaket *Konzeption* erfolgte die Erstellung eines wissenschaftlich fundierten Konzeptes zur Erhebung und Optimierung der OEE einer Maschinenanlage. Im dritten Arbeitspaket *Anwendung des Konzeptes* wurde das Konzept am Beispiel eines Bearbeitungszentrums in der Schienenfahrzeugindustrie validiert. Im vierten und letzten Arbeitspaket *Ergebnisse und Ausblick* werden die Ergebnisse der ersten umgesetzten Maßnahmen dieser Arbeit präsentiert und anschließend ein Ausblick weiterer Schritte zur Erhöhung der OEE gegeben.

## 1.3 Aufbau und Struktur der Arbeit

Nach der Erklärung der Arbeitspakete befasst sich dieses Unterkapitel mit dem strukturellen Aufbau der Arbeit. In den nächsten Abschnitten wird eine kurze Zusammenfassung der jeweiligen Kapitel angeführt:

### Kapitel 2: Theoretische Grundlagen

Das Kapitel *theoretische Grundlagen* beinhaltet die erforderlichen Grundkenntnisse aus den Fachgebieten Lean Production, Total Production Maintenance, Overall Equipment Effectiveness und Smart Manufacturing. Im Unterkapitel Lean Production werden bekannte Methoden und Werkzeuge, wie z.B. 5S-Methode, Ishikawa-Diagramm, Rüstzeitminimierung, etc. erklärt. Im Fachgebiet Total Productive Maintenance wird die Entwicklung, die Prinzipien, die Ziele des TPM und der Zusammenhang zum abgeleiteten OEE-Konzept dargestellt. Das Unterkapitel Overall Equipment Effectiveness dient dazu, ein Grundverständnis zu der Kennzahl und deren Parameter herzustellen. Der Schwerpunkt des Unterkapitels befasst sich mit den sechs Effizienzverlusten, der Berechnungsmethodik sowie der Weiterentwicklung und Ableitungen der Kennzahl. Zum Abschluss des Kapitels werden die Entwicklung, die Aufgaben und Ziele des Smart Manufacturing erläutert.

### Kapitel 3: State of the Art Ansätze für die Optimierung der OEE

Im Kapitel *State of the Art Ansätze für die Optimierung der OEE* werden allgemeine Maßnahmen für die Erhöhung der OEE, existierende Lösungsansätze für die Problemstellung sowie weitere Lösungsansätze für spezifische Problemstellungen gezeigt. Das Unterkapitel allgemeine Maßnahmen zur Erhöhung der OEE beschreibt

Werkzeuge und Methoden zur Steigerung des Verfügbarkeits-, des Leistungs- und des Qualitätsfaktors. Im darauffolgenden Unterkapitel wird ein existierender Lösungsansatz für die Problemstellung aufgezeigt. Das letzte Unterkapitel befasst sich mit weiteren Lösungsansätzen für spezifische Problemstellungen.

#### **Kapitel 4: Erstellung eines Konzeptes für die Erhebung und Optimierung der OEE**

Das Kapitel *Erstellung eines Konzeptes für die Erhebung und Optimierung der OEE* ist das Kernstück dieser Diplomarbeit und beschäftigt sich mit der Erstellung einer wissenschaftlich fundierten Vorgehensweise zur Erhebung und Optimierung der OEE von Maschinen. In dem ersten Unterkapitel erfolgt die Herleitung und eine kritische Diskussion der Problemfelder bei der Nutzung des MES. Nach der Diskussion werden Empfehlungen zur Vermeidung der Problemfelder angeführt. Das zweite Unterkapitel beschreibt den Aufbau des Konzeptes. Dieses besteht aus sieben Schritten und umfasst die grundlegenden Voraussetzungen, die Erhebung und Analyse der OEE, die Erstellung und die Priorisierung von Verbesserungsmaßnahmen, die Kosten-Nutzen-Analyse und die Umsetzung einzelner Verbesserungsmaßnahmen.

#### **Kapitel 5: Anwendung des Konzeptes in der Schienenfahrzeugindustrie**

Nach der Erstellung des Konzeptes wird dieses im Kapitel *Anwendung des Konzeptes in der Schienenfahrzeugindustrie* am Beispiel eines Bearbeitungszentrums in der Schienenfahrzeugindustrie validiert. Zu Beginn des Kapitels erfolgt eine kurze Vorstellung des Unternehmens Siemens Mobility Austria GmbH, des Standortes Wien und des Kernteams. Im Anschluss werden die sieben Schritte des Konzeptes in den jeweiligen Unterkapiteln im Detail beschrieben.

#### **Kapitel 6: Zusammenfassung der Ergebnisse**

Im Kapitel *Zusammenfassung der Ergebnisse* erfolgt die Beschreibung der allgemeinen Ergebnisse und Erkenntnisse, der Resultate der ersten umgesetzten Verbesserungsmaßnahmen, der Auswertung einzelner Analyseverfahren und der Zusammenfassung weiterer Maßnahmen. Im Unterkapitel allgemeine Ergebnisse und Erkenntnisse werden technische und organisatorische Maßnahmen gezeigt, die zu einer Erhöhung der OEE führen. Im darauffolgenden Unterkapitel werden die Resultate der ersten umgesetzten Maßnahmen, die Entwicklung der IST-Ausbringung und die OEE dargestellt. Weiters erfolgt ein detaillierter Einblick in die Auswertung der Stillstands-Musteranalyse und der Effektivitätsanalyse. Zum Abschluss werden aktuelle und neue Verbesserungsmaßnahmen, resultierend aus den ersten Erkenntnissen, priorisiert dargestellt.

## Kapitel 7: Ausblick

Das letzte Kapitel *Ausblick* wird unterteilt in einen allgemeinen und einen anwendungsspezifischen Ausblick. Der allgemeine Ausblick beschreibt weitere Grundgedanken, die im Konzept nicht erwähnt worden sind. Darunter zählt eine Prognoseberechnung der zukünftigen OEE, die Anwendung von Analysesoftware am Shopfloor, die Automatisierung und Standardisierung der Berechnung, der Entwurf eines Maschinenzustandsmodells sowie die Skalierung des Grundkonzeptes für weitere Anlagen. Diese weiterführenden Gedanken werden anschließend für den Standort Wien Leberstraße angewandt und beschrieben.

In der Abbildung 1.1 wird der Aufbau und die Struktur der Diplomarbeit mit den einzelnen Arbeitspaketen grafisch dargestellt.

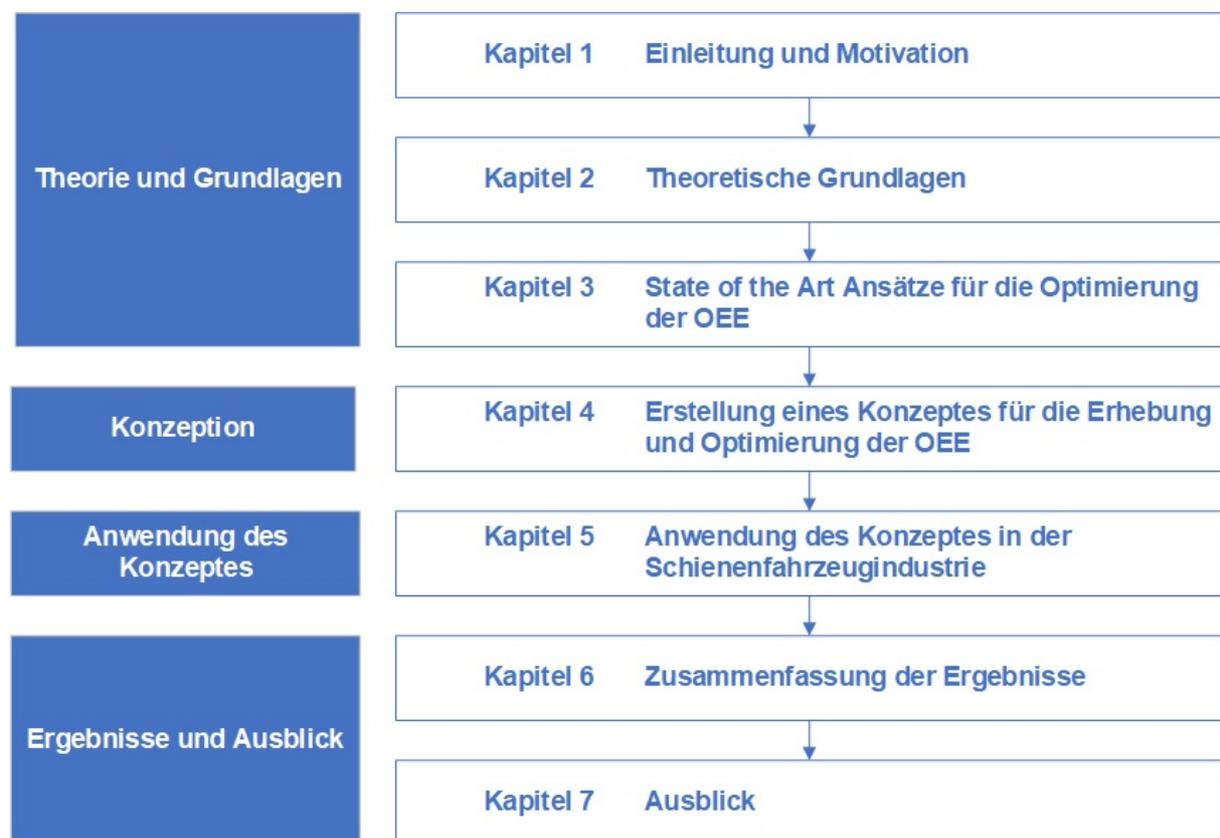


Abbildung 1.1: Aufbau und Struktur der Arbeit



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## 2 Theoretische Grundlagen

Das Ziel dieses Kapitels ist die Übermittlung der notwendigen theoretischen Grundlagen der Lean Production, der Total Productive Maintenance, der Overall Equipment Effectiveness und des Smart Manufacturing. Diese Grundlagen dienen zum besseren Verständnis des Konzeptes und dessen Anwendung im Praxisteil. Die erläuterten Theorien werden zur übersichtlichen Gestaltung in einzelne Unterkapitel eingeteilt.

### 2.1 Lean Production

#### Allgemein

Die Lean Production bzw. das Toyota Production System (kurz TPS) nach Taiichi Ohno ist eine bekannte Methode die effiziente, konkurrenzfähige und moderne Materialflüsse darstellt. Die Methode der Lean Production findet sowohl in Hochlohn- wie auch in Niedriglohnländern Anwendung und wird in verschiedenen Branchen wie beispielsweise im Sondermaschinenbau, der Baubranche, der Medizintechnik, im Handwerk, der Biochemie oder in der Serienfertigung verwendet.<sup>9</sup>

#### Der Konkurrenzvorteil von Lean Production

Die japanische Automobilindustrie verzeichnete Ende des letzten Jahrhunderts einen enormen Absatzerfolg, sodass ein Forschungsauftrag, zur Untersuchung verschiedener Montagewerke in unterschiedlichen Ländern, an das Massachusetts Institute of Technology in den USA im Jahr 1985 erteilt wurde. Das Ergebnis wurde im Jahr 1990 veröffentlicht und zeigt erstmals die Überlegenheit der japanischen Fertigungstechnologie aufgrund des Einflusses von Lean Production (siehe Tabelle 2.1).<sup>10</sup>

#### Elemente des Toyota Production System

Das TPS beinhaltet unterschiedliche Vorgehensweisen zur Erreichung einer schlanken Produktion. Aufgrund der Vielzahl an vorhandenen Vorgehensweisen werden im Folgenden einige wichtige Elemente aufgezählt: drei Mu, 5-Why-Methode, Poka Yoke, Mehrmaschinenbedienung, Kaizen, Just-in-Time, Kanban und Produktionsglättung.<sup>11</sup>

<sup>9</sup> vgl. Dickmann et al., 2015, S.4

<sup>10</sup> vgl. ebenda, S.6

<sup>11</sup> vgl. ebenda, S.8ff

In den nachfolgenden Teilabschnitten werden einzelne Elemente des TPS sowie weitere Werkzeuge und die Methoden zur Erreichung einer schlankeren Produktion genauer beschrieben.

**Tabelle 2.1: Der Konkurrenzvorteil von Lean Production (Stand 1990)<sup>12</sup>**

	Durchschnittswerte der Automobilhersteller in		
	Japan	Nordamerika	Westeuropa
<b>Konstruktionsaufwand</b> für ein neues Kfz [100.000 Stunden]	1,70	3,10	3,00
<b>Entwicklungsdauer</b> für ein neues Kfz [Monate]	46,20	60,40	58,60
<b>Rückkehr zur Normalproduktion</b> [Monate]	4,00	5,00	12,00
<b>Produktivität</b> [Montagestunden pro Kfz]	16,8	21,00	30,65
<b>Qualität</b> [Montagefehler pro 100 Kfz]	60,00	65,00	89,65
<b>Lagerbestand</b> [Lagerreichweite in Tage für 8 exemplarische Teile]	0,20	1,60	2,45

### 2.1.1 Arten der Verschwendungen

Da die Identifizierung und Reduzierung von Verschwendung ein effektiver Weg zur Steigerung der Profitabilität ist, wird auf jede Art der Verschwendung ein Augenmerk gelegt. Das japanische Unternehmen Toyota definierte drei Schlüsselkonzepte für das TPS: Muda, Mura und Muri. Diese Konzepte sind traditionelle japanische Begriffe, wobei Muda für Verschwendung, Mura für Ungleichmäßigkeit und Muri für Überbelastung im Unternehmen stehen.<sup>13</sup>

Das Lean-Management hat auftretende Verschwendung in verschiedene Arten definiert. Das Ziel ist es, die Verschwendungen in Prozessen leichter zu bestimmen, zu quantifizieren und zu eliminieren. Aus diesem Grund wurden die sieben Arten der Verschwendung definiert: Überproduktion, Bestände, unnötige Prozesse, Wartezeiten, Bewegungen, Materialtransporte und Ausschuss bzw. Nacharbeit.<sup>14</sup>

<sup>12</sup> vgl. Dickmann et al., 2015, S.7

<sup>13</sup> vgl. Charron; Harrington; Voehl; Wiggin, 2015, S.157

<sup>14</sup> vgl. Hänggi, 2021, S.2

In diverser Literatur wird die Anzahl der Verschwendung auf acht bis neun Arten erhöht. Zu den neuen Arten der Verschwendungen zählen des Weiteren noch unterausgelastete Mitarbeiter und deren Verhalten.<sup>15</sup>

### 1. Überproduktion

Die Überproduktion ist einer der größten Verursacher für Verschwendungen und führt zu einem erhöhten Bestand und dadurch in weiterer Folge zu zusätzlichem Lager- und Transportbedarf sowie vielen weiteren Aufwendungen. Eine Überproduktion kann auftreten, wenn ein Unternehmen mehr produziert als es für den nächsten Prozess bzw. den Kunden (Endnutzer) benötigt.

Die Ursache für Überproduktion kann oftmals auf das Verhalten des Managements oder der Mitarbeiter zurückgeführt werden. Die bekanntesten Ursachen sind die Just-in-Case Logik, ungeplante Terminierung, unausgeglichene Arbeitsauslastungen, Fehlgebrauch der Automatisierung sowie lange Rüstzeiten.<sup>16</sup>

### 2. Bestände

Die meisten Organisationen produzieren heutzutage sowohl eine auftragsbezogene Fertigung zur anschließenden Verarbeitung, als auch eine Fertigung zur Lagerung als Sicherheitsbestand. Einige Unternehmen verwenden hohe Lagerbestände zur Kompensation mangelnder Prozessleistungen, um die geforderten Kundenwünsche zu erfüllen. Diese Unternehmen erhöhen ständig die Lagerbestände, bis Prozessprobleme schwer ersichtlich sind. Wie bei der Überproduktion, benötigen ungeplante Bestände zusätzliche Mitarbeiter, Maschinen, Lagerbedarf und weitere Ressourcen.

Die Ursachen für überschüssige Bestände sind schlechte Marktprognosen, ungeplante Terminierung, unausgeglichene Arbeitsauslastungen, unzuverlässige oder qualitativ minderwertige Lieferungen durch Dritte sowie schlechte interne Kommunikation.<sup>17</sup>

### 3. Unnötige Prozesse

Unnötige Prozesse umfassen alle Aufwände, die keinen wesentlichen Mehrwert für den Kunden generieren. Diese Art von Verschwendung ist häufig zu beobachten in unstrukturierten Lagerhallen vor allem, wenn Mitarbeiter einzelne Produkte hantieren müssen, um zum gewünschten Produkt zu gelangen. Ein weiteres Beispiel hierfür ist die Suche nach dem benötigten Equipment (z.B. Werkzeug), falls dieses nicht ordnungsgemäß abgelegt worden ist.

---

<sup>15</sup> vgl. Charron; Harrington; Voehl; Wiggin, 2015, S.164f.

<sup>16</sup> vgl. ebenda, S.165f.

<sup>17</sup> vgl. ebenda, S.169

Die Ursachen für unnötige Prozesse sind Produktwechsel ohne Prozessänderung, Just-in-Case Logik, undefinierte Kundenanforderungen, schlechte Kommunikation, redundante Freigaben und keine gepflegte Ordnung am Arbeitsplatz oder in der Lagerhaltung.<sup>18</sup>

#### 4. Wartezeiten

Die Wartezeiten beschreiben jene Zeiten zwischen zwei Vorgängen, bis die nächste wertschöpfende Tätigkeit eintritt. Es wird unterschieden zwischen menschlichen und maschinellen Wartezeiten sowie Wartezeiten aufgrund von nicht vorhandenen Materialien. Aufgrund von anfallenden Wartezeiten können sich die Durchlaufzeiten einzelner Prozesse verlängern und dadurch zu Problemen, in Form von Verspätungen und Verschiebungen in der festgelegten Terminplanung, führen.

Die Ursache für Wartezeiten sind Ausfälle von Rohstoffen, unausgewogene Terminplanung oder Arbeitsbelastung, ungeplante Ausfallzeiten für Wartungsarbeiten, lange Rüstzeiten, nicht optimaler Einsatz von Automatisierung und vorgelagerte Qualitätsprobleme. Ein Beispiel für ein vorgelagertes Qualitätsproblem ist ein defektes Gewinde vom Vorprozess, welches erst beim Einbau der Schrauben im nachgelagerten Prozess ersichtlich wird.<sup>19</sup>

#### 5. Bewegungen

Verschwendungen durch Bewegungen liegen vor, wenn Personenbewegungen oder Informationsflüsse keinen wesentlichen Mehrwert für das Produkt oder die Dienstleistung gewährleisten. Durch die richtige Verwendung von Material, Maschine, Menschen und Methoden (Lean Six Sigma) kann ein Zustand des kontinuierlichen Flusses erreicht und somit höhere Qualität, Produktivität und Rentabilität gewährleistet werden.

Die Ursache für Verschwendungen durch Bewegungen ist auf schlechte Effektivität von Menschen, Material und Maschine sowie mangelhafter Arbeitsmethoden, schlechtes Informationsmanagement, ungünstige Layoutplanung, komplizierte Baukonstruktionen und ungeplante Arbeitsplätze zurückzuführen.<sup>20</sup>

#### 6. Materialtransporte

Die Verschwendung durch Materialtransporte umfasst alle Tätigkeiten, die durch einen überflüssigen Transport von Einzelteilen und Materialien am Werksgelände erfolgen. Im Vergleich zu den Verschwendungen durch Bewegungen, die typischerweise nur Personenbewegungen betrifft, sind Verschwendungen durch Materialtransporte in der

---

<sup>18</sup> vgl. Charron; Harrington; Voehl; Wiggan, 2015, S.175ff.

<sup>19</sup> vgl. ebenda, S.180

<sup>20</sup> vgl. ebenda, S.183f.

Regel auf den Transport von Einzelteilen und Materialien durch Transportobjekte wie z.B. Gabelstapler, Wagen, Rollgestelle, etc. zurückzuführen.

Die Ursachen zusätzlicher Materialtransporte sind hauptsächlich schlecht geplante Einkäufe, zu große Chargengrößen und dadurch notwendige Lagerbereiche, unzureichendes Layout der Anlagen sowie des gesamten Fertigungsprozesses und mangelndes Verständnis der Mitarbeiter für den Prozessablauf.<sup>21</sup>

## 7. Ausschuss bzw. Nacharbeit

Verschwendungen durch „nicht in Ordnung Teile“ (kurz n. i. O. Teile genannt) sind oftmals auf Fehler in der Produktion zurückzuführen. Es wird unterschieden zwischen Ausschuss und Nachbearbeitung. Wenn ein Bauteil als Ausschuss deklariert wird, fallen zusätzlich zu den Aufwänden von der erneuten Bearbeitung die reinen Materialkosten für das neue Einzelteil an. Bei der Nachbearbeitung entstehen Maschinen- und Mitarbeiterkosten, weil eine Korrektur des vorhandenen Einzelteils notwendig ist. Bauteile, die als Ausschuss deklariert sind, können aufgrund mangelnder Produktqualität selbst durch Nachbearbeitung nicht in den geforderten Zustand gebracht werden, damit die Grundfunktionen des Bauteiles gegeben sind.<sup>22</sup>

Die Ursachen für Fehler in der Produktion sind auf eingeschränkte Kommunikation der Kundenbedürfnisse, mangelnde Qualität bei Zukäufen, unzureichende Schulungen bzw. Arbeitsanweisungen, unpassendes Werkzeug und Vorrichtungen, schlechtes Produktdesign, schwache Prozesskontrolle und unzureichender Wartung zurückzuführen.<sup>23</sup>

### 2.1.2 5S-Methode

Die 5S-Methode verfolgt das Ziel der Realisierung eines sauberen, geordneten und leistungsfähigen Arbeitsumfelds, als Grundlage für weitere Prozessoptimierungen, wie das Total Productive Maintenance oder die Rüstzeitreduzierung.<sup>24</sup>

5S ist eine Methodik zur Organisation, Reinigung, Entwicklung und Aufrechterhaltung einer produktiven Arbeitsumgebung. Durch die Einführung der 5S-Methode werden beispielsweise verbesserte Sicherheit, Eigenverantwortungen für den Arbeitsbereich, verbesserte Produktivität und Wartung im Unternehmen angestrebt.<sup>25</sup> Die 5S stehen für die japanischen Begriffe Seiri, Seiton, Seiso, Seiketsu und Shitsuke, welche in die

<sup>21</sup> vgl. Charron; Harrington; Voehl; Wiggin, 2015, S.186f.

<sup>22</sup> vgl. Woratschek; Schröder; Eymann; Buck, 2015, S.19

<sup>23</sup> vgl. Charron; Harrington; Voehl; Wiggin, 2015, S.173

<sup>24</sup> vgl. Kletti; Schumacher et. al., 2014, S.77

<sup>25</sup> vgl. Charron; Harrington; Voehl; Wiggin, 2015, S.238

deutsche Sprache übersetzt ungefähr Selektieren, Systematisieren, Säuberung, Standardisieren und Selbstdisziplin bedeuten.<sup>26</sup>

### 1. Selektieren (Seiri)

Die erste Säule der 5S-Methode „das Selektieren“ hat das Ziel, dass das notwendige Equipment aufbewahrt und das nicht notwendige Equipment entsorgt wird. Obwohl das Prinzip recht simpel ist, wird es oft nicht richtig verstanden und resultiert darin, dass die Mitarbeiter nicht genau wissen, ob sie ein Equipment benötigen oder nicht. Die meisten Menschen neigen dazu, an diversem gewohntem Equipment (z.B. teildefekte Maschinen oder Werkzeug) hängen zu bleiben. Mit diesem Equipment fühlen sich die Mitarbeiter sicher. Die Mitarbeiter haben das nötige Wissen zur richtigen Anwendung, daher wollen sie es gerne auch für die nächsten Aufträge verwenden. Durch dieses „Horten“ von bekannten Arbeitsmitteln kommt es zum Aufbau von Beständen und Ausrüstungen, welche im Arbeitsalltag Arbeitsflächen blockieren und zu Verschwendungen durch Bewegungen führen. Ein möglicher Lösungsansatz diesem Problem entgegenzukommen ist die Red-Tag-Analyse.<sup>27</sup> Diese Methodik kann bei Uneinigkeit angewandt werden, ob Gegenstände erforderlich sind oder nicht. Die zu untersuchenden Gegenstände werden mit einem „Red Tag“ bzw. einer „Roten Karte“ gekennzeichnet und für einen bestimmten Zeitraum vor der endgültigen Entscheidung beobachtet.<sup>28</sup>

### 2. Systematisieren (Seiton)

Die Systematisierung des Arbeitsplatzes beschäftigt sich mit der Art und Weise, wie das benötigte Equipment organisiert und aufbewahrt wird, sodass jeder Mitarbeiter das benötigte Equipment leicht finden kann. Ziel der Systematisierung ist es, Situationen zu vermeiden in denen Mitarbeiter praktische Erfahrungen bzw. weitere Mitarbeiter benötigen, um zu verstehen, wo das Equipment abgelegt worden ist. Zur Erzielung der Systematisierung des Arbeitsplatzes kann die visuelle Ordnungsmethode Signboard Strategy bzw. Bezeichnungsschildstrategie angewandt werden.<sup>29</sup>

### 3. Säuberung (Seiso)

Der Begriff Sauberkeit bedeutet die Reinhaltung der Böden sowie aller Art von Oberflächen und die Einhaltung von Ordnung. Der Begriff Sauberkeit hat außerhalb des eigenen Haushaltes keine Bedeutung, sodass Arbeitsplätze oftmals verschmutzt aufgefunden werden.

<sup>26</sup> vgl. Kiran, 2017, S.332

<sup>27</sup> vgl. Hirano; Talbot, 1995, S.34ff.

<sup>28</sup> vgl. Institut für Angewandte Arbeitswissenschaft, 2016, S.12

<sup>29</sup> vgl. Hirano; Talbot, 1995, S.36

In der Produktion steht Sauberkeit in engem Zusammenhang mit der Fähigkeit Qualitätsprodukte zu fertigen. Eine grundlegende Sauberkeit sollte in die täglichen Wartungsarbeiten integriert werden, um Reinigungs- und Wartungsarbeiten miteinander zu kombinieren. Durch die Implementierung von täglichen Reinigungsarbeiten von Maschinenbediener können beispielsweise frühzeitig austretende Flüssigkeiten, fehlerhafte Verbindungselemente oder seltsame Gerüche erkannt und rechtzeitig behoben werden.<sup>30</sup>

#### 4. Standardisieren (Seiketsu)

Das Standardisieren unterscheidet sich deutlich vom Selektieren, Systematisieren und der Säuberung. Diese drei verschiedenen Methoden beschreiben Aktivitäten, die Standardisierung hingegen ist ein Zustand. Das Standardisieren bezeichnet jenen Zustand, der gewährleistet, dass Selektieren, Systematisieren und die Säuberung eingehalten wurden. Von Standardisierung kann gesprochen werden, wenn die Maschinen und deren Umgebung frei von Ablagerungen, Ölen und Schmutz sind. Dieser Zustand kann weiter verbessert werden, indem Wege gefunden werden, um die Ansammlung von Schmutz nicht erst entstehen zu lassen.<sup>31</sup>

#### 5. Selbstdisziplin (Shitsuke)

Das Ziel der Selbstdisziplin befasst sich mit der Beseitigung schlechter Gewohnheiten und dem ständigen Erlernen von guten Gewohnheiten. Die Verantwortung der Selbstdisziplin wird zwischen Management und den Mitarbeitern geteilt. Das Management übernimmt die Verantwortung für die kontinuierliche Kommunikation und Einhaltung der 5S. In regelmäßigen Abständen überprüft das Management die 5S, damit die Standards durchgesetzt werden. Die Mitarbeiter sind dafür verantwortlich, dass sie die Aufgaben der 5S-Methode erledigen und dadurch die gewünschten Ergebnisse erzielen können.<sup>32</sup>

### 2.1.3 Ursache-Wirkungs-Diagramm (Ishikawa-Diagramm)

Beim Auftreten eines ernsthaften Problems ist es essenziell, alle möglichen Ursachen zu ermitteln, bevor ein Lösungsansatz erstellt und umgesetzt wird. Ziel des Ansatzes ist, dass gleichartige Probleme in Zukunft nicht erneut auftreten können. Auf Basis dieser Grundlage wurde das Ursache-Wirkungs-Diagramm entwickelt.

Das Ursache-Wirkungs-Diagramm bzw. Ishikawa-Diagramm (oft bekannt auch als Fischgrätendiagramm bzw. Fishbone-Diagramm) wurde in den 1960er Jahren von Kaoru Ishikawa definiert. Das Diagramm ist eines der sieben grundlegenden Werkzeuge des Total Quality Management zusammen mit der Fehlersammelliste,

<sup>30</sup> vgl. Hirano; Talbot, 1995, S.36f.

<sup>31</sup> vgl. ebenda, S.37

<sup>32</sup> vgl. Kiran, 2017, S.341

Histogramm, Pareto-Diagramm, Korrelations- oder Streudiagramm, (Qualitäts-) Regelkarten und dem Flussdiagramm.<sup>33</sup>

Für die Verwendung des Ursache-Wirkungs-Diagramms wird das Problem in den Kopf des Fisches geschrieben. Die Haupteinflussfaktoren bilden die größeren Rippen der Wirbelsäule. Auf diesen Rippen befinden sich Gräten, welche wiederum in Haupt- und Nebenursachen unterteilt werden. Der Aufbau ähnelt einem Fischskelett mit leichten Abweichungen.

Das Hauptaugenmerk liegt auf der Erfassung aller möglichen Einflussfaktoren, um diese entweder zu bestätigen oder zu verwerfen. Durch die Darstellung in einem Fischgrätendiagramm soll gewährleistet werden, dass alle einzelnen Einflussfaktoren von Beginn an miteinbezogen werden, um voreilige Schlussfolgerung zu vermeiden. Das Ursache-Wirkungs-Diagramm ist trotz Einschränkungen, wie beispielsweise die fehlende Darstellung der Zusammenhänge zwischen verschiedenen Ursachen, ein effektives Verfahren zur Visualisierung des Problemlösungsprozesses.<sup>34</sup>

Das Grundgerüst des Ursache-Wirkungs-Diagramms variiert je nach Industrie. In der Fertigungsindustrie werden die 6Ms (Maschine, Methode, Material, Mitarbeiter, Messung, Umwelt), in der Marketingindustrie die 7Ps (Produkt, Preis, Platz, Promotion, Personal, Position, Verpackung) und in der Dienstleistungsindustrie die 4Ps (Policen, Prozeduren, Prozesstechnik, Personen) verwendet. Das TPS hat basierend auf die 6Ms im zeitlichen Verlauf das Management und die Maintenance mit einbezogen, sodass die 8Ms entstanden sind. Diese 8Ms sind bis dato weltweit nicht populär und noch nicht anerkannt.<sup>35</sup>

Die Abbildung 2.1 zeigt ein Ursache-Wirkungs-Diagramm für ein Fertigungsunternehmen mit den sechs Haupteinflussfaktoren (6M's) Maschine, Methode, Material, Mensch, Messung und Umwelt.

### 5-Why-Methode

Die 5-Why-Methode ist eine Brainstorming-Technik, bei der durch fünfmalig wiederholtes Nachfragen, nach der wesentlichen Ursache für das jeweilige Problem gesucht wird. Das Fragen nach der Ursache kann beliebig oft durchgeführt werden, bis eine akzeptable Lösung gefunden wird. Die Zahl Fünf ist willkürlich gewählt und kann beim eigentlichen Anwendungsfall abweichen. Die erwähnte 5-Why-Methode kann durch das Ursache-Wirkungs-Diagramm grafisch dargestellt werden.<sup>36</sup>

<sup>33</sup> vgl. Kiran, 2017, S.280

<sup>34</sup> vgl. Earley, 2016, S.154f.

<sup>35</sup> vgl. Kiran, 2017, S.280f.

<sup>36</sup> vgl. Ahmed; Rezouki, 2020, S.4

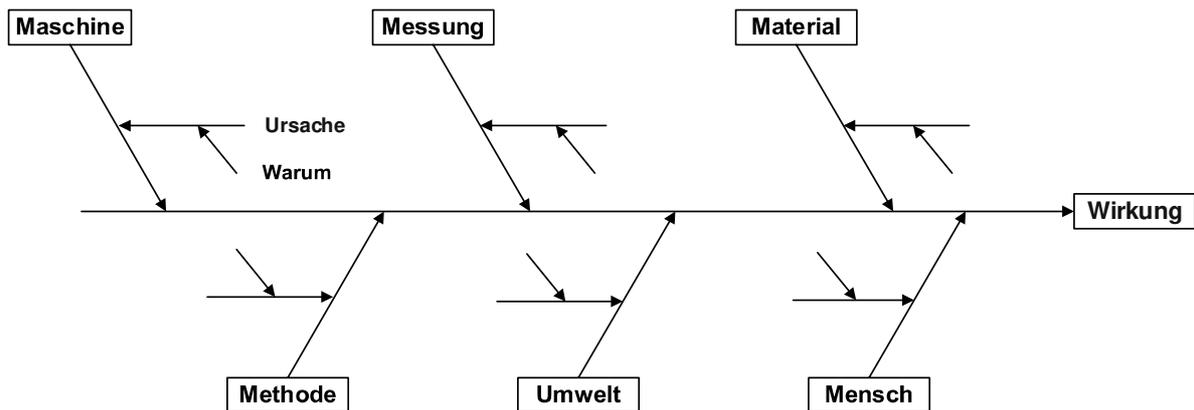


Abbildung 2.1: Ursache-Wirkungs-Diagramm für ein Fertigungsunternehmen <sup>37</sup>

### 2.1.4 Rüstzeitminimierung

Eine weitere Methode zur Steigerung der Produktivität einer Maschinenanlage ist die Rüstzeitminimierung. Der Rüstvorgang ist eine Folge von Tätigkeiten, die zur Vorbereitung für die Herstellung eines Produktes notwendig sind. Die Rüstzeit ist jene Vorbereitungszeit zwischen dem zuletzt gefertigten Produkt der Kategorie A und des nächsten zu fertigenden Produktes der Kategorie B. Beim Rüsten wird zwischen internen (offline) und externen (online) Rüstvorgängen unterschieden. Das externe Rüsten (z.B. Vorbereitung des nächsten Produktes auf dem zweiten Arbeitsplatz eines Bearbeitungszentrums) hat den Vorteil, dass dieser Vorgang während der laufenden Maschinenanlage erfolgen kann. Für das interne Rüsten (z.B. Werkzeugwechsel) muss die laufende Maschine gestoppt werden.<sup>38</sup>

Die SMED-Methode (Single Minute Exchange of Die) oder auch Rüstzeitminimierung genannt, beschäftigt sich mit der Verringerung der Stillstandzeiten einer Anlage zwischen Werkzeug- und Vorrichtungswchsel. Sie beinhaltet ebenfalls die Zeiten für die Prüfung der produzierten Teile, dessen Qualitätsüberwachung und der Dokumentation. Das Ziel der SMED-Methode ist die Minimierung der Stillstandzeiten der Produktion durch schnelleres Rüsten. Dadurch können Bestände gesenkt werden, die aufgrund von kosten- und zeitintensiven Rüsten entstehen. Für die Verkürzung der Rüstzeiten werden technische und organisatorische Maßnahmen in Betracht gezogen.<sup>39</sup> Die SMED-Methode kann beispielsweise durch die OTED-Methode (One-Touch Exchange of Die), welche eine Rüstzeit unter einer Minute anstrebt und in die NOTED-Methode (Non-Touch Exchange of Die), welche eine Rüstzeit von fast Null Minuten anstrebt, realisiert werden.<sup>40</sup>

<sup>37</sup> vgl. Kiran, 2017, S.281

<sup>38</sup> vgl. da Silva; Godinho Filho, 2019, S.4289

<sup>39</sup> vgl. Institut für Angewandte Arbeitswissenschaft, 2016, S.51

<sup>40</sup> vgl. da Silva; Godinho Filho, 2019, S.4289

## Schritte zur Rüstzeitoptimierung

Zu Beginn der Rüstzeitoptimierung werden alle vorhandenen internen Rüstvorgänge auf externe Rüstvorgänge umgewandelt. Die externen Rüstvorgänge haben den Vorteil, dass diese während der laufenden Produktion erfolgen können. Dadurch werden die Stillstandzeiten der Anlage erheblich reduziert, obwohl die Rüstzeiten trotzdem vorhanden bleiben. Die anfallenden Aufwände werden in die Vor- und Nachbearbeitung verlagert. Danach erfolgt die Beseitigung von Einstell- und Justiervorgängen durch angepasste Rüstsätze (z.B. Anschlagleisten). Durch diese Maßnahmen entstehen vereinfachte Prozesse, die in weiterer Folge standardisiert werden.<sup>41</sup>

In der Abbildung 2.2 wird die klassische Vorgehensweise zur Rüstzeitminimierung mittels der SMED-Methode dargestellt.

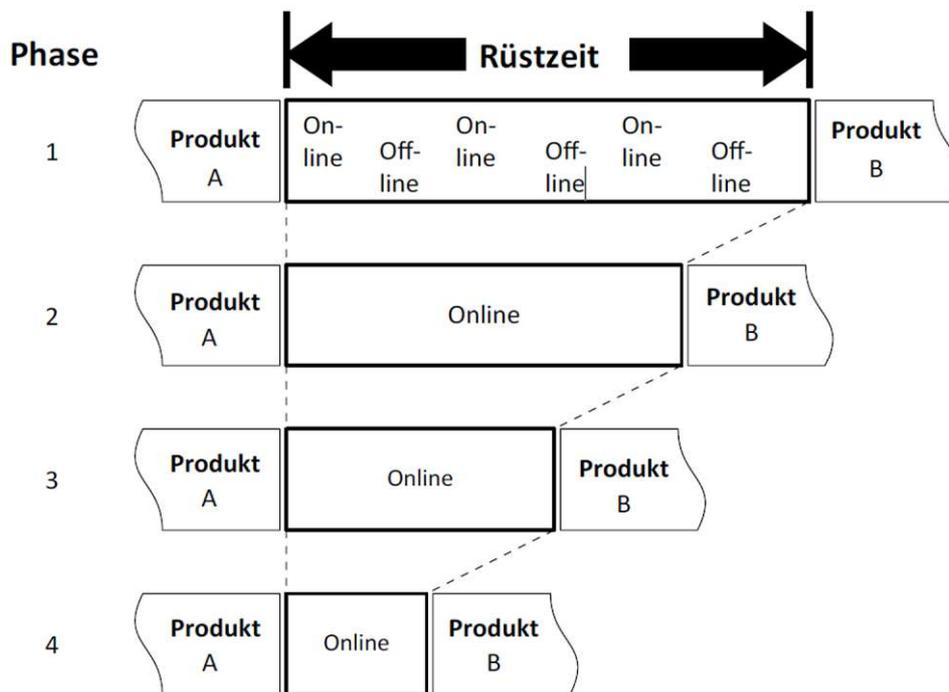


Abbildung 2.2: Rüstzeitminimierung mit SMED-Methode <sup>42</sup>

### 2.1.5 Gemba-Kaizen

Der Begriff Gemba-Kaizen beschreibt den Prozess der kontinuierlichen Verbesserung am Ort des Geschehens. Die Grundlage bildet das Identifizieren und Eliminieren von Verschwendungen (jap. Muda) im Herstellungsprozess. In der heutigen Zeit tritt immer öfter das Problem auf, dass der Blick für die Unterscheidung zwischen wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Tätigkeiten in vielen Unternehmen verloren gegangen ist. Die Menschen verfügen nicht über die notwendige Motivation

<sup>41</sup> vgl. Dickmann et al., 2015, S.52

<sup>42</sup> vgl. Institut für Angewandte Arbeitswissenschaft, 2016, S.52

und dadurch nicht über die Fähigkeit, Verschwendungen in unterschiedlichsten Bereichen zu erkennen. Das Management und die mittlere Führungsebene ist an einer aktiven Teilnahme vor Ort (Gemba) zur Erhöhung des Wertschöpfungsanteils bestrebt. Oftmals kann dies nicht umgesetzt werden, da unterschiedliche administrative Tätigkeiten dies verhindern. Die Führungskräfte bleiben dadurch zwangsläufig an den Schreibtisch gebunden, anstatt die „realen Dinge“ (Gembutsu) zu betrachten. Durch „Go-and-see-Workshops“ werden im Rahmen von Gemba-Kaizen reale Dinge vor Ort identifiziert und mittels Zahlen, Daten und Fakten (Gemijtsu) dargestellt. Durch Ideenmanagement (Belohnungsprogramme) können Mitarbeiter motiviert werden ihre Ideen einzubringen. Durch die kontinuierliche Verbesserung mit der Kaizen-Methode werden kostengünstige Lösungen angestrebt, bei denen Ideen mit einem geringen Aufwand und durch die eigenen Ressourcen umgesetzt werden.<sup>43</sup>

In der Abbildung 2.3 werden die Schritte des Gemba-Kaizen-Prinzip dargestellt.



Abbildung 2.3: Das Gemba-Kaizen-Prinzip<sup>44</sup>

### 2.1.6 Pareto-Prinzip

Das Pareto-Prinzip, oftmals bekannt als die 80-zu-20 Regel, besagt, dass bei vielen Ereignissen ungefähr 80% der Wirkung auf 20% der Ursachen zurückzuführen sind. Dieses Prinzip ist vergleichbar mit der ABC-Analyse, welche besagt, dass in der Maschinenindustrie ungefähr 10% der Produktionsartikel zu 70% des gesamten Jahresverbrauch beitragen. Viele literarische Werke verweisen auf das Pareto-Prinzip, da dieses in unterschiedlichsten Bereichen anwendbar ist. In Produktionsunternehmen

<sup>43</sup> vgl. Dickmann et al., 2015, S.26

<sup>44</sup> vgl. ebenda, S.26

kann dieses Prinzip beispielsweise auf die Wartung übertragen werden. Nach dem Pareto-Prinzip verursachen 20% der Maschinenanlagen ungefähr 80% der gesamten Maschinenausfallzeiten.<sup>45</sup>

Im folgenden Beispiel wird die Beseitigung von Schwerpunktproblemen im Bereich Instandhaltung mit Hilfe der Pareto-Analyse erklärt. Für die Pareto-Analyse werden einzelne Verluste (Verfügbarkeits-, Leistungs- und Qualitätsverluste) nach deren Häufigkeiten sortiert. Das Optimierungsteam konzentriert sich anschließend auf die in der Pareto-Analyse erfassten häufigsten Probleme (siehe Abbildung 2.4). Durch Beseitigung der häufigsten 20% Stillstandsursachen können ungefähr 80% der Stillstände eliminiert werden.

Die Datenerfassung, Auswertung und Erstellung der Pareto-Analyse erfolgt in modernen Produktionsunternehmen mit Hilfe des Manufacturing Execution Systems (kurz MES), da manuelle Mitschriften durch Produktionsarbeiter kaum möglich bzw. meist unvollständig sind. Durch die automatische Datenerfassung wird gewährleistet, dass alle verfügbaren Daten aufgezeichnet und in Echtzeit abgerufen werden können.<sup>46</sup>

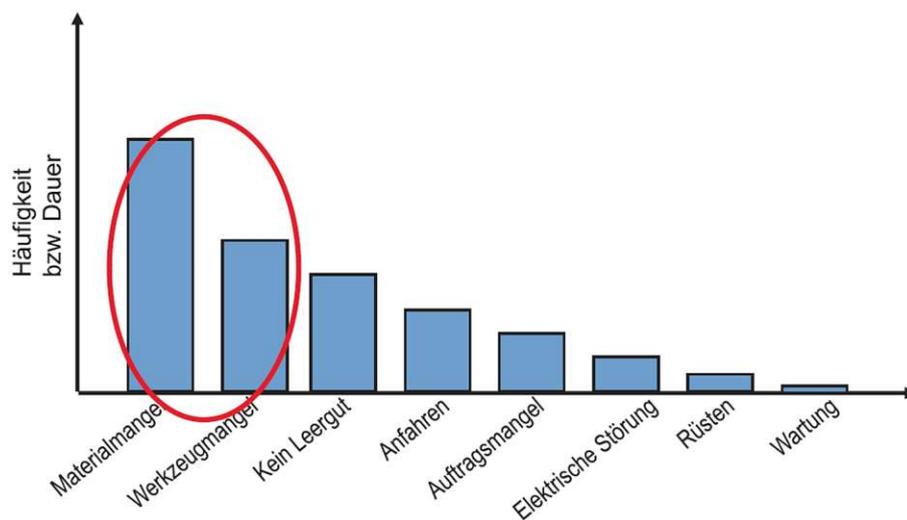


Abbildung 2.4: Pareto-Analyse <sup>47</sup>

### 2.1.7 Poka Yoke

Der japanische Begriff Poka Yoke stammt aus dem TPS und zielt darauf ab, dass Auftreten von unbeabsichtigten Fehlern („Poka“) zu vermeiden („Yoke“).<sup>48</sup> Der Fokus des Poka Yoke-Konzepts liegt auf Prozessen, die durch menschliche Arbeit gesteuert werden, da diese ein höheres Fehlerpotenzial aufweisen. Für die Implementierung von

<sup>45</sup> vgl. Kiran, 2017, S.107

<sup>46</sup> vgl. Kletti; Schumacher et. al., 2014, S.82f.

<sup>47</sup> vgl. ebenda, S.81

<sup>48</sup> vgl. Dickmann, 2015, S.63

Poka Yoke müssen mögliche Fehler erkannt und passende Gegenmaßnahmen konstruiert und eingeführt werden. Ein wesentlicher Vorteil dieses Konzepts ist, dass kein zusätzlicher Prozessschritt, wie beispielsweise eine Qualitätskontrolle, notwendig ist, da ein Poka Yoke Element in den bestehenden Prozess integriert wird. Poka Yoke-Elemente sind einfach und selbsterklärend zum Anwenden und benötigen keine hohen Investitionskosten. In der Praxis werden die Maßnahmen gemeinsam mit den Mitarbeitern auf dem Shopfloor entwickelt.<sup>49</sup>

Ein charakteristisches Merkmal von Poka Yoke sind einfache Vorrichtungen oder Ablaufsicherungen, die zu sehr geringen Kosten mit operativen Mitarbeitern umgesetzt werden können.

In der Abbildung 2.5 wird der Entwurf eines Werkstückträgers zur Absicherung und der Orientierung der Teile beim Einlegen dargestellt. Die Vorrichtung dient dazu, dass das Werkstück nicht falsch in den Werkstückträger eingelegt werden kann.<sup>50</sup>

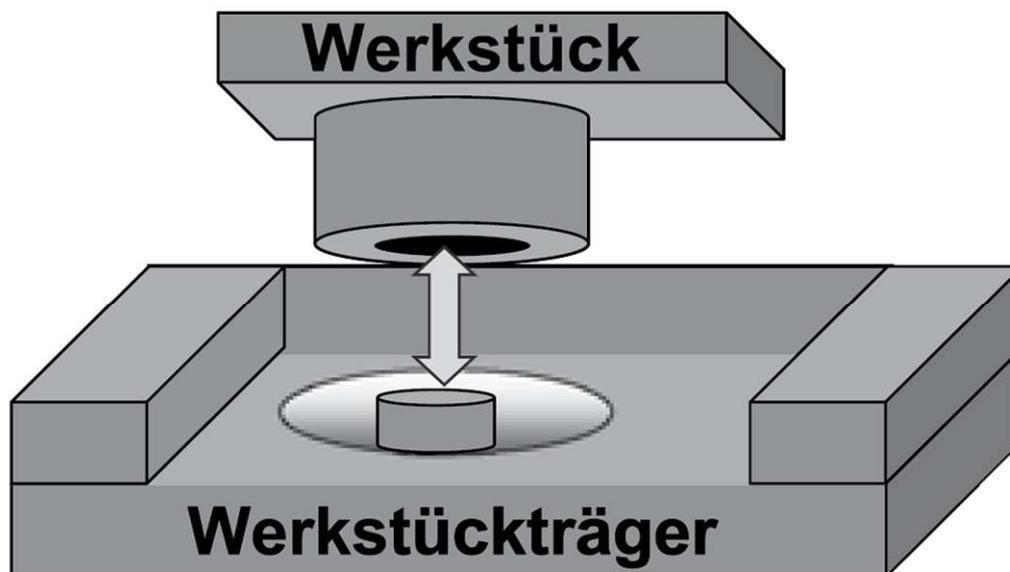


Abbildung 2.5: Poka Yoke - Vorrichtung für Werkstückträger<sup>51</sup>

### 2.1.8 Six Sigma

Six Sigma ist eine betriebswirtschaftliche Strategie, die es dem Unternehmen ermöglicht, das Nettoergebnis zu verbessern. In täglichen Geschäftsaktivitäten werden Verschwendungen und Ressourcen minimiert und gleichzeitig eine höhere Kundenzufriedenheit angestrebt.

<sup>49</sup> vgl. Pötters; Schmitt; Leyendecker, 2018, S.1201

<sup>50</sup> vgl. Dickmann, 2015, S.63

<sup>51</sup> vgl. ebenda, S.64

Die üblichen Qualitätskontrollprogramme legen den Schwerpunkt auf die Erkennung und die Korrektur von kaufmännischen, industriellen und konstruktiven Fehlern. Das Six Sigma Konzept basiert auf langfristig vorausschauenden Maßnahmen und bietet spezifische Methoden an, um einen Prozess neu zu gestalten, sodass Defekte und Fehler kaum eintreten können. Der Ansatz zielt darauf ab, die Qualität des Endproduktes zu verbessern, indem Ursachen für Defekte nach dem erstmaligen Auftreten identifiziert und Gegenmaßnahmen eingeführt und umgesetzt werden. Sobald dieser Ansatz umgesetzt ist, führt dieser zu einer nahezu Null-Fehler-Fertigung, indem die Fehlervermeidung bereits in der Konstruktionsphase integriert wird.

Für die Erklärung und Herleitung des Namens Six Sigma wird die Statistik einer Normalverteilung betrachtet: Für einen bestimmten Wert von Sigma (kurz  $\sigma$ ), ist die Form der Kurve gleich. Für beispielsweise  $6\sigma$  ist der Betrachtungsspann innerhalb des sechsfachen  $\sigma$ -Wertes. In Prozent bedeutet das, dass dieser Bereich zwischen  $\mu+6\sigma$  und  $\mu-6\sigma$ , wobei  $\mu$  für den arithmetischen Mittelwert steht, 99,99966% beträgt.

In der Qualitätskontrolle ist der Begriff jedoch anders definiert. Hier werden die oberen und unteren Kontrollgrenzen für einen Prozess fixiert. Für den Fall einer Three Sigma Quality entspricht der Bereich in etwa 99,73% der Positionen, die innerhalb der Werte  $\mu+3\sigma$  und  $\mu-3\sigma$  in der Normalverteilung enthalten sind. Diese Form der Kurve ist für diesen Fall flacher. Bei einer Six Sigma Quality liegen 99,99966% aller Position zwischen  $\mu+6\sigma$  und  $\mu-6\sigma$  in der Normalverteilung, wobei die Form der Kurve steiler ist, als bei der Three Sigma Quality.<sup>52</sup> In der Abbildung 2.6 wird der Zusammenhang zwischen dem statistischen Konzept und dem Total Quality Management Konzept von  $\sigma$  grafisch dargestellt.

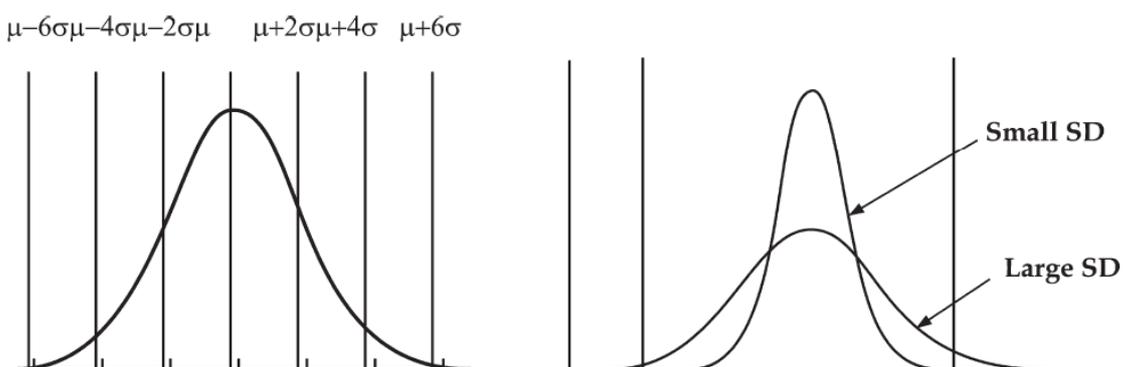


Abbildung 2.6: Statistisches Konzept (links) und TQM Konzept (rechts) von Sigma <sup>53</sup>

<sup>52</sup> vgl. Kiran, 2017, S.347ff

<sup>53</sup> vgl. ebenda, S.350

### 2.1.9 Mehrmaschinenbedienung

Ein wichtiges Element der Lean Production zur Effizienzsteigerung ist die Mehrmaschinenbedienung. Sie beschreibt, in welcher Abfolge mehrere Maschinen nacheinander bedient werden sollen, unter der Voraussetzung, dass die Maschinentakte dies zulassen. Durch die Mehrmaschinenbedienung wird die Arbeitszeit des Werkers effizienter genutzt, da Verschwendungen, welche durch Wartezeiten zwischen den einzelnen Eingriffen entstehen, durch wertschöpfende Tätigkeiten ersetzt werden.<sup>54</sup>

#### Ein Beispiel der Mehrmaschinenbedienung aus der Praxis

Zum besseren Verständnis wird die Mehrmaschinenbedienung anhand eines Beispiels erklärt: Für die Steigerung der Maschinen- und Anlagenproduktivität wird im folgenden Beispiel die Optimierung des Wertstroms genauer betrachtet. Das Ziel von diesem Prozess ist die Synchronisierung der Taktzeit an den Kundentakt. Der Produktionsprozess umfasst die Prozessschritte Gießen, Fräsen und Schleifen. Durch spanende Bearbeitungsverfahren entstehen aus einem rohen Gussteil verschiedene Endprodukte. Der Kunde fordert für die Endprodukte einen Kundentakt von 48 Sekunden pro Stück. Bei der Betrachtung der IST-Taktzeit wird ersichtlich, dass der Prozess Schleifen über dem Kundentakt liegt und einen Engpass kennzeichnet (siehe Abbildung 2.7).<sup>55</sup>

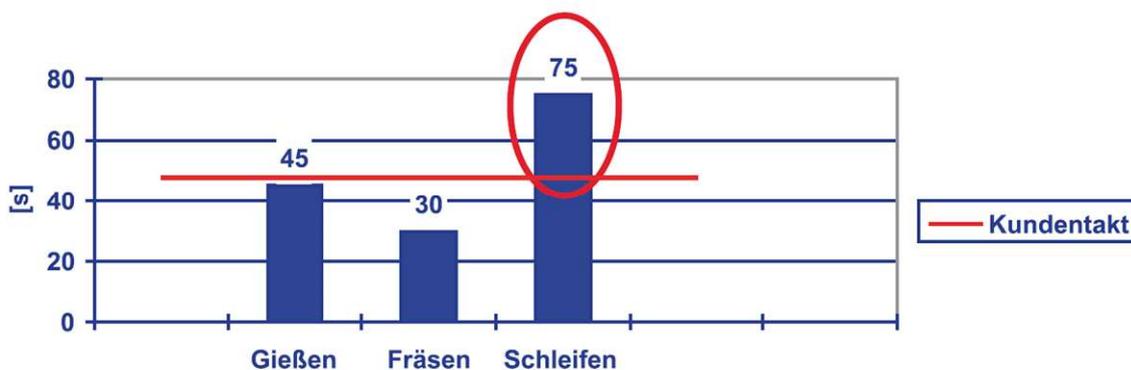


Abbildung 2.7: Beispiel Mehrmaschinenbedienung - IST-Taktzeit <sup>56</sup>

Zur Erreichung des Kundentaktes, wird zunächst der Schleifprozess genauer hinsichtlich wertschöpfender und nicht wertschöpfender Tätigkeiten analysiert, wobei die nicht wertschöpfenden Zeiten eliminiert bzw. reduziert werden. Durch Hinzufügen einer weiteren Maschine erfolgt die Steigerung der Kapazitäten, wodurch die Bearbeitungszeit des Schleifprozesses halbiert wird (siehe Abbildung 2.8). Eine Mehrmaschinenbedienung kann durch das Zusammenlegen der Fräs- und

<sup>54</sup> vgl. Dickmann et al., 2015, S.9

<sup>55</sup> vgl. Kletti; Schumacher et. al., 2014, S.83

<sup>56</sup> vgl. ebenda, S.84

Schleifmaschinen in einer Fertigungsinsel realisiert werden, da der Bediener aufgrund der geringen Taktzeit der Fräsmaschine alle drei Maschinen parallel bedienen kann (siehe Abbildung 2.9).<sup>57</sup>

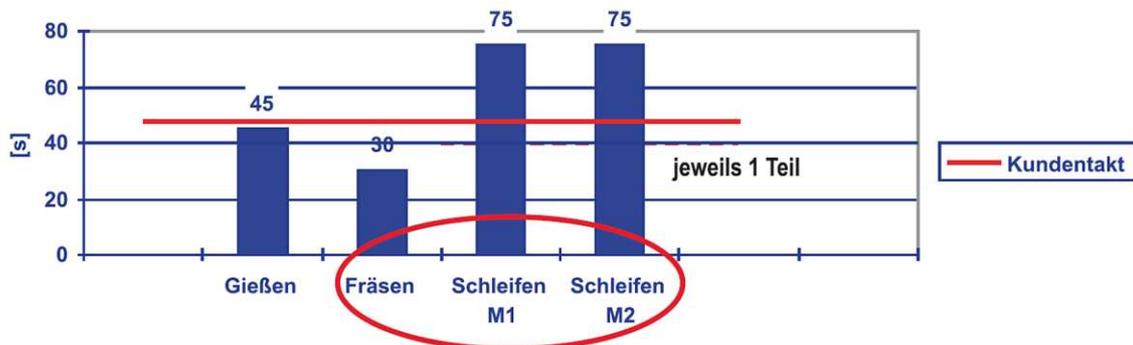


Abbildung 2.8: Beispiel Mehrmaschinenbedienung – Taktzeitsynchronisierung<sup>58</sup>

Eine Mehrmaschinenbedienung für die Prozesse Fräsen und Schleifen kann in mehreren Schritten erfolgen:<sup>59</sup>

1. Zu Beginn erfolgt die Entnahme des gefrästen Bauteils, das Einspannen eines neuen Bauteils und der Start des Fräsprozesses.
2. Danach wird ein geschliffenes Bauteil aus der Schleifmaschine 1 entnommen, ein neues Bauteil eingelegt und der Start des Schleifprozesses initiiert.
3. Im dritten Schritt erfolgt erneut die Entnahme des gefrästen Bauteils, das Einspannen eines neuen Bauteils und der Start des Fräsprozesses.
4. Zum Abschluss des Zyklus wird das geschliffene Bauteil aus der Schleifmaschine 2 entnommen, ein neues Bauteil eingelegt und der Schleifprozess gestartet.

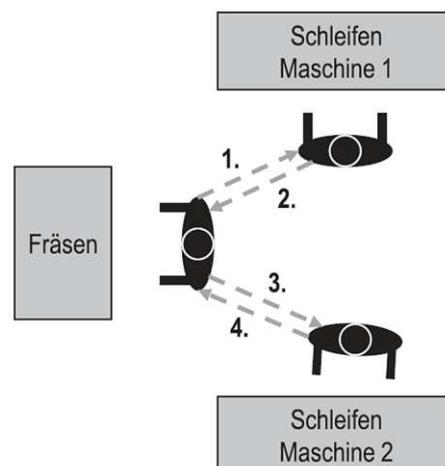


Abbildung 2.9: Mehrmaschinenbedienung bei guter Austaktung<sup>60</sup>

<sup>57</sup> vgl. Kletti; Schumacher et. al., 2014, S.85

<sup>58</sup> vgl. ebenda, S.85

<sup>59</sup> vgl. ebenda, S.86

<sup>60</sup> vgl. ebenda, S.86

## 2.2 Total Productive Maintenance

Die Instandhaltungskosten sind ein wesentlicher Teil der Gesamtbetriebskosten von Produktionsbetrieben und variieren, je nach Branche, zwischen 15% und 60%. Die durchschnittlich anfallenden Instandhaltungskosten für Nahrungsmittelindustrien belaufen sich auf ungefähr 15% der Herstellungskosten, während die Instandhaltungskosten für Schwerindustrie wie Bergbau, Eisen- und Stahlindustrie, sowie Zellstoff- und Papierindustrie, bis zu 60% der totalen Herstellungskosten betragen. Untersuchungen zur Effektivität der Instandhaltung von Unternehmen haben gezeigt, dass ungefähr ein Drittel aller Instandhaltungskosten aufgrund von ungeeignet gewählten Instandhaltungsmaßnahmen anfallen. Ein wesentlicher Grund für das unwirksame Instandhaltungsmanagement sind die fehlenden qualitativen Daten zur Quantifizierung des tatsächlichen Instandhaltungsbedarfes von Maschinenanlagen und deren Equipment. Die Instandhaltungsplanung erfolgt meistens auf Grundlage von statistischen Trenddaten zum Ausfall einzelner Einzelteile (z.B. berechnete Lebensdauer von Wälzlagern), bis hin zum tatsächlichen Auftreten eines Maschinenanlagenausfalls durch den Defekt eines Einzelteiles.<sup>61</sup>

### 2.2.1 Definition der Total Productive Maintenance

Die Total Productive Maintenance wird oftmals bezeichnet als die Integration der produktiven Instandhaltung im gesamten Unternehmen. Die Einführung des TPM-Konzeptes erfordert eine Zusammenarbeit auf allen Ebenen, einschließlich der Managementebene. In der Praxis scheitert das Konzept oftmals an dieser fehlenden internen Kommunikation sowie der fehlenden Zusammenarbeit zwischen Mitarbeitern und Management.<sup>62</sup>

Die Definition des TPM laut Nakajima (1988) umfasst folgende fünf Kernelemente:<sup>63</sup>

1. TPM zielt auf die Maximierung der Anlageneffektivität ab.
2. TPM bildet ein durchgängiges Instandhaltungssystem über die gesamte Lebensdauer einer Anlage ab.
3. TPM wird durch zahlreiche Abteilungen (z.B. Engineering, Fertigung und Instandhaltung) implementiert und praktiziert.
4. TPM involviert jeden einzelnen Mitarbeiter von der obersten Führungsebene bis hin zu den Mitarbeitern in der Produktion.
5. TPM basiert aufgrund der Förderung und Unterstützung des Managements.

---

<sup>61</sup> vgl. Mobley, 2002, S.1f

<sup>62</sup> vgl. Nakajima, 1988, S.10

<sup>63</sup> vgl. ebenda, S.10f.

## 2.2.2 Entwicklung zum Total Productive Maintenance

Im folgenden Abschnitt wird die Entwicklung verschiedener Instandhaltungskonzepte bis hin zum Total Productive Maintenance betrachtet.

### Breakdown Maintenance

Breakdown Maintenance bzw. störungsbedingte Instandhaltung ist das erste und älteste Instandhaltungskonzept und wurde vor dem Jahr 1950 eingesetzt. Bei diesem Instandhaltungskonzept werden die Mitarbeiter der Instandhaltung aktiv, wenn eine Komponente oder die gesamte Maschinenanlage ausgefallen ist oder die Anlagenperformance signifikant abnimmt.<sup>64</sup>

Bei der Breakdown Maintenance handelt es sich um das kostenintensivste Konzept, da es aufgrund des Ausfalls der Maschinenanlage zu längeren Stillstandzeiten und dadurch zu einer geringeren Anlagenverfügbarkeit führt. Durch den Maschinenausfall entstehen zusätzliche Ersatzteilkosten und Überstundenkosten zur Behebung der Störung.<sup>65</sup>

### Preventive Maintenance

Preventive Maintenance bzw. präventive oder intervallabhängige Instandhaltung wurde erstmals im Jahr 1951 eingeführt, mit dem Ziel durch vorbeugende Instandhaltungsmaßnahmen Maschinenausfälle zu verhindern und dadurch die Lebensdauer der Maschinen zu erhöhen. Dieses Konzept inkludiert Instandhaltungsarbeiten, wie beispielsweise Schmierung von Anlagenkomponenten, Reinigungen, Austausch von Komponenten, Anziehen und Einstellen von Muttern und Schrauben.<sup>66</sup>

Nach den Grundsätzen der Zuverlässigkeitstechnik ändert sich das Ausfallverhalten über die Zeit. Um die Ausfallrate einer Maschine darzustellen, wurde die Lebenszyklus-Charakteristik erstellt (siehe Abbildung 2.10). Bei einer neuen Anlage ist die Wahrscheinlichkeit eines Ausfalls in der Anfangsphase hoch, da die Anlage möglicherweise nicht korrekt hergestellt oder eingerichtet worden ist. Über die Lebensdauer nimmt die Ausfallwahrscheinlichkeit vorübergehend ab, bis die Anlage das Ende der Lebensdauer erreicht hat und schlussendlich ausfällt.<sup>67</sup>

Anlagenausfälle sind in der Anfangsphase auf fehlerhaften Anlagenzusammenbau bzw. -herstellung zurückzuführen. Zur Vermeidung dieser Ausfälle muss die Konstruktions- und Fertigungsabteilung in der Anfangsphase auf der Anlage unterschiedlichste Testläufe durchführen. Die zufällig auftretenden Ausfälle innerhalb

<sup>64</sup> vgl. Jain; Bhatti; Singh, 2014, S.295

<sup>65</sup> vgl. Mobley, 2002, S.2

<sup>66</sup> vgl. Jain; Bhatti; Singh, 2014, S.295f

<sup>67</sup> vgl. Nakajima, 1988, S.36

des Lebenszyklus sind häufig abhängig von Bedienungsfehlern, welche durch geeignete Schulungen vermieden werden können. Die generelle Anlagenlebensdauer kann durch präventive und kontinuierlich bessere Instandhaltung verlängert werden.<sup>68</sup>

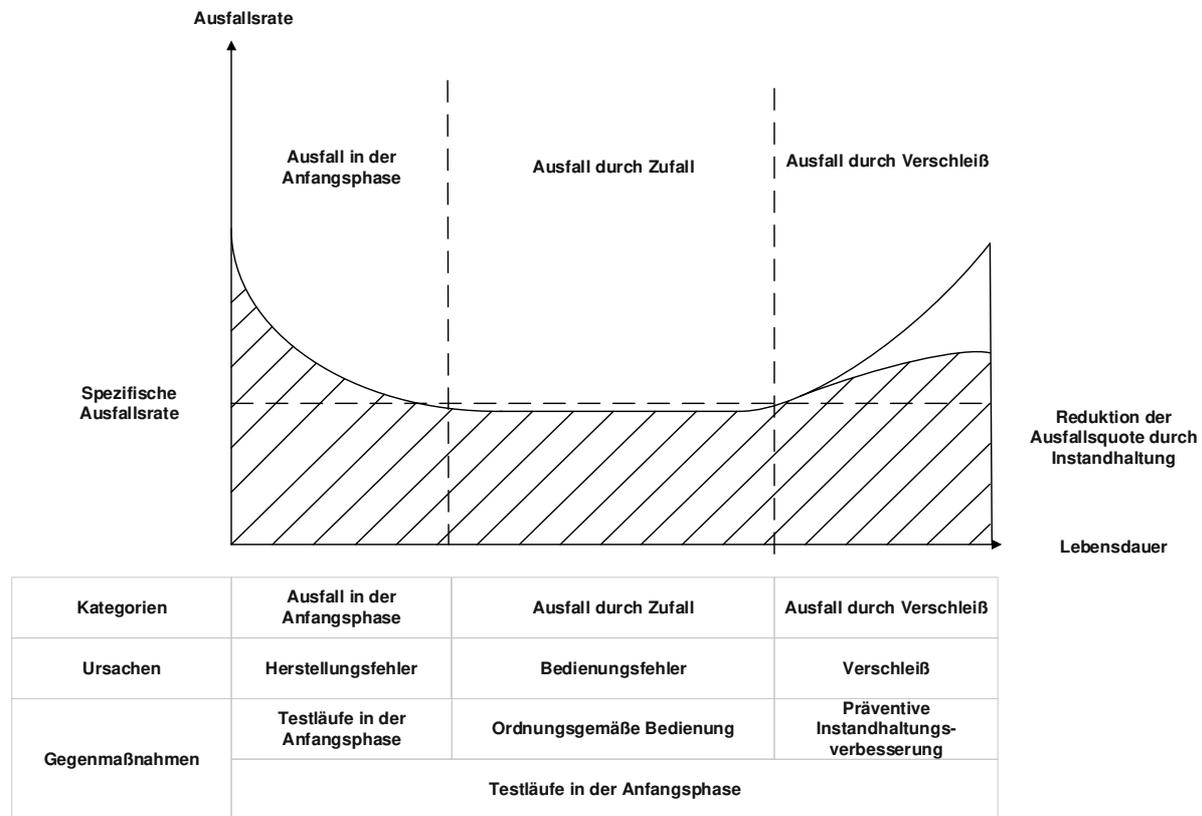


Abbildung 2.10: Ausfallcharakteristik einer Anlage über den Lebenszyklus<sup>69</sup>

Die Mean Time To Failure (kurz MTTF) ist eine Instandhaltungskennzahl, welche die mittlere Betriebsdauer bis zum Ausfall beschreibt. In der präventiven Instandhaltung werden Maschinenreparaturen und -umbauten nach der MTTF-Statistik geplant. Eine Analyse über auftretende Instandhaltungskosten hat gezeigt, dass Reparaturen, welche nach einer Störung auftreten (Breakdown Maintenance), dreimal so hohe Kosten aufweisen, wie dieselben Reparaturen, wenn sie in regelmäßig geplanten Intervallen (Preventive Maintenance) stattfinden.<sup>70</sup>

### Productive Maintenance

Productive Maintenance bzw. produktive Instandhaltung dient zur Verbesserung der Anlagenproduktivität. Das Ziel ist die Erhöhung der Produktivität eines Unternehmens mit Hilfe der Reduktion der Gesamtkosten der Maschinenanlage über die gesamte Lebenszeit von der Konstruktion, Herstellung, Bedienung und Wartung bis zum Maschinenausfall. Die wesentlichen Ziele sind die Anlagenzuverlässigkeit,

<sup>68</sup> vgl. Nakajima, 1988, S.38

<sup>69</sup> vgl. ebenda, S.37

<sup>70</sup> vgl. Mobley, 2002, S.3f

Wartungsfreundlichkeit, sowie das Kostenbewusstsein bei den Instandhaltungsarbeiten.<sup>71</sup>

### **Predictive Maintenance**

Predictive Maintenance bzw. prädiktive Instandhaltung verwendet aktive Überwachungssysteme und Analysetechniken, um die aktuellen Zustände einzelner Komponenten der Maschinen zu identifizieren. Das Konzept sendet bei ersten Anzeichen von Verschlechterung oder drohenden Ausfällen Warnzeichen an den Maschinenbediener und das Instandhaltungsteam aus.<sup>72</sup>

Predictive Maintenance ist ein zustandsgesteuertes Instandhaltungsprogramm. Im Vergleich zur Preventive Maintenance, welches sich nach einer durchschnittlichen Lebensdauerstatistik (z.B. MTTF-Statistik) orientiert, verwendet das Predictive Maintenance ein aktives Überwachungssystem um die mechanischen Zustände, den Systemwirkungsgrad und andere Indikatoren zu ermitteln. Das aktive Überwachungssystem ermöglicht die aktuelle MTTF oder auftretende Effizienzverluste der Maschine zu bestimmen. Mit effektiven Werkzeugen (z.B. Schwingungsüberwachung, Thermographie, Tribologie, etc.) ermittelt das Überwachungssystem aktuelle Betriebszustände. Dadurch werden maschinentechnische Probleme frühzeitig erkannt, bevor gravierende Probleme auftreten können. Die meisten mechanischen Probleme können dadurch auf ein Minimum reduziert werden, wenn diese rechtzeitig entdeckt und repariert werden.<sup>73</sup>

### **Total Productive Maintenance**

Die Total Productive Maintenance wurde auf Grundlage des Konzeptes und der Methoden der Productive Maintenance entwickelt. Bis zu den 1970er Jahren verfolgte die japanische Productive Maintenance die Ziele der Preventive Maintenance und Revisionsarbeiten. Während den 1980er wurde die Preventive Maintenance durch die Predictive Maintenance ersetzt.<sup>74</sup>

In der Tabelle 2.2 wird die Entwicklung der Total Productive Maintenance dargestellt.

#### **2.2.3 Prinzipien der Total Productive Maintenance**

Der Begriff „Total“ in Total Productive Maintenance verfolgt drei Prinzipien:

1. Die „totale“ Effektivität (siehe Definition 1) zeigt, dass das TPM-Konzept nach Profitabilität strebt.

<sup>71</sup> vgl. Mobley, 2002, S.296

<sup>72</sup> vgl. Nakajima, 1988, S.8 ff

<sup>73</sup> vgl. Mobley, 2002, S.5

<sup>74</sup> vgl. Nakajima, 1988, S.8ff

2. Das „totale“ Instandhaltungssystem (siehe Definition 2) inkludiert die Instandhaltungsprävention, Verbesserungen der Instandhaltung und die präventive Instandhaltung.
3. Die „totale“ Teilnahme aller Mitarbeiter (siehe Definition 3,4 und 5) beschäftigt sich mit der autonomen Instandhaltung durch die Maschinenbediener in Kleingruppenarbeiten.

Das erste Prinzip des TPM, die „totale“ Effektivität, wird auch bei der zustandsabhängigen und produktiven Instandhaltung eingesetzt. Das zweite Prinzip des TPM, das „totale“ Instandhaltungssystem, ist ein Konzept, welches in der Zeit von Productive Maintenance eingeführt wurde. Dieses Prinzip setzt einen Instandhaltungsplan für die gesamte Lebensdauer voraus und berücksichtigt die Instandhaltungsprävention während der Entwicklungs- und Konzeptionsphase. Das dritte Prinzip, die „totale“ Teilnahme aller Mitarbeiter, wird bis dato nur beim TPM verwendet.<sup>75</sup>

Jahr	Periode	Ziel
vorindustrielle Revolution	Reparatur durch Mitarbeiter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• duale Funktion der Mitarbeiter</li> </ul>
Vor 1950	Breakdown Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reparatur von Defekten in einer kurzen Zeit</li> </ul>
1950	Preventive Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhung der Lebensdauer der Maschine</li> <li>• Reduktion von Stillstandszeiten und Defekten</li> </ul>
1960	Productive Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduktion von Stillstandszeiten und Defekten</li> <li>• Erhöhung der Wartungseffizienz</li> </ul>
1970	TPM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine Stillstände und</li> <li>• keine Defekte</li> </ul>
1980 – 1990	TPM mit Predictive Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine Stillstände,</li> <li>• keine Defekte,</li> <li>• Optimierung der Verfügbarkeiten</li> </ul>
Ab 2000	Post-Maintenance Zeitalter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• keine Stillstände,</li> <li>• keine Defekte,</li> <li>• keine Bestände,</li> <li>• keine Unfälle und</li> <li>• keine Verschmutzung</li> </ul>

**Tabelle 2.2: Entwicklung zum Total Productive Maintenance <sup>76</sup>**

<sup>75</sup> vgl. Nakajima, 1988, S.11

<sup>76</sup> vgl. Díaz-Reza; García-Alcaraz; Martínez-Loya, 2019, S.7

## 2.2.4 Ziele der Total Productive Maintenance

Das Ziel einer Produktionsoptimierung ist die Steigerung der Produktivität durch Minimierung des Einsatzes (Inputs) und Maximierung der Ausbringung (Outputs).

Bei der Ausbringung handelt es sich nicht nur um die rein gefertigte Stückzahl, sondern sie umfasst Verbesserungen der Produktqualität, Reduzierung der Kosten, Einhaltung der Liefertermine, Verbesserung der Arbeitsmoral, Steigerung der Sicherheits- und Gesundheitsbedingungen, sowie einer kontinuierlich gepflegten Arbeitsumgebung.

Der Einsatz umfasst Bereiche wie Arbeit, Maschinen und Material. Die Ausbringung bezieht sich auf Bereiche wie Produktion, Qualität, Kosten, Lieferung, Sicherheits- und Gesundheitsbedingungen und Arbeitsmoral. Mit zunehmender Automatisierung durch Maschinenanlagen wird der Schwerpunkt der Fertigung von den Mitarbeitern auf die Maschinenanlagen übertragen. Die Faktoren Produktivität, Qualität, Kosten, Liefertreue, Sicherheits- und Gesundheitsbedingungen, Arbeitsumgebung und Arbeitsmoral werden dadurch vom Zustand der Maschine abhängig.<sup>77</sup>

Das Ziel des TPM ist die Maximierung der Overall Equipment Effectiveness (siehe Kapitel 2.3) durch Maximierung der Ausbringung und Minimierung des Einsatzes. Um die Ziele des TPM-Konzeptes zu erreichen, werden die sechs Effizienzverluste („Six Big Losses“) vermieden. Eine detaillierte Erläuterung der sechs Effizienzverluste erfolgt im Kapitel 2.3.2 zur Berechnung der Overall Equipment Effectiveness.<sup>78</sup>

### Die Five Zeros des Total Productive Maintenance

Eine der Hauptaufgaben des Managements ist es Faktoren zu minimieren, welche Produktionsstillstände erhöhen und dadurch Verluste der Profitabilität verursachen. Ein Einsatz zur Erreichung dieser Ziele sind die Five Zeros: keine Stillstände, keine Defekte, keine Störungen, keine Verunreinigungen und keine Bestände. Die Vermeidung von Bestand wird im Allgemeinen nur in jenen Produktionsbetrieben angewendet, in welchen der Lagerbestand einen wesentlichen kostensteigenden Faktor darstellt. In einiger Literatur wird daher meistens nur die Four Zeros des TPM betrachtet, wobei der Lagerbestand nicht berücksichtigt wird.<sup>79</sup>

### Fünf Gegenmaßnahmen, um Stillstände zu vermeiden

Im Idealfall können Stillstände aufgrund von Maschinenausfälle durch regelmäßige und präventive Instandhaltung vermieden werden. Viele herkömmlichen Industrieanlagen weisen meistens ein Wartungspotential auf. Deshalb erfolgen im ersten Schritt die Beseitigung aller aktuell auftretenden Fehler an der Maschinenanlage. Bei funktionsfähigen, produzierenden Maschinenanlagen können

<sup>77</sup> vgl. Nakajima, 1988, S.12f

<sup>78</sup> vgl. ebenda, S.13

<sup>79</sup> vgl. Kiran, 2017, S.183

Verschlechterungen Zeitverluste verursachen. Diese Zeitverluste können durch einen Mehraufwand beim Rüstvorgang, häufige kurze Stillstände und einer Reduktion der Zykluszeit entstehen. Die folgenden fünf Gegenmaßnahmen dienen zur Eliminierung von Stillständen:

1. Aufrechterhaltung eines gepflegten Grundzustandes der Anlage,
2. Einhaltung der Betriebsabläufe,
3. Wiederherstellung des Zustandes bei auftretenden Verschlechterungen,
4. Schwachstellen eliminieren und
5. eine Verbesserung der Bedienungs- und Wartungskenntnisse.<sup>80</sup>

### Die Fünf TPM-Voraussetzungen

In der Praxis werden die TPM- und Optimierungsmaßnahmen individuell nach Maschinenanlage angepasst. Für eine erfolgreiche Einführung von dem TPM müssen folgende fünf Voraussetzungen erfüllt sein:

1. Reduzierung und Vermeidung der sechs Effizienzverluste,
2. ein autonomes Instandhaltungsprogramm der Maschinenbediener,
3. ein geplantes Instandhaltungsprogramm der Instandhaltung,
4. ständige Weiterbildungen der Maschinenbediener sowie des Instandhaltungspersonals und
5. ein Erstausrüstungsprogramm zur Verwaltung der Prozesse.<sup>81</sup>

### 2.2.5 Die acht Säulen des Total Productive Maintenance

In der heutigen Zeit ist es nicht ungewöhnlich, dass operative Abteilungen eines Unternehmens und die Instandhaltung jeweils 30% der gesamten Mitarbeiter vom Unternehmen ausmachen. Die Funktion der Instandhaltung in modernen Fertigungsunternehmen gewinnt immer mehr an Bedeutung, da Unternehmen die Instandhaltung als gewinnbringendes Geschäftselement einsetzen.

Das TPM-Konzept besteht aus acht Säulen. Das Ziel der acht Säulen des TPMs ist eine erhebliche Steigerung in der Arbeitsproduktivität, eine Reduzierung der Instandhaltungskosten und eine Reduzierung der Produktionsausfälle und -stillstände.

Die acht Säulen des TPMs umfassen:

1. autonome Instandhaltung,
2. fokussierte Instandhaltung,
3. geplante Instandhaltung,
4. qualitative Instandhaltung,

<sup>80</sup> vgl. Nakajima, 1988, S.38ff

<sup>81</sup> vgl. ebenda, S.51f

5. Weiterbildungen und Trainings,
6. Sicherheit, Gesundheit und Umwelt,
7. Office TPM und
8. Entwicklungsmanagement.<sup>82</sup>

## 2.2.6 Die Werkzeuge des Total Productive Maintenance

Die Einführung von TPM erfordert eine langfristige Verpflichtung zur Verbesserung der Anlageneffektivität durch Schulung, Managementunterstützung und Teamarbeit. Das TPM verwendet eine Vielzahl von verfügbaren Werkzeugen zur Steigerung der Qualität: die Pareto-Analyse, die Qualitätsregelkarte, Problemlösungstechniken (Brainstorming, Ishikawa-Diagramm, 6M-Methode), Problemlösungen im Team, Poka-Yoke-Systeme, autonome Instandhaltung, kontinuierliche Verbesserung, 5S-Methode, Rüstzeitminimierung (SMED), Verminderung von Verschwendung, Engpassanalyse, Ideenmanagement (Belohnungsprogramme) und Simulationen als Werkzeug zur Problemidentifikation und -lösung.<sup>83</sup>

## 2.3 Overall Equipment Effectiveness

Aufgrund des intensiv zunehmenden globalen Wettbewerbs sind Unternehmen bestrebt, ihre Produktivität zu verbessern und zu optimieren, um ihre Wettbewerbsfähigkeit beizubehalten und/oder zu steigern.<sup>84</sup> Diese Fähigkeit kann durch Identifikation und Eliminierung von Produktionsverlusten realisiert werden. Dadurch können die Produktionskosten auf ein Minimum reduziert werden.<sup>85</sup>

Als geeignetes Konzept dient die Overall Equipment Effectiveness. Die OEE ist ein Konzept aus der Total Productive Maintenance und wurde erstmals im Jahr 1988 von Nakajima in dem Buch „Introduction to TPM: Total Productive Maintenance“ definiert. Das Konzept dient zur Messung der Produktivität einer Anlage, indem es mögliche Verluste aufdeckt und Potenziale zur Verbesserung aufzeigt.

### 2.3.1 Entwicklung zur OEE

Vor der Entwicklung der OEE wurde die Performance durch die Verfügbarkeit und die Stillstandszeit beschrieben. Der Ansatz für die Berechnung war zeitgerecht, bis realisiert wurde, dass mit der gleichen Summe von Stillständen ein unterschiedlicher Output generiert wurde. Für das bessere Verständnis wird die Performance von zwei unterschiedlichen Anlagen betrachtet (siehe Abbildung 2.11): die Anlagen A und B verfügen über eine Gesamtverfügbarkeit von 100 Stunden und haben jeweils eine

<sup>82</sup> vgl. Jain; Bhatti; Singh, 2014, S.297

<sup>83</sup> vgl. ebenda, S.299

<sup>84</sup> vgl. Huang; Dimuskes; Shi; Su; Razzak; Bodhale; Robinson, 2003, S.513

<sup>85</sup> vgl. Muchiri; Pintelon, 2008, S.3517

Stillstandzeit von insgesamt zehn Stunden. Der Unterschied zwischen den Anlagen ist, dass Anlage A einen Stillstand über eine Dauer von zehn Stunden und Anlage B in regelmäßigen Abständen zehn Stillstände mit einer Dauer von einer Stunde aufweist. Beim Vergleich wird ersichtlich, dass Anlage A eine längere durchgehende störungsfreie Produktionszeit als Anlage B liefert. Dadurch kann ein höhere Ausbringung realisiert werden. Die Logik dahinter ist nachvollziehbar, da bei jedem Stillstand ein gewisser Qualitätsverlust in Form von Ausschuss oder Nacharbeit entstehen kann. Unter anderem wird bei jedem neuen Anfahren der Anlage mit einer reduzierten Geschwindigkeit gefertigt, bis die optimale Geschwindigkeit erreicht wird. Aus diesen Gründen wurde die OEE entwickelt.<sup>86</sup>

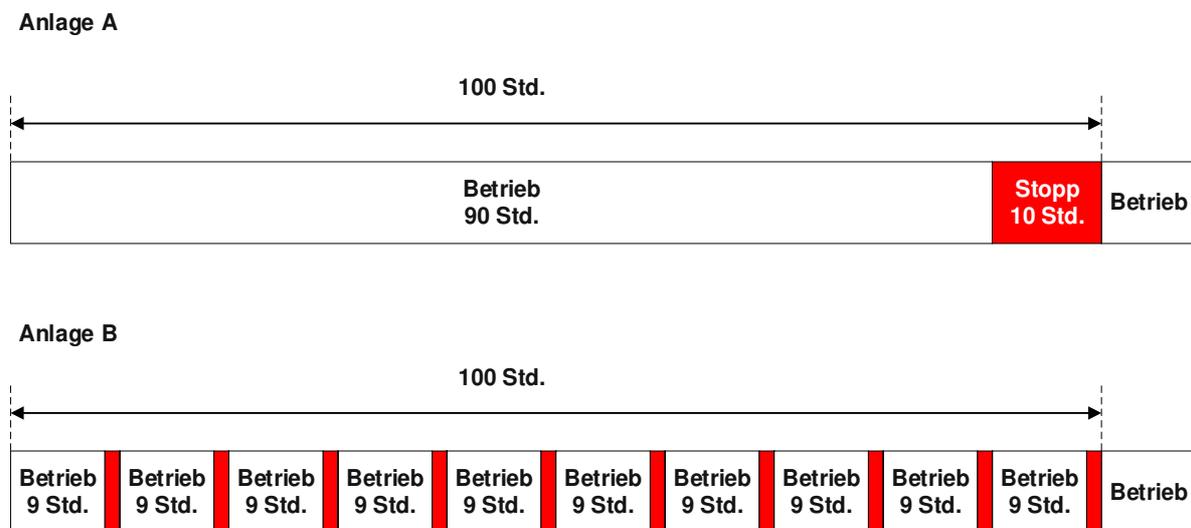


Abbildung 2.11: Grundverständnis zur Overall Equipment Effectiveness<sup>87</sup>

### 2.3.2 Berechnung der OEE

Die Berechnung erfolgt nach Nakajima (1988) wie folgt:<sup>88</sup>

Die OEE ist das Produkt aus dem Verfügbarkeits-, Leistungs- und Qualitätsfaktor.

$$\text{OEE [\%]} = \text{Verfügbarkeitsfaktor [\%]} \cdot \text{Leistungsfaktor [\%]} \cdot \text{Qualitätsfaktor [\%]}$$

#### Formel 2.1: Berechnung der Overall Equipment Effectiveness

#### Verfügbarkeitsfaktor

Der Verfügbarkeitsfaktor ist das Verhältnis von Nettobetriebszeit zur Bruttobetriebszeit. Die Planbelegungszeit ist definiert als die verfügbare Gesamtzeit über eine Leistungsperiode (z.B. eine Kalenderwoche), abzüglich der geplanten Stillstände (z.B. Wochenende). Die Bruttobetriebszeit errechnet sich aus der

<sup>86</sup> vgl. Kennedy, 2017, S.1

<sup>87</sup> vgl. ebenda, S.2

<sup>88</sup> vgl. Nakajima, 1988, S.22ff

Subtraktion der bedingten Stillstände (z.B. geplante Instandhaltung) von der Planbelegungszeit. Die Nettobetriebszeit resultiert durch die Subtraktion der ungeplanten Stillstände, durch Störung bzw. Ausfall der Anlage, sowie Rüst- bzw. Einstellvorgänge der Anlage, von der Bruttobetriebszeit.

$$\text{Planbelegungszeit [min]} = \text{Verfügbare Gesamtzeit [min]} - \text{geplante Stillstände [min]}$$

**Formel 2.2: Planbelegungszeit**

$$\text{Bruttobetriebszeit [min]} = \text{Planbelegungszeit [min]} - \text{bedingte Stillstände [min]}$$

**Formel 2.3: Bruttobetriebszeit**

$$\text{Nettobetriebszeit [min]} = \text{Bruttobetriebszeit [min]} - \text{ungeplante Stillstände [min]}$$

**Formel 2.4: Nettobetriebszeit**

$$\text{Verfügbarkeitsfaktor [\%]} = \frac{\text{Nettobetriebszeit [min]}}{\text{Bruttobetriebszeit [min]}} \cdot 100$$

**Formel 2.5: Verfügbarkeitsfaktor**

## Leistungsfaktor

Der Leistungsfaktor ist das Produkt der Betriebsgeschwindigkeit und der Nettobetriebsrate. Die Betriebsgeschwindigkeit ist das Verhältnis zwischen der idealen und der aktuellen Geschwindigkeit bzw. Zykluszeit.

$$\text{Betriebsgeschwindigkeit [\%]} = \frac{\text{theoretische Zykluszeit [min/Stk]}}{\text{aktuelle Zykluszeit [min/Stk]}} \cdot 100$$

**Formel 2.6: Betriebsgeschwindigkeit**

Die Nettobetriebsrate misst, ob die Anlage trotz einer niedrigeren Betriebsgeschwindigkeit stabil produzieren kann. Die Leistungsverluste resultieren aus den kurzen, nicht protokollierten Stillständen, wie beispielsweise kleineren Problemen und Anpassungsverlusten sowie der verringerten Geschwindigkeit.

$$\text{Nettobetriebsrate [\%]} = \frac{\text{produzierte Menge [Stk]} \cdot \text{aktuelle Zykluszeit [min/Stk]}}{\text{Nettobetriebszeit [min]}} \cdot 100$$

**Formel 2.7: Nettobetriebsrate**

$$\text{Leistungsfaktor [\%]} = \text{Betriebsgeschwindigkeit [\%]} \cdot \text{Nettobetriebsrate [\%]}$$

**Formel 2.8: Leistungsfaktor**

## Qualitätsfaktor

Der Qualitätsfaktor ist das Verhältnis zwischen der produzierten Gutmenge und der produzierten Gesamtmenge aller Produkte. Die Differenz zwischen der Gesamtmenge

und der Gutmenge kann aufgrund von Ausschuss und Nacharbeit in der Herstellungs- und in der Projektanfahrphase entstehen.

$$\text{Qualitätsfaktor [\%]} = \frac{\text{Gutmenge [Stk]}}{\text{Anzahl der produzierten Menge [Stk]}} \cdot 100$$

#### Formel 2.9: Qualitätsfaktor

Unter optimalen Voraussetzungen besteht die OEE aus einem Verfügbarkeitsfaktor größer als 90%, einem Leistungsfaktor größer als 95% und einem Qualitätsfaktor größer als 99%. Das resultiert in einer idealen OEE von über 85%.<sup>89</sup>

Für die weitere Analyse der OEE werden die sechs Effizienzverluste („Six Big Losses“) betrachtet, welche in die Kategorien Verfügbarkeits-, Leistungs- und Qualitätsverluste eingeteilt werden:<sup>90</sup>

#### Verfügbarkeitsverluste

Verfügbarkeitsverluste bestehen aus ungeplanten Stillständen durch Störung bzw. Ausfall der Anlage und Rüst- bzw. Einstellvorgänge. Ungeplante Stillstände können beispielsweise durch einen fehlenden Maschinenbediener (z.B. aufgrund einer Erkrankung, Verspätung, etc.) bzw. fehlendes Material auftreten. Störungen sowie der Ausfall der Maschine können durch defekte Einzelkomponenten der Anlage auftreten. Der Wechsel von Vorrichtungen zwischen zwei unterschiedlichen Produkten bei einer stillstehenden Maschine führt zu zusätzlichen Rüst- und Einstellvorgängen, welche die vorhandene Anlagenverfügbarkeit reduzieren.

#### Leistungsverluste

Bei den Leistungsverlusten wird zwischen kurzen Stillständen (sogenannte Micro-Stops) und Geschwindigkeitsverlusten unterschieden. Die kurzen Stillstände können durch kleinere Störungen (z.B. Mitarbeiter kurzzeitig abwesend) auftreten und befinden sich im einminütigen Bereich. Die Geschwindigkeitsverluste treten auf, wenn die aktuelle Geschwindigkeit kleiner ist als die theoretisch festgelegte optimale Geschwindigkeit für den gewählten Abschnitt.

#### Qualitätsverluste

Bei den Qualitätsverlusten wird zwischen Qualitätsmängeln in der Anfahrphase und in der Herstellungsphase unterschieden. Ein Qualitätsmangel wird klassifiziert als ein defektes (Ausschuss) oder ein nachzubearbeitendes Bauteil (Nacharbeit).

<sup>89</sup> vgl. Nakajima, 1988, S.28

<sup>90</sup> vgl. ebenda, S.25

In der Abbildung 2.12 werden die sechs Effizienzverluste „Six Big Losses“ und dargestellt.

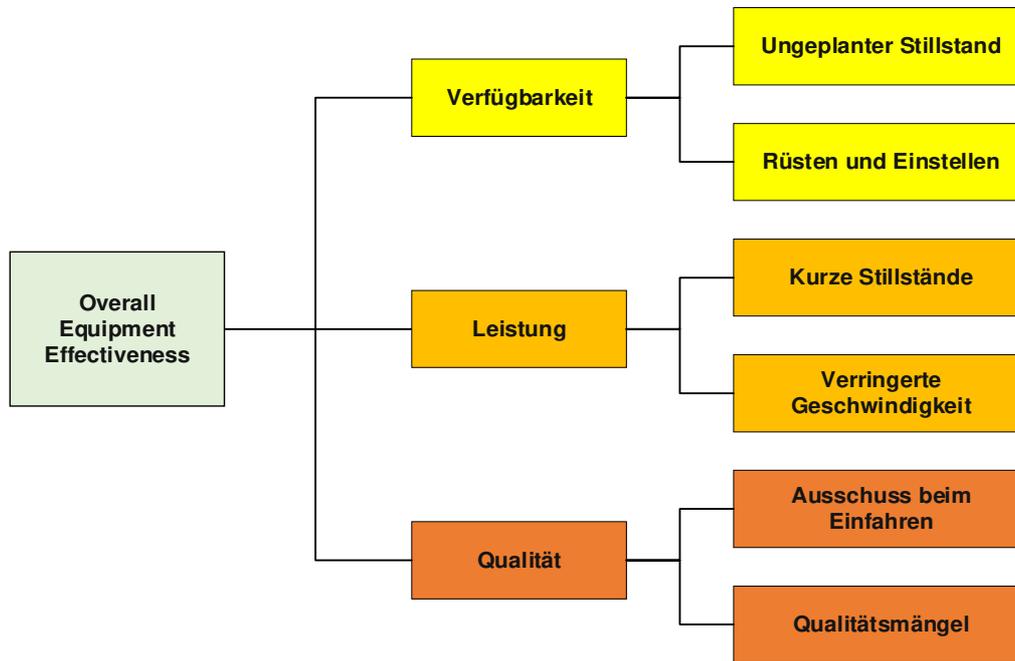


Abbildung 2.12: Die sechs Effizienzverluste („Six Big Losses“) <sup>91</sup>

In moderner Literatur hat sich die Anzahl der Verluste auf sieben Effizienzverluste („Seven Big Losses“) erhöht, sodass beispielsweise geplante Stillstände, Mitarbeiterabsprachen, Essenspausen und eine Verteilzeit für Start- und Endschicht, den Verfügbarkeitsfaktor reduziert.<sup>92</sup>

In der Abbildung 2.13 wird einer Übersicht zur strukturellen Zusammensetzung der OEE-Kennzahl dargestellt.

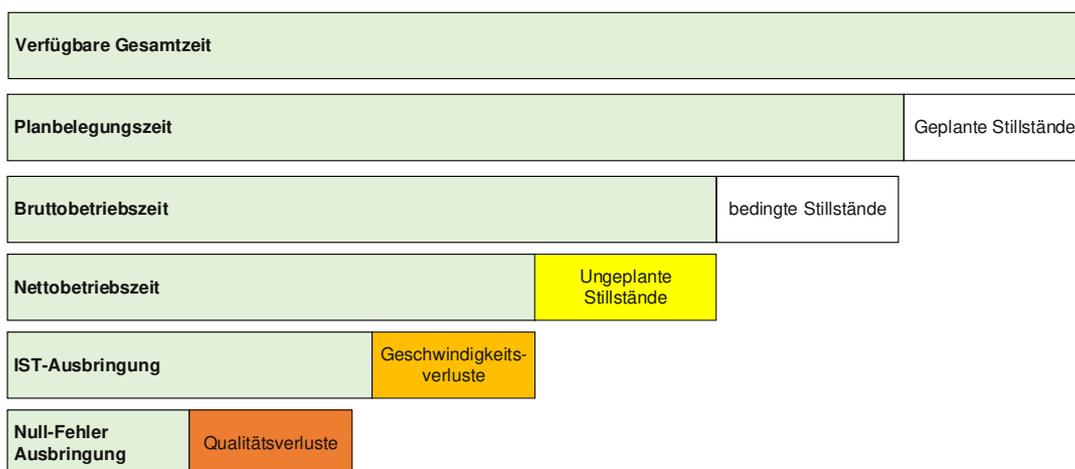


Abbildung 2.13: Zeitenübersicht zur Berechnung der OEE-Kennzahl <sup>93</sup>

<sup>91</sup> vgl. Nakajima, 1988, S.25

<sup>92</sup> vgl. Kennedy, 2017, S.2ff

<sup>93</sup> vgl. Muchiri; Pintelon, 2008, S. 3520

## Grundverständnis aller Bestandteile der Overall Equipment Effectiveness

Alle involvierten Mitarbeiter müssen ein Grundverständnis für alle Bestandteile der OEE besitzen und deren Auswirkungen kennen. Es werden im folgenden Beispiel zwei Anlagen betrachtet: Anlage A hat einen Verfügbarkeitsfaktor von 90%, einen Leistungsfaktor von 95% und einen Qualitätsfaktor von 99%. Anlage B hingegen hat einen Verfügbarkeitsfaktor von 99%, einen Leistungsfaktor von 95% und einen Qualitätsfaktor von 90%. Beide Anlagen haben eine OEE von 85%, jedoch führt die geringere Qualitätsrate von Anlage B (90%) zu höheren Kosten aufgrund von Ausschuss und Nacharbeit.<sup>94</sup>

Ein weiteres interessantes Beispiel für die komplexe Berechnung der OEE lieferte ein australisches Unternehmen: Der Betriebsleiter wollte im Unternehmen die OEE einführen und hat einen Auszug von Nakajima (1988) den Betriebsingenieuren zur Verfügung gestellt. Daraufhin versuchten verschiedene Mitarbeiter die Berechnung. Die Ergebnisse für die OEE variierten zwischen 40% und 105%. Die OEE hängt von zahlreichen Faktoren ab. Einige Mitarbeiter haben Komponenten, wie beispielsweise den geplanten Stillstand, als Verlust in die Berechnung einbezogen, andere aber nicht. Das Beispiel zeigt auf, dass die Maschine grundsätzlich dieselbe OEE besitzt, dass jedoch klar erfasste Standarddefinitionen verstanden und angewandt werden müssen.<sup>95</sup>

### 2.3.3 Weiterentwicklungen der OEE

Seit der Entwicklung der OEE durch Nakajima in den 80er Jahren, wurde das Konzept immer bekannter und häufiger genutzt. Die Insuffizienz des OEE Konzeptes hat zu einer Anpassung und Erweiterung geführt. Die anlagenspezifische OEE wurde adaptiert (z.B. Production Equipment Effectiveness und Total Effective Equipment Performance) und erweitert bis hin zu einer Gesamtanlageneffektivität aller Anlagen auf Werksebene (z.B. Overall Factory Effectiveness und Overall Asset Effectiveness).<sup>96</sup>

#### Production Equipment Effectiveness

Die Production Equipment Effectiveness (kurz PEE) wurde 1994 von Raouf erstmalig definiert. Für das Konzept werden, wie bei der Berechnung der OEE, der Verfügbarkeits-, der Leistungs- und der Qualitätsfaktor berechnet, jedoch mit dem Unterschied, dass diese drei Faktoren unterschiedlich gewichtet werden. Die PEE berechnet sich für diskreten Prozessbetrieb wie folgt:<sup>97</sup>

<sup>94</sup> vgl. Kennedy, 2017, S.7

<sup>95</sup> vgl. ebenda, S.13

<sup>96</sup> vgl. Muchiri; Pintelon, 2008, S.3521

<sup>97</sup> vgl. Raouf, 1994, S.48ff

$$PEE [\%] = \text{Verfügbarkeitsfaktor}^{\kappa_1} [\%] \cdot \text{Leistungsfaktor}^{\kappa_2} [\%] \cdot \text{Qualitätsfaktor}^{\kappa_3} [\%]$$

**Formel 2.10: Berechnung der Production Equipment Effectiveness für eine diskrete Fertigung**

mit  $\kappa_i$  als Gewicht der Faktoren ( $i = 1 - 3$ ) und  $0 \leq \kappa_i \leq 1$  und  $\sum_i^3 \kappa_i = 1$

### Total Effective Equipment Performance

Die Total Effective Equipment Performance (kurz TEEP) ist ein Konzept, das im Jahr 1998 von Ivancic definiert wurde. Der wesentliche Unterschied zwischen der OEE und der TEEP liegt darin, dass bei dem TEEP-Konzept die geplante Stillstandzeit (z.B. geplante Wartung) die Nettobetriebszeit reduziert und dadurch eine weitere Verlustart entsteht. Die TEEP bezieht sich, wie die OEE, nur auf eine Maschinenanlage und berechnet sich durch das Verhältnis zwischen Null-Fehler-Ausbringung und der gesamten verfügbaren Zeit.<sup>98</sup>

$$TEEP [\%] = \frac{\text{Null - Fehler - Ausbringung [min]}}{\text{Verfügbare Gesamtzeit [min]}} \cdot 100$$

**Formel 2.11: Berechnung der Total Effective Equipment Performance**

### Overall Factory Effectiveness

Die Overall Factory Effectiveness (kurz OFE) wurde entwickelt, um die Effektivität aller Anlagen auf Werksebene zu messen. Die OFE kombiniert Abläufe, Prozesse und Beziehungen zwischen Maschinen und enthält alle Art von Informationen auf Werksebene. Die OFE berechnet sich wie folgt:<sup>99</sup>

$$OFE [\%] = \frac{\text{produzierte Gutmenge des Werkes [Stk]}}{\text{theo. mögliche Gutmenge des Werkes in der Bruttobetriebszeit [Stk]}} \cdot 100$$

**Formel 2.12: Berechnung der Overall Factory Effectiveness**

### Overall Asset Effectiveness und Overall Process Effectiveness

Die Overall Asset Effectiveness (kurz OAE) und Overall Process Effectiveness (kurz OPE) sind Werkzeuge, welche auf Grundlage der OEE entwickelt worden sind. Die zwei Begriffe haben dieselbe Bedeutung und identifizieren Produktionsverluste (siehe Abbildung 2.14). Die Produktionsverluste können entweder über Zeit- oder über Stückverluste gemessen werden.<sup>100</sup>

<sup>98</sup> vgl. Muchiri; Pintelon, 2008, S.3521

<sup>99</sup> vgl. ebenda, S.3523f

<sup>100</sup> vgl. ebenda, S.3524f

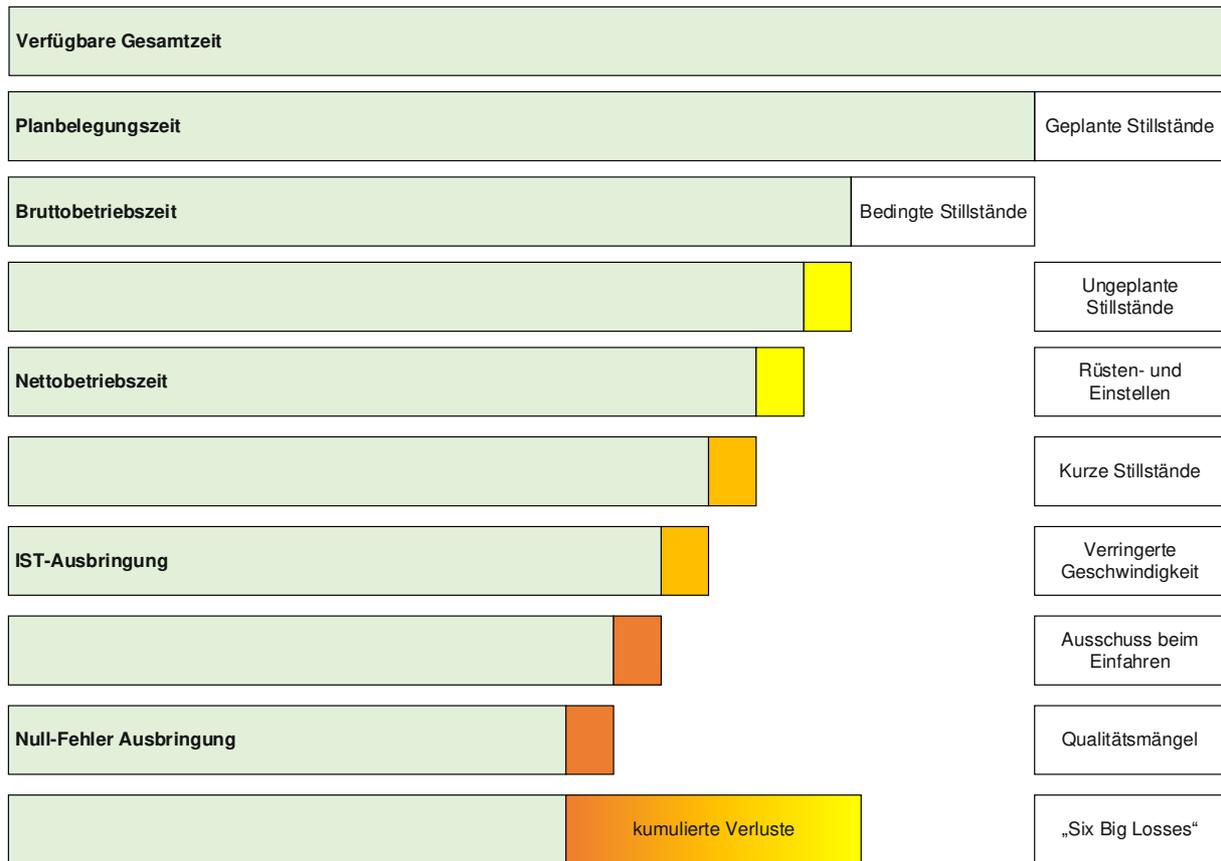


Abbildung 2.14: Overall Asset Effectiveness Diagram <sup>101</sup>

### Interne und externe Einflussfaktoren bei der Klassifizierung von Verlusten

Bei der Klassifizierung von Verlusten wird zwischen internen und externen Einflussfaktoren unterschieden. Verluste durch externe Einflüsse sind außerhalb des Einflussbereiches des Unternehmens und werden wie folgt unterschieden: <sup>102</sup>

- 1) Nachfrage: Es können Verluste durch mangelnde Nachfrage entstehen. Die Konsequenz daraus können beispielsweise geringere Produktionskapazitäten sein, welche zu einem Stillstand führen.
- 2) Logistik: Aufgrund von logistischen Problemen kann es aufgrund von Verzögerungen oder Versagen von Lieferungen zu Verspätungen kommen. Hierzu zählt ebenfalls die mangelnde Verfügbarkeit von Strom, Gas oder Wasser.
- 3) Umweltauflagen: Diese Art von Verlusten ist abhängig von Umweltauflagen hinsichtlich der Produktion (z.B. VOC-Grenzwerte für lösungsmittelhaltigen Lack).
- 4) Naturkatastrophen: Naturkatastrophen können Verluste durch schlechte Wetterbedingungen verursachen (z.B. Hagel, Korrosion von Material etc.).

<sup>101</sup> vgl. Muchiri; Pintelon, 2008, S.3528

<sup>102</sup> vgl. ebenda, S.3531

Verluste, die durch interne Einflussfaktoren entstehen, können vom Unternehmen kontrolliert und reduziert werden. Aus diesem Grund sollte eine genaue Analyse von allen auftretenden Verlusten erfolgen, um diese anschließend zu minimieren. Die Literatur unterscheidet zwischen unternehmens- und betriebsbezogenen Verlusten:

- 1) Unternehmensbezogene Verluste: Dazu zählen logistische Probleme, Organisationsprobleme bzw. Unruhen und grundlegende Gesundheits- und Sicherheitsprobleme. Die logistischen Probleme, wie beispielsweise der Versand und die Lagerung von Materialien, kann zu Verspätungen bis hin zum völligen Stillstand führen. Auftretende Organisationsprobleme bzw. Unruhen von Mitarbeitern können, genauso wie Gesundheits- und Sicherheitsprobleme zur Verlangsamung der Produktion und im schlimmsten Fall zum Stillstand führen.
- 2) Betriebsbezogene Verluste: Diese Verluste treten am häufigsten auf und stehen hauptsächlich im Zusammenhang mit der produzierenden Anlage. In diesem Zusammenhang liegt der Schwerpunkt in der Analyse und in der Bestimmung der sechs großen Effizienzverluste sowie den geplanten Stillständen.

In der Abbildung 2.15 wird die Klassifizierungen von Verlusten grafisch dargestellt.

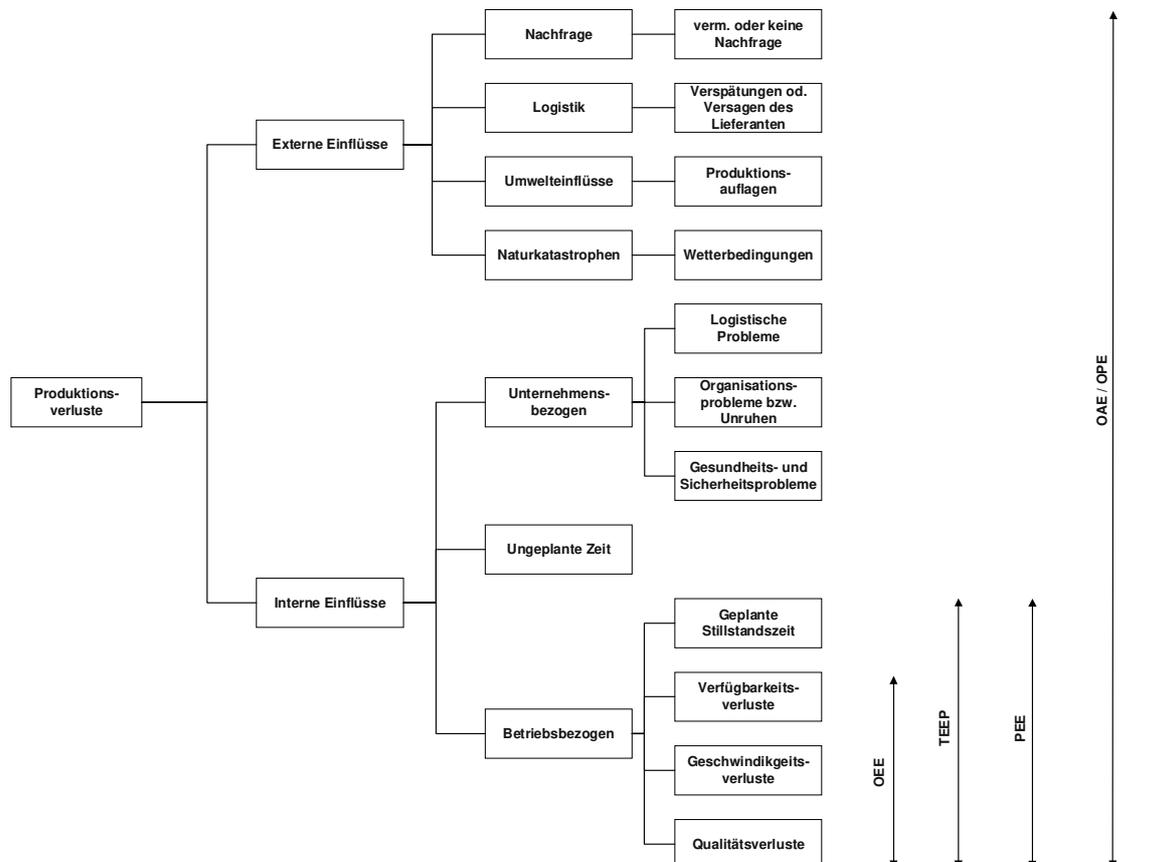


Abbildung 2.15: Klassifizierung von Verlusten in der Overall Production Effectiveness <sup>103</sup>

<sup>103</sup> vgl. Muchiri; Pintelon, 2008, S.3530

### 2.3.4 Priorität der Datenaufzeichnung

Die Datenaufzeichnung dient als Grundlage für die Berechnung der OEE. Zur Erzielung einer transparenten Erreichung wird der Schwerpunkt auf eine kategorisierte Anlagenaufzeichnung, mit Unterscheidung von wertschöpfenden und nicht wertschöpfenden Tätigkeiten, gelegt. Die Datenaufzeichnung sollte so simpel wie möglich erfolgen mit dem Ziel, alle Tätigkeiten aufzuzeichnen. Die Genauigkeit der Datenaufnahme muss nicht sekundengerecht erfolgen, aber in der Praxis sollten die Aufzeichnungen eine Genauigkeit von ungefähr zehn Minuten betragen.<sup>104</sup>

Die Gültigkeit der OEE ist stark abhängig von der Genauigkeit der Datenaufzeichnung. Es wird unterschieden zwischen manueller und automatischer Datenaufzeichnung. Die Datengenauigkeit einer manuellen Datenaufzeichnung ist gering, da oftmals kürzere Stillstände vergessen werden. Eine detaillierte manuelle Aufzeichnung ist sehr zeitintensiv und könnte die Motivation der Mitarbeiter reduzieren, da zusätzliche Dokumentationsarbeiten zu ihrer Arbeit anfallen. Dadurch können vereinzelt Abweichungen zur Realität entstehen. Mit einer automatischen Datenaufzeichnung kann eine hohe Datengenauigkeit erzielt und die Mitarbeiter gleichzeitig entlastet werden. Ein weiterer Vorteil der automatischen Datenaufzeichnung ist, dass die Einflussfaktoren der OEE in Echtzeit erfasst und dadurch die OEE schichtweise, täglich, wöchentlich, monatlich oder jährlich dargestellt und ausgewertet werden können. Die automatische Datenaufzeichnung hat aufgrund erhöhter Komplexität den Nachteil, dass hoher Aufwand und hohe Kosten für die Einführung dieser Methode notwendig sind.<sup>105</sup>

### 2.3.5 Schlussfolgerung zur OEE

Viele Unternehmen stoßen regelmäßig an ihre Kapazitätsgrenzen, sodass häufig Überstunden für vorhandene Mitarbeiter, zusätzliche Mitarbeiter für neue Schichten oder der Kauf einer neuen Maschinenanlage in Betracht gezogen werden, um die Kapazitäten zu erhöhen. Für solche Unternehmen eignet sich das OEE-Konzept, da dieses zur Optimierung der vorhandenen Produktionskapazitäten dient und unentdeckte Potenziale erkennen kann.<sup>106</sup>

<sup>104</sup> vgl. Nakajima, 1988, S.23f

<sup>105</sup> vgl. Muchiri; Pintelon, 2008, S.3532f

<sup>106</sup> vgl. ebenda, S.3533

## 2.4 Smart Manufacturing

Die Begriffe Smart Manufacturing, Industrie 4.0, digitale Transformation, Internet of Things, Digitalisierung und viele weitere Begriffe prägen Diskussionen von der Management- bis in die Produktionsebene. Abseits der unterschiedlichen Bezeichnungsweisen ist das Wertpotenzial von Smart Manufacturing zu groß, um es zu ignorieren.<sup>107</sup>

### 2.4.1 Entwicklung zum Smart Manufacturing

Im Laufe der Jahre erfolgten ständige Aktualisierungen der Technologien, um die Produktivität und die Rentabilität zu verbessern. In den meisten Fällen reichen die inkrementellen Upgrades nicht aus, um die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens aufrecht zu halten, sodass neue teure Hardware zum bestehenden System erforderlich ist. In einigen Fällen ist die herstellereigene Hardware mit anderer Hardware oder vorhandener Software nicht kompatibel. Daher ist ein neuer „smarter“ Ansatz für die Entwicklung und den Einsatz von Technologien und Geschäftsmodellen erforderlich. Das Smart Manufacturing Konzept dient als Vorreiter für die Änderung bestimmter Betriebsabläufe. Neue Anlagen werden so konstruiert, dass sie Internet of Things fähig sind. Die Fertigungssysteme sind sensibler, dynamischer und robuster und lernen schnell, damit eine raschere Anpassung an Marktveränderungen vorgenommen werden kann.<sup>108</sup>

### 2.4.2 Aufgaben und Ziele des Smart Manufacturing

Smart Manufacturing beschreibt die Maximierung der Ressourceneffektivität und Prozesseffizienz in der Produktion durch den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechniken. Das Smart Manufacturing verfolgt das Ziel, die Effektivität des Lean Managements durch aussagekräftige Informationsgrundlagen sowie den Einsatz von Analysetools und Prognosetechniken zu steigern. Die notwendige Investition in die Digitalisierung der Produktion dient zur Erzielung einer nachhaltigen und messbaren Kostensenkung. Einige Lean Production Prinzipien wie die Vermeidung von Verschwendung, der kontinuierliche Verbesserungsprozess, das Null-Fehler-Prinzip und das visuelle Management werden durch Smart Manufacturing transparenter dargestellt. Datenerfassungen in Echtzeit liefern zuverlässige Kennzahlen und Vergleiche zwischen Soll- und Ist-Daten sowie deren Abweichungen für das Shop Floor Management. Zeitgleich unterstützen Analysetools und Prognosealgorithmen die Fertigungssteuerung, sodass selbst bei kleinen Losgrößen und kürzeren Produktlebenszyklen eine höhere Prozesseffizienz realisiert werden kann. Der Einsatz von Informationstechnologien in der Produktion ermöglicht

<sup>107</sup> vgl. Soroush; Baldea; Edgar, 2020, S.1

<sup>108</sup> vgl. ebenda, S.246

signifikante Produktivitätssteigerungen, die im Wesentlichen auf das Internet of Things zurückzuführen sind.<sup>109</sup>

### 2.4.3 Internet of Things

Internet of Things (kurz IoT) ist ein Netzwerk aus mehreren Geräten, einschließlich digitaler und mechanischer Geräte, die unabhängig voneinander Informationen austauschen. Das IoT ist heutzutage einer der wichtigsten Technologien zur kontinuierlichen Veränderung der Industrie und zur Verbesserung der Produktivität sowie des Umsatzes. Jeder Endnutzer (Verbraucher, KMUs (kleine und mittlere Unternehmen), Großkonzerne oder Regierungen) nutzt die Technologie auf die jeweils eigene Art und Weise.

Die Verbindung zwischen den einzelnen Geräten wird über das Internet hergestellt, wobei jedes einzelne Gerät eindeutige Identifikatoren zur Kommunikation besitzt. Die Konzeption der Objekte („Things“) sieht vor, dass die Objekte ohne manuelles Eingreifen miteinander kommunizieren können. Das umfassende Netzwerk, in dem Automatisierungssysteme und verbundene Geräte zusammenarbeiten, bildet die Grundlage für die Datensammlung und -analyse.

Das IoT ordnet verschiedene Technologien auf unterschiedlichen Ebenen an. Jede Ebene unter einem Technologie-Stack erfordert Kommunikation und Integration mit den anderen Ebenen des vorhandenen Stacks (Stapel). Die Stacks des IoT werden in der Literatur Thing-Stack genannt und bestehen aus den drei Technologieebenen Sensoren, Microcontroller sowie Internetverbindung und Serviceplattform.<sup>110</sup>

Die Datenerfassung erfolgt in der ersten Ebene durch Installation von Sensoren in der physischen Umgebung oder in Objekten, um Daten und Ereignisse zu erfassen. Die Microcontroller und die Internetverbindung sind in der zweiten Ebene verantwortlich für die Weitergabe der gesammelten Daten. Die Serviceplattform ist in der dritten Ebene in der Lage, die erfassten Daten zu aggregieren und analysieren, um einen reibungslosen Ablauf und die notwendige Unterstützung für alle Sensoren zu gewährleisten. Serviceplattformen erlauben bestehende IoT-Produkte zu verändern, indem sie es dem Endbenutzer ermöglichen, Systemregeln zu verändern und die Aktualisierung der Firmware der Sensoren zuzulassen. Verschiedene Anwendungsfälle benötigen individuell angepasste neue Technologien, Lösungen und Auswahlmöglichkeiten, welche auf Branchen, Objektgrößen, Preise, Leistungsanforderungen, Prozessorgeschwindigkeiten und Netzwerklösungen adaptiert werden.<sup>111</sup>

---

<sup>109</sup> vgl. Sinsel, 2020, S.1

<sup>110</sup> vgl. Ramgir, 2019, S.1f.

<sup>111</sup> vgl. ebenda, S.3



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

### 3 State of the Art Ansätze für die Optimierung der OEE

In diesem Kapitel werden allgemeine Maßnahmen zur Erhöhung der OEE sowie existierende und weitere Lösungsansätze für spezifische Aufgabenstellungen beschrieben.

#### 3.1 Allgemeine Maßnahmen zur Erhöhung der OEE

Die Verbesserung der OEE wird durch eine systematische Reduzierung von ungeplanten Stillstands- und Ausfallzeiten sowie Qualitätsproblemen erreicht. Die kontinuierliche Erfassung und Auswertung der Daten erfolgt mittels dem MES und dient als Grundlage zur Erkennung von Problem- und Potenzialfeldern. Auftretende Verluste werden im MES dem Verfügbarkeits-, Leistungs- und dem Qualitätsfaktor zugeordnet. Diese Verluste können in einer grafischen Darstellung, absteigend nach den Verlustleistungen, geordnet mittels Pareto-Diagramm abgebildet werden.<sup>112</sup>

##### Verbesserung des Verfügbarkeitsfaktors<sup>113</sup>

Die Verbesserung der Verfügbarkeit wird durch die Reduzierung von Stillstandszeiten erreicht. Bei den Verfügbarkeitsverlusten wird zwischen Anlagenausfällen und Rüstverlusten unterschieden. Eine der wirkungsvollsten Methoden zur Reduzierung von Anlagenausfällen ist die Implementierung von präventiven und autonomen Instandhaltungskonzepten.

Die präventive Instandhaltung verfolgt das Ziel, durch festgelegte Wartungs- und Instandhaltungszyklen z.B. Verschleißteile, Betriebsmittel, usw. rechtzeitig zu ersetzen, damit ungeplante Ausfallzeiten sowie teure Folgeschäden vermieden werden können. Die Umsetzung der präventiven Instandhaltung kann z.B. durch einen dynamischen Wartungskalender erfolgen. Die Einführung eines dynamischen Wartungskalenders in der Instandhaltung hat den Vorteil, dass für einzelne Komponenten Erfahrungsberichte zu den Wartungszyklen zur Verfügung stehen. Durch die Kombination eines dynamischen Wartungskalenders in Verbindung mit einem Leitstand wird ersichtlich, wann die Maschine für die Durchführung der präventiven Wartung zur Verfügung steht, sodass Produktionsstillstände verhindert werden können.

Das Ziel der autonomen Instandhaltung ist es, den Mitarbeitern aus der Produktion einfache Instandhaltungsaufgaben (z.B. Erledigung vordefinierter Aufgaben, Festziehen von losen Schrauben, regelmäßige Reinigungen, etc.) zu übertragen.

<sup>112</sup> vgl. Kletti; Schumacher, 2014, S.156

<sup>113</sup> vgl. ebenda, S.156ff

Dadurch kann das Instandhaltungspersonal entlastet werden. Eine Früherkennung von Fehlern, durch routinemäßige Instandhaltungsaufgaben der Maschinenbediener, kann vor Ort Ausfallzeiten erheblich reduzieren.

Eine effektive Methode zur Reduzierung von Rüstzeiten ist die SMED-Methode. Durch Videoanalyse werden alle Tätigkeiten beim Rüsten dokumentiert und dienen anschließend als Basis zur Analyse des Rüstvorgangs. Die erste Aufgabe besteht darin, die einzelnen Vorgänge in interne und externe Rüstvorgänge einzuteilen. Damit können zeitaufwendige, nicht notwendige Tätigkeiten, wie z.B. das Suchen von Werkzeugen, eliminiert werden. Anschließend werden die Rüsttätigkeiten in eine optimale Reihenfolge gebracht, in einer ausführlichen Weise dokumentiert und die Mitarbeiter für den festgelegten Ablauf geschult und trainiert.

Weitere Hilfsmittel zur Unterstützung der Rüstzeitoptimierung ist die 5S-Methode zur Verbesserung der Arbeitsplatzorganisation und die Pareto-Auswertung. Bei der Pareto-Auswertung werden die Maschinenstillstände nach Dauer und Häufigkeit eingeteilt, um die Problem- und Potenzialfelder zu identifizieren und anschließend geeignete Maßnahmen zu setzen.

Die erwähnten Methoden erfordern, dass alle Mitarbeiter für die neuen Aufgaben sensibilisiert und geschult werden. In maschinenintensiven Fertigungsbereichen ist die Grundreinigung eine Methode, um die Mitarbeiter für die Betriebsmittel zu sensibilisieren. Im Rahmen eines Workshops erfolgt die Grundreinigung durch die Maschinenbediener. Der Workshop verfolgt die Ziele einer gründlichen Reinigung der Betriebsmittel, die Beseitigung von Mängeln und Verschmutzungsquellen sowie die Schaffung eines besseren Verständnisses der Maschinenbediener für die Maschinenanlagen.

### **Verbesserung des Leistungsfaktors<sup>114</sup>**

Die Verbesserung des Leistungsfaktors wird durch Reduzierung von Leistungsverlusten (kurzen Stillständen und geringeren Geschwindigkeiten) erreicht.

Bei kurzen Stillständen handelt es sich im Vergleich zu Anlagenstillständen (Verfügbarkeitsverlust) um einen Leistungsverlust. Eine Abgrenzung zwischen Verfügbarkeits- und Leistungsverlusten soll unternehmensspezifisch festgelegt werden. Eine mögliche Definition wäre beispielsweise, dass alle Stillstände, die kürzer als fünf Minuten dauern, als Leistungsverlust und jene, die länger als fünf Minuten dauern, als Verfügbarkeitsverlust kategorisiert werden. Die Reduzierung von kurzen Stillständen kann durch die 5S-Methode realisiert werden. Durch die Erstellung von Arbeitsanweisungen und durch regelmäßige Mitarbeitertrainings, können die Kenntnisse der Maschinenbediener zur Beseitigung von kurzen Stillständen

---

<sup>114</sup> vgl. Kletti; Schumacher, 2014, S.159ff

verbessert werden. Eine weitere Option bietet die Erarbeitung von Maßnahmen zur Vermeidung von kurzen Stillständen, durch regelmäßige KVP-Veranstaltungen zwischen Produktion und Instandhaltung.

Jene Verluste, die auftreten, wenn die vorgegebene theoretische Taktzeit nicht oder teilweise nicht erreicht wird, beschreiben Verluste durch eine geringere Geschwindigkeit. Die Ursache für verminderte Geschwindigkeit kann aufgrund unterschiedlicher Prozessparameter (z.B. Umgebungstemperatur, Qualität des Rohmaterials, etc.) zurückgeführt werden. Zur Vermeidung von Ausschuss oder Nacharbeit wird oftmals der Prozess langsamer als geplant absolviert und die daraus resultierenden Taktzeitverluste in Kauf genommen. Abhilfe schaffen kann die Methode Six Sigma, welche die Einflüsse der Prozessparameter, des Eingangsmaterials und der Umgebungseinflüsse sowie deren Wechselwirkungen analysiert.

### **Verbesserung des Qualitätsfaktors<sup>115</sup>**

Eine Verbesserung des Qualitätsgrades wird durch Reduzierung von Anfahrverlusten und Qualitätsverlusten erreicht.

Ein Anfahrverlust wird definiert als jener Verlust, der nach dem Rüsten eines neuen Auftrages, oder nach dem Anfahren eines Prozesses nach längerer Unterbrechung auftritt. Durch die Six-Sigma-Methode können Einflussparameter auf die Produktqualität analysiert werden, um schneller stabilere Prozessbedingungen zu realisieren.

Ein Qualitätsverlust tritt auf, wenn die gefertigten Produkte nicht den Produktspezifikationen entsprechen und nachbearbeitet oder verschrottet werden müssen. Die Qualitätsverbesserung verfolgt das Ziel der Fehlervermeidung und Fehlerfrüherkennung. Zur Realisierung der Fehlervermeidung werden geeignete Qualitätstechniken (z.B. Poka Yoke) in der Produkt- und Betriebsmittelkonstruktion verwendet. Dadurch werden Vorrichtungen so konstruiert, dass die Teile nur in der richtigen Lage und erst nach der Durchführung des vorgelagerten Arbeitsprozesses eingelegt und bearbeitet werden können. Die Fehlerfrüherkennung dient dazu, das Auftreten fehlerhafter Teile sofort zu erkennen und deren Ursachen zu beseitigen. Dies kann durch eine fertigungsbegleitende Prüfung, oder eine Werkerselbstprüfung, in kurzen Intervallen realisiert werden. Durch Qualitätsregelkarten und Ausschussstatistiken können wichtige Informationen zur Verbesserung der Produktqualität und Reduzierung der Qualitätsverluste gewonnen werden.

---

<sup>115</sup> vgl. Kletti; Schumacher, 2014, S.147ff

Tabelle 3.1: Maßnahmen zur Effizienzsteigerung von Maschinen und Arbeitsplätzen <sup>116</sup>

Verfügbarkeitsfaktor	Methode	MES
<b>Reduzierung Rüstverluste</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5S-Methodik</li> <li>• SMED</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pareto-Auswertung</li> </ul>
<b>Reduzierung Anlagenausfälle</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5S-Methodik</li> <li>• Grundreinigung</li> <li>• Präventive und autonome Instandhaltung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pareto-Auswertung</li> <li>• Dynamischer Wartungskalender</li> </ul>
Leistungsfaktor	Methode	MES
<b>Reduzierung Kurzstillstände</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5S-Methodik, Standardisierung</li> <li>• KVP, Arbeitsanweisungen, Mitarbeitertraining</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pareto-Auswertung</li> </ul>
<b>Reduzierung Taktzeitverluste</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 5S-Methodik, Standardisierung</li> <li>• Mitarbeitertraining</li> <li>• Six Sigma-Projekte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Taktzeitverlauf</li> <li>• Soll-IST-Vergleich</li> </ul>
Qualitätsfaktor	Methode	MES
<b>Reduzierung Anfahrverluste</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Six Sigma-Projekte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pareto-Auswertung</li> </ul>
<b>Reduzierung Qualitätsverluste</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlervermeidung / Poka Yoke</li> <li>• Fehlervermeidung durch Fehlerfrüherkennung (Werkerselbstprüfung)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertigungsbegleitende Prüfung</li> <li>• Statische Prozesskontrolle - Auswertung</li> <li>• Pareto-Auswertung</li> </ul>

## 3.2 Existierender Lösungsansatz für die Problemstellung

Folgendes Unterkapitel beschreibt ein State of the Art Konzept zur Vorgehensweise der OEE-Optimierung eines wissenschaftlichen Papers, welches im Schwerpunkt Verluste durch kürzere Stillstände („Micro Stopps“) behandelt. Das Konzept basiert auf einer Vorgangsweise von sieben nacheinander folgenden Schritten:<sup>117</sup>

### 1. OEE-Analyse der Maschinenanlagen

Zu Beginn ist eine OEE-Analyse aller Maschinenanlagen erforderlich, die dem zu untersuchenden Projektbereich zugeordnet wird. Das Ziel ist die Identifikation der

<sup>116</sup> vgl. Kletti; Schumacher, 2014, S.155

<sup>117</sup> vgl. Zennaro; Battini; Sgarbossa; Persona; De Marchi, 2017, S.965ff

ineffizientesten Produktlinie auf Basis der OEE-Berechnung. Die OEE-Kennzahlen können aus bereits existierenden Datenaufzeichnungen rückwirkend berechnet werden. Falls keine Daten vorhanden sind, sollte eine automatisierte Datenaufzeichnung eingeführt werden.

## **2. OEE-Analyse des Pilotprojekts**

Nach Identifikation der Maschinenanlage mit der geringsten OEE-Kennzahl, wird für dieses Pilotprojekt eine detaillierte Analyse vorgenommen. Es erfolgt die Ermittlung der Verfügbarkeits-, Leistungs- und Qualitätsverlustes in detaillierter Form. Anhand der erfassten Daten werden die Hauptverluste identifiziert und den jeweiligen sechs Effizienzverlusten („Six Big Losses“) zugeordnet. Anhand der ermittelten Verlustarten werden die kritischen Faktoren genauer untersucht.

## **3. Kritische Faktoranalyse**

Die kritische Faktoranalyse beschäftigt sich mit der Erfassung von Faktoren, die Hauptverluste auslösen können. Einzelne kritische Faktoren können die OEE der gesamten Linie (z.B. Bestände, unnötige Prozesse, etc.) beeinflussen.

## **4. Datenaufnahme**

Nach der Identifikation der Hauptverluste ist es notwendig einen Datenerfassungsprozess zu konstruieren. Mit Hilfe dessen können die Ursachen der Ineffizienz ermittelt werden. Ein weiterer wichtiger Aspekt der Datenaufnahme ist die geeignete Wahl des Untersuchungszeitraums. Dieser sollte den gesamten Produktmix, welcher an Maschinenanlage produziert wird, umfassen.

## **5. Datenanalyse**

Die Datenanalyse ist ein Kernelement des Konzepts und zielt darauf ab, die spezifischen Ursachen der Ineffizienzen des Produktionsprozesses zu identifizieren. Nach Ermittlung der Daten für den relevanten Zeitraum können verschiedene Tools, wie beispielsweise das Pareto-Diagramm, das TTR-TTF-Diagramm, Wahrscheinlichkeitsverteilungen, Netzdiagramme, das Ursache-Wirkungs-Diagramm und andere Methoden zur Analyse verwendet werden.

## **6. Problemlösung**

Nach der Datenaufzeichnung und Datenanalyse wird eine Reihe von Problemen und kritischen Bereichen festgelegt. Jedes Problem muss einzeln analysiert und passende Lösungsvorschläge kreiert werden. Zur Erstellung von Lösungsvorschlägen können unterschiedliche Techniken, wie beispielsweise das Brainstorming, der PDCA-Zyklus und verschiedene Simulationsmodelle angewandt werden.

## 7. Ergebnis und Kosten-Nutzen-Analyse

Der letzte Schritt beschäftigt sich mit der Bewertung des Lösungsansatzes. Es wird hierfür eine Kosten-Nutzen-Analyse der Optionen durchgeführt, um das Management bei der Entscheidungsfindung zu unterstützen. Sobald eine passende Lösung vorgeschlagen wurde, ist es notwendig die auftretenden Kosten zu bewerten und sie mit dem erzielbaren OEE-Potenzial, dem Deckungsbeitrag und der Amortisationszeit zu vergleichen.

Für die Berechnung benötigt man folgende Daten: Kosten des Investments (€), Personalkosten (€/h), Fixkosten (€) und Potenzial der OEE-Verbesserung (%). Mit diesen Daten ist es möglich den Deckungsbeitrag und die Amortisationszeit zu ermitteln.

Im Folgenden wird die Kennzahl CPI (cost per improvement) beschrieben. Diese Kennzahl kann dem Management als Grundlage zur Entscheidungsfindung dienen. Sie basiert auf dem Verhältnis der gesamten Kosten für die Verbesserung (€) durch dem erwarteten OEE-Verbesserungspotenzial (%).

### Formel 3.1: Cost per Improvement (kurz CPI)

$$\text{CPI} = \frac{\text{Gesamtkosten für die Verbesserung (€)}}{\text{OEE – Verbesserungspotenzial (\%)}}$$

## 3.3 Weitere Lösungsansätze für spezifische Problemstellungen

### 3.3.1 Verbesserung der OEE durch SMED-Implementierung

Die SMED-Methode ist eine Methode der Lean Production zur Reduzierung von Verschwendung. Im folgenden Abschnitt wird die SMED-Implementierung in vier Phasen, am Beispiel der Spritzgussbranche, näher erläutert:

In der ersten Phase erfolgt die Erfassung und Zuordnung der Prozesse in interne und externe Rüstvorgänge.

In der zweiten Phase werden die internen Rüstvorgänge, durch Vor- oder Nachlagerung des Rüstens, in externe Rüstvorgänge umgewandelt. Die externen Rüstvorgänge haben den Vorteil, dass diese im Gegensatz zu den internen Rüstvorgängen parallel zur laufenden Maschine durchgeführt werden können, ohne dass die Maschine einen Stillstand verzeichnet.

Die dritte Phase befasst sich mit der Optimierung der Arbeitsumgebung. Das Ziel dieser Phase ist das Organisieren des Arbeitsplatzes, sodass verwendete Werkzeuge und Vorrichtungen am Ort der Verwendung gelagert werden und die Maschine

ordnungsgemäß produzieren kann. Diese Phase beschäftigt sich unter anderem mit der Minimierung der internen Rüstzeit beispielsweise durch Verwendung eines Poka Yoke Systems, Erstellung und Nutzung von Anschlagleisten sowie die Vermeidung von Nacharbeiten durch spezielle Vorrichtungen.

Die letzte Phase dient zur Standardisierung und Aufrechterhaltung der ausführlich dokumentierten Maßnahmen. Die Dokumentation der Maßnahmen lag den Mitarbeitern in ausführlicher Fassung vor. Es wurde ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess angestrebt, sodass mit der Zeit neue Maßnahmen erstellt, umgesetzt, standardisiert und dokumentiert werden, um auftretende Verluste zu verringern.

Durch die SMED-Implementierung konnte die OEE in dem untersuchten Unternehmen um knapp zehn Prozent von 58,74% auf 68,41% gesteigert werden.<sup>118</sup>

### **3.3.2 Verbesserung der OEE in Klein- und Mittelbetriebe durch Mobile Maintenance**

Mobile Maintenance ist ein neues Konzept, welches vor allem bei Klein- und Mittelbetriebe (kurz KMU) eingesetzt wird. Viele KMU verfügen über eine geringere Anzahl von Maschinen, die im Vergleich zu großen Industrien weniger Wartung benötigen. Größere Industrien verwenden unterschiedliche Instandhaltungsprogramme, wie das Breakdown Maintenance und das Preventive Maintenance. KMU benötigen hingegen nur das Preventive Maintenance oder die Mobile Maintenance. Der Unterschied zwischen Preventive Maintenance und Mobile Maintenance ist, dass Preventive Maintenance einen vordefinierten Zeitplan für jede Maschinenanlage verfolgt und die Mobile Maintenance nicht. Bei der Mobile Maintenance ist das Wartungspersonal mit einem Wagen mit Werkzeugen, Muttern und Schrauben in Standardgrößen, Betriebsmitteln (z.B. Öle und Fette), Ersatzteilen, Sicherheitstüchern, Schraubenschlüssel und weiterem Equipment ausgerüstet in der Werkstatt unterwegs. Das Wartungspersonal überprüft Maschinen und versucht Fehler oder Defekte zu finden. Eine weitere Aufgabe der Mobile Maintenance ist es, die Maschinenbediener unter aktiver Einbeziehung bei Instandhaltungsarbeiten zu schulen, um Fehler frühzeitig zu erkennen und diese selbstständig beheben zu können. Das Ziel der Mobile Maintenance ist, durch regelmäßige Instandhaltung (z.B. das Fetten, Reinigen, Ölen, etc.), ungeplante Ausfallzeiten der Maschinen zu reduzieren.

Das Konzept der Mobile Maintenance wurde in einer Case-Study für eine Fertigungsanlage für Bewässerungsrohre in Indien angewandt. Die Implementierung von Mobile Maintenance bewirkte eine deutliche Reduzierung von Stillständen. Die

---

<sup>118</sup> vgl. Bhade; Hedge, 2020, S.467ff

OEE von fünf Anlagen wurde durch Mobile Maintenance durchschnittlich von 44,50% auf 64,73% erhöht.<sup>119</sup>

### 3.3.3 Reduzierung der Verluste durch Kobetsu Kaizen

Im folgenden Beispiel wird die Auswirkung der TPM-Implementierung an einer Abfüllanlage eines Getränkehersteller in Lagos näher beschrieben. Die Datenaufnahme umfasste einen Zeitraum von sieben Wochen, in der das Unternehmen in zwei Schichten pro Tag fertigte. Die OEE im betrachteten Zeitraum betrug durchschnittlich 28,4%.

Zur Reduzierung der Verluste wurde die 5-Why-Methode angewandt. Bei dieser Technik wird durch häufiges Hinterfragen ein Ursache-Wirkungs-Zusammenhang erstellt. In diesem Konzept wurde für jedes Hauptproblem (z.B. Maschinenausfall) deren Ursachen erster Ordnung (z.B. mangelnde Wartung.) bis zur fünften Ordnung (z.B. keine Betriebsmittel vorhanden) dargestellt. Falls keine Vertiefungen bzw. weitere Ordnungen mehr möglich waren, wurden passende Gegenmaßnahmen zur Behebung des Problems erstellt und angewandt. Die 5-Why-Methode wurde nach dem Pareto-Prinzip auf die kumulativ häufigsten Verlustarten (80-20) angewandt.

Die Implementierung des TPM-Konzeptes mit der Kobetsu-Kaizen-Technik bewirkte für die größten auftretenden Verluste in den nachfolgenden sieben Wochen eine Erhöhung der durchschnittlichen OEE auf 56,3%. Durch die Einbeziehung der übrigen TPM-Säulen, als Ergänzung zum Kobetsu-Kaizen-Prinzip und die Beseitigung verbleibender Verluste können, signifikante Steigerungen der Produktionsleistung sowie eine Steigerung der Arbeitsmoral erreicht werden.<sup>120</sup>

### 3.3.4 Verbesserung der OEE durch statische Prozesslenkung und autonome Instandhaltung

Eine Case-Study für Fliesenhersteller zeigt, dass die Implementierung der statischen Prozesslenkung und die autonome Instandhaltung zu einer geringeren Fehlerrate, Maximierung der Anlagenperformance und dadurch zu einer Produktivitätssteigerung geführt hat.

Die statische Prozesslenkung ist eine statistische Methode zur Überwachung und Steuerung der Produktionsleistung sowie eine Methode zur kontinuierlichen Verbesserung der Produktqualität. Das Ziel der statischen Prozesslenkung ist die Verbesserung der Qualität, Steigerung der Produktivität, Fehlervermeidung und Fehlerreduktion und Erhöhung des Kundennutzens.<sup>121</sup>

<sup>119</sup> vgl. Jain; Bhatti; Singh, 2015, S.503ff

<sup>120</sup> vgl. Ohunakin; Leramo, 2012, S.128ff

<sup>121</sup> vgl. Azizi, 2015, S.187

Die autonome Instandhaltung ist eine Säule des TPM-Konzepts und verfolgt das Ziel, eine verbesserte Kooperation zwischen Produktion und klassischer Instandhaltung herzustellen. Durch eine stufenweise Einführung werden den Produktionsmitarbeitern einfache Instandhaltungsaktivitäten durch die Instandhaltungsmitarbeiter angeeignet. Durch die Weitergabe des Wissens und die Übermittlung von Routineaufgaben an die Produktionsmitarbeiter, kann eine Reduzierung der ungeplanten Anlagenstillstände erzielt werden. Die Instandhaltung erhält zusätzlich weitere freie Kapazitäten, die für weitere Verbesserungen der Anlageneffektivität genutzt werden können.<sup>122</sup>

Durch die Einführung der statischen Prozesslenkung und autonomen Instandhaltung wurden Fehler entdeckt, passende Gegenmaßnahmen entwickelt und die Fehlerrate von 14,61% auf 6,12% reduziert. Die Anzahl und Dauer der Maschinenstillstände wurde reduziert, wodurch eine Steigerung der OEE von 22,12% auf 28,61% erzielt werden konnte.<sup>123</sup>

---

<sup>122</sup> vgl. Dickmann, 2015, S.60

<sup>123</sup> vgl. Azizi, 2015, S.190



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## 4 Erstellung eines Konzeptes für die Erhebung und Optimierung der OEE

Dieses Kapitel ist das Kernstück der Diplomarbeit und befasst sich mit der Erstellung einer wissenschaftlich fundierten Vorgehensweise zur Erhebung und Optimierung der OEE von Maschinen. Das Konzept ist auf unterschiedliche Fertigungstypen (Einzelfertigung, Serienfertigung und Massenfertigung) sowie verschiedener Taktzeiten anwendbar.

Im ersten Unterkapitel werden auftretende Problemfelder bei der Nutzung des MES hergeleitet. Anschließend erfolgt eine kritische Diskussion der Problemfelder mit abschließender Empfehlung zur Vermeidung dieser. Das zweite Unterkapitel beschreibt die Vorgehensweise des Konzeptes mit einer Erläuterung der grundlegenden Voraussetzung, einer Vorgehensweise zur Erhebung und Optimierung der OEE, bis hin zur Umsetzung einzelner Verbesserungsmaßnahmen.

### 4.1 Überlegungen zur OEE-Berechnung mit dem Manufacturing Executions System

#### 4.1.1 Herleitung von Problemfelder bei der Nutzung eines MES

Für die Berechnung der OEE werden die Parameter verfügbare Gesamtzeit, geplante Stillstände und bedingte Stillstände aus der Durchlaufterminierung dem MES zur Verfügung gestellt. Das MES verknüpft die Parameter mit den im laufenden Betrieb auftretenden ungeplanten Stillständen, Geschwindigkeits- und Qualitätsverlusten und kalkuliert Ad-Hoc eine OEE.

Die Ergebnisse der OEE durch MES sind mit Vorsicht zu genießen, da einige MES komplexe oder nicht transparente Vorgehensweisen zur Berechnung aufweisen. Es wird empfohlen, dass die Prozessoptimierer die einzelnen Berechnungsschritte der Software überprüfen und analysieren. Falls Softwarelösungen keine transparente Vorgehensweise oder gröbere Abweichungen zur eigenen Kalkulation aufweisen, sollten diese mit dem Hersteller geklärt werden, bevor falsche Entscheidungen auf Grundlagen dieser Informationen gemacht werden.

Die erwähnte Thematik wurde innerhalb eines Papers genauer erläutert: Eine Studie von Hedman, Subramaniya und Almström (2016) befasste sich mit der OEE-Berechnung von 23 verschiedenen Unternehmen mit 884 Maschinen. In dieser Studie wurde eine durchschnittliche OEE von 65% ermittelt, wobei die Hälfte der OEE-Verluste aufgrund mangelhafter Daten bzw. schlechter Beschreibung nicht kategorisiert werden konnten. Eine weitere interessante Erkenntnis des Papers ist,

dass über 80% der Maschinen einen Leistungsfaktor von 100% aufweisen. Die Konsequenz daraus ist, dass die Maschinen entweder auf der vordefinierten Auslegungsgeschwindigkeit arbeiten oder die Unternehmen die Zykluszeit nicht messen. Analog dazu hatten etwa 90% der Maschinen einen Qualitätsfaktor von 100%, was darauf schließen lässt, dass entweder kein Ausschuss vorlag oder dass die Maschine Ausschussteile nicht berücksichtigt.<sup>124</sup>

#### 4.1.2 Diskussion und Empfehlungen bei der Nutzung des MES

Im folgenden Teilabschnitt erfolgt eine Diskussion und anschließend Empfehlungen bei Nutzung des MES. Diese betreffen beispielsweise die Auslegungsgeschwindigkeit, der Leistungsfaktor für unterschiedliche Fertigungstypen, die Unterscheidung zwischen ungeplanten Stillständen und Micro Stops und die Quantifizierung von Ausschuss sowie die Berechnung der Nacharbeit sein.

##### Auslegungsgeschwindigkeit

Die Auslegungsgeschwindigkeit, oder in der Literatur auch oft ideale Geschwindigkeit genannt, ist jene Geschwindigkeit, bei der die Maschine den aktuellen Abschnitt des Bauteils mit ausreichend hoher Qualität fertigen kann.<sup>125</sup> Diese Geschwindigkeit ist von Bauteil zu Bauteil unterschiedlich und muss individuell ermittelt und hinterlegt werden. Bei einer variantenreichen Fertigung mit langen Fertigungszeiten kann dies zu einem erheblichen Mehraufwand führen und Mitgrund dafür sein, dass diese Geschwindigkeit im System nicht hinterlegt ist.

##### Leistungsfaktor

Ein weiterer interessanter Aspekt, im engen Zusammenhang mit der Auslegungsgeschwindigkeit, ist die Ermittlung des Leistungsfaktors von unterschiedlichen Fertigungstypen (Einzelfertigung, Serienfertigung und Massenfertigung). Zum besseren Verständnis wird dieser Aspekt anhand eines Beispiels erklärt: Das Unternehmen X ist Auftragsfertiger in Österreich und verfügt über CNC-Drehmaschinen, komplexe Bearbeitungszentren, ein Oberflächenzentrum und eine Kunststofffertigung. In jedem Marktsegment konkurriert das Unternehmen X mit Spezialisten in dem jeweiligen Segment. Der Konkurrenzkampf zwingt den Produzenten zur Ausnutzung der vorhandenen Ressourcen und zur Erzielung von kontinuierlicher Verbesserung. Das Unternehmen verfolgt das Ziel der Vermeidung von Verschwendung und der Sicherstellung der Aufrechterhaltung und Steigerung der Margen in den jeweiligen Geschäftsbereichen. Zur Identifikation von Verlusten soll die OEE, nach Nakajima (1988), aller Maschinen ermittelt werden. In der Berechnung werden die Maschinen in ähnliche Maschinengruppen eingeteilt (z.B. CNC-

<sup>124</sup> vgl. Hedman; Subramaniyan; Almström, 2016, S.128ff

<sup>125</sup> vgl. Kennedy, 2017, S.17

Drehmaschinen gehören zur Arbeitsgruppe CNC-Drehmaschinen). Für die Maschinengruppen wird anschließend die durchschnittliche OEE berechnet.

Bei der genaueren Betrachtung wird ersichtlich, dass mit zunehmender Fertigungsdauer und Komplexität die Schwankungsbereite für die korrekte Ermittlung der theoretischen Zykluszeit steigt. Ein möglicher Grund dafür ist der individuelle variierende Vorschub durch den Maschinenbediener bei unterschiedlichen Bauteilpassagen, zur Sicherstellung ausreichender Produktqualität. Deshalb wird empfohlen, bei längerer Bearbeitungsdauer und geringen Stückzahlen (z.B. hochkomplexe Oberflächenbeschichtungen bzw. Fräs- oder Schweißbearbeitungen) statt der Berechnungsmethode Stückverluste (theoretische Zykluszeit), die Berechnungsmethode der Zeitverluste zu verwenden. Bei kurzer Bearbeitungsdauer und hohen Stückzahlen (z.B. CNC-Drehen oder Spritzgießen kleiner Bauteile) kann die Berechnungsmethode für Stückverluste verwendet werden.

**Tabelle 4.1: Empfohlene Berechnungsmethode für unterschiedliche Fertigungstypen**

	<b>Stückzahlen</b>	<b>theoretische Zykluszeit</b>	<b>Berechnungsmethode</b>
<b>Einzelfertigung</b>	gering	lang	Zeitverluste
<b>Serienfertigung</b>	moderat	moderat	Zeit- oder Stückverluste
<b>Massenfertigung</b>	hohe	kurz	Stückverluste

## Micro Stops

In dem Grundkonzept nach Nakajima (1988) und einigen literarischen Werken fehlt die genaue Abgrenzung zwischen ungeplanten und kurzen Stillständen („Micro Stops“). In einiger ausgewählter Literatur werden Micro Stops als Stillstände, die kleiner als fünf oder zehn Minuten sind, definiert.<sup>126</sup> Kennedy (2017) weist darauf hin, dass die Unterscheidung zwischen Stillständen und kurzen Stillständen individuell nach der Maschinenanlage und dem Fertigungstyp von fünf bis zehn Minuten betragen kann.<sup>127</sup> Bhade und Hedge (2020) klassifizieren ungeplante Stillstände, wenn sie die Dauer von zehn Minuten übersteigen.<sup>128</sup>

Auf Grundlagen der oben genannten Informationen wird empfohlen, dass für kurze theoretische Zykluszeiten die Micro Stops als Stillstände kleiner als fünf Minuten und bei längeren theoretischen Zykluszeiten kleiner als zehn Minuten definiert werden.

<sup>126</sup> vgl. Muchiri; Pintelon, 2008, S.3528

<sup>127</sup> vgl. Kennedy, 2017, S.16

<sup>128</sup> vgl. Bhade; Hedge, 2020, S.466

## Quantifizierung von Ausschuss

Eine äußerst interessante Erkenntnis aus der Studie von Hedman, Subramaniya und Almström (2016) war, dass über einen Untersuchungszeitraum von sechs Monaten 90% der Maschinen einen Qualitätsfaktor von 100% aufwiesen.<sup>129</sup> Dieser Sachverhalt ist vermutlich nicht realitätsnah, da nicht ausgeschlossen werden kann, dass die Maschinen über so einen langen Zeitraum keinen einzigen Fehler aufweisen. Zusätzlich sei erneut darauf hingewiesen, dass der optimal angestrebte Qualitätsfaktor bei ungefähr 99%, und bewusst nicht auf 100% gelegt worden ist, da nicht alle Fehler vermieden werden können.<sup>130</sup> Die Konsequenz aus dieser Erkenntnis ist, dass auf die Berechnungsmethode hinter dem Qualitätsfaktor eine erhöhte Aufmerksamkeit gelegt werden sollte. Ein Qualitätsfaktor von 100% ist oftmals ein Warnsignal, welches definitiv hinterfragt werden sollte.

Für die Berechnung des Qualitätsfaktors ist ein Stückzähler notwendig. Dieser Stückzähler dient zur Ermittlung der IST-Ausbringung und der Null-Fehler-Ausbringung. Falls kein Stückzähler vorhanden ist, sollte dieser unbedingt durch den Software- oder Maschinenhersteller eingeführt werden.

Bei vorhandenen Stückzählern bzw. nach der Einführung des Stückzählers, wird empfohlen, den Hersteller des MES nach einer detaillierten Erklärung zur Vorgehensweise der Identifikation von Gutmenge, Ausschuss und Nacharbeit zu befragen. In der laufenden Fertigung werden Fehler oftmals in nachgelagerten Prozessen entdeckt, wodurch die aktuell identifizierte Gutmenge, als Ausschuss oder Nacharbeit, korrigiert werden muss. Eine Vermeidung wäre durch eine Werker selbstprüfung direkt nach dem Bearbeitungsprozess möglich.

## Berechnung des Qualitätsfaktors (Stückverluste)

Eine weitere äußerst interessante Frage beschäftigt sich mit der korrekten Berechnung der Qualitätsverluste bzw. dem Qualitätsfaktor, aufgrund von Ausschuss- und Nacharbeitsteilen. Ein Ausschussteil benötigt zur Korrektur und Neuerstellung die gesamte theoretische Zykluszeit. Ein Nacharbeitsteil benötigt hingegen eine wesentlich geringere Zeit, als die theoretische Zykluszeit des Ausschussteils. In der Literatur wird, mit Ausnahme des Zeitverlustmodells von Kennedy (2017), der Qualitätsfaktor bzw. die Qualitätsverluste häufig durch Stückverluste berechnet. In der Praxis würde das bedeuten, dass die Gewichtung von Nacharbeit und Ausschuss gleich wären, oder das Nacharbeiten vernachlässigt werden. Aufgrund dieser Tatsache wird empfohlen, bei der Verwendung der Stückverluste für den Qualitätsfaktor, diesen mittels folgender Formel zu ermitteln:

<sup>129</sup> vgl. Hedman; Subramaniyan; Almström, 2016, S.131

<sup>130</sup> vgl. Nakajima, 1988, S.28

**Formel 4.1: Empfohlene Berechnung des Qualitätsfaktors (Stückverluste)**

$$\text{Qualitätsfaktor [\%]} = \frac{\text{Gutmenge [Stk]} + \text{anteilsgemäße Nacharbeit [Stk]}}{\text{Anzahl der produzierten Menge [Stk]}} \cdot 100$$

**Formel 4.2: Anteilsgemäße Nacharbeit für den Qualitätsfaktor (Stückverluste)**

$$\text{anteilsgemäße Nacharbeit [Stk]} = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Nacharbeitszeit [min]}}{\text{theoretische Zykluszeit [min/Stk]}}$$

Die Berechnung des Qualitätsfaktors des MES kann entweder über die Methode der Zeit- oder Stückverluste erfolgen. Bei der Berechnung nach der Methode der Zeitverluste wird die Nacharbeitszeit bzw. die Ausschusszeit (theoretische Zykluszeit des Programmes) manuell durch den Maschinenbediener oder durch das MES erfasst. Bei der Erfassung durch den Maschinenbediener muss dieser die Nacharbeits- oder Ausschusszeiten in das MES eintragen. Für die Methode der Stückverluste wird empfohlen, eine korrekte Umrechnung der anteilsgemäßen Nacharbeiten auf den Qualitätsfaktor (gemäß der Formel 4.1 und Formel 4.2) durchzuführen.

## 4.2 Die Vorgehensweise des Konzeptes

Das Konzept wird in die Abschnitte grundlegende Voraussetzungen, Ermittlung der OEE, Analyse der OEE, Erstellung von Verbesserungsmaßnahmen, Priorisierung von Verbesserungsmaßnahmen sowie die Kosten-Nutzen-Analyse und Umsetzung einzelner Verbesserungsmaßnahmen unterteilt.

Der Abschnitt „Grundlegende Voraussetzungen“ befasst sich mit der Methode der Datenaufzeichnung. Im Abschnitt „Erhebung der OEE“ werden die Kennzahlen aller Maschinen bzw. Maschinengruppen, mit den eingangs erwähnten Methoden, fachgerecht und wissenschaftlich fundiert ermittelt. Anhand dieser Daten werden Maschinen bzw. Maschinengruppen, mit unterdurchschnittlicher OEE bzw. Engpässen identifiziert und die Maschine mit dem niedrigsten OEE-Wert als Pilotprojekt für die weiteren Optimierungsmaßnahmen herangezogen. Im dritten Abschnitt „Analyse der OEE“ erfolgt die Identifikation von Verlusten durch unterschiedliche Methoden und Werkzeuge. Der vierte Abschnitt „Erstellung von Verbesserungsmaßnahmen“ befasst sich mit der Vorgehensweise zur Verbesserung der OEE. Im fünften Abschnitt „Priorisierung der Verbesserungsmaßnahmen“ werden die einzelnen Maßnahmen in vier Kategorien eingeteilt. Im sechsten Abschnitt erfolgt die Beschreibung der Kosten-Nutzen-Analyse einzelner Verbesserungsmaßnahmen, welche als Grundlage für weitere Managemententscheidungen und Neuinvestitionen dienen kann. Der letzte Abschnitt befasst sich mit der Beschreibung zur Umsetzung einzelner Verbesserungsmaßnahmen. In den nächsten zwei Abbildungen wird die grundlegende Vorgehensweise, die in den nächsten Abschnitten genauer beschrieben wird, grafisch dargestellt.

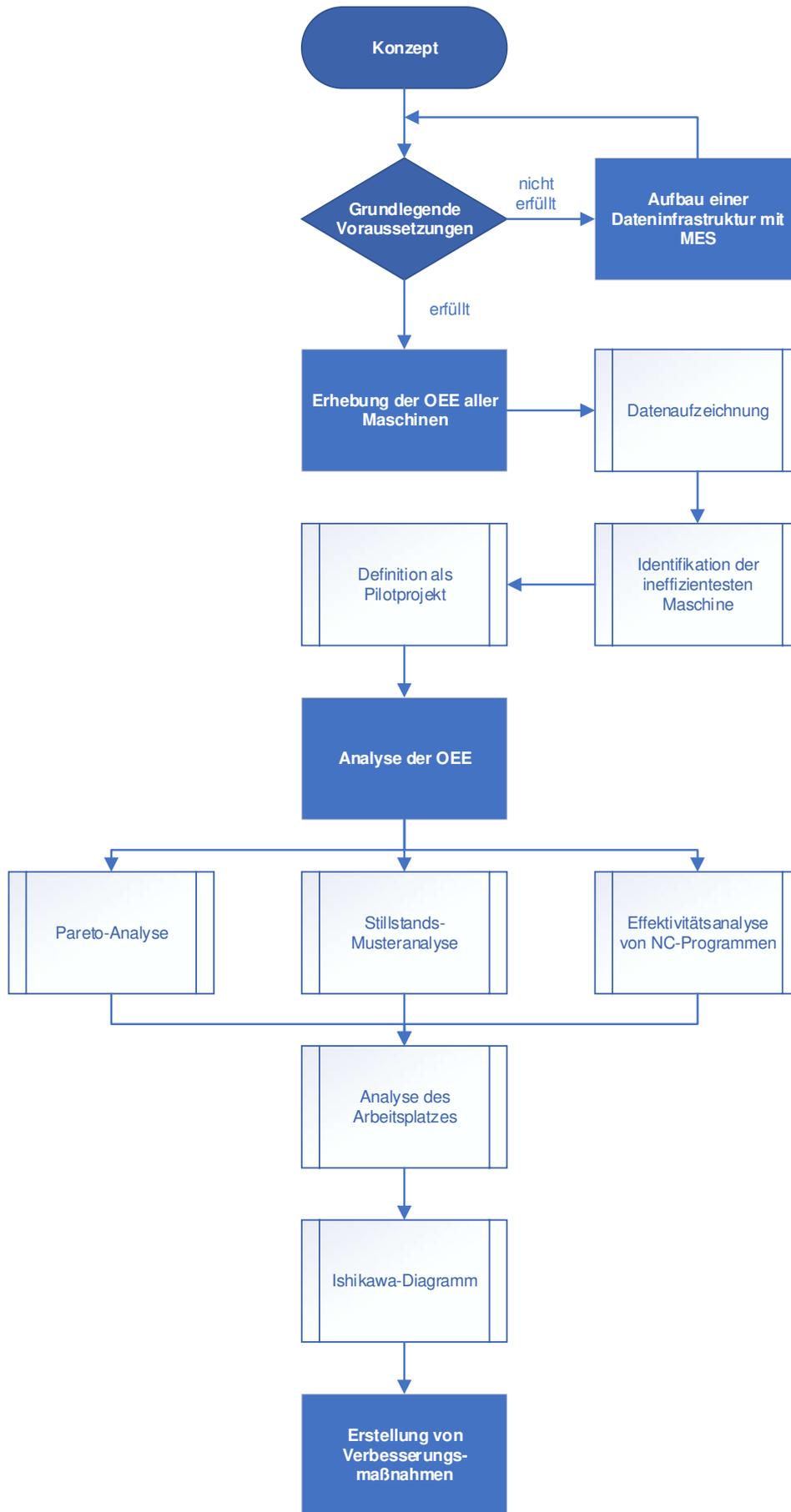


Abbildung 4.1: Die Vorgehensweise des Konzeptes (Teil 1)

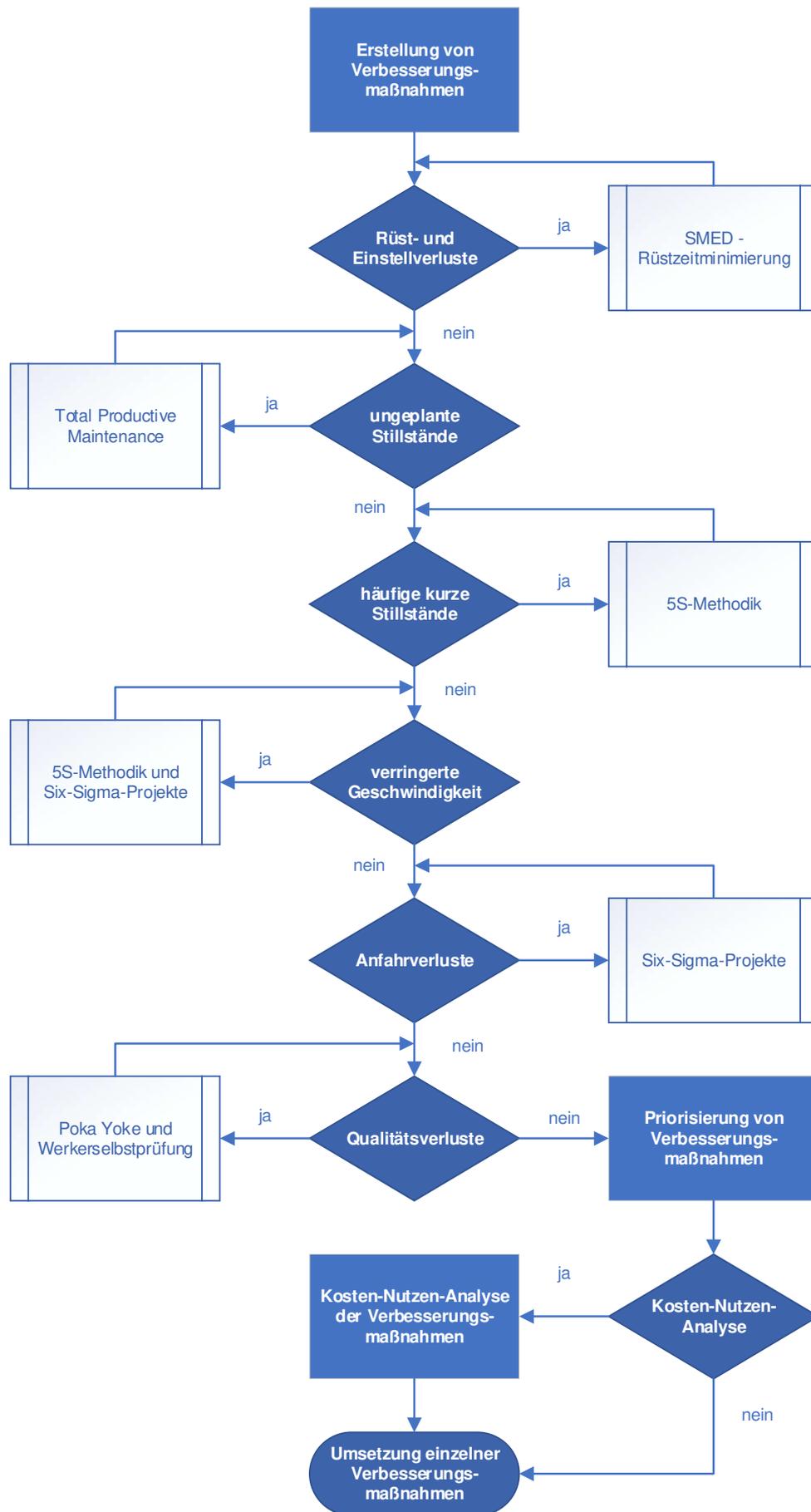


Abbildung 4.2: Vorgehensweise des Konzeptes (Teil 2)

### 4.2.1 Grundlegende Voraussetzungen

Die grundlegende Voraussetzung für alle weiteren Schritte umfasst die akkurate Datenerfassung aller Maschinenzustände der zu betrachtenden Maschinen. Die automatische Datenerfassung ist die bevorzugte Art der Datenaufnahme. Die Vorteile der Entlastung der Maschinenbediener durch Selbstaufschreibung, die hohe Datenqualität und die Möglichkeit die Daten in Echtzeit abzurufen, kompensieren die anfänglich höheren Kosten für die Investition in eine Dateninfrastruktur mit MES.

Es wird kurz auf das Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** verwiesen. Dort befinden sich Hinweise und Empfehlungen für die Berechnung mittels MES. Im folgenden Absatz werden diese kurz zusammengefasst: Der Prozessoptimierer soll ein Grundverständnis für die Berechnung der OEE von unterschiedlichen Anlagen besitzen und eine kritische Analyse der ermittelten Ergebnisse des MES durchführen. Ein besonderes Augenmerk sollte auf die Leistungs- und Qualitätsverluste gelegt werden. Diese könnten Indikatoren dafür sein, dass die Auslegungsgeschwindigkeit für den Leistungsfaktor nicht hinterlegt, oder ein Stückzähler für die Gutmenge, Ausschuss und Nacharbeit nicht vorhanden ist.

Beim Leistungsfaktor ist die passende Berechnungsmethode (Zeit- oder Stückverluste), individuell je nach Maschine und MES, nach der Länge der theoretischen Zykluszeit gewählt. Die Definition des Micro Stops orientiert sich ebenfalls an der Länge der theoretischen Zykluszeit.

Für den Qualitätsfaktor wird ebenso empfohlen die jeweilige Berechnungsmethode (Stück- oder Zeitverluste) auf Plausibilität, speziell bei der Berechnung der Verluste durch Nacharbeit, zu überprüfen und gegebenenfalls anzupassen.

### 4.2.2 Erhebung der OEE

Nach der Erfüllung der angeführten Grundvoraussetzungen erfolgt die Berechnung der OEE aller Maschinen und Maschinengruppen. Das Ziel der Erhebung ist die Identifikation der ineffizientesten Maschine bzw. Maschinengruppe auf Basis der OEE-Berechnung. Die Maschine mit der niedrigsten OEE, welche das größte Potenzial zur Verbesserung aufweist, wird als Pilotprojekt definiert. Maschinen mit niedrigerer OEE weisen zumeist vor der OEE-Ermittlung Engpässe in der Produktion auf.

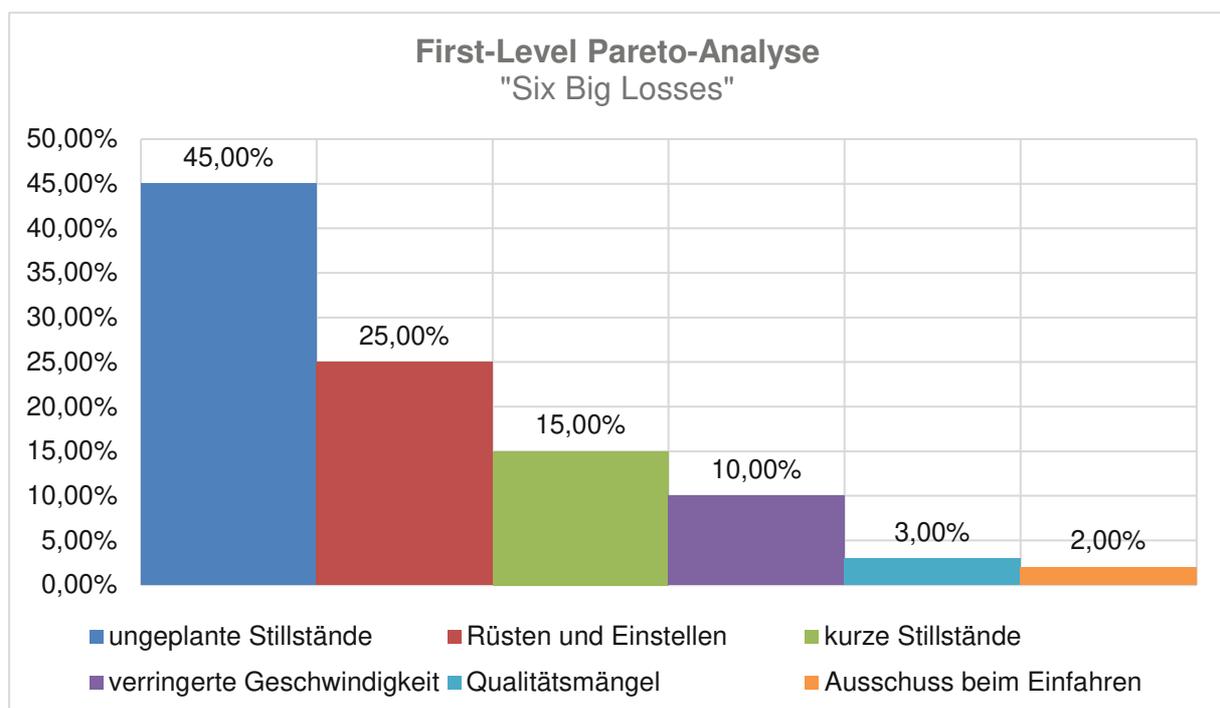
Die OEE-Kennzahlen der Maschinen und Maschinengruppen werden aus bereits existierenden Datenaufzeichnungen, über einen Zeitraum von mindestens sechs Wochen bis drei Monaten, berechnet. Es wird darauf verwiesen, dass innerhalb des gewählten Erfassungszeitraums das gesamte Produktprogramm der Maschine mindestens einmal gefertigt werden sollte, um repräsentative Ergebnisse zu erhalten. Es wird empfohlen die Datenaufzeichnung kontinuierlich fortzuführen, um die Auswirkungen einzelner Verbesserungen genau nachvollziehen zu können.

### 4.2.3 Analyse der OEE

Im folgenden Teilabschnitt werden die wichtigsten Werkzeuge und Methoden für die Analyse der OEE beschrieben. Für die Identifikation der Verluste wird die First- und Second-Level Pareto Analyse verwendet. Durch die Methode Gemba-Kaizen erfolgt eine ausführliche Analyse des Arbeitsplatzes, um unentdeckte Verluste zu identifizieren und passende Lösungsvorschläge zu ermitteln. Die Ursache-Wirkungs-Beziehung wird durch Brainstorming mit dem Ishikawa-Diagramm (Ursache-Wirkungs-Diagramm) realisiert und grafisch dargestellt.

#### Identifikation der Verluste durch Pareto-Analyse

Die Pareto-Analyse basiert auf den Daten der Datenaufzeichnung des MES und wird in zwei Ebenen unterteilt: Die First-Level Pareto Analyse befasst sich mit der Identifikation der sechs Effizienzverluste („Six Big Losses“). Diese Verlustarten werden in einem Balkendiagramm nach deren prozentuellen Anteil am Gesamtverlusten geordnet dargestellt (siehe Abbildung 4.3).



**Abbildung 4.3: First-Level Pareto Analyse (Theorie)**

In der Praxis ist es möglich, dass die Verluste nicht in derselben Einheit zur Verfügung stehen und es dadurch schwierig wird, deren prozentualen Anteil am Gesamtverlust zu ermitteln. Der Grund dafür ist, dass die Verfügbarkeitsverluste grundlegend als Zeitverluste, die Leistungsverluste sowohl als Zeit- als auch als Stückverluste und die Qualitätsverluste bevorzugt per Stückverluste ermittelt werden. Die Qualitätsverluste können selbstverständlich per Zeitverluste ermittelt werden, jedoch dafür benötigt das

MES eine passende Projektierung, damit die Mehraufwandszeiten, durch Ausschuss oder Nacharbeit, aktiv miterfasst werden.

Für die Second-Level Pareto Analyse werden die Verlustarten, die kumulativ ungefähr 80% des gesamten Verlustes ausmachen, in detaillierter Form einzeln betrachtet. Die genauere Spezifikation der Ursachen kann durch das MES erfolgen. Je nach MES werden einzelne Ursachen, wie Mitarbeiter abwesend, technische Störung, Material nicht vorhanden, etc. der Verlustart „ungeplanten Stillstände“ zugeordnet (siehe Abbildung 4.4).

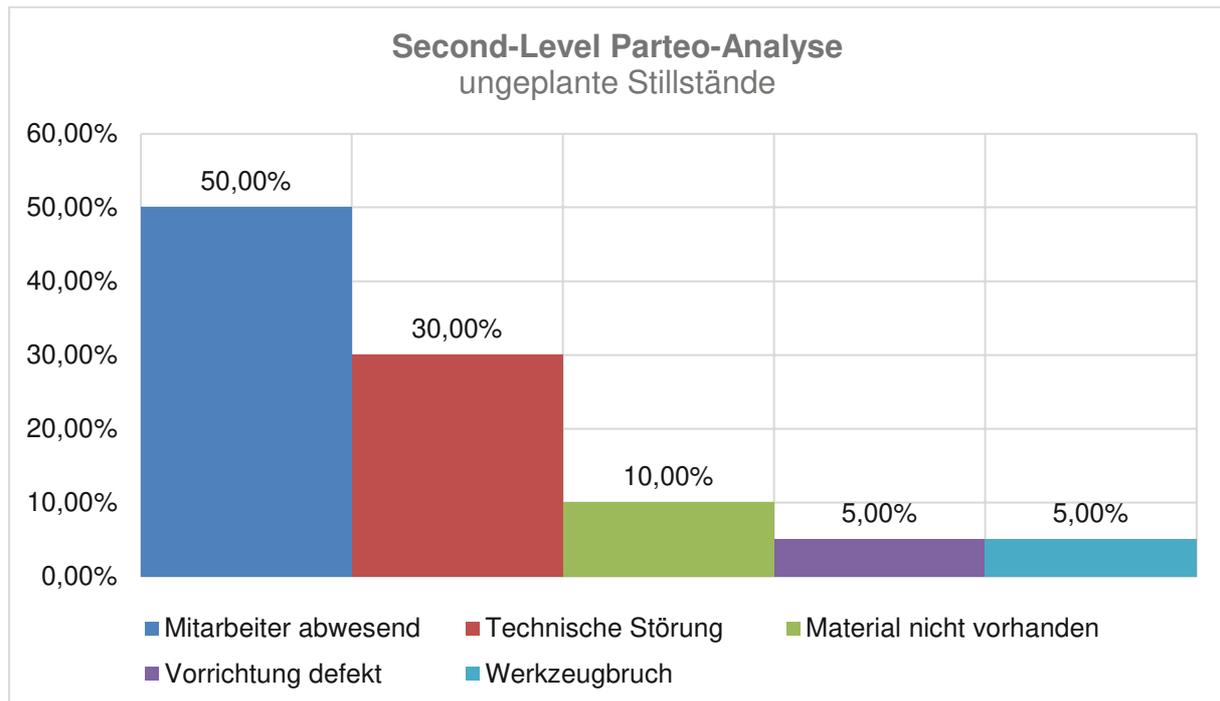


Abbildung 4.4: Second-Level Pareto Analyse (Theorie)

### Effektivitätsanalyse von NC-Programmen

Die Effektivitätsanalyse von NC-Programmen dient zur Identifikation von Programmabläufen mit mangelnder Effektivität. Unter dem Programmablauf werden alle Prozessabschnitte verstanden, die notwendig sind, um ein Produkt fertigzustellen. Dazu gehören unter anderem die Rüst-, Mess-, Reinigungs-, Handhabungs- und Bearbeitungsvorgänge sowie das Abrüsten.

Die Effektivität eines NC-Programmes errechnet sich wie folgt:

#### Formel 4.3: Effektivität eines NC-Programmes

$$\text{Effektivität}_i [\%] = \frac{(\text{IST} - \text{Ausbringung})_i [\text{min}]}{(\text{Bruttobetriebszeit} - \text{techn. Störung})_i [\text{min}]} \cdot 100$$

Aus der Formel wird ersichtlich, dass hierfür Kennzahlen aus der OEE für weitere Datenanalysen verwendet werden und diese problemlos in ein MES integriert werden

können. Durch die Effektivität des NC-Programmes können rasch Problem- und Potenzialfelder einzelner Programme entdeckt werden.

In der Abbildung 4.5 wird eine Effektivitätsanalyse von NC-Programmen grafisch dargestellt. Durch die Abbildung wird ersichtlich, dass das NC-Programm 4 durchschnittlich die höchste Effektivität und das NC-Programm 1 die niedrigste Effektivität aufweist.

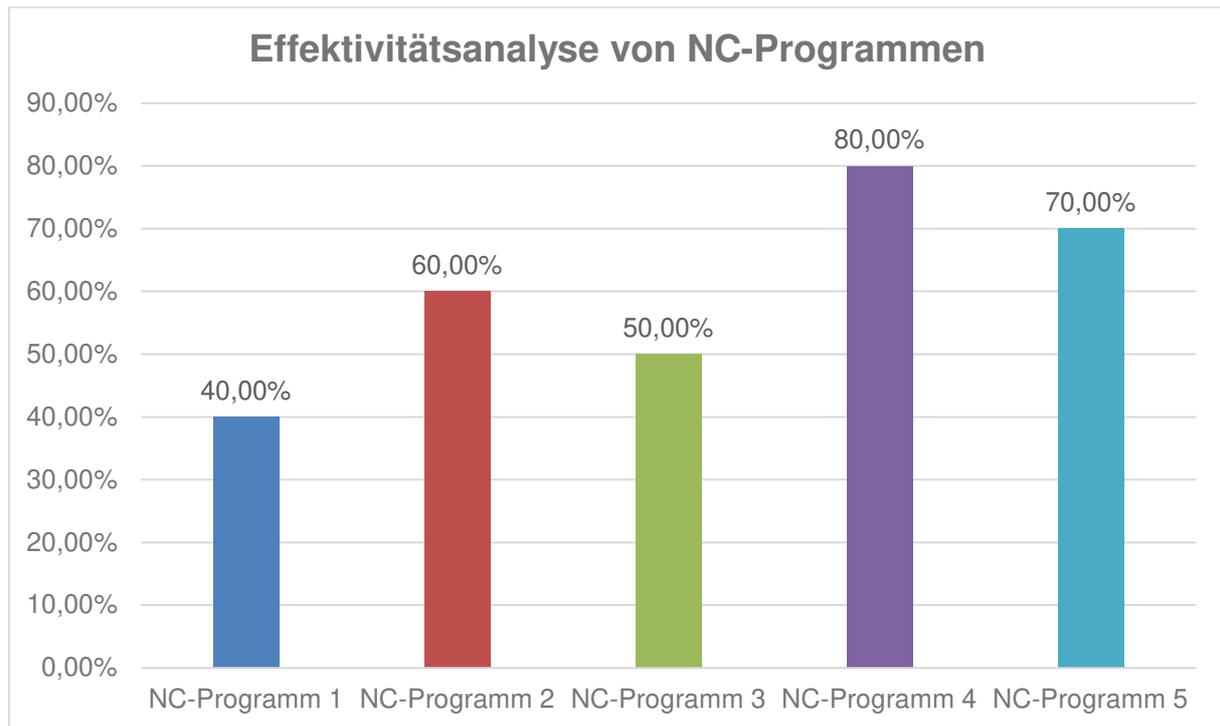
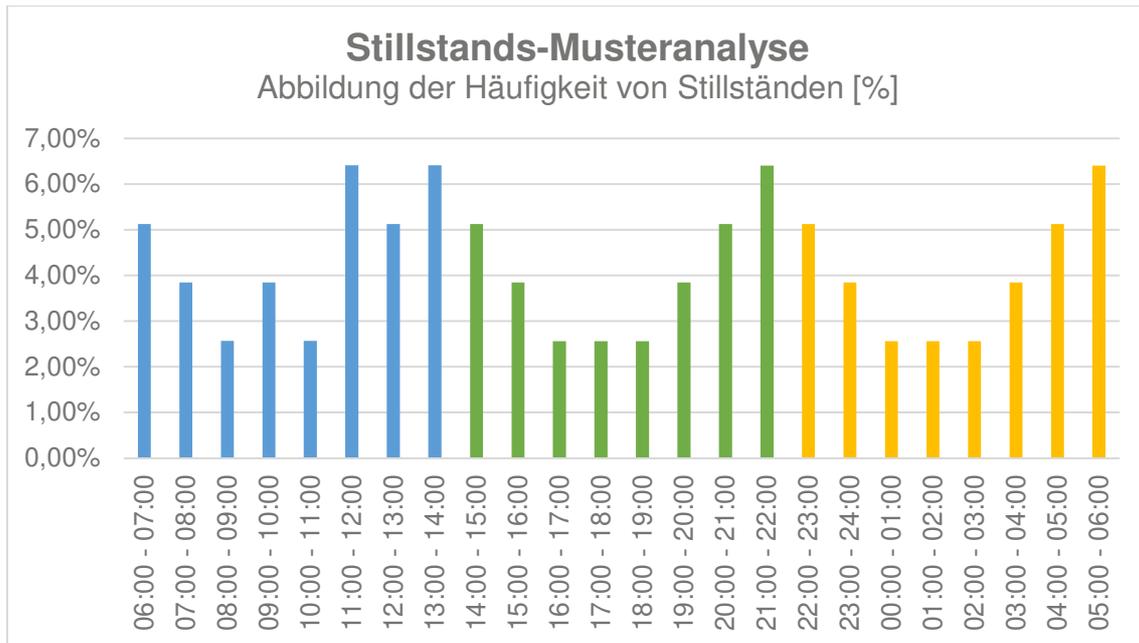


Abbildung 4.5: Effektivitätsanalyse von NC-Programmen (Theorie)

### Stillstands-Musteranalyse

Die Stillstands-Musteranalyse ist ein Verfahren, welches sich mit der Erkennung von Mustern von ungeplanten Stillständen beschäftigt. Das Verfahren beruht auf der Hypothese, dass die Mitarbeiterproduktivität und die Anzahl der ungeplanten Stillstände über die gesamte Schicht nicht konstant verteilt sind. Zur Überprüfung der Gültigkeit der Hypothese wird die Häufigkeit von ungeplanten Stillständen nach einem beliebig gewählten Zeitintervall (z.B. stündlich) automatisiert erfasst und geclustert. Durch eine längerfristige automatisierte Erfassung von Daten, über drei bis sechs Monate, können mittels einer grafischen Darstellung (siehe Abbildung 4.6) erste Muster zum Zeitpunkt des Auftretens von ungeplanten Stillständen erkannt werden.



**Abbildung 4.6: Stillstands-Musteranalyse bei volatiler Verteilung von ungeplanten Stillständen**

### Analyse des Arbeitsplatzes

Die Analyse des Arbeitsplatzes befasst sich mit der Suche nach Ursachen, für die ermittelten Verluste aus der OEE-Berechnung (Mitarbeiter abwesend, technische Störung, etc.) und zur Identifikation von Verlusten (Überproduktion, Bestände, unnötige Prozesse, Bewegungen und Materialtransporte), welche schwer aus der OEE-Berechnung hergeleitet werden können. Eine weitere Aufgabe der Arbeitsplatzanalyse ist die Überprüfung vorhandener 5S-Methoden (Selektieren, Systematisieren, Säuberung, Standardisieren und Selbstdisziplin).

Mit Hilfe der Methode Gemba-Kaizen wird am Ort des Geschehens kontinuierliche Verbesserung angestrebt. Durch Beobachtungen und Absprachen mit den Maschinenbedienern und dem Meister, wird vor Ort Feedback zu aktuellen Problem- und Potenzialfeldern eingeholt. Als Anreiz für die Mitarbeiter können Belohnungsprogramme für erfolgreich umgesetzte Verbesserungsvorschläge eingeführt werden.

### Identifikation der Ursachen durch die 5-Why-Methode und Darstellung mittels Ishikawa-Diagramm

Mit der 5-Why-Methode wird durch mehrfaches Hinterfragen des Fehlertyps die Ursachen des Fehlersymptoms ermittelt. Zur besseren Übersicht kann die Ursache in das Ishikawa-Diagramm (6M's) eingetragen werden. In der Abbildung 4.7 wird das Ishikawa-Diagramm für die OEE-Verluste dargestellt.

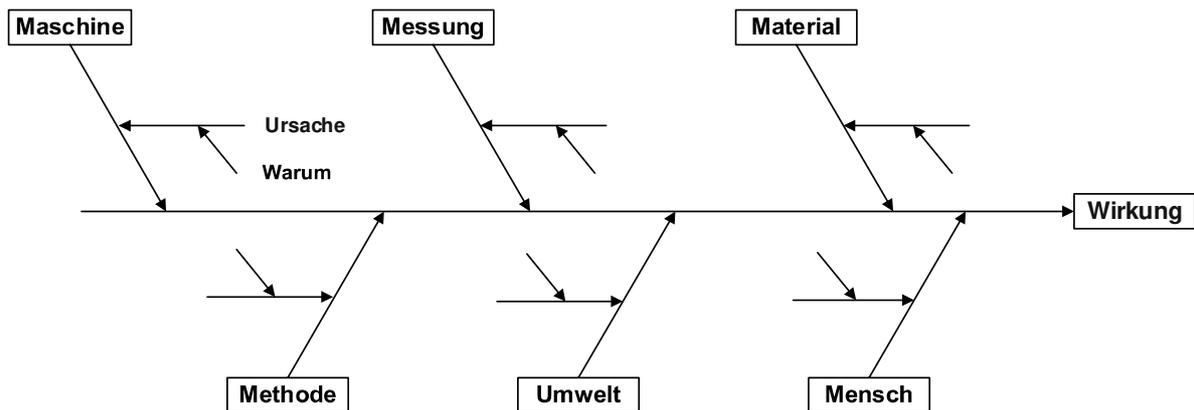


Abbildung 4.7: Ishikawa-Diagramm für OEE-Verluste (Theorie)

#### 4.2.4 Erstellung von Verbesserungsmaßnahmen

In diesem Teilabschnitt werden für die entdeckten Problem- und Potenzialfelder aus der Analyse der OEE, passende Methoden und Werkzeuge zur Verbesserung beschrieben.

Eine Grundvoraussetzung für viele weitere Methoden, Werkzeuge und Konzepte ist die Gestaltung eines gepflegten und geordneten Arbeitsplatzes. Dies kann durch die 5S-Methode realisiert werden. Ein weiterer Vorteil der 5S-Methode ist, dass durch die Arbeitsplatzgestaltung unnötige Prozesse und Bewegungen identifiziert und eliminiert werden können.

##### Rüst- und Einstellverluste

Ein wissenschaftlich bewehrter Ansatz zur Reduktion der Rüstzeiten ist die SMED-Methode. Die Umwandlung von internen in externe Rüstvorgänge, durch Vor- oder Nachlagerung des Rüstens ermöglicht, dass Rüstvorgänge, während der automatisierenden Fertigung der Maschine, durchgeführt werden können.

Für Maschinen, die über mehrere Bearbeitungsplätze (z.B. komplexe Bearbeitungszentren) verfügen, kann zusätzlich ein Pendelbetrieb realisiert werden: Beim Pendelbetrieb wird nach dem erstmaligen Rüsten des Bauteils am Arbeitsplatz 1 die Maschine in die automatisierte Fertigung versetzt. Während die Maschine autonom fertigt, erfolgt der Rüstvorgang für das nächste Bauteil am Arbeitsplatz 2. Dadurch kann ein „Pendeln“ zwischen den einzelnen automatisierten Vorgängen erfolgen. Die Grundvoraussetzung für den erfolgreichen Pendelbetrieb ist, dass die Dauer jedes Rüstvorgangs kürzer ist, als der zeitgleich stattfindende automatisierte Fertigungsprozess. Dies kann durch eine Durchlaufzeitterminierung mit Puffern, mittels hochkomplexen Softwarelösungen und -algorithmen, realisiert werden. In der Abbildung 4.8 ist das Grundschemata des Pendelbetriebs dargestellt.



Abbildung 4.8: Pendelbetrieb

**Empfehlung:** Bei einem sehr hohen Automatisierungsgrad in der Fertigung kann, zusätzlich zum Pendelbetrieb, ein Mehrmaschinenbetrieb angestrebt werden, wenn die Fertigungszeit deutlich länger ist, als die notwendigen Rüstvorgänge sind. Die korrekt geplante Mehrmaschinenbedienung beeinflusst die OEE der Maschine nicht direkt, aber sie führt dazu, dass die Arbeitszeiten der Mitarbeiter effektiver genutzt werden. In der Abbildung 4.9 wird das Grundschemata einer Mehrmaschinenbedienung dargestellt.

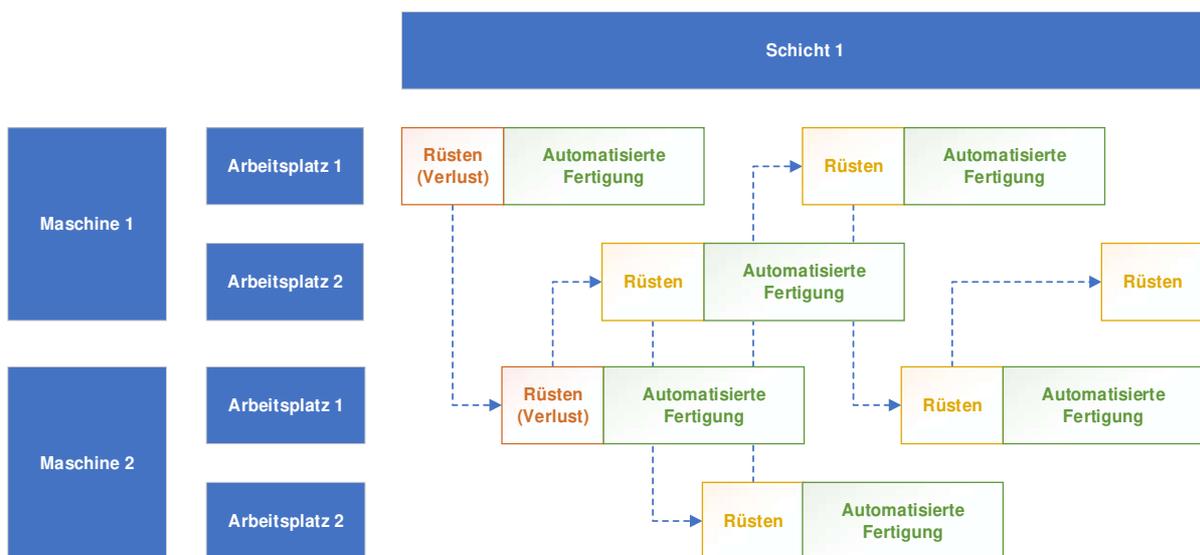


Abbildung 4.9: Mehrmaschinenbedienung

Zur Vervollständigung sei erwähnt, dass etwaige Pausenzeiten in der Durchlaufterminierung erfasst werden müssen. Diese sollten so abgestimmt sein, dass unter optimalen Bedingungen der Bediener nicht rüsten bzw. eingreifen muss.

### Ungeplante Stillstände

Zur Vermeidung von ungeplanten Stillständen wird die Einführung und konstante Umsetzung des TPM-Ansatzes empfohlen. Das TPM-Konzept zielt darauf ab, die Profitabilität durch das Instandhaltungssystem (inkludiert Instandhaltungsprävention,

Verbesserung der Instandhaltung und präventive Instandhaltung) und durch die Teilnahme aller Mitarbeiter (autonome Instandhaltung) zu erhöhen.<sup>131</sup>

Durch die Identifikation von Mustern ungeplanter Stillstände (Stillstands-Musteranalyse), können Erkenntnisse für weitere Maßnahmen gewonnen werden. Das Ergebnis der Stillstands-Musteranalyse könnte Hinweise liefern, dass zu spezifischen Zeiten (z.B.: Pausen oder Schichtwechsel), eine verhältnismäßig hohe Anzahl von wiederkehrenden, ungeplanten Stillständen auftritt. Aufgrund dieses Erkenntnis können passende Maßnahmen, wie beispielsweise gestaffelte Pausenzeiten oder ein Schichtwechselkonzept, eingeführt werden.

### **Kurze Stillstände und verringerte Geschwindigkeit**

Die Reduktion und Vermeidung von kurzen Stillständen („Micro Stops“) und verringerter Geschwindigkeit kann, durch die eingangs erwähnte 5S-Methode, realisiert werden. Ein besonderes Augenmerk sollte auf den Standardisierungsprozess gelegt werden. Zur Sicherstellung der Standardisierung, sollten ausführliche Arbeitsanweisungen erstellt und regelmäßige Mitarbeitertrainings absolviert werden, welche auf kontinuierliche Verbesserung abzielen.

Für die Fertigung mit der optimalen Geschwindigkeit muss der Zustand der Maschine, der Vorrichtungen und des Werkzeuges in einer guten Verfassung sein. Dieser Zustand stellt sicher, dass die Mitarbeiter, aufgrund von Schwachstellen der Maschine (z.B. erhöhte Schwingungen in einem Teilabschnitt), die Geschwindigkeit von Qualitätsthemen nicht reduzieren müssen.

### **Anfahrverluste**

Anfahrverluste treten auf, wenn nach dem Rüsten eines neuen Auftrags oder nach dem Anfahren eines Prozesses, nach einer längeren Unterbrechung, Bauteile als Ausschuss („Anfahrteile“) deklariert werden. Durch Six-Sigma-Projekte können die Einflussgrößen auf die Produktqualität analysiert werden, um etwaige Problem- und Potenzialfelder zu ermitteln, um schneller stabile Prozessbedingungen zu erreichen.<sup>132</sup>

### **Qualitätsverluste**

Eine Verminderung der Qualitätsverluste kann durch die Poka Yoke und die Werker selbstprüfung erreicht werden.

Das Poka Yoke-Konzept dient zur Vermeidung von unbeabsichtigten Fehlern, durch Erstellung von passenden Vorkehrungsmaßnahmen, wie beispielsweise die Erstellung einfacher Vorrichtungen oder Ablaufsicherungen. Das Poka Yoke-Element ist gekennzeichnet durch eine einfache Implementierung, die selbsterklärende Funktion

<sup>131</sup> vgl. Nakajima, 1988, S.11

<sup>132</sup> vgl. Kletti; Schumacher, 2014, S.147

und der geringen Investitionskosten. Durch Poka Yoke-Elemente können eine Vielzahl von Fehler im Voraus vermieden werden.

Die Werkerselbstprüfung dient dazu, direkt nach dem Bearbeitungsschritt und vor der Weitergabe an den nächsten Prozess, eine Kontrolle des Bauteils vorzunehmen. Dadurch können Fehler früher entdeckt und Mehraufwände durch erst spätere Identifikation vermieden werden.

#### 4.2.5 Priorisierung der Verbesserungsmaßnahmen

Nach der Erstellung einer Vielzahl von Verbesserungsmaßnahmen erfolgt die Priorisierung. Dafür werden die Verbesserungsmaßnahmen in vier Kategorien A-, B- und C-Kategorien sowie Quick-Win-Maßnahmen eingeteilt. Die Kategorien A, B und C kennzeichnen die Priorität der einzelnen Kategorien in absteigender Reihenfolge. Eine Quick-Win-Maßnahme wird keiner der drei Kategorien zugeordnet, da diese besonders schnell und einfach (z.B. Poka Yoke – Erstellung eines Werkstückanschlages) umgesetzt werden kann. Die Priorisierung der Maßnahmen erfolgt nach dem Potenzial zur Steigerung der OEE bzw. zur Vermeidung von Verlusten. In der Tabelle 4.2 wird beispielhaft die Priorisierung von Verbesserungsmaßnahmen dargestellt.

Tabelle 4.2: Priorisierung von Verbesserungsmaßnahmen

Kategorie A	Kategorie B	Kategorie C	Quick-Win-Maßnahmen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• TPM</li> <li>• SMED</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorrichtungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mehrmaschinenbetrieb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poka Yoke</li> </ul>

#### 4.2.6 Kosten-Nutzen-Analyse einzelner Verbesserungsmaßnahmen

Die Kosten-Nutzen-Analyse ist eine Methode, die dem Management bei der Entscheidung zur Umsetzung einzelner Verbesserungsmaßnahmen helfen kann. Diese Methode wird vor allem als Argumentationsgrundlage bei größeren Investitionen verwendet.

Für die Kosten-Nutzen-Analyse werden die anfallenden Gesamtkosten für die Investition, sowie das mögliche OEE-Verbesserungspotenzial benötigt. Die Gesamtkosten werden vereinfacht durch die Investitionskosten, die Lohnkosten und die Fixkosten für das Investment berechnet. Für die Ermittlung des möglichen OEE-Verbesserungspotenzials werden historische Verluste über einen längeren Zeitraum, die direkt dem Verlusttypus zuordenbar sind, berechnet. Die Berechnung des CPI erfolgt nach Zennaro (2017), analog dem Kapitel 3.2.<sup>133</sup>

<sup>133</sup> vgl. Zennaro; Battini; Sgarbossa; Persona; De Marchi, 2017, S.973f

**Formel 4.4: Cost per Improvement<sup>134</sup>**

$$\text{CPI} = \frac{\text{Gesamtkosten für die Verbesserung (€)}}{\text{OEE} - \text{Verbesserungspotenzial (\%)}}$$

**4.2.7 Umsetzung einzelner Verbesserungsmaßnahmen**

Nach der erfolgreichen Durchführung der Analyse der OEE, der Erstellung sowie der Priorisierung der Verbesserungsmaßnahmen und der Kosten-Nutzen-Analyse einzelner Verbesserungsmaßnahmen, befasst sich der letzte Teil des Konzepts mit der Umsetzung einzelner Verbesserungsmaßnahmen, in Form des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses.

Die Umsetzung erfolgt in mehreren Schritten, da die Mitarbeiter, aufgrund von zeitlichen Engpässen, nur eine bestimmte Ressource dafür zur Verfügung stellen können. Deshalb werden die Verbesserungsmaßnahmen, zusätzlich zu den Kategorien, den jeweiligen Abteilungen (z.B. Fertigung, Betriebsmittelkonstruktion, Arbeitsvorbereitung, Instandhaltung, Logistik, etc.) zugeordnet (siehe Tabelle 4.3). Jede Abteilung beginnt mit einer Maßnahme der A-Kategorie und arbeitet sich systematisch zu den C-Kategorien durch, bis alle Verbesserungsmaßnahmen abgeschlossen sind. Die Quick-Win-Maßnahmen haben einen geringeren Aufwand und können abteilungsübergreifend parallel zu deren aktueller Tätigkeit umgesetzt werden.

**Tabelle 4.3: Erweiterte Priorisierung von Verbesserungsmaßnahmen**

	<b>Kategorie A</b>	<b>Kategorie B</b>	<b>Kategorie C</b>	<b>Quick-Win-Maßnahmen</b>
<b>Fertigung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TPM</li> <li>• SMED</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorrichtungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mehrmaschinenbetrieb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poka Yoke</li> </ul>
<b>Betriebsmittelkonstruktion</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TPM</li> <li>• SMED</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorrichtungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mehrmaschinenbetrieb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poka Yoke</li> </ul>
<b>Arbeitsvorbereitung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TPM</li> <li>• SMED</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorrichtungen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mehrmaschinenbetrieb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poka Yoke</li> </ul>
<b>Instandhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TPM</li> </ul>			
<b>Logistik</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TPM</li> </ul>			

Zur Sicherstellung der Umsetzung der einzelnen Verbesserungsmaßnahmen wird empfohlen, dass ein realistischer Zeitplan, beispielsweise mittels Gantt-Diagramm, für die Umsetzung gewählt und dokumentiert wird. In regelmäßigen Abständen werden

<sup>134</sup> vgl. Zennaro; Battini; Sgarbossa; Persona; De Marchi, 2017, S.974

die jeweiligen Zwischenstände kritisch diskutiert und falls notwendig, erforderliche Sprints definiert.

Nach der Umsetzung einzelner Verbesserungsmaßnahmen werden die Auswirkungen auf die OEE überprüft, um sicherzustellen, dass die erwünschten Erfolge auftreten. Zum Abschluss erfolgt die Standardisierung, bevor die nächsten Verbesserungsmaßnahmen umgesetzt werden.

## 5 Anwendung des Konzeptes in der Schienenfahrzeugindustrie

Dieses Kapitel beschreibt die Ausführung des vorgestellten Konzeptes am Beispiel eines Bearbeitungszentrums im Rohbau der Siemens Mobility Austria GmbH am Standort Wien Leberstraße.

### 5.1 Siemens Mobility Austria GmbH

#### 5.1.1 Vorstellung des Unternehmens

Die Siemens Mobility Austria GmbH ist ein Unternehmen des Mischkonzerns Siemens AG, welches in fünf Divisionen Rail Infrastructure, Turnkey, Rolling Stock, Customer Services und Intelligent Traffic Systems unterteilt wird. Dem Werk Wien Leberstraße ist der Geschäftsbereich Rolling Stock zugeordnet und es beschäftigt sich mit der Fertigung unterschiedlichster Schienenfahrzeuge wie beispielsweise Reisezugwagen, Metros, Straßen- und Stadtbahnen sowie Automated People Mover.

#### 5.1.2 Vorstellung des Standortes Wien

Am Standort Wien Leberstraße erfolgt die Unterteilung der Fertigung in die Bereiche Rohbau, Oberfläche, Elektrik und Montage. Der Rohbau beschäftigt sich mit der Bearbeitung und dem Zusammenbau einzelner Komponenten des Untergestells und des Wagenkastens. In der Oberfläche erhält das Untergestell bzw. in später Folge der Wagenkasten, in einem mehrstufigen Prozess (Sandstrahlen, Grundieren, Dichten, Kitten, Aufbringung des Schallschluck, Füllern, Schleifen und Lackieren) deren optischen Eigenschaften. In den Bereichen Elektrik und Montage geschieht der Einbau der Fahrzeuginneneinrichtung, der Türen und Einstiege, der Beleuchtung, der Klimatisierung und weiterer Produktgruppen.

Im Bereich Rohbau werden auf mehreren Bearbeitungszentren unterschiedlichste Komponenten wie beispielsweise Untergestell- und Dachlangträger, Seitenwände sowie Boden- und Dachplatten bearbeitet. Bei Bearbeitungszentren wird zwischen Fräsbearbeitungszentren und Hybridbearbeitungszentren unterschieden. Das Hybridbearbeitungszentrum kann zusätzlich zu den Funktionen eines Fräsbearbeitungszentrums automatisierte Schweißvorgänge durchführen. Jedes Bearbeitungszentrum verfügt über zwei örtlich getrennte Bearbeitungskabinen. Dadurch besteht die Möglichkeit, dass in der einen Kabine automatisiert gefertigt wird, während in der anderen Kabine die nächste Komponente vorbereitet wird.

### 5.1.3 Das Kernteam

Vor dem Start der IST-Analyse erfolgte die Festlegung eines Kernteams nach Absprache mit der Werksleitung zur Optimierung der OEE eines Pilotprojektes. Das Kernteam setzt sich zusammen aus dem zuständigen Meister aus der Fertigung, dem Leiter der Betriebsmittelkonstruktion und einem Mitarbeiter aus der Arbeitsvorbereitung. Nach dem Kick-Off-Meeting erfolgen wöchentliche Absprachen zur Aufnahme von neuen Themen und in späterer Folge zur Abarbeitung dieser Maßnahmen.

## 5.2 Überprüfung der grundlegende Voraussetzungen zur Datenerfassung

Das Unterkapitel dient zur Überprüfung, ob die grundlegenden Voraussetzungen des Konzeptes bezüglich automatisierter Datenerfassung erfüllt sind.

Der Standort Wien Leberstraße, der Siemens Mobility Austria GmbH, hat das Potenzial der Industrie 4.0 erkannt und setzt seit kurzem verstärkt auf zahlreiche Maßnahmen, um den Standort auf den neuesten Stand der Technik auszulegen. Das Werk kooperiert mit einer Vielzahl von Partnern, die das Werk bei der Umsetzung von Digitalisierungsmaßnahmen unterstützen. Ein aktuelles Projekt umfasst die Adaption des MES. Die Voraussetzungen für das MES ist das Vorhandensein der Dateninfrastruktur, damit die Maschinendaten aller Maschinen automatisiert erfasst und weiterverarbeitet werden können. Ein Vorteil dieser Methode besteht darin, dass die Daten in Echtzeit abgerufen werden können, ohne dass die Maschinenbediener bzw. die Maschinen dadurch beeinträchtigt werden. Die Implementierung der Echtzeitdaten in die Dateninfrastruktur bildet das Fundament für eine Vielzahl von produktivitätssteigernden Softwarelösungen sowie Smartphone-Applikationen.

Mit dem Beginn dieser Diplomarbeit erfolgte die Projektierung (Adaption) des MES zur optimalen Erfassung der Maschinendaten und Berechnung der OEE. Alle Bearbeitungszentren verfügen über eine eingeschränkte Plug and Play Version des MES. Der Funktionsumfang der Plug and Play Version ist eingeschränkt, sodass branchenspezifische Projektierungsmaßnahmen notwendig sind. Im aktuellen Zustand treten zahlreiche Probleme bei der Berechnung auf, da vereinzelt Parameter, wie z.B. die Planbelegungszeit der Maschine, SOLL-Zeiten je NC-Programm, etc., nicht ins MES integriert werden können. Ein weiteres Problem ist der nicht vorhandene Teileartenzähler, sodass die Identifikation von Gutmenge und Ausschussteile nicht automatisiert möglich ist.

Zur vorübergehenden Kompensation dieser Problematik wurde eine Methode entwickelt, um aus den aktuell vorhandenen Maschinendaten, in Eigenregie und Absprache mit der Fertigung, vorübergehend OEE-Kennwerte zu bestimmen. Durch

regelmäßige Absprache mit der Fertigung wurden wöchentlich die jeweiligen Planbelegungszeiten (Schichtmodelle) sowie die Gutmenge und Ausschussteile übermittelt und in die Berechnung eingepflegt.

Aufgrund diverser Probleme verzögerten sich die Projektierungsmaßnahmen bis August 2021.

## 5.3 Erhebung der OEE

Das zweite Unterkapitel beschreibt die Vorgehensweise für die Berechnung der OEE am Beispiel einer Kalenderwoche und fasst im Anschluss die Ergebnisse der IST-Analyse für einen Betrachtungszeitraum von sechs Wochen zusammen.

### 5.3.1 Vorgehensweise für die Berechnung der OEE

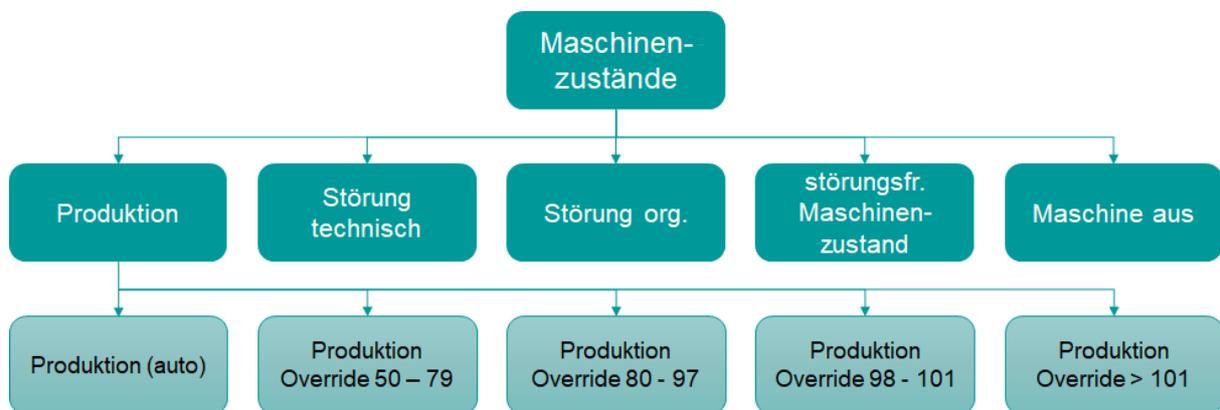
Für die Berechnung der OEE werden zu Beginn die von dem MES definierten Maschinenzustände im Auslieferungszustand der Plug and Play-Version genauer betrachtet:

- **Produktion:** Die Maschine produziert störungsfrei im vollautomatischen Betrieb. Die produktionsbedingten Nebenzeiten wie beispielsweise Beladen, Entladen und automatischer Werkzeugwechsel sind im Zustand enthalten. Der Maschinenzustand Produktion kann unterteilt werden in Produktion Override 50–79%, Produktion Override 80–97%, Produktion Override 98–101% und ein Override über 101%. Der Begriff Override bezeichnet die bestimmte Vorgabedrehzahl der Maschine und diese sollte im idealen Fall ungefähr 100% betragen. Der Override ist ungefähr gleichzustellen mit der Geschwindigkeit. Eine verringerte Vorgabedrehzahl (Produktion Override von 50–97%) kann in der Startphase eines Programmes entstehen, da die Maschine aus dem Stillstand auf die optimale Vorgabedrehzahl beschleunigt werden muss. Des Weiteren ist es möglich, dass der Maschinenbediener bewusst die Geschwindigkeit reduziert, um kritische Abschnitte mit Vorsicht zu bearbeiten. Eine höhere Vorgabedrehzahl (Produktion Override > 101%) kennzeichnet jenen Maschinenzustand, indem die Geschwindigkeit über die Auslegegeschwindigkeit erhöht wird. Dieser Maschinenzustand kann aufgrund erhöhter Geschwindigkeit zu Qualitätsproblemen führen.
- **Technische Störung:** Die technische Störung wird automatisch aktiviert, während einer produktionsverhinderten Fehlfunktion der Maschine. Die Ursache dieses Zustandes kann aufgrund von Hersteller- oder Bedienerfehlerverhalten auftreten (z.B. Materialfehler des Herstellers oder mangelnde Wartung des Bedieners).
- **Organisatorische Störung:** Die organisatorische Störung beschreibt einen Produktionstop, welcher nicht durch eine Fehlfunktion der Maschine verursacht

worden ist. Dieser Zustand tritt automatisch ein, wenn in einem NC-Programm der Zustand Produktion beendet wird.

- **Störungsfreier Maschinenstillstand:** Der störungsfreie Maschinenstillstand ist jener Zustand, in dem die Maschine nicht vollautomatisch produziert und keine Störung aufweist (z.B. manueller Eingriff durch den Maschinenbediener aufgrund einer Messung).
- **Maschine aus:** Die Maschine liefert im ausgeschalteten Zustand keine auswertbaren Daten, da eine Erfassung nicht möglich ist.

In der Abbildung 5.1 werden die Maschinenzustände der Plug and Play Version grafisch dargestellt.



**Abbildung 5.1: Maschinenzustände der Plug and Play Version**

Die Berechnung der OEE erfolgt wochenweise mit einem Tabellenkalkulationsprogramm. Mittels eines Tabellenkalkulationsprogrammes werden die notwendigen Daten aus dem Maschinenprotokoll (Werksbezeichnung, Maschinenzustand und Start- und Endzeitpunkt des Zustandes) und dem Teileartenprotokoll (Bezeichnungen der laufenden NC-Programme) zusammengeführt. Zusätzliche Abfragen im Tabellenkalkulationsprogramm dienen zur Unterteilung der Stillstände (Zustand organisatorische Störung) in ungeplante Stillstände (> 10 Minuten) und kurze Stillstände (< 10 Minuten).

Für die Unterteilung zwischen Entwicklungs-, Anlauf- und Serienfertigungsphase werden die Kostenaspekte unterschiedlich berücksichtigt. Das Projektbudget ist untergliedert in das Budget für die Entwicklungsphase und in die Fertigungsphase. Die Kosten für Anläufe (z.B. Anfangsphase eines neuen Projekts oder eines aktualisierten NC-Programms) und für die Serienfertigung werden dem Fertigungsbudget zugeordnet. Die Kosten für die Entwicklungsphase (z.B. Versuche für neue Projekte) werden in dem Entwicklungsbudget berücksichtigt. In der Terminplanung werden vorausplanend vordefinierte Zeitblöcke, unter Beachtung des Terminplans der Serienproduktion reserviert, um in diesen Entwicklungsversuche durchzuführen. Aufgrund der unterschiedlichen Kostenbetrachtung zwischen Entwicklungs- und Fertigungsphase

werden die Entwicklungsversuche als bedingte Stillstände erfasst, welche die Planbelegungszeit reduzieren.

In der Tabelle 5.1 sind exemplarisch einige Datensätze aus der ersten erfassten Kalenderwoche abgebildet. Für eine übersichtlichere Illustration wurden die Spalten Werksbezeichnung, Maschinenbezeichnung, Schichtnummer, Dauer und das Datum ausgeblendet. In den Spalten ungeplanter Stillstand, kurzer Stillstand, Versuche (V), ungeplanter Stillstand (V) und kurzer Stillstand (V) sind Abfragen zur Feststellung hinterlegt. Daraus ist ersichtlich, ob der Stillstand durch den Maschinenzustand Störung org. kürzer (kurzer Stillstand) oder länger (ungeplanter Stillstand) als 10 Minuten dauert. Zusätzlich erfolgt die Überprüfung, ob es sich bei dem NC-Programm um einen Versuch für neue Projekte handelt.

**Tabelle 5.1: Ausschnitt aus der Datenerfassung von Kalenderwoche 7**

Beginn	Ende	Zustand	Teileart
22:17:17	22:34:42	Produktion Override 98 - 101	NC-Prog. C3
22:17:16	22:34:42	Produktion (auto)	NC-Prog. C3
22:17:16	22:17:17	Produktion Override 80 - 97	NC-Prog. C3
22:16:32	22:17:16	Störung org. (auto)	NC-Prog. C3
21:56:38	22:16:32	Produktion Override 98 - 101	NC-Prog. C3
21:56:36	22:16:32	Produktion (auto)	NC-Prog. C3
21:56:36	21:56:38	Produktion Override 50 - 79	NC-Prog. C3
21:55:59	21:56:36	Störung org. (auto)	NC-Prog. C3
21:55:57	21:55:59	Produktion Override 80 - 97	NC-Prog. C3
21:41:52	21:55:57	Produktion Override 98 - 101	NC-Prog. C3

Im nächsten Schritt erfolgt die Zuordnung der anfallenden Maschinenzustandszeiten zu dem jeweiligen Programm, Hantivorgang und Versuch. Das Ziel eines effektivem Fertigungsunternehmens ist das Erreichen von hohe Produktionszeiten (Produktion Override 98-101), geringen Stillstandzeiten (Störung org. – ungeplanter Stillstand), keinen technischen Störungen und Vermeidung von Leistungsverlusten (störungsfreier Maschinenzustand, Störung org. – kurzer Stillstand, Produktion Override 58-97). Für die Erkennung von Verschwendung und Aufdeckung von möglichen Potenzialen wird die Effektivität eines NC-Programmes  $i$  wie folgt berechnet:

$$\text{Effektivität}_i [\%] = \frac{(\text{Produktion Override } 98 - 101)_i [\text{min}]}{(\text{Bruttobetriebszeit} - \text{techn. Störung})_i [\text{min}]} \cdot 100$$

**Formel 5.1: Effektivität eines Programmes**

Die technische Störung reduziert die Bruttobetriebszeit, da die Maschinenstörungen das Ergebnis der NC-Programme ansonsten verfälschen würden.

Bei der Auswertung der Maschinenzustände je Programm wird ersichtlich, dass das NC-Programm A2 (FSW) eine geringe Effektivität aufweist. Eine genauere Betrachtung zeigt, dass das NC-Programm A2 (FSW) ein Schweißprogramm ist und es sich bei den restlichen NC-Programmen um Fräsbearbeitungen handelt. Der Grund für die geringere Effektivität von Schweißprogrammen liegt daran, dass komplexere Rüst- und Einstellvorgänge mit mehrmaligem Umdrehen nötig sind, um das Bauteil fertigzustellen.

In der Tabelle 5.2 wird die Auswertung der Maschinenzustände jedem Programm zugeordnet, sodass die soeben eingeführte Effektivität eines Programmes berechnet werden kann.

**Tabelle 5.2: Auswertung der Maschinenzustände einzelner NC-Programme**

	<b>NC-Prog. A2 (FSW)</b>	<b>NC-Prog. B1</b>	<b>NC-Prog. C1</b>
<b>Störungsfr. Maschinenzust. (auto) [min]</b>	57,82	0,37	0,00
<b>Störung org. (auto) [min]</b>	740,88	176,95	23,12
<b>Störung technisch (auto) [min]</b>	4,30	0,00	0,00
<b>Produktion Override 50 - 79 [min]</b>	1,77	0,08	3,53
<b>Produktion Override 80 - 97 [min]</b>	2,35	25,47	5,15
<b>Produktion Override 98 - 101 [min]</b>	418,45	357,67	193,65
<b>Produktion Override &gt; 101 [min]</b>	0,35	0,00	0,13
<b>Summe [min]</b>	1225,92	560,53	225,58
<b>Effektivität [%]</b>	34,28%	63,81%	85,90%

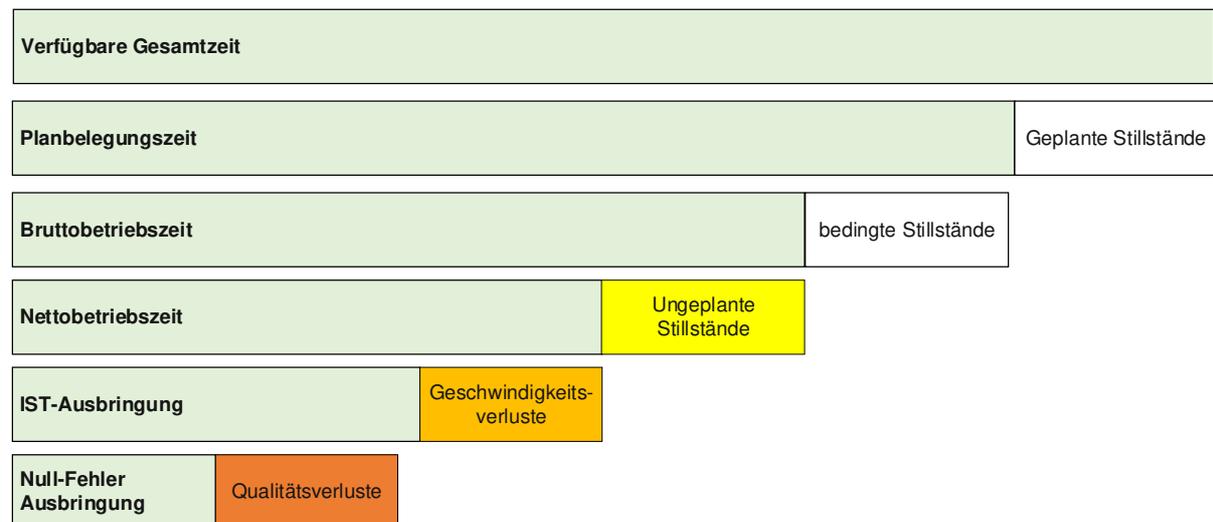
Für die Berechnung der OEE werden alle Maschinenzustandszeiten je Kategorie zusammengefasst und alle anfallenden Zeiten durch Versuche subtrahiert (siehe Tabelle 5.3).

Die Verfügbarkeits- und Leistungsverluste werden nach der Methode der Zeitverluste und die Qualitätsverluste nach der Methode der Stückverluste berechnet. Die Qualitätsverluste werden nach der empfohlenen Formel 4.1 berechnet.

In der Abbildung 5.2. wird eine kurze Zeitenübersicht für die Berechnung der OEE dargestellt. Die Planbelegungszeit für die vorgegebene Kalenderwoche beträgt 112 Stunden bzw. 6720 Minuten (Montag 06:00 bis Freitag 22:00).

Tabelle 5.3: Auswertung der Maschinenzustände (exkl. Versuche)

	Gesamtzeit je Zustand	Versuche	Zeit je Zustand	ungeplante Stillstände	kurze Stillstände
Störungsfr. Maschinen- zust. (auto) [min]	324,42	47,68	276,73		0,00
Störung org. (auto) [min]	3349,18	305,17	3044,02	2855,37	385,47
Störung technisch (auto) [min]	4,77	0,00	4,77		0,00
Produktion Override 50 - 79 [min]	8,17	2,13	6,03		0,00
Produktion Override 80 - 97 [min]	35,97	0,22	35,75		0,00
Produktion Override 98 - 101 [min]	3022,52	57,68	2964,83		0,00
Produktion Override > 101 [min]	1,73	0,00	1,73		0,00

Abbildung 5.2: Zeitenübersicht zur Berechnung der OEE Kennzahl <sup>135</sup>

Die verfügbare Gesamtzeit für die Berechnung der wöchentlichen OEE Kennzahl beträgt 168 Stunden und ergibt sich aus der Multiplikation der (sieben) Wochentage mit den (vierundzwanzig) Stunden pro Wochentag. Die Planbelegungszeit wird ermittelt durch Reduktion der geplanten Stillstände (z.B. teilweise Wochenende sowie Sonn- und Feiertage) von der verfügbaren Gesamtzeit. Die Bruttobetriebszeit errechnet sich durch Abzug der bedingten Stillstände (z.B. geplante Wartung, Versuche) von der Planbelegungszeit.

<sup>135</sup> vgl. Muchiri; Pintelon, 2008, S.3520

Der Verfügbarkeitsfaktor wird berechnet durch das Verhältnis der Nettobetriebszeit (Bruttobetriebszeit abzüglich bedingter Stillstände) zur Bruttobetriebszeit. Die ungeplanten Stillstände umfassen technische Störungen (Maschinenzustand „Störung technisch“), längeres Rüsten und Einstellen und diverse Wartezeiten (Maschinenzustand „Störung org.“), die länger als 10 Minuten dauern.

Der Leistungsfaktor wird ermittelt durch Division der IST-Ausbringung durch die Nettobetriebszeit. Die IST-Ausbringung umfasst die tatsächliche optimale Produktionsdauer der Maschinenanlage. Sie wird berechnet durch Subtraktion der Geschwindigkeitsverluste von der Nettobetriebszeit. Beispiele für Geschwindigkeitsverluste sind Verluste die aufgrund verringerter Bearbeitungsgeschwindigkeit (Maschinenzustand „störungsfr. Maschinenzustand“ und „Produktion Override 50-97“) sowie kurzfristigen Störungen (Maschinenzustand „Störung org.“), die kürzer als 10 Minuten auftreten.

Der Qualitätsfaktor wird berechnet durch das Verhältnis der Anzahl der produzierten Gutmenge und der anteilsgemäßen Nacharbeit durch die gesamte produzierte Menge.

**Tabelle 5.4: Berechnung der OEE für die Kalenderwoche 7**

<b>VERFÜGBARKEITSFAKTOR</b>	
Planbelegungszeit [min]	6720,00
- $\Sigma$ bedingte Stillstände [min]	412,88
Bruttobetriebszeit [min]	6307,12
- ungeplante Stillstände [min]	2663,3
Nettobetriebszeit [min]	3643,80
<b>Verfügbarkeitsfaktor (V) [%]</b>	<b>57,77%</b>
<b>LEISTUNGSFAKTOR</b>	
Nettobetriebszeit [min]	3643,80
- Verringerte Bearbeitungsgeschwindigkeit [min]	318,52
- kurzfristige Störungen [min]	385,47
IST-Ausbringung [min]	2939,82
<b>Leistungsfaktor (L) [%]</b>	<b>80,68%</b>
<b>QUALITÄTSFAKTOR</b>	
Anzahl der produzierten Menge [Stk]	12
- Ausschuss [Stk]	1
- Anteilsgemäße Nacharbeit [Stk]	0
Gutmenge [Stk]	11
<b>Qualitätsfaktor (Q) [%]</b>	<b>91,67%</b>
<b>OEE</b>	
<b>OEE = V x L x Q [%]</b>	<b>42,73%</b>

Für die im Beispiel illustrierte Kalenderwoche wird ein Verfügbarkeitsfaktor von 57,77%, ein Leistungsfaktor von 80,68%, ein Qualitätsfaktor von 91,67% und damit eine OEE von 42,73% ermittelt (siehe Tabelle 5.4).

### 5.3.2 Bestimmung des Pilotprojekts

Der Standort Wien Leberstraße verfügt über eine Vielzahl von unterschiedlichen Bearbeitungszentren. Die Auslastung der Bearbeitungszentren erfolgt zum aktuellen Zeitpunkt nicht gleichmäßig. Die Ursache für diese ungleichmäßige Verteilung ist auf die historische Entwicklung der Bearbeitungszentren zurückzuführen. Ein Großteil der Vorrichtungen sind nur für das erste Hybridbearbeitungszentrum ausgelegt, da dieses die meisten Operationen (Schweißen und Fräsen) durchführen kann. Die weiteren Bearbeitungszentren sind vom technischen und physischen Aufbau nicht ident, wodurch eine Mehrfachverwendung der Vorrichtungen auf den anderen Bearbeitungszentren ausgeschlossen werden kann. Aus diesem Grund entstand über die Zeit eine erhöhte Arbeitslast und ein Engpass auf einem spezifischen Bearbeitungszentrum. Nach Absprache mit der Werksleitung wurde der Schwerpunkt der OEE-Verbesserungsmaßnahmen für ein Referenzbearbeitungszentrum, welches ein Kapazitätsengpass aufweist, als Pilotprojekt definiert.

Das Referenzbearbeitungszentrum fräst Untergestell- und Dachlangträger für Metros und verschweißt Dachplatten für die und Automated People Mover. Die Maschinenbediener arbeiten in einem 3-Schicht-Modell von Montag 06:00 bis Freitag 22:00 oder Samstag 14:00, abhängig von der Anzahl der Fertigungsaufträge.

### 5.3.3 Berechnung der OEE-Kennzahl

Die Berechnung der OEE-Kennzahl erfolgt wochenweise nach der im Kapitel 5.3.1 beschriebenen Vorgehensweise. In der Abbildung 5.3 sind die wöchentlichen IST-Werte der drei Faktoren sowie der OEE dargestellt.

Für die Berechnung einer aussagekräftigen IST-OEE erfolgt die arithmetische Mittelwertbildung der wöchentlich ermittelten OEE über einen Betrachtungszeitraum von sechs Wochen, in welchem der gesamte Produktmix am Referenzbearbeitungszentrum gefertigt worden ist. Aufgrund der hohen Volatilität einzelner Faktoren und dadurch ebenfalls der OEE werden zusätzlich zum arithmetischen Mittelwert  $\bar{x}$  die Standardabweichung  $\sigma$  sowie das Minimum und Maximum der Stichproben  $x_k$  ermittelt.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k$$

Formel 5.2: Mittelwert einer Stichprobe

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x})^2}$$

Formel 5.3: Standardabweichung einer Stichprobe

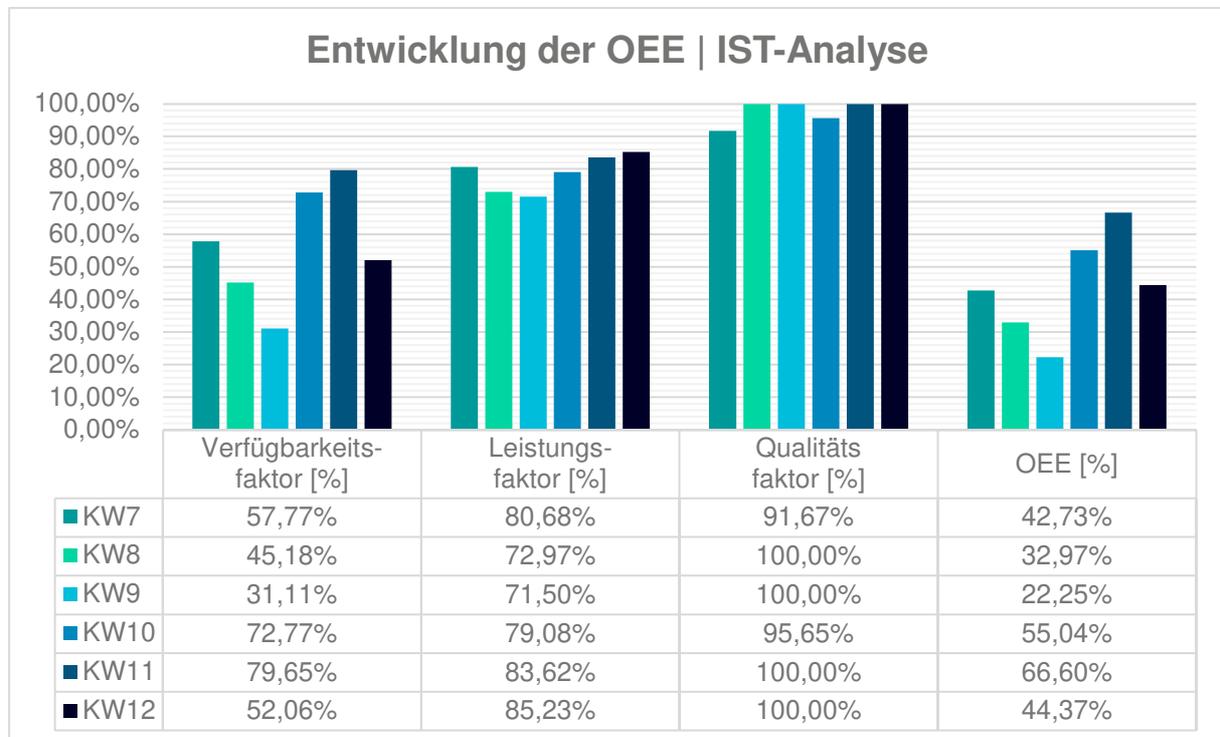


Abbildung 5.3: Entwicklung der OEE | IST-Analyse

Für die Stichprobe von sechs Wochen ergibt sich ein Mittelwert von 43,99% und eine Standardabweichung von 17,86% (siehe Tabelle 5.5). Um die Ursache für die erhöhte Standardabweichung zu ermitteln muss der Verfügbarkeitsfaktor analysiert werden.

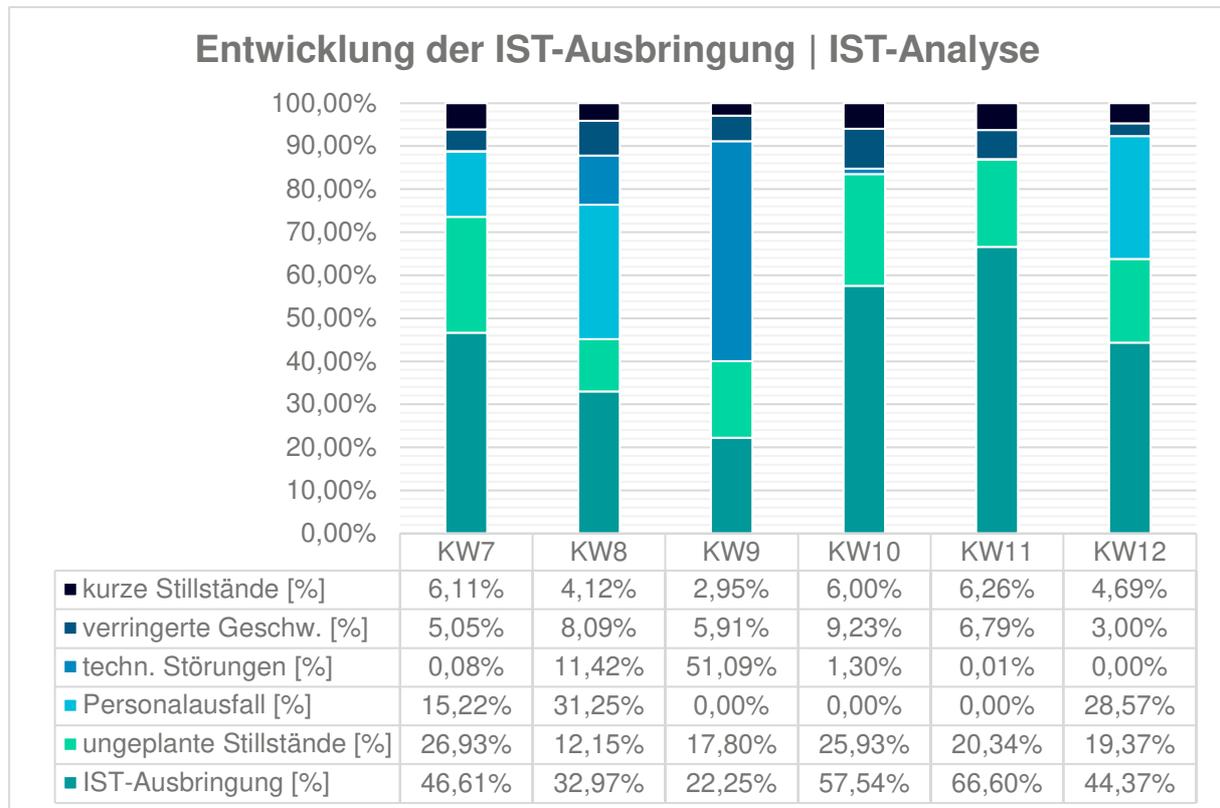
Tabelle 5.5: Statistik zum IST-Zustand der OEE

	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
<b>Verfügbarkeitsfaktor [%]</b>	56,42%	17,86%	31,11%	79,65%
<b>Leistungsfaktor [%]</b>	78,85%	5,57%	71,50%	85,23%
<b>Qualitätsfaktor [%]</b>	97,89%	3,51%	91,67%	100,00%
<b>OEE [%]</b>	43,99%	15,68%	22,25%	66,60%

### 5.3.4 Berechnung der IST-Ausbringung

Die IST-Ausbringung beschreibt die tatsächliche Produktionszeit in optimaler Geschwindigkeit. Die Berechnung erfolgt durch vereinzelt direkt zuordenbare Effizienzverluste und Verluste, welche durch Selbstaufschreibung (z.B.

Personalausfall) bzw. Maschinendaten (z.B. technische Störungen) ermittelt worden sind. In der Abbildung 5.4 wird die Entwicklung der IST-Ausbringung dargestellt.



**Abbildung 5.4: Entwicklung der IST-Ausbringung | IST-Analyse**

Für den Betrachtungszeitraum von sechs Wochen wird ersichtlich, dass die IST-Ausbringung einen Mittelwert von 45,06% und eine Standardabweichung von 16,06% (siehe Tabelle 5.6) aufweist. Der Grund für die höhere IST-Ausbringung im Vergleich zur OEE liegt daran, dass Qualitätsverluste nicht berücksichtigt werden. Eine weitere interessante Erkenntnis ist, dass bei einem Qualitätsfaktor von 100% die IST-Ausbringung der OEE entspricht.

**Tabelle 5.6: Statistik zur IST-Ausbringung | IST-Analyse**

	Mittelwert	Standardabweichung	Minimum	Maximum
IST-Ausbringung [%]	45,06%	16,06%	22,25%	66,60%
ungeplante Stillstände [%]	20,42%	5,46%	12,15%	26,93%
Personalausfall [%]	12,51%	14,74%	0,00%	31,25%
techn. Störungen [%]	10,65%	20,31%	0,00%	51,09%
verringerte Geschwindigkeit [%]	6,35%	2,22%	3,00%	9,23%
kurze Stillstände [%]	5,02%	1,33%	2,95%	6,26%

## 5.4 IST-Analyse der OEE

Das dritte Unterkapitel beschreibt die IST-Analyse der OEE. Hierfür werden die Analyseverfahren First- und Second-Level Pareto Analyse, die Effektivitätsanalyse von NC-Programmen und die Stillstands-Musteranalyse verwendet. Im Anschluss erfolgt eine Beschreibung der Problem- und Potenzialfelder des Arbeitsplatzes. Am Ende des Kapitels werden die ermittelten Problem- und Potenzialfelder in einem Ishikawa-Diagramm dargestellt.

Die Berechnung der OEE-Kennzahl aus dem Abschnitt 5.3.3 veranschaulicht, dass der Verfügbarkeitsfaktor für die erhöhte Volatilität in der OEE sorgt. Die technischen Störungen und der häufige Personalausfall (siehe Tabelle 5.6) sind die wesentlichen Ursachen für die erhöhte Volatilität. Mit dieser gewonnen Erkenntnis werden die Verfügbarkeitsverluste im Detail betrachtet.

### 5.4.1 Identifikation der Verluste durch die Pareto-Analyse

#### First-Level Pareto Analyse

Auf Grundlage der bisher ermittelten Maschinendaten aus der Analyse wird eine First-Level Pareto Analyse erstellt. Das Ziel der First-Level Pareto Analyse ist die Identifikation der größten Effizienzverluste.

Bei der Berechnung der sechs Effizienzverluste für First-Level Pareto Analyse tritt bei der Mischung der Methoden der Zeit- und Stückverluste ein gravierendes Problem auf, da für beide Methoden unterschiedliche Einheiten zur Bestimmung der Verluste verwendet werden. Für die Berechnung des Verfügbarkeits- und Leistungsverluste wird die Methode der Zeitverluste, bei der Ermittlung der Qualitätsverluste die Methode der Stückverluste verwendet. Für die korrekte Bestimmung der Anteile der sechs Effizienzverluste müssen alle Verluste dieselbe Einheit besitzen. Dafür ist eine Umwandlung der Stückverlust in die Zeitverluste für die Qualitätsverluste notwendig. Für diese Umwandlung werden zusätzliche Datenaufzeichnungen, wie beispielsweise die Zeit bis zur Identifikation des Qualitätsmängel bzw. die Nacharbeitszeit benötigt. Da die Berechnungslogik der meisten MES dies nicht berücksichtigt, werden die sechs Effizienzverluste vereinfacht und in reduzierter Weise als vier bzw. drei Effizienzverluste angeführt. Es sei erneut darauf hingewiesen, dass in der Plug and Play-Version des MES eine Unterscheidung zwischen ungeplanten Stillständen und Rüsten und Einstellen nicht möglich ist.

In der Abbildung 5.5 wird die First-Level Pareto Analyse dargestellt. Aus der First-Level Pareto Analyse wird ersichtlich, dass der größte Effizienzverlust, wie vorher schon bei der tatsächlichen Produktionszeit erwähnt, aufgrund von ungeplanten Stillständen (inkl. Rüsten und Einstellen) auftritt.

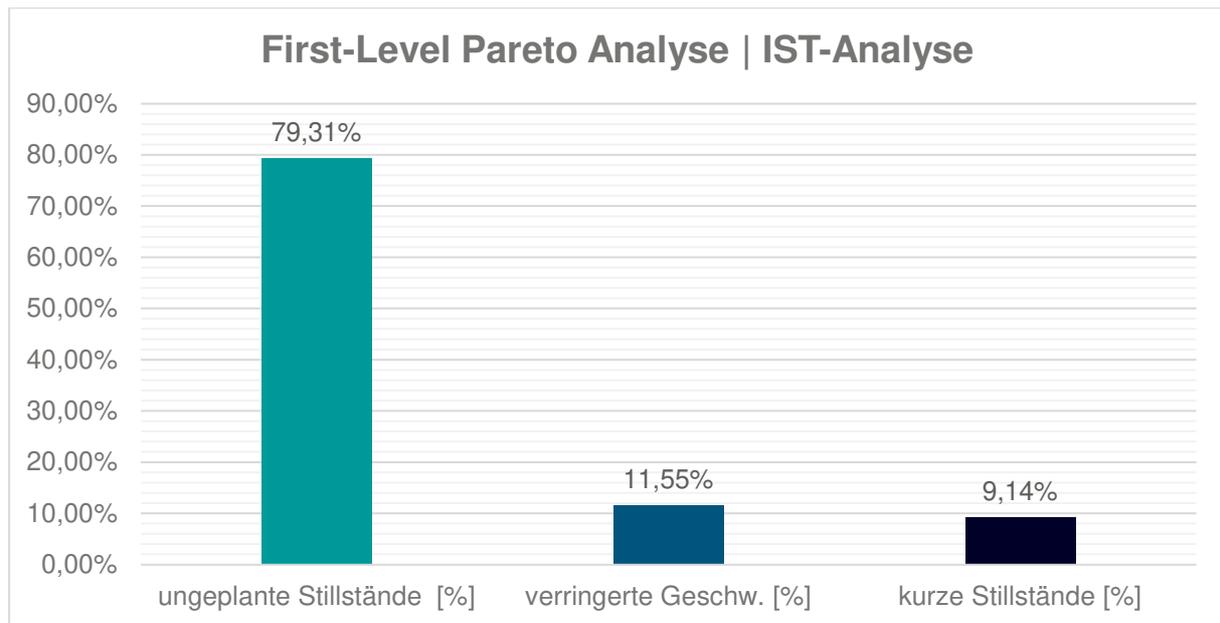


Abbildung 5.5: First-Level Pareto Analyse | IST-Analyse

### Second-Level Pareto Analyse

In der Second-Level Pareto Analyse werden die größten Effizienzverluste genauer betrachtet. Die Grundvoraussetzung hierfür ist eine akkurate und detaillierte Datenerfassung, welche zu Beginn dieser Arbeit nicht gegeben war. Durch die in Eigenregie erfolgte Selbstaufschreibung kann für den größten Effizienzverlust eine teilweise vollständige Second-Level Pareto Analyse erstellt werden.

In der Abbildung 5.6 wird die Second-Level Pareto Analyse dargestellt.

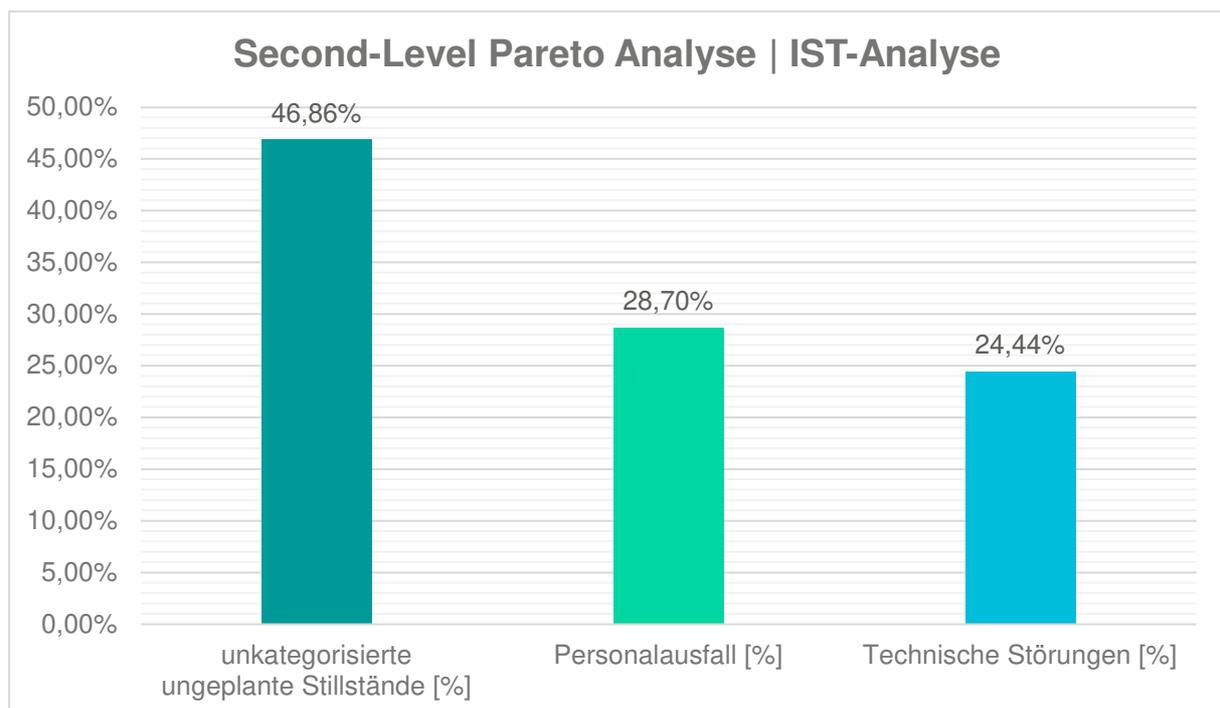


Abbildung 5.6: Second-Level Pareto Analyse | IST-Analyse

Die unkategorisierte ungeplanten Stillstände umfassen alle Stillstände, die nicht dem Personalausfall oder technischen Störungen zuordenbar sind und länger als zehn Minuten dauern. Darunter fällt der Effizienzverlust Rüsten und Einstellen sowie weitere Verluste wie fehlendes Material, Werkzeugbruch, defekte Vorrichtung, abwesende Mitarbeiter, etc. Für eine genauere Einteilung der unkategorisierten ungeplanten Stillstände sind Projektierungsmaßnahmen notwendig.

Die direktzuordenbaren Verluste der Second-Level Pareto Analyse sind der Personalausfall, aufgrund von COVID-19 Erkrankungen bzw. Kontaktpersonen, sowie technischen Störungen. Zur Vermeidung dieser Verluste werden im nächsten Unterkapitel passende Verbesserungsmaßnahmen erstellt und erklärt.

### 5.4.2 Effektivitätsanalyse von NC-Programmen

Für die Effektivitätsanalyse wurden die Effektivität durch die Mittelwertbildung der einzelnen NC-Programme innerhalb des Betrachtungszeitraums ermittelt. Für aussagekräftige Erkenntnisse ist eine größere Stichprobenanzahl notwendig. Trotzdem lassen sich aus der Effektivitätsanalyse erste Erkenntnisse schließen: Die NC-Programme A1 (FSW), A2 (FSW), A3 und vor allem D2 (FSW) weisen eine geringere durchschnittliche Effektivität gegenüber den restlichen NC-Programmen auf. Die Ursache für die niedrige Effektivität der NC-Programme A1 (FSW), A2 (FSW) und D2 (FSW) ist, dass für die Schweißbearbeitungen (FSW) komplexere Vorrichtungen notwendig sind, welche längere Rüst- und Einstellvorgänge zu Folge haben. Das NC-Programm D2 (FSW) weist eine deutlich niedrigere Effektivität im Vergleich zum Durchschnitt auf. Um eine aussagekräftige Antwort für die NC-Programme geben zu können wird eine größere Anzahl von Stichproben benötigt. Speziell das NC-Programm D2 (FSW) wurde innerhalb des Betrachtungszeitraums nur in einer Kalenderwoche gefertigt (siehe Sekundärachse der Abbildung 5.7).

In der Abbildung 5.7 wird die Effektivitätsanalyse von NC-Programmen grafisch dargestellt.

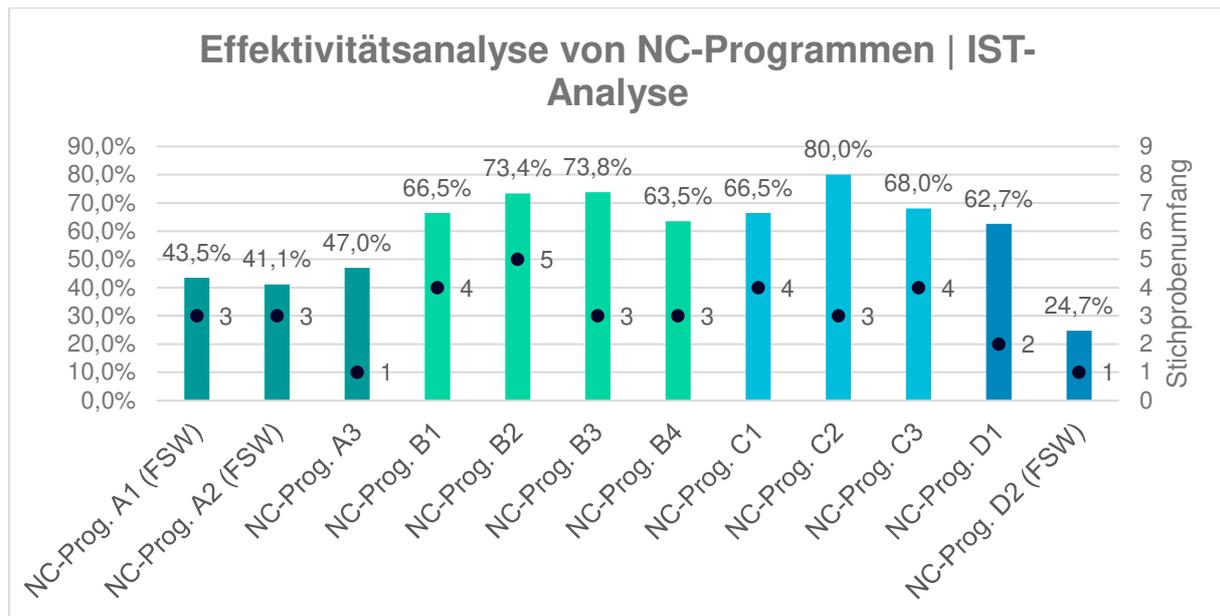


Abbildung 5.7: Effektivitätsanalyse von NC-Programmen (IST-Analyse)

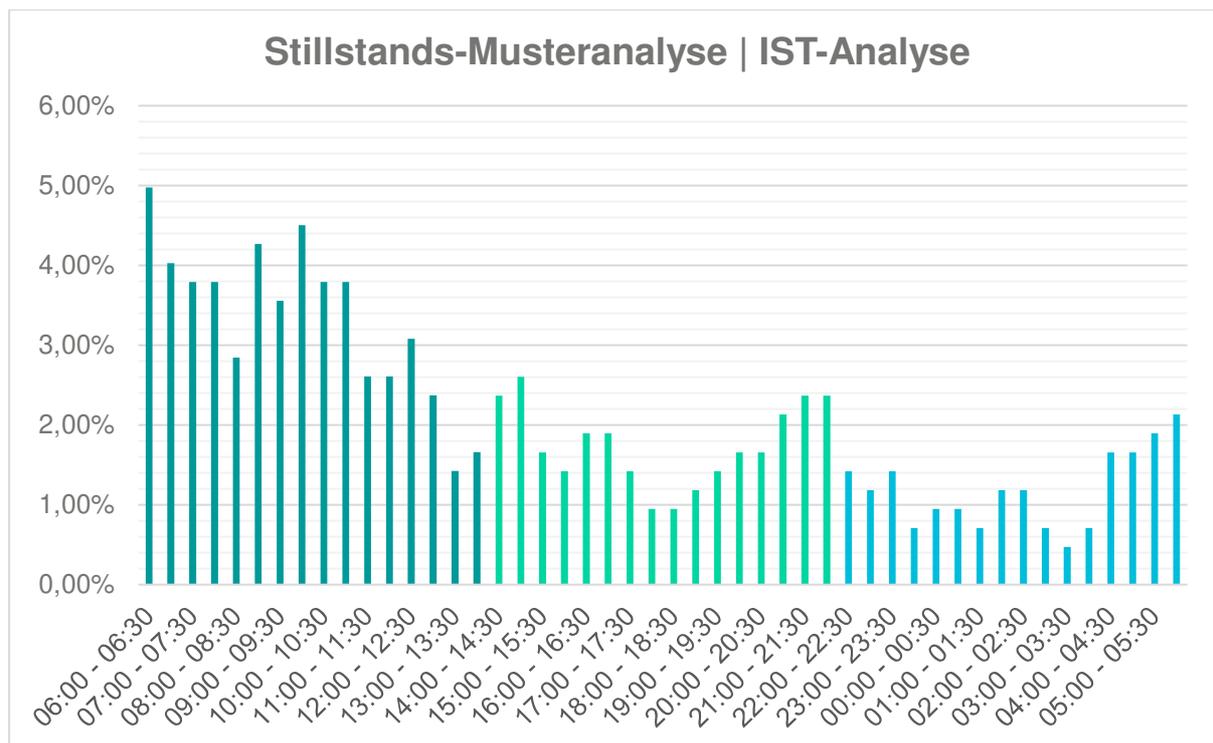
### 5.4.3 Stillstands-Musteranalyse

Zu Beginn der Stillstands-Musteranalyse wird ein geeigneter Grenzwert für alle weiteren Untersuchungen bestimmt. Das Ziel der Ermittlung des Grenzwertes bzw. der Minstdauer ist, dass kurze Stillstände ausgeblendet werden und der Schwerpunkt auf längere Stillstände gelegt wird. Hierfür werden die Stillstände in drei verschiedene Zeitcluster (kleiner als 10 Minuten, zwischen 10 bis 30 Minuten und größer als 30 Minuten) eingeteilt (siehe Tabelle 5.7).

Tabelle 5.7: Herleitung der Minstdauer für die Stillstands-Musteranalyse

Dauer	KW 7	KW 8	KW 9	KW 10	KW 11	KW 12	Mittelwert
< 10 min	12,66%	8,66%	14,22%	18,79%	23,52%	8,91%	11,85%
10-30 min	8,23%	7,98%	11,45%	22,07%	18,76%	11,41%	9,22%
> 30 min	79,11%	83,36%	74,33%	59,15%	57,72%	79,68%	78,94%

Aus der Tabelle 5.7 wird ersichtlich, dass ungefähr 80% aller auftretenden Stillstandszeiten länger als 30 Minuten dauern. Deshalb wird für die Stillstands-Musteranalyse ein Stillstand erst dann als solcher gezählt, wenn im gegebenen Zeitfenster ein Zustand der länger als 30 Minuten ist beginnt oder endet. In der Abbildung 5.8 wird die Stillstands-Musteranalyse für die Kalenderwochen 7 bis 12 (IST-Analyse) dargestellt.



**Abbildung 5.8: Stillstands-Musteranalyse | IST-Analyse**

Zur Quantifizierung möglicher Potenziale werden Daten über einen längeren Zeitraum (mindestens drei bis sechs Monate) benötigt.

Die drei unterschiedlichen Farben der Abbildung 5.8 repräsentieren die drei Fertigungsschichten. Aus der Stillstands-Musteranalyse für die ersten sechs Kalenderwochen können Hypothesen für erste Muster erstellt werden: Die erste Hypothese weist darauf hin, dass eine überdurchschnittliche Häufigkeit von ungeplanten Stillständen, während dem Schichtwechsel (+/- 06:00, +/- 14:00 und +/- 22:00) auftritt. Die zweite Hypothese besagt, dass während den geregelten Pausen (Frühstückspause ab 09:00 und der Mittagspause ab 11:30) die Maschine häufiger einen ungeplanten Stillstand aufweist.

#### 5.4.4 IST-Analyse des Arbeitsplatzes

Im Teilabschnitt IST-Analyse des Arbeitsplatzes werden alle vor Ort aufgenommenen Problem- und Potenzialfelder dokumentiert und beschrieben.

#### Mitarbeiterbefragungen

Die Organisation, Reinigung, Entwicklung und Aufrechterhaltung einer produktiven Arbeitsumgebung sind wesentliche Bestandteile der 5S-Methode. Zur Überprüfung vorhandener Maßnahmen der 5S-Methodik erfolgt ein wöchentlicher Hallenrundgang mit dem Maschinenbediener und dem zuständigen Meister. Ziel ist es durch aktive Diskussionen mögliche Potenziale aufzudecken und Verbesserungsvorschläge zu entwickeln. Zusätzlich erhalten Mitarbeiter Feedbackbögen zur Aufnahme von

Verbesserungsmaßnahmen. Die Anbringung einer Stillstandliste an dem Bearbeitungszentrum ermöglicht die Dokumentation von etwaigen Störungen (z.B. Maschine defekt, Material nicht vorhanden, langes Rüsten etc.).

### Stillstandliste

Für den Untersuchungszeitraum der IST-Analyse (Kalenderwoche 7 bis 12) wurde die durch die Mitarbeiter in Selbstaufschreibung aufgenommenen Stillstände in fünf Cluster kategorisiert und in Abbildung 5.9 dargestellt. Aus dieser Abbildung werden im nächsten Schritt konkret aufgetretene Probleme genauer erläutert und beschrieben.

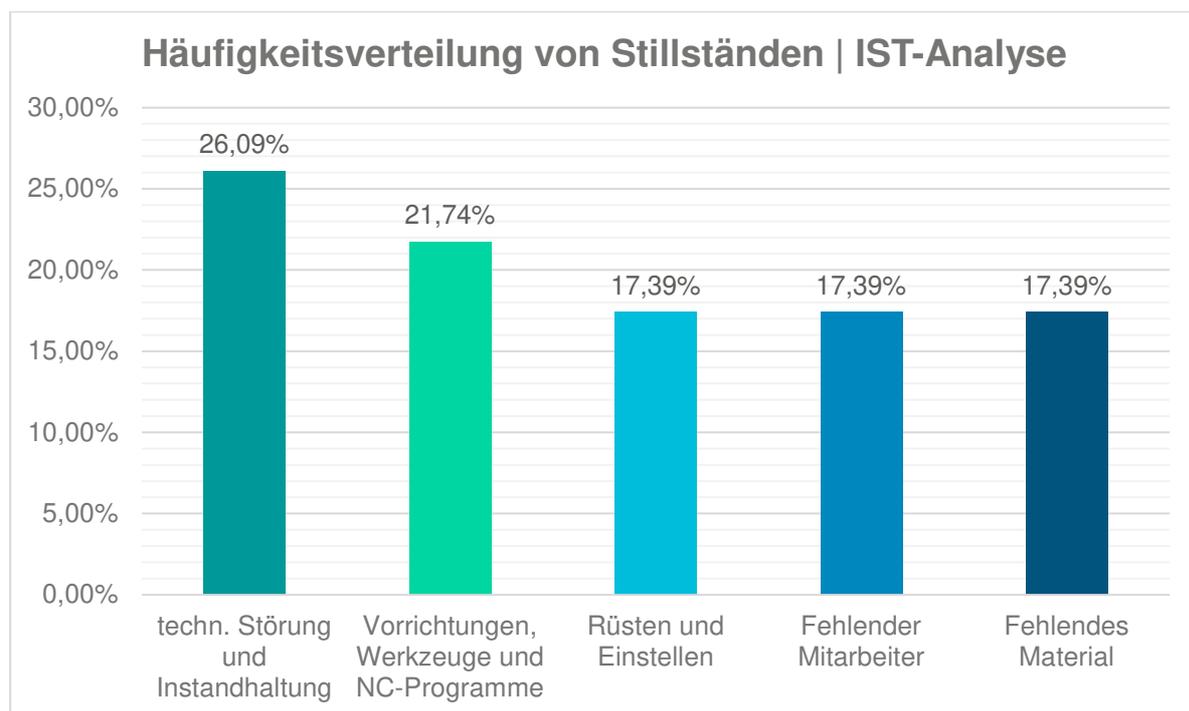


Abbildung 5.9: Häufigkeitsverteilung von Stillständen | IST-Analyse

### Technische Störung und Instandhaltung: Kritischer Maschinenzustand

Eine regelmäßig geplante und durchgeführte Instandhaltung bildet das Fundament für weitere Verbesserungsmaßnahmen. Der Maschinenzustand des Referenzbearbeitungszentrums verschlechterte sich laut Aussagen der Mitarbeiter in der letzten sechs Monaten, sodass häufiger ungeplante Stillstände aufgrund von technischen Störungen (siehe OEE-Berechnung, Kalenderwoche 9) aufgetreten sind. Als Ursachen galten die mangelnde Wartung, sowie die Nichteinhaltung empfohlener Wechselintervalle diverser Verschleißteile. Das Referenzbearbeitungszentrum benötigt eine grundlegende Generalwartung, damit vorhandene Probleme, die zu Einschränkungen (z.B. verminderte Geschwindigkeiten) oder Ausfällen des Produktionsbetriebes führen können, eliminiert werden.

### **Vorrichtungen, Werkzeuge und NC-Programme: Komplexe Vorrichtungen**

Das Referenzbearbeitungszentrum verfügt über zwei verschiedene Bearbeitungskabinen. Unter optimalen Bedingungen wird eine annähernd durchgehende Produktion mit minimalen Stillstandzeiten, durch ständiges Wechseln des Roboters zwischen den Kabinen (Pendelbetrieb) gewährleistet. Aufgrund von komplexen und teilweise empfindlichen Vorrichtungen benötigen Mitarbeiter häufig längere Rüst- und Einstellzeiten, sodass ein Pendelbetrieb nicht realisiert werden kann.

### **Vorrichtungen, Werkzeuge und NC-Programme: NC-Programmierfehler**

Die Bearbeitung der Bauteile (Fräs- und Schweißbearbeitungen) erfolgt mittels CAM-Software durch das Team der NC-Programmierer. In den letzten Jahren entwickelten sich unstrukturierte NC-Programme aufgrund von individuellen und nicht standardisierten Programmierungsalgorithmen. Einige NC-Programme enthalten einen unvorteilhaft-strukturierten Aufbau, sodass seitenlange Programmiercodes, welche Zeile für Zeile das gesamte Programm ablaufen („Spaghetticode“), entstanden sind.

Diese Art der Programmierung ist für Berufseinsteiger üblich und bereitet grundlegend keine Probleme, solange das Programm den Zweck erfüllt. Falls Fehler auftreten können diese aufgrund des unstrukturierten Aufbaus jedoch nur schwer und mit erheblichem Mehraufwand gefunden werden. Dasselbe gilt auch für die Adaption einzelner Zeilen bzw. Abschnitte, die mehrfach im Code vorkommen (z.B.: Werkzeugmagazin zum Werkzeugwechsel ansteuern) und dadurch mehrfacher Korrigierbedarf besteht.

### **Vorrichtungen, Werkzeuge und NC-Programme: Veralteter Datentransfer**

Der Datentransfer der NC-Programme zum Bearbeitungszentrum erfolgt mittels persönlicher Übergabe der Daten durch den NC-Programmierer per Datenträger (z.B.: USB-Stick, externe Festplatte). Für neue Verbesserungsmaßnahmen einzelner Programme ist es notwendig, dass der NC-Programmierer für den Datentransfer physisch anwesend ist.

### **Vorrichtungen, Werkzeuge und NC-Programme: Werkzeugbestand**

Das Bearbeitungszentrum verfügt im Werkzeugmagazin über eine Vielzahl von unterschiedlichsten Werkzeugen. Einige Werkzeuge sind in doppelter Ausführung und unterschiedlicher Länge vorhanden, da diese aufgrund von unzugänglichen Stellen im Produkt benötigt werden. Weitere Werkzeuge werden aktuell nur für einen spezifischen Vorgang (z.B. Bohrung eines Loches mit Durchmesser D) verwendet, obwohl ein ähnliches Werkzeug (z.B. Bohrer mit Durchmesser D +/- 1 mm) vorhanden

ist. Solche Abläufe verlängern die Bearbeitungszeiten des NC-Programmes, da für die Maschine zusätzliche Bewegungen aufgrund von Werkzeugwechsel anfallen.

### **Rüsten und Einstellen: Fehlende autonome Instandhaltung**

In den Kabinen des Bearbeitungszentrums sammeln sich Späne durch die Fräsbearbeitung an. Diese werden aktuell nicht in unregelmäßigen Intervallen fachgerecht entsorgt. Dadurch entsteht das Problem, dass öfters Verzögerungen beim Rüsten und Einstellen auftreten, da die Mitarbeiter vor dem Rüstvorgang die Späne aus den Führungsschienen entfernen müssen. Ohne diese Tätigkeiten können die Vorrichtungen nicht verschoben werden. Mittels einer Schaufel werden die Späne durch ein bis zwei Mitarbeiter in einen Container befördert und anschließend aus dem Bearbeitungsbereich transportiert. Eine Reinigung der Bearbeitungskabine ist aus Sicherheitsgründen nur beim Stillstand der Maschine möglich. Eine Ausnahme ist möglich, wenn beispielsweise in der Kabine A automatisiert gefertigt wird, sodass Kabine B gereinigt werden kann.

### **Rüsten und Einstellen: Aufspannskizzen**

Die Bearbeitung des gesamten Produktmix des Bearbeitungszentrums benötigt eine vielfache Anzahl von unterschiedlichen Vorrichtungen, in welchen die Einspannung der jeweiligen Bauteile erfolgt. Die geometrischen Abmaße (z.B. die Länge zwischen den Vorrichtungen für das jeweilige Produkt) und die Vorgehensweise werden in den Aufspannskizzen beschrieben. Die Dokumentation dieser Aufspannskizzen ist teilweise nicht vorhanden, sodass längere Zeiten für Rüsten und Einstellen anfallen. Bei kleinsten Abweichungen zum Idealzustand der Aufspannskizzen können Qualitätsabweichungen auftreten.

### **Rüsten- und Einstellen: Lagerung der Vorrichtungen und des Werkzeuges**

Wie schon bei den Aufspannskizzen erwähnt, benötigen die zu bearbeiteten Produkte eine Vielzahl von unterschiedlichen Vorrichtungen, die für eine mehrfache Ausfertigung als Auflager zum Spannen der Bauteile gebraucht werden. Die Lagerung der Vorrichtung erfolgt aktuell innerhalb einer der zwei Kabinen. Die Entfernung der Vorrichtungen vom Lagerort zum Ort der Verwendung ist mit einem erhöhten Transport- und Handlingsaufwand verbunden, da hierfür ein Laufkran verwendet wird.

Ein ähnliches Problem tritt ebenfalls bei der vorhandenen Lagerung des Werkzeuges auf: Das Spannen der Vorrichtungen erfolgt mittels verschiedenen Werkzeuges, welches an einem vordefinierten Ort, nicht direkt beim Bearbeitungszentrum, zu entnehmen ist. Nach Abschluss der Einrichtung und Anpassung der Vorrichtungen wird das Werkzeug zur Entnahmestelle zurück transportiert. Dadurch entstehen unnötige Bewegungen, welche vermieden werden sollten.

### **Rüsten- und Einstellen: Vorrichtungsreiter**

Das Verschieben der Vorrichtungshalter in Längsrichtung eines Bearbeitungszentrums erfolgt durch Überwindung der Reibungskräfte der Führungsschienen nach Lösen der erforderlichen kraftschlüssigen Verbindungen. Für den automatisierten Fertigungsbetrieb werden die Vorrichtungen an einen vordefinierten Ort, welche in den Aufspannskizzen dokumentiert sind, platziert. Zur Reduktion der Ausrichtung der Vorrichtungen (Rüsten und Einstellen) sind aktuell mit Gravur beschriftete Vorrichtungsreiter an den Führungsschienen platziert. Durch den spanenden Betrieb des Bearbeitungszentrums entsteht eine Anhäufung von Spänen, die über einen längeren Zeitraum die gravierte Beschriftung der Vorrichtungsreiter unleserlich machen. Daraus folgen erhöhte Zeitaufwände zur Findung des erforderlichen Vorrichtungsreiter durch ständige Messungen der geometrischen Abmaße.

### **Fehlendes Material: Transport durch Maschinenbediener**

Ein häufiges Problem in der Fertigung ist, dass das benötigte Material für die geplante Bearbeitung nicht am vorhergesehenen Ort zu Verfügung steht. Diese Thematik ist auf den vorgelagerten Prozess und dessen unorganisierte Lagerhaltung zurückzuführen. Die Maschinenbediener müssen aus der Nebenhalle die benötigten Materialien in die Halle des Referenzbearbeitungszentrum transportieren, wodurch zusätzliche Zeiten benötigt werden.

### **Fehlender Mitarbeiter: Mitarbeiterausfall durch COVID-19**

Seit dem Beginn der Pandemie im März 2020 kämpfen Unternehmen verstärkt mit Personalausfall durch erkrankte Mitarbeiter und Kontaktpersonen eines bestätigten COVID-19 Falles. Produzierende Unternehmen sind besonders stark von der Pandemie betroffen, da beispielsweise ein positiv getesteter Werksmitarbeiter mit oder ohne Symptome bzw. K1-Kontaktpersonen, ihre Tätigkeiten vor Ort erledigen können und Homeoffice keine Alternative bietet. Die Fertigung verzeichnet immer öfter Personalausfälle, sodass die Produktion zeitweise stillsteht (siehe beispielsweise Kalenderwoche 8, Gesamtausfallszeit 2400 Minuten).

### **Fehlender Mitarbeiter: Doppelter Maschinenbetrieb**

Für jedes Bearbeitungszentrum sind generell zwei Mitarbeiter je Schicht geplant. Einige Maschinenbediener bedienen häufig parallel zum Referenzbearbeitungszentrum ein zweites Bearbeitungszentrum. Dieser doppelte Maschinenbetrieb führt dazu, dass eines der beiden Bearbeitungszentren oftmals stillsteht, da die Maschinenbediener am anderen Bearbeitungszentrum tätig sind.

## Kapazitätsplanung

Die Fertigung des gesamten Produktmix erfolgt auf mehreren Bearbeitungszentren, die unterschiedliche Bauweisen und NC-Steuerungen aufweisen. Laut der Kapazitätsplanung sind aktuell nicht alle Maschinenanlagen gleich belastet, sodass beispielsweise das Referenzbearbeitungszentrum wesentlich mehr Schichten fertigt, als die anderen Bearbeitungszentren. Eine der wesentlichen Ursachen hierfür ist, dass die notwendigen Vorrichtungen nur für das Referenzbearbeitungszentrum und nicht für die anderen Bearbeitungszentren zur Verfügung stehen.

### 5.4.5 Identifikation der Ursachen durch das Ishikawa-Diagramm

Für die Identifikation der Ursachen für OEE-Verluste werden die gesammelten Informationen aus der Pareto-Analyse, der Effektivitätsanalyse von NC-Programmen, der Stillstands-Musteranalyse und der Analyse des Arbeitsplatzes in einem Ishikawa-Diagramm (6Ms) strukturiert dargestellt (siehe Abbildung 5.10).

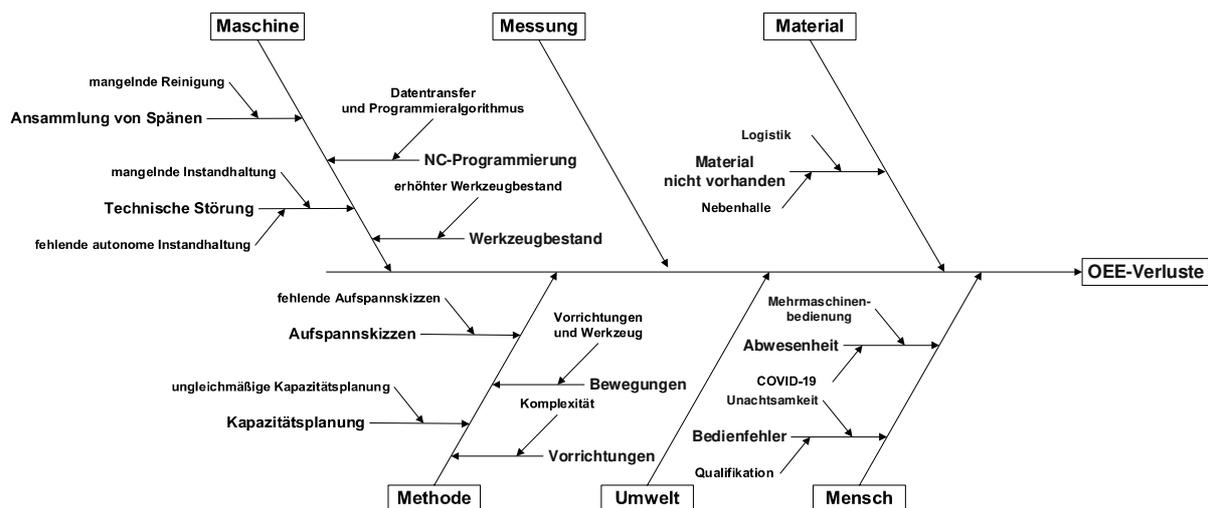


Abbildung 5.10: Ishikawa-Diagramm (IST-Analyse)

Aus dem Ishikawa-Diagramm für die IST-Analyse wird ersichtlich, dass die Bereiche Messung und Umwelt keine Verursacher für OEE-Verluste sind. Die Maschine, das Material, die Methode und der Mensch können als wesentliche Störfaktoren definiert werden. Auf Grundlagen der soeben erworbenen Informationen durch das Ishikawa-Diagramm werden im nächsten Abschnitt passende Verbesserungsmaßnahmen zur Vermeidung bzw. Verminderung der Ursachen für der OEE-Verluste erstellt.

## 5.5 Erstellung von Verbesserungsmaßnahmen

Das Unterkapitel befasst sich mit der Erstellung von Verbesserungsmaßnahmen auf Grundlage der ermittelten Problem- und Potenzialfelder aus dem letzten Unterkapitel.

In der Tabelle 5.8 werden die Problem- und Potenzialfelder kurz zusammenfasst.

Tabelle 5.8: Zusammenfassung aktuellen Problem- und Potenzialfelder

Potenzialfelder	Aktuelle Problemfelder
<b>Technische Störung und Instandhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kritischer Maschinenstillstand</li> </ul>
<b>Vorrichtungen, Werkzeuge und NC-Programme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Komplexe Vorrichtungen</li> <li>• Häufige NC-Programmfehler</li> <li>• Veralteter Datentransfer</li> <li>• Werkzeugbestand</li> </ul>
<b>Rüsten und Einstellen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fehlende autonome Instandhaltung</li> <li>• Fehlende Aufspannskizzen</li> <li>• Lagerung der Vorrichtungen und des Werkzeuges</li> <li>• Vorrichtungsreiter</li> </ul>
<b>Fehlendes Material</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transport durch Maschinenbediener</li> </ul>
<b>Fehlender Mitarbeiter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Personalausfall (COVID-19)</li> <li>• Doppelter Maschinenbetrieb</li> </ul>
<b>Kapazitätsplanung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ungleichmäßige Auslastung der Bearbeitungszentren</li> </ul>

### Technische Störung und Instandhaltung

Die Instandhaltung dient als Fundament, auf dem alle Verbesserungsmaßnahmen aufgebaut werden. Der Maschinenzustand des Referenzbearbeitungszentrum ist kritisch, da oftmals einzelne Komponenten plötzlich ausfallen und dadurch einen Maschinenstillstand verursachen. In der Second-Level Pareto-Analyse (siehe Abbildung 5.6) wurde gezeigt, dass ungefähr 18,76% der ungeplanten Stillstände direkt auf technische Störungen zurückzuführen sind. Dieser erwähnte Anteil gilt als unterer Grenzwert, da dieser Anteil möglicherweise größer sein könnte. Diese Annahme beruht auf der Tatsache, dass ungefähr 58,80% der ungeplanten Stillstände nicht direkt zugeordnet werden konnten.

Für die Behebung von technischen Störungen werden im folgenden Absatz mehrere Verbesserungsmaßnahmen vorgeschlagen. Die erste Maßnahme verfolgt das Ziel der Wiederherstellung eines ordnungsgemäßen Maschinenzustands durch eine große Wartung, dem Maschinenhersteller sowie den Maschinenbedienern. Danach sollte ein vordefinierter Wartungsplan für die nächsten zwölf Monate erstellt werden. Während der Instandhaltungsmaßnahmen besteht die Möglichkeit, dass die Mitarbeiter der Instandhaltung einzelne Aufgaben den Maschinenbediener erlernen und zuordnen, sodass diese rasch Probleme erkennen und beseitigen können (autonome Instandhaltung).

Zum Abschluss wird empfohlen über die Einführung eines TPM-Konzeptes in den jeweiligen Steuerkreisen zu beraten. Die Einführung des TPM-Konzeptes benötigt eine Akzeptanz auf allen Ebenen und ein Verständnis für die Wichtigkeit der Instandhaltung.

## Vorrichtungen, Werkzeuge und NC-Programme

Die Abteilung Betriebsmittelkonstruktion ist zuständig für die Konstruktion von Vorrichtungen, die Auswahl des passenden Werkzeuges sowie die Erstellung der NC-Programme. In der Häufigkeitsverteilung von Stillständen (siehe Abbildung 5.9) und in der Analyse des Arbeitsplatzes wurde gezeigt, dass Vielzahl der Probleme aufgrund Vorrichtungen, Werkzeugen und der NC-Programmen zurückzuführen sind.

Als Verbesserungsmaßnahme für die komplexen Vorrichtungen sowie dem mehrfachen Werkzeugbestand wird empfohlen bei den zukünftigen Projekten auf diese Problemfelder zu achten. Ein Lösungsansatz wäre die Anwendung der Methode Lessons Learned gemeinsam mit den Maschinenbedienern. Dadurch werden Erkenntnisse, Wissen und Erfahrungen von den Maschinenbedienern an die Betriebsmittelkonstruktion weitergegeben und es können einfachere Lösungsansätze durch Brainstorming kreiert werden. Bei der Erstellung von neuen NC-Programmen sollten mehrfach idente Werkzeuge mit unterschiedlichen Längen (z.B. Ø30mm mit den Längen 300mm, 400mm und 500mm) vermieden werden, da dadurch der Werkzeugbestand, die automatisierten Werkzeugwechselzeiten und die Werkzeugkosten reduziert werden können.

Für den Fachbereich der NC-Programmierung wird empfohlen, dass die zukünftigen NC-Programme nach der programmorientierten Programmierung erstellt werden. Dadurch können einzelne Parameter bzw. Fehler leichter gefunden und korrigiert werden. Des Weiteren empfiehlt sich eine automatisierte Datenübertragung zwischen dem Computer der NC-Programmierer und dem Bearbeitungszentrum. Dadurch können rasche Korrekturen per Knopfdruck an das Bearbeitungszentrum gesendet werden, ohne dass die NC-Programmierer direkt vor Ort sein müssen.

## Rüsten und Einstellen

Einen wesentlichen Effizienzverlust bilden die ungeplanten Stillstände aufgrund von Rüsten und Einstellen. Der genaue numerische Anteil an den gesamten Verlusten konnte aufgrund der unkategorisierten ungeplanten Stillstände nicht bestimmt werden. Es besteht jedoch die Vermutung, dass ein Großteil dieser Stillstände durch längeres Rüsten und Einstellen (siehe Abbildung 5.9) entstanden ist.

Die Problem- und Potenzialfelder sind unter anderem die komplexen Vorrichtungen, die zwischenzeitlichen Reinigungsarbeiten, die mangelhaft vorhanden Aufspannskizzen, die zusätzlichen Bewegungen der Vorrichtungen und Werkzeuge zum Lagerort sowie die schlechte Kennzeichnung der Vorrichtungsreiter.

Ein Lösungsansatz für die Vermeidung komplexer Vorrichtungen wurde im vorherigen Teilabschnitt Vorrichtungen, Werkzeuge und NC-Programme beschrieben. Für die Reinigungsvorgänge wird empfohlen, dass diese während dem laufenden Betrieb

stattfinden sollen. Falls die Mitarbeiter nach durchgeführten Zeitstudien keine Zeit für die Reinigungsaufgaben zur Verfügung haben kann über ein Spanentsorgungskonzept entweder durch organisatorische Maßnahmen (z.B. zusätzliches Reinigungspersonal) oder technische Maßnahmen (z.B. Spanförderer) nachgedacht werden. Für die Gegenüberstellung der technischen und organisatorischen Maßnahmen sollte eine aussagekräftige Kosten-Nutzen-Analyse erstellt werden.

Für die fehlenden Aufspannskizzen sollte die Betriebsmittelkonstruktion kontaktiert werden, damit diese erstellt und den Maschinenbedienern zur Verfügung gestellt werden. Zur Vermeidung von Bewegungen wird empfohlen, einen Vorrichtung- und Werkzeughalter, direkt an den Vorrichtungsaufleger zu platzieren. Dadurch werden Bewegungen reduziert und gleichzeitig zusätzliche Lagerplätze, an denen die Vorrichtungen und das Werkzeug aktuell gelagert wird, frei geschaffen. Als Lösungsansatz für die schlechte Kennzeichnung, aufgrund einer Gravierung, wird empfohlen die Vorrichtungsreiter nach den Projektfarben zu lackieren.

### **Fehlendes Material**

Ein wesentliches Problem in der Fertigung tritt auf, wenn das Material zum Zeitpunkt der Bearbeitung nicht vorhanden ist. Der Auslöser für die Verschwendung ist die im Vorprozess unstrukturierte Lagerung der Materialien, welche von dem Maschinenbediener gesucht und anschließend in die korrekte Halle transportiert werden muss.

Ein Lösungsansatz für dieses Problem ist die Erstellung eines Lagerkonzept in der Nebenhalle, sodass Materialien rascher durch die Maschinenbediener entnommen und zum Ort der Bearbeitung gebracht werden können. Im nächsten Schritt kann darüber nachgedacht werden, dass die interne Lieferung der Materialien während der automatisierten Fertigung des Bearbeitungszentrum erfolgt, wodurch ungeplante Stillstände vermieden werden können. In der Zukunft sollten Lagerflächen neben dem Referenzbearbeitungszentrum angestrebt werden, um die Hantierzeiten gering zu halten.

### **Fehlender Mitarbeiter**

Der Ausfall von Mitarbeitern aufgrund von aktiver COVID-19 Erkrankung bzw. K1-Kontaktperson hatte zur Folge, dass viele fertigende Unternehmen teilweise Stillstände in der Produktionskette verzeichneten. Neben den erwähnten Personalausfällen führten die Verspätungen von Mitarbeitern beim Referenzbearbeitungszentrum aufgrund des Mehrmaschinenbetriebs zu Problemen.

Für die Vermeidung des Personalausfalls durch COVID-19 wird empfohlen ein Präventionskonzept für den Standort bzw. speziell für die Fertigungsmitarbeiter zu

erstellen. Als Verbesserungsmaßnahme für die fehlende Anwesenheit der Mitarbeiter aufgrund des Mehrmaschinenbetriebs sollte eine genaue Analyse der Tätigkeiten des Mitarbeiters erfolgen. Mittels einer Durchlaufterminierung der unterschiedlichen Bearbeitungszentren kann so die notwendige Anzahl von Mitarbeiter bestimmt werden.

### **Kapazitätsplanung**

Die Kapazitätsplanung dient zur vorausschauenden Ermittlung und Einteilung aller verfügbaren Ressourcen (z.B.: Mensch, Maschine, Material, etc.) um den zu erwarteten Kapazitätsbedarf des Produktmixes optimal abdecken zu können.

Aufgrund der asymmetrischen Verteilung der Kapazitätsplanung auf die unterschiedliche Bearbeitungszentren wird empfohlen, dass einige Produkte von längerfristigen Projekten auf andere Bearbeitungszentren verlagert werden. Diese Verbesserungsmaßnahme kann Hand in Hand mit der Neustrukturierung von alten NC-Programmen sowie der Konstruktion einfacher Vorrichtungen durchgeführt werden, sodass diese zeitgleich umgesetzt werden.

### **Zusammenfassung**

Im folgenden Teilabschnitt werden die erstellten Maßnahmen kurz zusammengefasst:

- Technische Störung und Instandhaltung:  
Zur Behebung der technischen Störungen, sowie aktuell auftretende Instandhaltungsprobleme, wird empfohlen eine große Wartung mit der Instandhaltung, dem Maschinenhersteller und dem Maschinenbediener durchzuführen. Nach Abschluss dieser Wartung sollte ein Wartungsplan für die kommenden zwölf Monate erstellt werden.
- Vorrichtungen, Werkzeuge und NC-Programme:  
Die Betriebsmittelkonstruktion sollte in Zukunft ihren Schwerpunkt auf die simple Konstruktion von Vorrichtungen legen. Des Weiteren sollte die Methode Lessons Learned eingeführt werden, damit die Mitarbeiter auf das gelernte Wissen und häufige Fehler in schriftlicher Form zukünftig zurückgreifen können. Bei der NC-Programmierung sollte die programmorientierte Programmierung angestrebt werden. Bei Bedarf kann ebenfalls über die Einführung einer automatisierten Datenübertragung zwischen dem Computer des NC-Programmierers und dem Bearbeitungszentrum nachgedacht werden.
- Rüsten und Einstellen:  
Die auftretenden Zeitverluste (Rüsten und Einstellen) können durch einfachere Vorrichtungen, geplante Reinigungsarbeiten während der automatisierten Fertigung, Aufspannskizzen und Vorrichtungs- und Werkzeughalter direkt am Ort der Verwendung sowie lackierte Vorrichtungsreiter vermindert werden.

- Fehlendes Material:  
Als Lösungsansatz für das fehlende Material zur Bearbeitung wird empfohlen ein Lagerkonzept in der Nebenhalle zu implementieren, sodass die Maschinenbediener einfach per Pick & Collect die Materialien abholen können.
- Fehlende Mitarbeiter:  
Zur Vermeidung von Mitarbeiterausfällen aufgrund von COVID-19 sollte auf Werksebene ein Präventionskonzept implementiert werden. Dieses könnte beispielsweise durch regelmäßiges Testen der Mitarbeiter am Standort realisiert werden. Weiters kann eine Durchlaufterminierung erstellt werden, damit aufgrund von Mehrmaschinenbedienung weniger ungeplanten Stillstände auftreten.
- Kapazitätsplanung:  
Für die Vermeidung von ungleichmäßiger Auslastung der Bearbeitungszentren wird empfohlen, dass längerfristige Projekte auf andere Bearbeitungszentren verlagert werden. Dadurch können Engpässe präventiv vermieden werden und bei Maschinenausfällen auf andere Bearbeitungszentren ausgewichen werden. Die Verlagerung diverser Projekte auf andere Bearbeitungszentren kann ebenfalls dafür genutzt werden um die NC-Programme strukturiert und Vorrichtungen einfacher auf Grundlagen der Lessons Learned zu erstellen.

Aufgrund der bisher erfassten Informationen besteht die Annahme, dass das Bearbeitungszentrum über zu wenige Maschinenbediener verfügt oder deren Tätigkeit nicht strukturiert genug geplant ist. Häufige Stillstände wie z.B. der Materialtransport aus der Nebenhalle, die Mehrmaschinenbedienung, die fehlende autonome Instandhaltung (Reinigung) und die längeren Zeiten für Rüsten und Einstellen dienen als Warnsignal.

## 5.6 Priorisierung der Verbesserungsmaßnahmen

Für die Priorisierung werden die Potenzialfelder und Verbesserungsmaßnahmen in der Tabelle 5.9 überblicksmäßig dargestellt.

Der Kategorie A werden alle Verbesserungsmaßnahmen zur Behebung der technischen Störung und Instandhaltung sowie das COVID-19 Präventionskonzept zugeordnet. Die angefallenen technischen Störungen und der häufige Personalausfall erzeugen laut der Second-Level Pareto Analyse ungefähr 40% der gesamten ungeplanten Stillstände. Die Vermeidung von technischen Störungen durch gezielte Instandhaltung und Vermeidung von Mitarbeiterausfällen durch COVID-19 bilden das Fundament für alle anderen Verbesserungsmaßnahmen.

Tabelle 5.9: Zusammenfassung der Problemfelder und der Verbesserungsmaßnahmen

Potenzialfelder	Verbesserungsmaßnahmen
<b>Technische Störung und Instandhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Große Wartung</li> <li>• Wartungsplan</li> <li>• Autonome Instandhaltung</li> </ul>
<b>Vorrichtungen, Werkzeuge und NC-Programme</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lessons Learned für Vorrichtungen und Werkzeugbestand</li> <li>• Strukturierte NC-Programme</li> <li>• Datenübertragung von NC-Programmen</li> </ul>
<b>Rüsten und Einstellen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Spanentsorgungskonzept</li> <li>• Aufspannskizzen</li> <li>• Vorrichtungs- und Werkzeughalter</li> <li>• Vorrichtungstreiter lackieren</li> </ul>
<b>Fehlendes Material</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lagerkonzept Nebenhalle</li> </ul>
<b>Fehlender Mitarbeiter</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• COVID-19 Präventionskonzept</li> <li>• Durchlaufterminierung</li> </ul>
<b>Kapazitätsplanung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verlagerung von Produkten auf andere Bearbeitungszentren</li> </ul>

In der Kategorie B sind die Verbesserungsmaßnahmen für die Erstellung eines Lagerkonzeptes der Nebenhalle und ein Lessons Learned aktueller Probleme und Erfahrungen im Bereich der Vorrichtungen und dem Werkzeugbestand zugeordnet. Die Kategorie B enthält noch weitere Verbesserungsmaßnahmen wie das Spanentsorgungskonzept und die Arbeitsplatzgestaltung. Die Zuordnung der Verbesserungsmaßnahmen der Erstellung des Lagerkonzeptes und der Anwendung der Methode Lessons Learned in die Kategorie B erfolgt aufgrund der ermittelten Häufigkeitsverteilung von Stillständen (siehe Abbildung 5.9). Das Spanentsorgungskonzept dient als potenzielle Verbesserungsmaßnahme zur Reduktion von ungeplanten Stillständen. Die allgemeine Arbeitsplatzgestaltung (5S-Methode) dient zur Optimierung des Arbeitsplatzes und zur Vermeidung von Verschwendungen.

Die Kategorie C umfasst Verbesserungsmaßnahmen für die Strukturierung der NC-Programme, die Herstellung einer automatisierten Datenübertragung von NC-Programmen an das Bearbeitungszentrum sowie die detaillierte Planung der Mehrmaschinenbedienung. Diese Verbesserungsmaßnahmen wurden der Kategorie C zugeordnet, da diese im Vergleich zu den anderen Verbesserungsmaßnahmen ein geringeres Potenzial zur Verbesserung aufweisen. Für den Fall der Mehrmaschinenbedienung wird eine Durchlaufterminierung benötigt. Bevor diese

durchgeführt werden kann, müssen etwaige sonstige Problemfelder beseitigt werden, damit das Bearbeitungszentrum annähernd störungsfrei produzieren kann.

Die Verbesserungsmaßnahmen der Erneuerung der Aufspannskizzen, die Konstruktion und Anwendung von Vorrichtung- und Werkzeughalter sowie die Lackierung der Vorrichtungshalter zur Reduktion von Zeiten werden als Quick-Win-Maßnahmen eingestuft. Diese Verbesserungsmaßnahmen können mit verhältnismäßig wenigen Aufwand rasch umgesetzt werden.

In der Tabelle 5.10 werden zusammenfassend die priorisierten Verbesserungsmaßnahmen und sowie deren Kategorie aufgelistet.

**Tabelle 5.10: Zusammenfassung der priorisierten Verbesserungsmaßnahmen**

<b>Kategorie A</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Große Wartung</li> <li>• Wartungsplan</li> <li>• Autonome Instandhaltung</li> <li>• COVID-19 Präventionskonzept</li> </ul>
<b>Kategorie B</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lagerkonzept Nebenhalle</li> <li>• Lessons Learned für Vorrichtungen und Werkzeugbestand</li> <li>• Spanentsorgungskonzept</li> <li>• Arbeitsplatzgestaltung (5S-Methode)</li> </ul>
<b>Kategorie C</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strukturierte NC-Programme</li> <li>• Datenübertragung von NC-Programmen</li> <li>• Durchlaufterminierung</li> <li>• Verlagerung von Produkten auf andere Bearbeitungszentren</li> </ul>
<b>Quick-Win-Maßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufspannskizzen</li> <li>• Vorrichtungs- und Werkzeughalter</li> <li>• Vorrichtungsreiter lackieren</li> </ul>

## 5.7 Kosten-Nutzen-Analyse einzelner Verbesserungsmaßnahmen

Die Kosten-Nutzen-Analyse dient als Entscheidungsgrundlage für das Management in Hinblick auf zukünftige Investitionen. Im folgenden Unterkapitel werden die Investitionen für Vorrichtungs- und Werkzeughalter und Vorrichtungsreiter lackieren durchgerechnet.

Für eine Kosten-Nutzen-Analyse werden die Ersparnisse pro Jahr (€/y), die Investitionskosten (€), der Restwert (€) und die Erhöhung der OEE pro Schicht (%)

benötigt. Für die Ersparnisse pro Jahr werden der Stundensatz (€/h), die Zeitersparnis pro Werktag (h/d) und die Werkstage pro Jahr (d/y) benötigt. Für die Ermittlung des Stundensatzes wird angenommen, dass ein Mitarbeiter pro Jahr ungefähr 70.000 € kostet und ca. 1.663,2 h (216 Werkstage pro Jahr multipliziert mit 7,7 h pro Werktag). Das ergibt einen Stundensatz von ungefähr 42 €/h.

Die Zeitersparnis pro Werktag durch die Implementierung der Vorrichtung- und Werkzeughalter und für die lackierten Vorrichtungsreiter betragen laut Aussagen der Maschinenbediener ungefähr 1 bis 1,5 Stunden bzw. 0,5 bis 1 Stunde. Für die Kosten-Nutzen-Analyse werden die geringere Werte gewählt.

Die Investitionskosten für die Vorrichtung- und Werkzeughalter ergeben sich aus ca. 4.800,00 € für den Aluminiumrahmen und ca. 3.000,00 € die Pressspanplatten sowie Zubehör. Für die Verbesserungsmaßnahme Vorrichtungsreiter lackieren fallen ca. 80 Stunden in der Oberfläche an. Dadurch ergeben sich bei einem Stundensatz von ca. 94 €/h Investitionskosten von ca. 7.520,00 €. Für die Berechnung der Amortisationsdauer wird angenommen, dass der Restwert sehr klein gegenüber den anderen Größen ist und dadurch vernachlässigt werden kann.

Die Amortisationsdauer berechnet sich wie folgt:

$$\text{Amortisationsdauer [y]} = \frac{\text{Investitionskosten [€]} - \text{Restwert [€]}}{\text{Ersparnis pro Jahr [€/y]}}$$

#### Formel 5.4: Amortisationsdauer

Für die Ermittlung der Erhöhung der OEE  $\Delta OEE_i$  wird das Potenzial, die Eintrittswahrscheinlichkeit  $P_i$  und die Durchschnittswerte des Leistungs-  $\overline{LF}$  und Qualitätsfaktors  $\overline{QF}$  benötigt. Das Potenzial wird durch die Division der Zeitersparnis pro Schicht  $t_{ZE,pS_i}$  mit der Bruttobetriebszeit pro Schicht  $t_{B,pS_i}$  ermittelt. Für die Eintrittswahrscheinlichkeit wird angenommen, dass die Vorrichtungen einer Bearbeitungskabine in jeder dritten Schicht angepasst werden müssen. Die Berechnung der Erhöhung der OEE erfolgt durch Produktbildung des berechneten (Verfügbarkeits-)Potenzials mit dem durchschnittlichen Leistungsfaktor (78,85%) und dem Qualitätsfaktor (97,89%) der in der IST-Analyse erfassten Daten.

Das Potenzial zur Erhöhung der OEE berechnet sich wie folgt:

$$\Delta OEE_i = P_i \cdot \frac{t_{ZE,pS_i}}{t_{B,pS_i}} \cdot \overline{LF} \cdot \overline{QF}$$

#### Formel 5.5: Ermittlung des Potenzials zur Erhöhung der OEE

Tabelle 5.11: Ermittlung der Erhöhung der OEE von einzelnen Verbesserungsmaßnahmen

	Vorrichtungs- und Werkzeughalter	Vorrichtungsreiter lackieren
<b>Zeitersparnis pro Schicht [h/d]</b>	1,00	0,50
<b>Bruttobetriebszeit pro Schicht [h]</b>	8,00	8,00
<b>Potenzial [%]</b>	12,50%	6,25%
<b>Eintrittswahrscheinlichkeit [%]</b>	33,33%	33,33%
<b>Ermitteltes Potenzial [%]</b>	4,17%	2,08%
<b>Erhöhung der OEE [%]</b>	3,22%	1,61%

Mit der ermittelten Erhöhung der OEE lässt sich schlussendlich die CPI Kennzahl gemäß Formel 4.4 berechnen. In der Tabelle 5.12 werden die Ergebnisse zusammengefasst dargestellt.

Tabelle 5.12: Zusammenfassung der Kosten-Nutzen-Analyse einzelner Verbesserungsmaßnahmen

	Vorrichtungs- und Werkzeughalter	Vorrichtungsreiter lackieren
<b>Stundensatz [€/h]</b>	42,00	42,00
<b>Zeitersparnis pro Werktag [h/d]</b>	1,00	0,50
<b>Werktage pro Jahr [d/y]</b>	216,00	216,00
<b>Ersparnis pro Jahr [€/y]</b>	9.072,00	4.536,00
<b>Investitionskosten [€]</b>	7.800,00	7.520,00
<b>Restwert [€]</b>	-	-
<b>Amortisationsdauer [y]</b>	0,86	1,66
<b>Erhöhung der OEE [%]</b>	3,22%	1,61%
<b>CPI [€/ %]</b>	2.422,36	4.670,81

Aus der Tabelle 5.12 wird ersichtlich, dass die Verbesserungsmaßnahme Vorrichtungs- und Werkzeughalter dem Vorrichtungsreiter lackieren aufgrund des höheren CPI-Wertes und der geringeren Amortisationsdauer vorgezogen werden sollte, falls limitiertes Budget zur Verfügung steht.

## 5.8 Umsetzung einzelner Verbesserungsmaßnahmen

Dieses Unterkapitel beschreibt nach der Durchführung einer ausführlichen Analyse der OEE, die Erstellung sowie Priorisierung der Verbesserungsmaßnahmen (inkl. Kosten-Nutzen-Analyse) und die Umsetzung einzelner Verbesserungsmaßnahmen.

Aufgrund der beschränkten Ressourcen der Mitarbeiter erfolgt die Umsetzung der Verbesserungsmaßnahmen in mehreren Schritten, um Überlastung und Beeinträchtigung des täglichen Geschäftes zu verhindern. Dafür wird im nächsten Schritt eine erweiterte Priorisierung der Verbesserungsmaßnahmen mit den zugehörigen Abteilungen durchgeführt (siehe Abbildung 5.11).

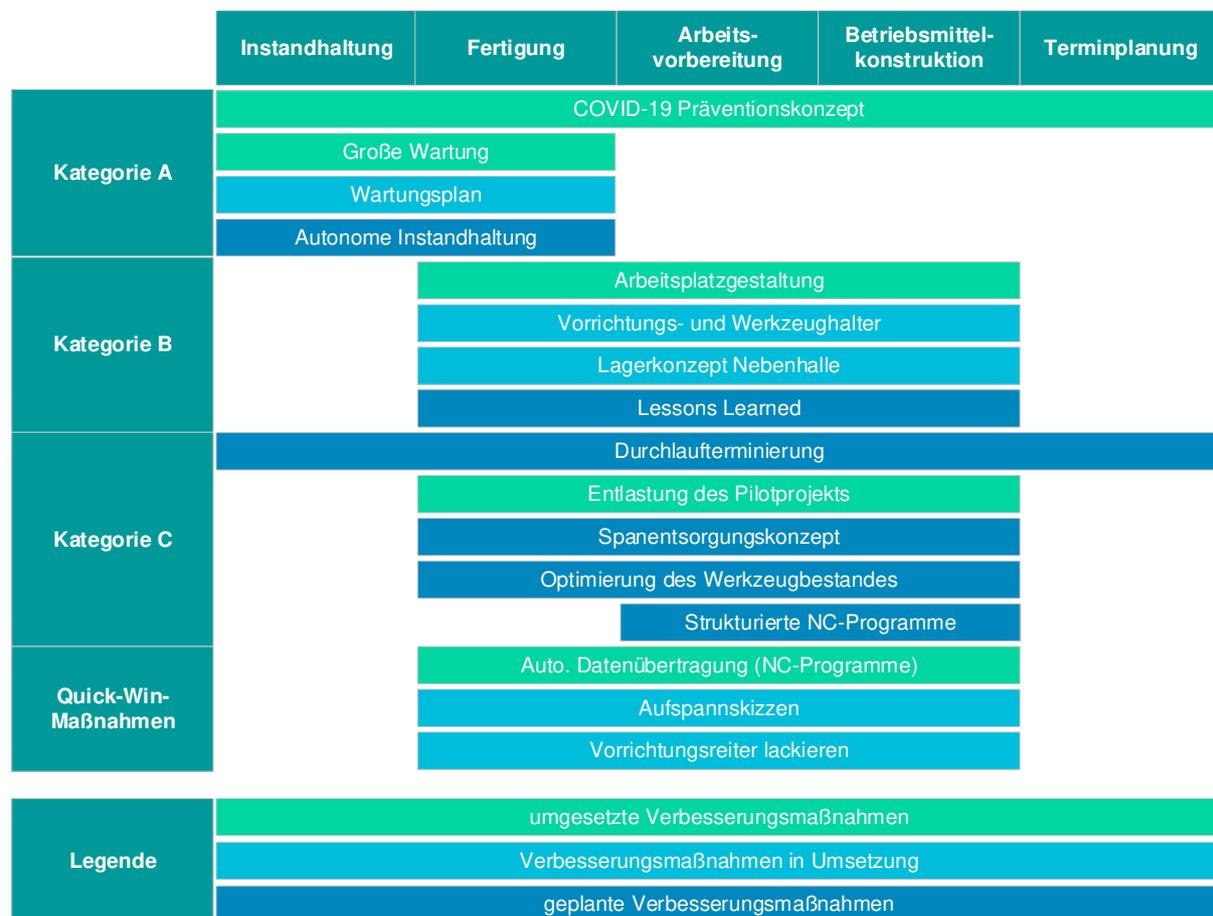


Abbildung 5.11: Erweiterte Priorisierung der Verbesserungsmaßnahmen

### 5.8.1 Umgesetzte Maßnahmen

Im folgenden Teilabschnitt werden alle umgesetzten Verbesserungsmaßnahmen beschrieben.

#### COVID-19 Präventionskonzept

Aufgrund der steigenden Fallzahlen am Standort Wien Leberstraße wurde ein COVID-19 Präventionskonzept durch die Werksleitung erstellt. Das Präventionskonzept

verfolgt das Ziel, dass Mitarbeiter nur mit gültigem negativem COVID-19-Test den Standort betreten dürfen.

### **Große Wartung**

Für die Vermeidung von technischen Maschinenstörungen wurde in der Kalenderwoche 13 und 14 eine große Wartung mit dem Maschinenhersteller, der Instandhaltung und den Maschinenbediener durchgeführt. Das Ziel der Wartung war die Wiederherstellung des Maschinenzustandes, aufgrund der häufig aufgetretenen Maschinenausfälle.

### **Arbeitsplatzgestaltung**

Im Zuge des wöchentlichen Hallenrundgangs wurde der Arbeitsplatz gemäß der 5S-Methodik adaptiert, sodass Verschwendungen auf ein Minimum reduziert werden. Der Arbeitsplatz verfügt nach der Adaption über eine strukturierte Werkbank, Aufbewahrungsmöglichkeiten für Werkzeuge, Betriebsmittel, etc. sowie einen Arbeitstisch mit verstaubarem Schraubstock. Die erforderlichen Arbeitsdokumente wurden in gekennzeichnete Ordner abgelegt.

### **Entlastung des Bearbeitungszentrums**

Zur Entlastung des Pilotprojekts wurden neue Vorrichtungen und NC-Programme für spezifische Bauteile (z.B. NC-Programm B1, B2, B3) für die anderen Bearbeitungszentren erstellt. Dadurch konnten am Pilotprojekt zusätzliche Kapazitäten geschaffen werden, welche für zukünftige Projekte (z.B. Metro London) verwendet werden.

### **Automatisierte Datenübertragung von NC-Programmen**

Im Zuge der Projektierungsgespräche bzgl. dem MES wurde ein Managementprogramm von NC-Programmen implementiert. Dadurch können die NC-Programmierer über das Netzwerk NC-Programm-Updates an die Bearbeitungszentren senden und aktuelle Fehlerreports abfragen.

## **5.8.2 Maßnahmen in Umsetzung**

Im folgenden Teilabschnitt werden die in Umsetzung befindlichen Verbesserungsmaßnahmen beschrieben.

### **Wartungsplan**

Zurzeit finden Abstimmungen bzgl. eines Wartungsplanes zwischen der Instandhaltung, dem Maschinenhersteller und der Fertigung statt. Das Ziel der Abstimmung ist es in regelmäßigen Abständen die Bearbeitungszentren zu

überprüfen, damit präventiv technische Störungen auf ein Minimum reduziert werden können.

### Vorrichtungs- und Werkzeughalter

Eine weitere Verbesserungsmaßnahme zur Reduzierung von Bewegungen ist die Konstruktion eines Vorrichtungs- und Werkzeughalter für das Referenzbearbeitungszentrum. Diese Verbesserungsmaßnahme wurde nach einigen Absprachen mit der Fertigung durch die Betriebsmittelkonstruktion für das Referenzbearbeitungszentrum und eine weiteres Bearbeitungszentrum erstellt.

Der Vorrichtungs- und Werkzeughalter wird auf den verschieblichen Einspannmöglichkeiten der Vorrichtungen gelagert und wurde so konstruiert, dass dieser ebenfalls abnehmbar ist. In der Abbildung 5.12 ist ein CAD-Entwurf des Vorrichtungs- und Werkzeughalter abgebildet.

Die Investition in den Vorrichtungs- und Werkzeughalter wurde in der Kalenderwoche 28 durch den Bereichsleiter des Rohbaus freigegeben. Nach Fertigstellung des Rahmens durch den Metallbauer wird der Tischler den Vorrichtungs- und Werkzeughalter fertigen.

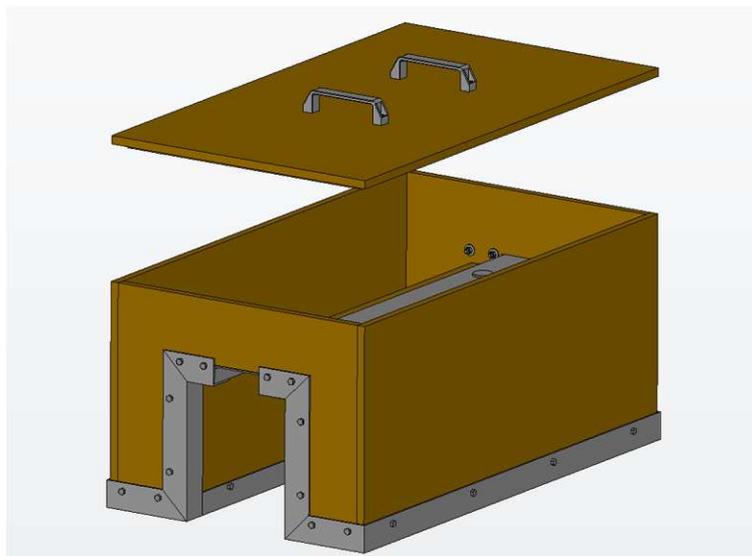


Abbildung 5.12: CAD-Entwurf des Vorrichtungs- und Werkzeughalter

### Lagerkonzept Nebenhalle

Zur Vermeidung von zukünftigen Stillständen aufgrund von fehlendem Material wurde eine Taskforce aus dem Hallenmeister, Mitarbeiter aus der Logistik, der Arbeitsvorbereitung der Layoutplanung gebildet, um die Lagerhaltung des Vorprozesses zu optimieren.

### **Vorrichtungsreiter lackieren**

Die Lackierung der Vorrichtungsreiter der Führungsschienen wird demnächst in der eigenen Oberflächenabteilung am Standort Wien Leberstraße durchgeführt. Die zu lackierenden Vorrichtungsreiter wurden dafür von den Führungsschienen demontiert und zum Oberflächenzentrum gebracht.

Die Investition in die Lackierung der Vorrichtungsreiter wurde in der Kalenderwoche 28 durch den Bereichsleiter des Rohbaus freigegeben.

### **Aufspannskizzen**

Die Thematik der teilweise fehlenden Aufspannskizzen wurde mit dem Bereichsleiter des Rohbaus und dem Abteilungsleiter des Industrial Engineerings besprochen. In Zukunft werden die Aufspannskizzen durch die Betriebsmittelkonstruktion ordnungsgemäß erstellt und abgelegt.

## **5.8.3 Geplante Verbesserungsmaßnahmen**

Im folgenden Teilabschnitt werden die geplanten Verbesserungsmaßnahmen beschrieben.

### **Autonome Instandhaltung**

Im Zuge von Wartungsarbeiten werden die Mitarbeiter der Instandhaltung den Maschinenbediener einfache Tätigkeiten der Instandhaltung übergeben. Im Vorfeld müssen die Maschinenbediener sensibilisiert werden, damit die neuen Tätigkeiten in die tägliche Routine implementiert werden können.

### **Strukturierte NC-Programme**

Eine weitere geplante Verbesserungsmaßnahme ist die programmorientierte Programmierung von NC-Programmen. Diese Art der Programmierung sollte bei zukünftigen Projekten angewandt werden, um etwaige Fehlerquellen schneller identifizieren zu können und um einen strukturierten Aufbau für weitere Programmierer zu gewährleisten.

### **Lessons Learned (Vorrichtungen, Werkzeuge und NC-Programme)**

Für die Verbesserungsmaßnahme Lessons Learned soll eine Liste von historischen Problem- und Potenzialfelder von Vorrichtungen, Werkzeugen und NC-Programmen durch die Betriebsmittelkonstruktion, Arbeitsvorbereitung und die Fertigung erstellt werden. Mit der Methode Lessons Learned können die bereits bekannten Fehler in der Entwicklungsphase eliminiert werden.

## **Durchlaufterminierung**

Nach der Umsetzung der meisten Verbesserungsmaßnahmen und der Stabilisierung in der Fertigung wird empfohlen über eine Durchlaufterminierung nachzudenken. Dadurch können einzelne Arbeitspakete in der optimalen Reihenfolge gefertigt werden, sodass minimale Stillstandzeiten anfallen.

Als Vorstufe der Durchlaufterminierung ist eine Rüstmatrix denkbar. Diese dient dazu, dass der Meister auf einen Blick die Rüstzeiten beim Produktwechsel erhält. Aus dieser kann der Meister die passenden Produktkombinationen wählen, für welche ein Pendelbetrieb möglich ist.

## **Spanentsorgungskonzept**

Eine weitere geplante Verbesserungsmaßnahme ist die Überlegung eines Spanentsorgungskonzeptes. Dieses könnte in Form eines Späneförderers unter der Voraussetzung, dass für die baulichen Maßnahmen in der Halle genügend Platz vorhanden ist, erfolgen.

## **Optimierung des Werkzeugbestandes**

Zur Vermeidung von einem erhöhten Werkzeugbestand wird empfohlen vorhandene idente Werkzeuge mit unterschiedlicher Länge zu identifizieren. Im nachfolgenden Schritt sollte eine Absprache zwischen der Betriebsmittelkonstruktion, der Arbeitsvorbereitung und der Maschinenbediener erfolgen. Das Ziel der Absprache ist die Auswahl der passenden Länge des Werkzeugs, sodass alle Bearbeitungsschritte, ohne erhöhte Schwingungen oder Kollisionen, erfolgen können.



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## 6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Kapitel Zusammenfassung der Ergebnisse beschreibt zu Beginn die allgemeinen Ergebnisse in Bezug auf die Problemstellung und die Forschungsfragen. Für den Praxisteil wird die Entwicklung der OEE am Standort Wien Leberstraße und die ersten Ergebnisse aus den umgesetzten Maßnahmen präsentiert. Des Weiteren bietet dieses Kapitel einen Einblick in die Analyseverfahren der Stillstands-Musteranalyse und der Effektivitätsanalyse von NC-Programmen. Zum Abschluss erfolgt eine Zusammenfassung der weiteren Maßnahmen.

### 6.1 Allgemeine Ergebnisse in Bezug auf die Problemstellung

Dieses Unterkapitel befasst sich mit den Ergebnissen in Bezug auf die Problemstellung und die Forschungsfragen. Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde ein allgemeines Konzept für die Erhebung und Optimierung der OEE entwickelt (Kapitel 4), welches am Beispiel eines Bearbeitungszentrum im Schienenfahrzeugbau validiert worden ist (Kapitel 5). In den kommenden Teilabschnitten werden die Forschungsfragen beantwortet:

**Wie kann die Einführung der OEE in einem Unternehmen nach dem Stand der Wissenschaft erfolgen und welche Herausforderungen sind dabei zu bewältigen?**

- *Welche Rahmenbedingungen sind bei einer OEE-Berechnung zu erfüllen?*
- *Welche Probleme können bei der Ermittlung einer validen OEE anfallen?*
- *Welche technischen und organisatorischen Maßnahmen bewirken eine Erhöhung der OEE?*
- *Wie kann eine Priorisierung der ermittelten Verbesserungsmaßnahmen erfolgen?*

#### Rahmenbedingungen

Die Rahmenbedingungen für die valide Berechnung der OEE gelten als erfüllt, wenn die Datenerfassung der Maschinendaten in einem ausreichend granularen Umfang erfolgt. Hierfür besteht möglicherweise der Bedarf, dass eine Anpassung des MES erforderlich ist, damit die Maschinenzustände in der passenden Granularität (z.B.: gemäß der sechs Effizienzverluste) dargestellt werden können.

Die Datenerfassung sollte primär automatisiert erfolgen mit der Option, dass Maschinenbediener am Bedienpult vereinzelte Maschinenzustände selbst erfassen können (wie z.B. Personalausfall, Wartezeit Kran, Vorrichtung defekt, Material nicht

vorhanden, etc.). Des Weiteren sollte die Datenerfassung über einen Stückzähler zur Bestimmung der Gutmenge, des Ausschusses und der Nacharbeit verfügen. Die Definition von Ausschuss und Nacharbeit kann über den Bedienerpult erfolgen, da Qualitätsmängel direkt nach der Bearbeitung und in nachfolgenden Prozessen festgestellt werden können.

### **Mögliche Problemfelder**

Bei der automatisierten Datenerfassung sollte eine erhöhte Aufmerksamkeit auf den Leistungs- und den Qualitätsfaktor gelegt werden, da aufgrund von fehlenden Parametern invalide und zu hohe OEE-Werte ausgewiesen werden (siehe Studie von Hedman, Subramaniya und Almström (2016)). Häufig treten Problemfelder aufgrund fehlender Hinterlegung der idealen Geschwindigkeit, Vernachlässigung von Nacharbeiten und fehlenden Grundkenntnissen zu den möglichen Berechnungsmethoden (Zeit- und Stückverlusten) auf. Weiters kann die Unterscheidung zwischen längeren und kürzeren Stillständen ebenfalls Probleme bereiten.

Die fehlende Hinterlegung der idealen Geschwindigkeit von Bearbeitungsabfolgen (Leistungsfaktor) und die Vernachlässigung von Ausschuss und Nacharbeiten (Qualitätsfaktor) führt dazu, dass die OEE-Werte höher ausgewiesen werden, als sie in der Realität entsprechen. Als Lösung für die erwähnten Problemstellungen dient die Hinterlegung der idealen Geschwindigkeit in den Bearbeitungsvorgängen (z.B. NC-Programm) und dem Hinzufügen eines Teileartzählers für Ausschuss und Nacharbeiten.

Eine weitere interessante Erkenntnis aus der Literatur ist, dass die Formel für den Qualitätsfaktor häufig den Anteil der Nacharbeit vernachlässigt oder mit dem Ausschuss gleichstellt. Zur Klärung des Sachverhaltes wird empfohlen, dass die anteilsgemäße Nacharbeit in die Formel integriert wird, die bei Bedarf den Qualitätsfaktor reduziert (siehe Formel 4.1.).

Ein besonderes Augenmerk bei der Berechnung der sechs Effizienzverluste sollte auf die Berechnungsmethode (Zeit- und Stückverluste) gelegt werden. In der Literatur erfolgt die Berechnung des Verfügbarkeitsfaktors einheitlich nach der Berechnungsmethode der Zeitverluste und die Berechnung des Qualitätsfaktors nach der Berechnungsmethode der Stückverluste. Die Ermittlung des Leistungsfaktors kann sowohl über die Berechnungsmethode der Zeit- als auch der Stückverluste erfolgen. Aufgrund der zunehmenden Komplexität und Schwankungsbereite für die korrekte Ermittlung der theoretischen Zykluszeit wird für kurze Zykluszeiten die Berechnungsmethode der Stückverluste und für längere Zykluszeiten die Berechnungsmethode der Zeitverluste empfohlen.

Zum Abschluss wurde nach einer ausführlichen Recherche festgestellt, dass die Unterscheidung zwischen längeren und kürzeren Stillständen, individuell durch das Unternehmen erfolgen soll. Es wird empfohlen, dass für kurze theoretische Zykluszeiten die Unterscheidung zwischen kürzere und längere Stillstände mit dem Grenzwert fünf Minuten und bei längeren theoretischen Zykluszeiten mit dem Grenzwert zehn Minuten definiert wird.

### Technische und organisatorische Maßnahmen zur Steigerung der OEE

Als technische und organisatorische Maßnahmen zur Erhöhung der OEE haben sich in der Literatur folgende Methoden und Werkzeuge bewährt: die SMED-Rüstzeitminimierung, das Total Productive Maintenance, die 5S-Methodik, die Six-Sigma-Projekte, Poka Yoke und die Werker selbstprüfung (siehe Tabelle 6.1).

**Tabelle 6.1: Empfohlene technische und organisatorische Maßnahmen zur Steigerung der OEE**

	Effizienzverluste	Verbesserungsmaßnahmen
<b>Verfügbarkeitsfaktor</b>	ungeplanter Stillstände	<ul style="list-style-type: none"> <li>Total Productive Maintenance</li> </ul>
	Rüsten- und Einstellen	<ul style="list-style-type: none"> <li>SMED-Rüstzeitminimierung</li> </ul>
<b>Leistungsfaktor</b>	kurze Stillstände	<ul style="list-style-type: none"> <li>5S-Methodik</li> </ul>
	verringerte Geschwindigkeit	<ul style="list-style-type: none"> <li>5S-Methodik</li> <li>Six-Sigma-Projekte</li> </ul>
<b>Qualitätsfaktor</b>	Anfahrverluste	<ul style="list-style-type: none"> <li>Six-Sigma-Projekte</li> </ul>
	Qualitätsmängel	<ul style="list-style-type: none"> <li>Poka Yoke</li> <li>Werker selbstprüfung</li> </ul>

Die Stillstands-Musteranalyse hat gezeigt, dass ungeplante Stillstände durch ein Schichtwechselkonzept und durch gestaffelte Pausenzeiten reduziert werden können. Dadurch wird der Verfügbarkeitsfaktor und in Konsequenz die OEE verbessert. Weiters können mittels der Effektivitätsanalyse von NC-Programmen die mit einer geringen Effektivität ermittelt werden. Für diese NC-Programme wird empfohlen, dass Laufzeitoptimierungen angestrebt werden.

### Priorisierung der Verbesserungsmaßnahmen

Als zuverlässige Methoden zur Priorisierung von Verbesserungsmaßnahmen hat sich die First- und Second-Level Pareto Analyse sowie die Kennzahl CPI erwiesen.

Durch die First- und Second-Level Pareto Analyse werden die größten anteilsgemäßen Verluste identifiziert. Nach der Identifikation der größten Verluste werden die passenden Verbesserungsmaßnahmen zur Minimierung dieser priorisiert.

Als ein weiteres hilfreiches Tool zur Entscheidungsfindung zwischen Investitionen hat sich die Kennzahl CPI erwiesen. Nach der Berechnung der CPI-Kennzahl (nach Formel 4.8) kann eine Prorisierung nach dem der geringsten CPI-Kennzahl erfolgen.

## 6.2 Entwicklung der OEE am Standort Wien Leberstraße

Das Werk Wien, der Siemens Mobility Austria GmbH, verfügte zu Beginn dieser Diplomarbeit über keine numerischen Ergebnisse der OEE-Kennzahl vorhandener Maschinenanlagen. Aus diesem Grund entstand, nach Absprache mit der Werksleitung, die Aufgabe, als First Mover die OEE-Kennzahl für ein Pilotprojekt zu berechnen.

Mit zunehmendem Fortschritt der Diplomarbeit entstand im Werk erhöhtes Interesse an dem TPM-Konzept OEE. Die ersten Ergebnisse der OEE-Kennzahl des Bearbeitungszentrums wurden in zahlreichen Meetings der Werksleitung und den Führungskräften aus allen Abteilungen präsentiert. Nach der Vorstellung der IST-Analyse bestand die Nachfrage, die OEE-Kennzahl für weitere Bearbeitungszentren zu berechnen. Diese wurde ab der Kalenderwoche 15 für weitere Bearbeitungszentren durchgeführt.

Im Mai gelang der erste Durchbruch der OEE-Kennzahl innerhalb des Werkes. Das zunehmende Interesse und das erkannte wirtschaftliche Potenzial hat dazu geführt, dass die OEE-Kennzahl und deren Verbesserungsmaßnahmen einen Stammplatz in dem Steuerkreis „Wagenkasten lackiert“ erhalten haben. Das Ziel des Steuerkreis ist, dass der Fortschritt einzelner Projekte durch regelmäßige Meetings vorangetrieben wird. In wöchentlichen Abständen erfolgt eine Berichterstattung an die Fertigungs- und Bereichsleiter und alle zwei Wochen werden die jeweiligen Fortschritte der Werksleitung präsentiert. Dadurch wird gewährleistet, dass die OEE in Zukunft als eine relevante Kennzahl bzw. Messgröße für Verbesserungsprozesse von Maschinenanlagen erhalten bleibt.

## 6.3 Resultate der ersten umgesetzten Verbesserungsmaßnahmen

Zu Beginn werden die Resultate der ersten umgesetzten Verbesserungsmaßnahmen anhand der Entwicklung der IST-Ausbringung und der OEE genauer beschrieben.

Die Wirksamkeitsprüfung der implementierten Verbesserungsmaßnahmen kann übersichtlich durch die Entwicklung der IST-Ausbringung und der OEE, grafisch dargestellt werden. Hierfür werden die Mittelwerte der Kennzahlen für die Betrachtungszeiträume gebildet und in Abbildung 6.1 und Abbildung 6.2 dargestellt. Es sei zu erwähnen, dass die Berechnung der OEE, durch die Mittelwertbildung der

einzelnen OEE-Werte, aus den Kalenderwochen des jeweiligen Betrachtungszeitraums erfolgt.

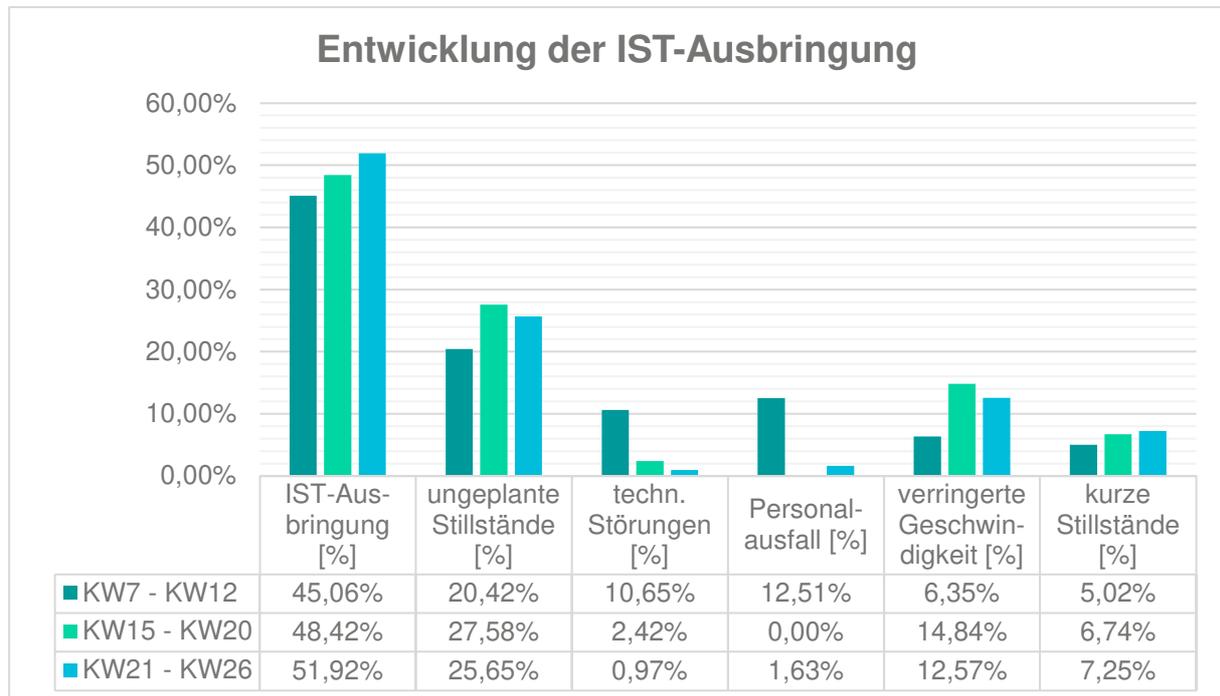


Abbildung 6.1: Entwicklung der IST-Ausbringung

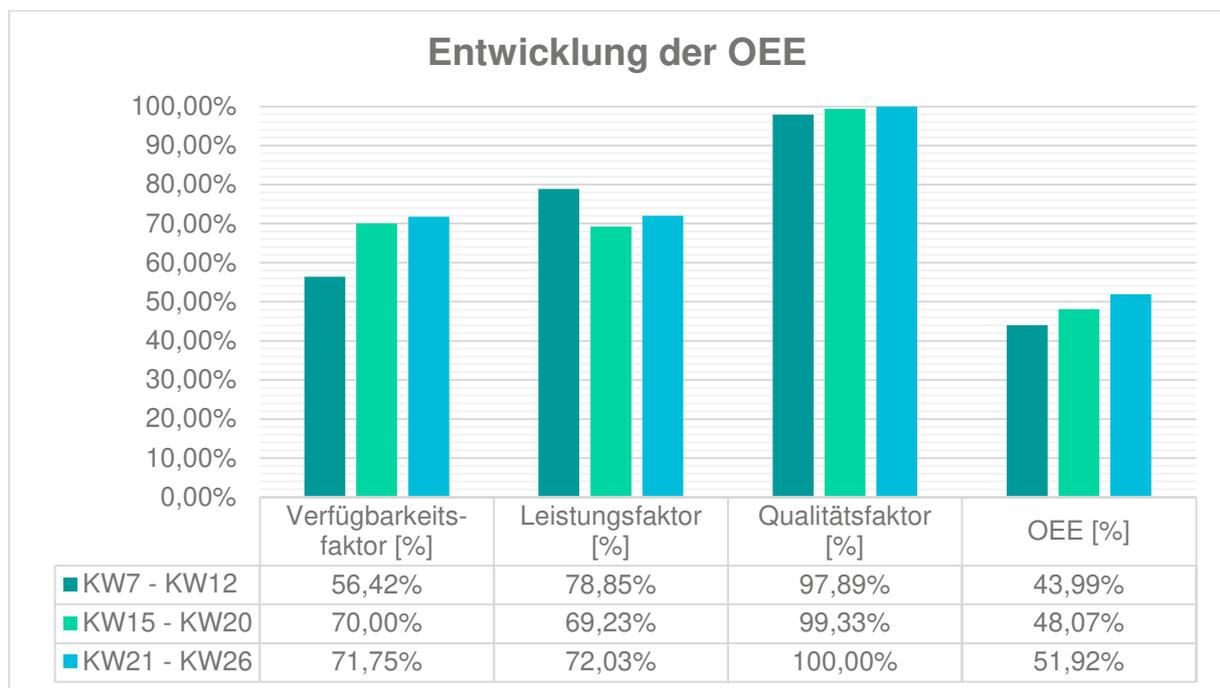


Abbildung 6.2: Entwicklung der OEE

### Technische Störungen und Personalausfall

Bei der Entwicklung der IST-Ausbringung des Referenzbearbeitungszentrum (Abbildung 6.1) wird ersichtlich, dass die große Wartung in der Kalenderwoche 13 und 14 die technischen Störungen erheblich reduzieren konnte. Weiters wird gezeigt, dass

das COVID-19 Präventionskonzept am Standort zu einer wesentlichen Reduktion der Personalausfälle führte. Diese beiden Verbesserungsmaßnahmen führten zu einer Erhöhung des Verfügbarkeitsfaktors und der OEE (siehe Abbildung 6.2).

### **Verringerte Geschwindigkeit zur Kompensation von Qualitätsmängeln**

Zeitgleich mit der Reduktion der technischen Störung und der Personalausfälle ist aufgefallen, dass der durchschnittliche Anteil der verringerten Geschwindigkeit im Vergleich zu den längeren und kurzen Stillständen signifikant anstieg. Eine Ursache für den Anstieg der verringerten Geschwindigkeiten ist, dass die Vorschubgeschwindigkeit durch die Maschinenbediener häufiger reduziert wurde, um Qualitätsmängel zu vermeiden. Diese Korrelation wird ersichtlich bei der genaueren Betrachtung der Abbildung 6.1 und Abbildung 6.2: In Abbildung 6.1 steigt die verringerte Geschwindigkeit vom ersten Betrachtungszeitraum (Kalenderwoche 7 – 12) zum zweiten Betrachtungszeitraum (Kalenderwoche 15 – 20) an. Analog dazu wird ein Zuwachs des Qualitätsfaktors verzeichnet (siehe Abbildung 6.2).

### **Hypothese: Erhöhter Anteil verringerter Geschwindigkeit aufgrund unterschiedlicher Maschinenzustände für Rüsten und Einstellen**

Bei der Berechnung der OEE unterschiedlicher Bearbeitungszentren ist aufgefallen, dass der Leistungsfaktor deutlich geringer, als der Verfügbarkeitsfaktor ist. Nach einer ausführlichen Analyse wurde festgestellt, dass die Rüst- und Einstellvorgänge an allen Bearbeitungszentren unterschiedlich erfolgen: An den weiteren Bearbeitungszentren werden die Rüst- und Einstellvorgänge primär im JOG-Modus (Handbetrieb), welcher dem Maschinenzustand „störungsfr. Maschinenzustand“ (Leistungsverlust) zugeordnet ist, durchgeführt. Auf dem Referenzbearbeitungszentrum wurde zu Beginn im Zustand „Störung org.“ (Verfügbarkeitsverlust) und mit zunehmender Zeit ebenfalls im Maschinenzustand „störungsfr. Maschinenzustand“ gerüstet. Es besteht die Hypothese, dass der Anstieg der verringerten Geschwindigkeit aufgrund uneinheitlicher Maschinenzustände beim Rüsten- und Einstellen erfolgte.

Für die zukünftigen Rüst- und Einstellvorgänge wird deshalb empfohlen, den Rüst- und Einstellvorgang zu vereinheitlichen. Der Rüst- und Einstellvorgang sollte im JOG-Modus „störungsfreier Maschinenzustand“ durchgeführt und als ungeplanter Stillstand (Verfügbarkeitsverlust) kategorisiert werden. Der JOG-Modus wird gewählt, da dieser eine erhöhte Sicherheit gegen unbeabsichtigtes Einschalten der Maschine im Vergleich zum Maschinenzustand „Störung org.“ bietet. Aufgrund dieser Tatsache wurde mit dem Meister und dem Vorarbeiter eine Arbeitsverordnung verfasst (Quick-Win-Maßnahme), welche diesen Sachverhalt widerspiegelt und einen Lösungsansatz darstellt. Die Arbeitsverordnung wurde in Kalenderwoche 26 erstellt und von den Arbeitern in der Kalenderwoche 28 unterzeichnet.

## **Zusammenfassung der ersten Resultate und Erstellung weiterer Verbesserungsmaßnahmen**

Durch die große Wartung in der Kalenderwoche 13 und 14, sowie das COVID-19 Präventionskonzept, konnten die technischen Störungen sowie die Personalausfälle auf ein Minimum reduziert werden. Dies führte zu einem Anstieg des Verfügbarkeits- und des Leistungsfaktors. Im zweiten Betrachtungszeitraum (Kalenderwoche 15 – 20) erfolgte ein deutlicher Anstieg der verringerten Geschwindigkeit (Leistungsverlust). Eine Ursache hierfür ist, dass Maschinenbediener die Geschwindigkeit in kritischen Abschnitten reduzierten, um keine Qualitätsmängel zu erzeugen. Es wird vermutet (Hypothese), dass eine weitere Ursache für den Anstieg der verringerten Geschwindigkeit, die Verwendung von unterschiedlichen Maschinenzuständen bei den Rüst- und Einstellvorgängen sein kann. Zur exakten Klassifizierung wurde deshalb mit dem Meister und dem Vorarbeiter eine Arbeitsanweisung erstellt, um diesen Sachverhalt zu standardisieren.

Zur Senkung der angestiegenen Verluste, durch ungeplante Stillstände und verringerten Geschwindigkeit, werden die Verbesserungsmaßnahmen zur Minimierung dieser Verluste in den Vordergrund gestellt. Aufgrund der reduzierten Granularität der Ursachen für die ungeplanten Stillstände, wird eine erhöhte Priorität auf die Lösung dieser Probleme gelegt. Eine Zwischenlösung bietet die Einführung einer digitalen Stillstandliste mittels Microsoft Forms. Dadurch können die Maschinenbediener mittels Kurzumfragen Stillstände protokollieren. Eine weitere Option bietet die Erstellung von Push-Benachrichtigungen bei ungeplanten Stillständen bzw. technischen Störungen. Hierfür werden die Maschinenzustandsdaten in Echtzeit verarbeitet und senden bei spezifischen Maschinenzuständen eine Benachrichtigung an das Smartphone des Maschinenbedieners.

## **6.4 Auswertung einzelner Analyseverfahren**

Nach der Betrachtung der ersten Resultate, erfolgt in diesem Unterkapitel eine Auswertung der Stillstands-Musteranalyse und der Effektivitätsanalyse von NC-Programmen über den gesamten Betrachtungszeitraum.

### **6.4.1 Auswertung der Stillstands-Musteranalyse**

In der IST-Analyse wurden zwei Hypothesen aufgestellt: Die erste Hypothese behauptet, dass eine überdurchschnittliche Häufigkeit von ungeplanten Stillständen, während dem Schichtwechsel (+/- 06:00, +/- 14:00 und +/- 22:00) auftritt. Die zweite Hypothese besagt, dass während den geregelten Pausen (Frühstückspause ab 09:00 und der Mittagspause ab 11:30), das Referenzbearbeitungszentrum häufig einen ungeplanten Stillstand aufweist.

### Erste Hypothese: ungeplante Stillstände während dem Schichtwechsel

Nach dem Betrachtungszeitraum von insgesamt 18 Wochen wird ersichtlich, dass sowohl beim 3-Schicht-Modell als auch beim 2-Schicht-Modell (ab Kalenderwoche 17), eine erhöhte Anzahl von ungeplanten Stillständen während dem Schichtwechsel auftritt. Diese Erkenntnis lässt sich besonders gut am 2-Schicht-Modell erkennen (siehe Abbildung 6.4): Gegen Ende der dritten Schicht (22:00 – 06:00) nimmt die Häufigkeit von ungeplanten Stillständen signifikant zu. Der Höhepunkt wird beim Schichtwechsel erreicht. Das 3-Schicht-Modell weist ein ähnliches Verhalten beim Schichtwechsel auf (siehe Abbildung 6.3).

### Zweite Hypothese: ungeplante Stillstände während geregelter Pausenzeiten

Eine weitere interessante Erkenntnis aus der Stillstands-Musteranalyse ist, dass die geregelten Pausenzeiten aus der ersten Schicht, beim 3-Schicht-Modell (siehe Abbildung 6.3) länger andauern als beim 2-Schicht-Modell (siehe Abbildung 6.4). Es besteht die Vermutung, dass in der dritten Schicht, sechs Stunden nach dem Arbeitsbeginn (ab ca. 02:00), eine größere Pause stattfindet. Dieses Verhalten ähnelt dem ungeplanten Stillstand durch die Mittagspause (ab 11:30) aus dem 3-Schicht-Modell.

In der Abbildung 6.3 ist die Stillstands-Musteranalyse des 3-Schicht-Modells im Betrachtungszeitraum von Kalenderwoche 7 bis 12 und 15 bis 16 dargestellt. Es ist anzumerken, dass die rot umrahmten Balken Pausenzeiten darstellen.

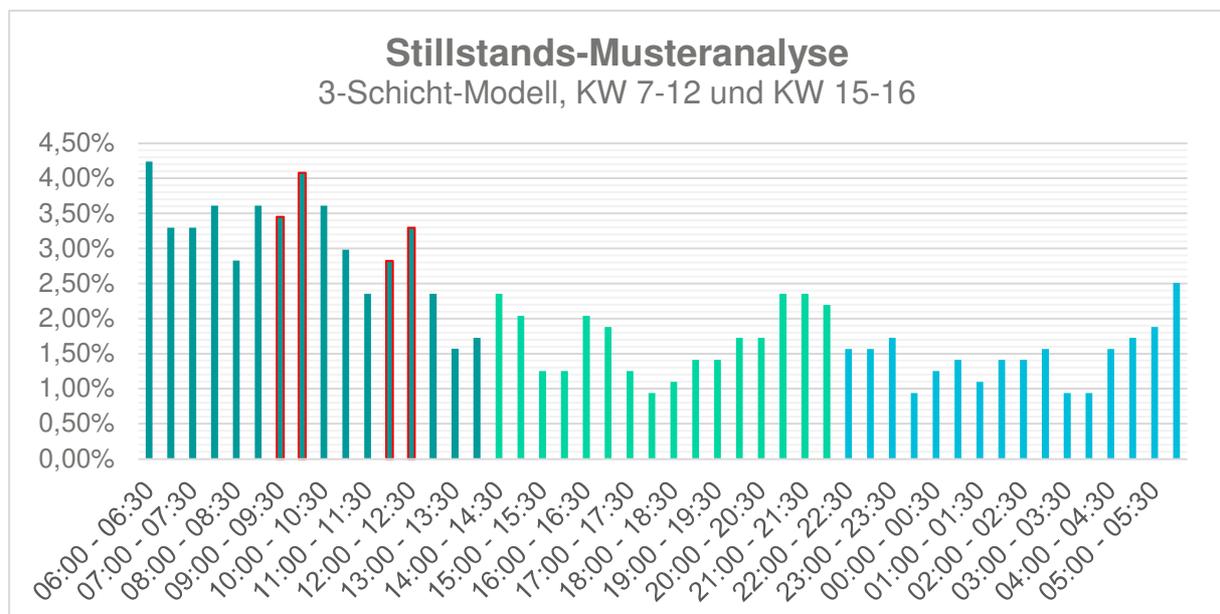


Abbildung 6.3: Stillstands-Musteranalyse des 3-Schicht-Modells

In der Abbildung 6.4 ist die Stillstands-Musteranalyse des 2-Schicht-Modells im Betrachtungszeitraum von Kalenderwoche 17 bis 26 dargestellt. Es ist anzumerken, dass die rot umrahmten Balken Pausenzeiten darstellen.

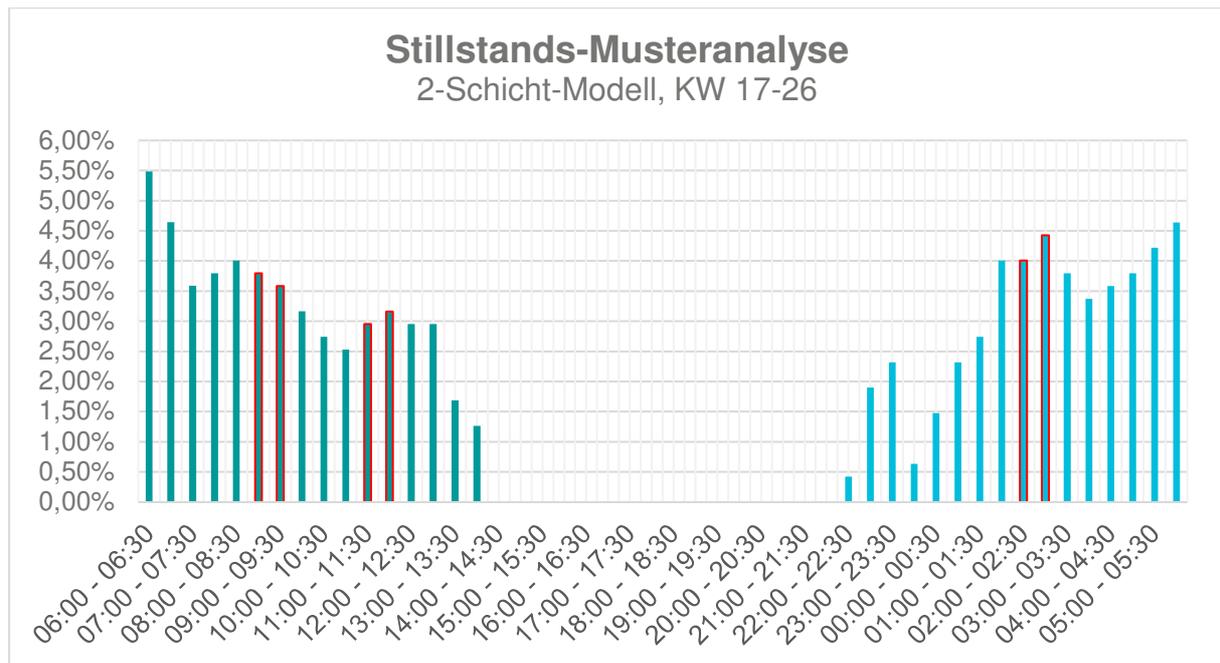


Abbildung 6.4: Stillstands-Musteranalyse des 2-Schicht-Modells

## Zusammenfassung und Erkenntnisse aus der Stillstands-Musteranalyse

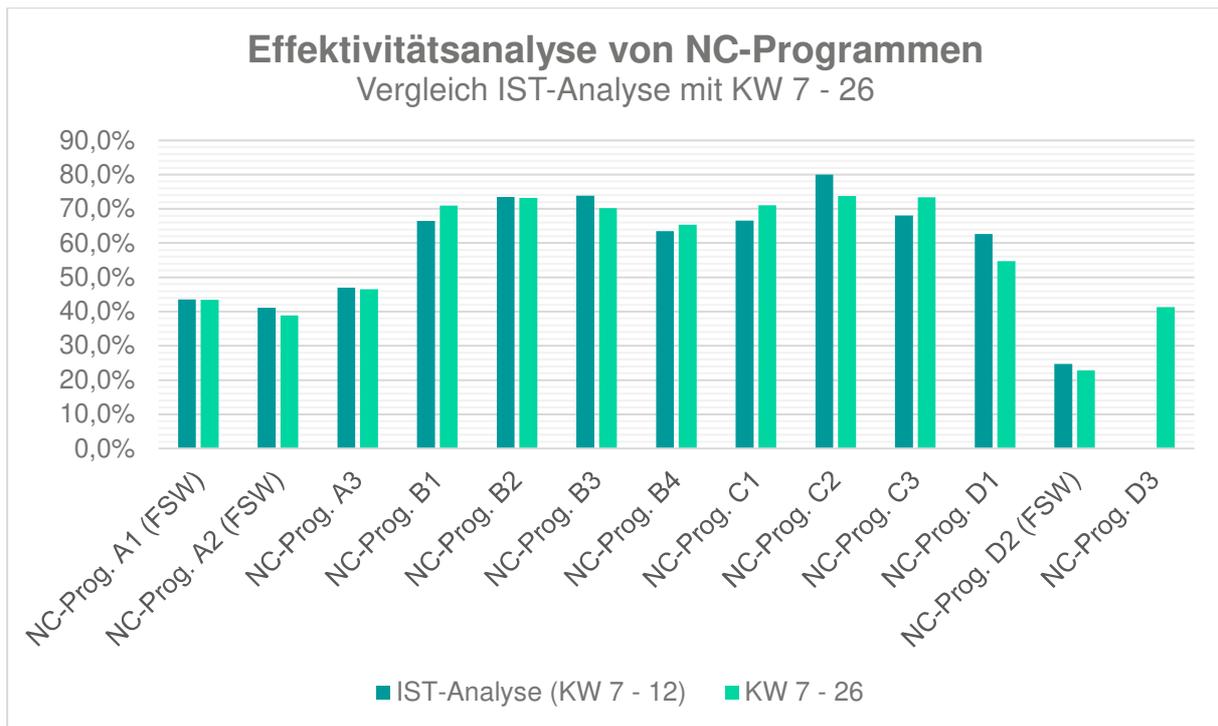
Die Stillstands-Musteranalyse bestätigt die erste Hypothese, dass vermehrte ungeplante Stillstände während dem Schichtwechsel anfallen. Für die zweite Hypothese besteht weiters die Vermutung, dass in den Pausenzeiten ein Anstieg der ungeplanten Stillstände verzeichnet wird.

Aufgrund der ermittelten Fakten wird empfohlen, dass die Einführung eines Schichtwechselkonzeptes anzuraten wäre. Das Schichtwechselkonzept verfolgt das Ziel, dass die Maschinenbediener bei der Schichtübergabe das Bearbeitungszentrum, wenn möglich, im automatisierten Fertigungsmodus übergeben und den Arbeitsplatz sauber hinterlassen.

Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung der Verfügbarkeitsverluste und zur Steigerung der OEE liefern gestaffelten Pausenzeiten. Dadurch soll gewährleistet werden, dass in der Pause bzw. Mittagspause die Maschine automatisiert fertigt.

### 6.4.2 Auswertung der Effektivitätsanalyse von NC-Programmen

Die Effektivitätsanalyse von NC-Programmen weist nach einem Betrachtungszeitraum von 18 Wochen keine wesentliche Veränderung im Vergleich zur IST-Analyse auf (siehe Abbildung 6.5).



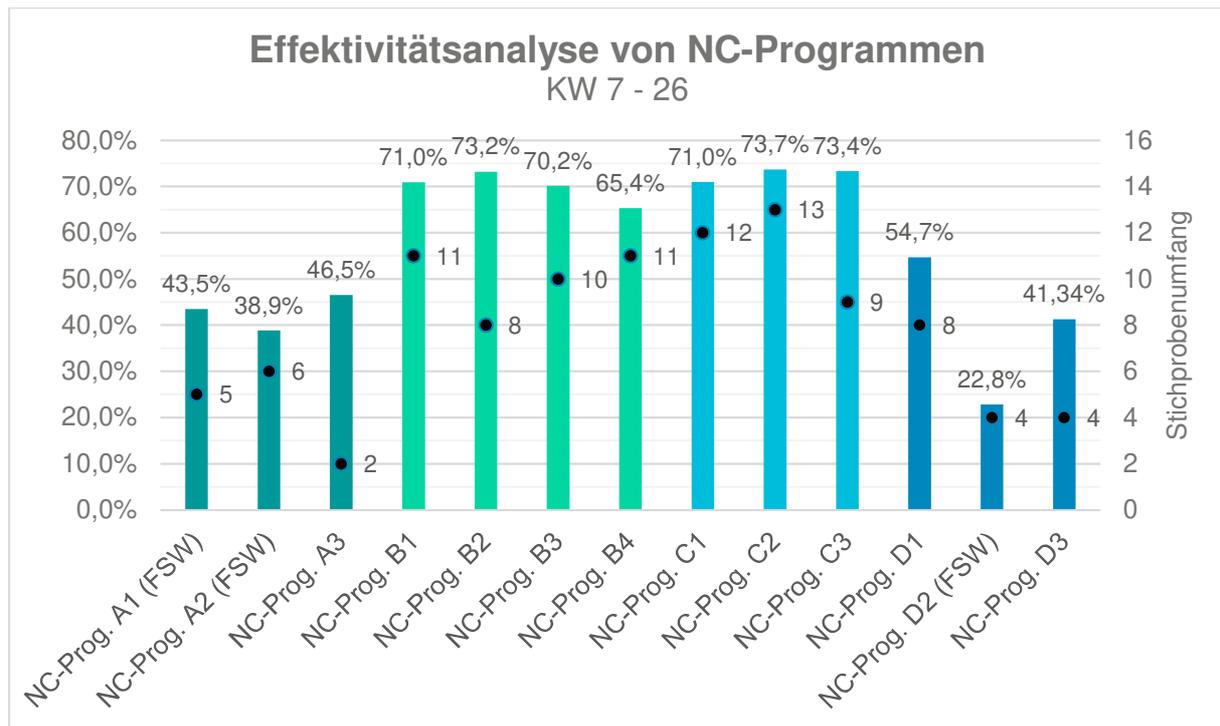
**Abbildung 6.5: Vergleich der Ergebnisse der Effektivitätsanalyse von NC-Programmen**

Eine Erkenntnis aus der Effektivitätsanalyse von NC-Programmen ist, dass Schweißprogramme, gekennzeichnet durch die Endung FSW, eine geringere Effektivität, als Fräsprogramme aufweisen. Die Ursache für die geringere Effektivität liegt an den zeitaufwendigeren Rüst- und Einstellvorgängen.

Das NC-Programm D2 (FSW) verfügt im Vergleich zu den anderen Schweißprogrammen über eine wesentlich geringere Effektivität. Die NC-Programme A3 und D3 weisen im Vergleich zu den anderen Fräsprogrammen eine wesentlich geringere Effektivität auf.

### **Zusammenfassung und Erkenntnisse aus der Effektivitätsanalyse von NC-Programmen**

Aus der Effektivitätsanalyse wird ersichtlich, dass einige NC-Programme (B1, D2 (FSW) und D3) erhebliches Potenzial zur Verbesserung aufweisen. Für diese Programme wird empfohlen eine NC-Programmoptimierung durchzuführen, um die Effektivität und damit die OEE zu steigern. Es wird erneut darauf hingewiesen, dass bei allen NC-Programmen und Vorrichtungen ein gemeinsames Lessons Learned der Betriebsmittelkonstruktion, der Arbeitsvorbereitung und der Maschinenbediener durchzuführen ist. Dadurch können aktuelle Problemfelder identifiziert und bei der Konstruktion von Vorrichtungen und NC-Programmierung zukünftiger Projekte berücksichtigt und vermieden werden.



**Abbildung 6.6: Effektivitätsanalyse von NC-Programmen über den gesamten Betrachtungszeitraum**

## 6.5 Zusammenfassung und Festlegung weiterer Maßnahmen

Im letzten Unterkapitel werden weitere Verbesserungsmaßnahmen, welche aus der Entwicklung der IST-Ausbringung bzw. OEE und der Stillstands-Musteranalyse sowie der Effektivitätsanalyse von NC-Programmen resultieren, zusammengefasst.

### Verbesserungsmaßnahmen aus den Resultaten der ersten umgesetzten Maßnahmen

Aus den Resultaten der ersten umgesetzten Maßnahmen wird deutlich, dass die ungeplanten Stillstände weiterhin den größten Verlust abbilden. Die Ursachen für die ungeplanten Stillstände können aktuell, aufgrund der nicht vorhandenen Projektierung des MES, nicht exakt kategorisiert werden. Aus diesem Grund wird empfohlen, dass am Referenzbearbeitungszentrum eine digitale Stillstandliste zur manuellen Erfassung der Ursachen von den Stillständen durch den Maschinenbediener angebracht wird.

Eine weitere Möglichkeit zur Reduzierung von ungeplanten Stillständen ist die Implementierung einer Softwarelösung, welche bei ungeplanten Stillständen oder Störungen Benachrichtigungen an das Tablet bzw. Smartphone des Maschinenbediener sendet.

Aufgrund der aktuellen Maschinendaten besteht die Vermutung, dass unterschiedliche Maschinenzustände während dem Rüsten- und Einstellen verwendet werden. Zur

Sicherstellung der korrekten Aufzeichnung der Maschinenzustände wurde eine Arbeitsanweisung mit dem Meister und Vorarbeiter erstellt, sodass Rüst- und Einstellvorgänge auf allen Bearbeitungszentren im selben Maschinenzustand erfolgen sollen.

### **Verbesserungsmaßnahmen aus der Stillstands-Musteranalyse**

In der Stillstands-Musteranalyse wird ersichtlich, dass die zwei aufgestellten Hypothesen aus der IST-Analyse bestätigt bzw. teilweise bestätigt wurden. Deshalb wird empfohlen über die Einführung eines Schichtwechselkonzepts nachzudenken. Dies kann beispielsweise durch ein digitales Schichtübergabeprotokoll realisiert werden. Abschließend wird darauf hingewiesen, dass das Konzept der gestaffelten Pausenzeiten ebenfalls zu einer Reduzierung von ungeplanten Stillständen führen kann.

### **Verbesserungsmaßnahmen aus der Effektivitätsanalyse von NC-Programmen**

Aus der Effektivitätsanalyse von NC-Programmen wurde ersichtlich, dass eine erhöhte Aufmerksamkeit auf die Lessons Learned von NC-Programmen und Vorrichtungen gelegt werden sollte. Weiters wird empfohlen eine NC-Programmoptimierung von den Programmen A3, D2 (FSW) und D3 durchzuführen. Diese Programme weisen eine signifikant geringere Effektivität als die durchschnittlichen NC-Programme auf.

In der Abbildung 6.7 wird die Zusammenfassung aller offenen und priorisierten Verbesserungsmaßnahmen dargestellt.

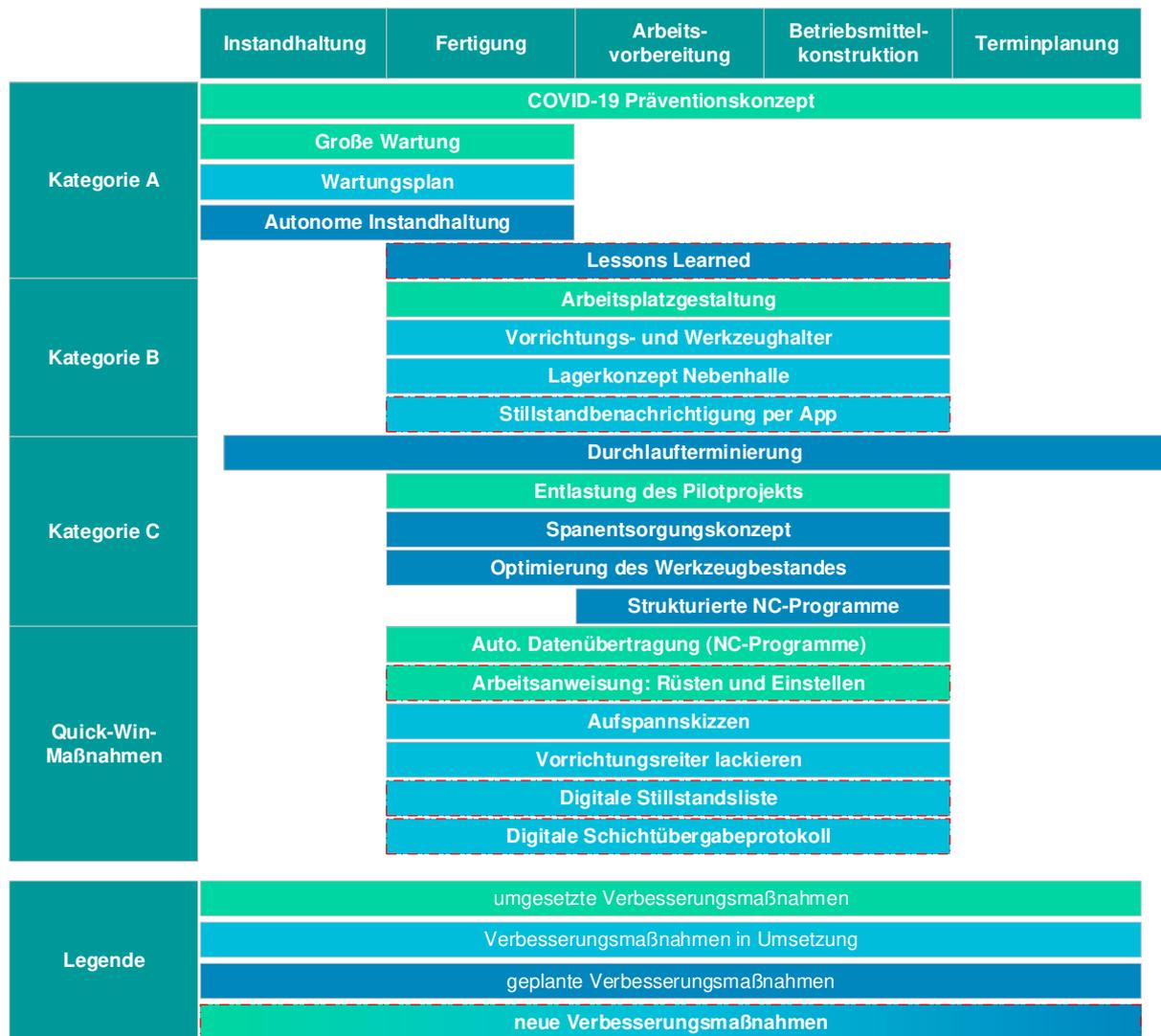


Abbildung 6.7: Zusammenfassung aller offenen und priorisierten Verbesserungsmaßnahmen



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## 7 Ausblick

Das letzte Kapitel dieser Arbeit beschreibt einen allgemeinen Ausblick,, nach der Durchführung des Konzeptes. Der Schwerpunkt liegt dabei in der Erstellung eines allgemeinen Maschinenzustandmodells, der Automatisierung und Standardisierung der Berechnung, der Skalierung des Grundkonzeptes auf weitere Maschinenanlagen, sowie der Entwurf einer Prognoseberechnung zur Bestimmung zukünftiger OEE-Kennzahlen. Im Anschluss wird der erwähnte Ausblick für die gegebene Aufgabenstellung angewandt.

### 7.1 Allgemeiner Ausblick

Das vorgestellte theoretische Konzept umfasst die grundlegenden Voraussetzungen an die Dateninfrastruktur, die Erhebung und Analyse der OEE, die Erstellung und Priorisierung von Verbesserungsmaßnahmen sowie die Kosten-Nutzen-Analyse einzelner Verbesserungsmaßnahmen und abschließend die Umsetzung dieser. In den nächsten Teilabschnitten wird ein kurzer Ausblick über vereinzelt Bereiche gegeben, die nicht im Konzept enthalten sind, aber eine hohe Relevanz und Potenzial für die zukünftige Einführungen aufweisen.

#### 7.1.1 Zustandsmodell für die Projektierung des MES

Der erste Teilabschnitt befasst sich mit der Erstellung eines Zustandsmodells für das MES. Dieses Modell basiert auf grundlegenden Überlegungen der Ablaufarten von Maschinen und kann für beliebige MES angewandt werden.

Das Zustandsmodell wird in die Hauptkategorien Produktion, Nebennutzung, organisatorischer Stillstand, störungsbedingter Stillstand, bedingter Stillstand und keine Verbindung unterteilt. Jede Hauptkategorie umfasst mehrere Unterkategorien, die manuell oder automatisiert erfasst werden können. Im nächsten Kapitel wird dieses Konzept am Beispiel in der Praxis gezeigt.

#### 7.1.2 Automatisierung und Standardisierung der Berechnung

Ein wesentlicher Aspekt zur kontinuierlichen Verbesserung ist die Standardisierung der Prozesse. Das vorgestellte Konzept und das Berechnungsmodell sollte auf allen Ebenen kritisch diskutiert und betrachtet werden. Im Anschluss sollte diese Vorgehensweise in einheitlicher Form dokumentiert abgelegt werden, um maximale Transparenz zu gewährleisten. So kann bei der Einführung von zukünftigen Maschinenanlagen auf das Berechnungsmodell zugegriffen werden.

Die Durchführung des Berechnungsmodells soll bevorzugt automatisiert erfolgen. Es wird daher empfohlen, dass die Maschinendaten strukturiert und standardisiert aufbereitet an eine Softwarelösung übergeben werden. Die Softwarelösung berechnet automatisiert die jeweiligen Kennzahlen und Effizienzverluste und führt die bekannten Analyseverfahren durch.

Dadurch können Ressourcen geschaffen werden, welche in weiterer Folge im kontinuierlichen Verbesserungsprozess für weitere Maschinenanlagen angewandt werden können.

### **7.1.3 Skalierung des Grundkonzeptes für weitere Maschinenanlagen**

Nach vollständiger Automatisierung und Standardisierung des Berechnungsmodells kann das vorgestellte Konzept als Grundkonzept für weitere Maschinenanlagen verwendet werden. Das Konzept kann optional durch die Anwendung von einer Analysesoftware am Shopfloor und der Prognoseberechnung zur Bestimmung zukünftiger OEE-Werte erweitert werden.

### **7.1.4 Anwendung von Analysesoftware am Shopfloor**

Eine interessante Erweiterung des Grundkonzeptes stellt die Einführung einer Analysesoftware für den Meister und die Vorarbeiter, der zu betreuenden Bearbeitungszentren, dar. Der Vorarbeiter sollte in täglichen Abständen die Effizienzverluste und die OEE der letzten 24 Stunden betrachten können, um frühzeitige Problem- und Potenzialfelder abzuleiten und um gegebenenfalls Gegenmaßnahmen einzuleiten. Weiters wird empfohlen, dass der zuständige Meister und der Vorarbeiter in wöchentlichen Abständen ein Meeting mit dem Prozessoptimierer abhalten, um einen detaillierten Einblick auf die OEE-Kennzahl und die erwähnten Analyseverfahren zu erhalten.

### **7.1.5 Prognoseberechnung der zukünftigen OEE**

Ein weiteres Hilfsmittel, zusätzlich zum Grundkonzept, bietet die Prognoseberechnung der zukünftigen OEE. Die Prognoseberechnung dient dazu, auf der Grundlagen historischer Werte und den geplanten Zeiten für die zu fertigenden Bauteile, ein Modell zu erstellen, um die zukünftige OEE zu ermitteln. Dieses Modell kann dazu dienen, Kombinationen von zu fertigenden Bauteilen zu wählen, um Effizienzverluste zu minimieren und dadurch die OEE zu erhöhen. Dieses Prognosemodell sollte unbedingt in Abstimmung mit der Terminplanung erfolgen, damit erhöhte Bestände, aufgrund der OEE-Maximierung, vermieden werden.

## 7.2 Anwendungsspezifischer Ausblick

Im diesen Unterkapitel werden die vereinzelt Bereiche aus dem allgemeinen Ausblick für das Pilotprojekt präsentiert.

### 7.2.1 Projektierung des MES

Nach einer längeren Unterbrechung erfolgten weitere Projektierungsgespräche mit dem Hersteller des MES im Juni 2021. In diesen Projektierungsgesprächen wurde ein Zeitplan für die Umsetzung der notwendigen Maßnahmen festgelegt. Die Umsetzung der Projektierungsmaßnahmen ist für Anfang August 2021 geplant.

In den Projektierungsgesprächen wurden die Maschinenzustände abgebildet (siehe Abbildung 7.2) sowie ein priorisiertes Zustandsmodell erstellt. Das priorisierte Zustandsmodell wird benötigt, da einzelne Maschinenzustände, wie beispielsweise die Produktion, höher priorisiert werden als die Maschinenzustände Nebennutzung, org. Stillstand, etc.

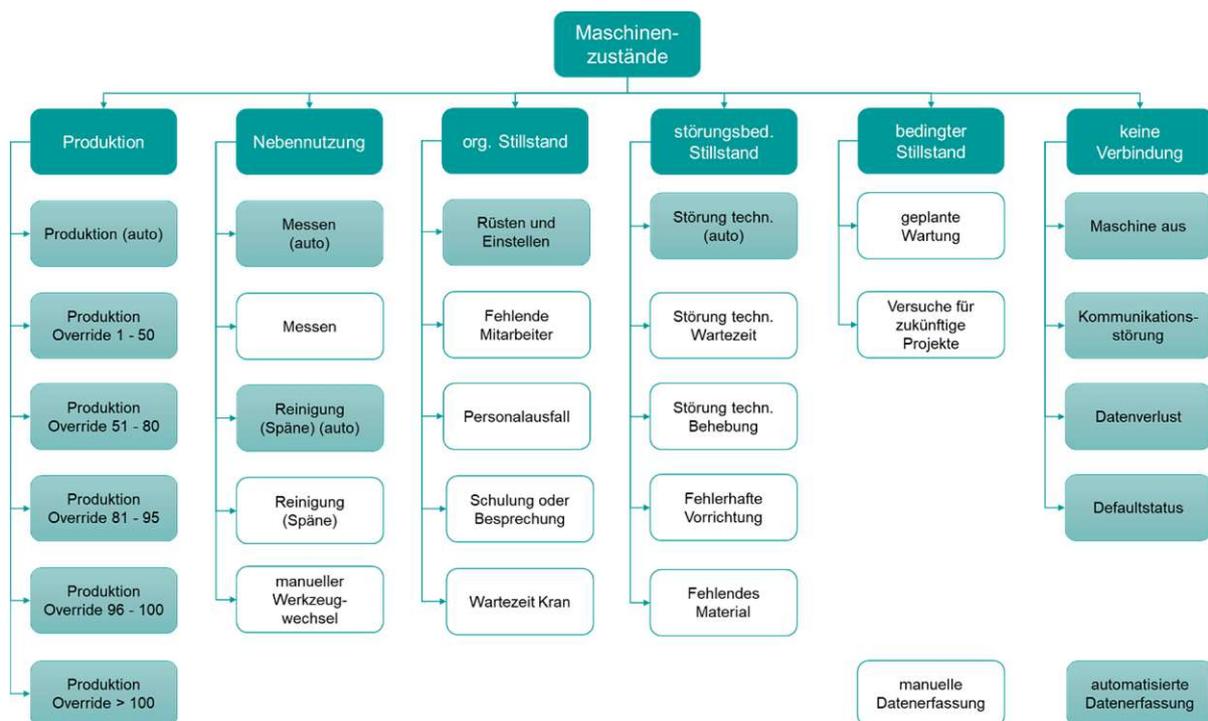


Abbildung 7.1: Zukünftige Maschinenzustände des MES

### 7.2.2 Automatisierung und Standardisierung der Berechnung

Die erste Berechnung der OEE einer Maschinenanlage für den Standort Wien Leberstraße erfolgte in dieser Diplomarbeit. Das Berechnungsmodell wurde bereits dem Werks- und Fertigungsleiter präsentiert und dient als Grundmodell für weitere Maschinenanlagen, welche in Zukunft in das Maschinennetz eingebunden werden sollen.

Für die Standardisierung wird empfohlen, dass das Berechnungsmodell sowie die Analyseverfahren automatisieren und den Mitarbeitern via Qlik Sense® oder Microsoft Sharepoint zur Verfügung gestellt werden. Dadurch kann die maximale Transparenz und Standardisierung erreicht werden.

### 7.2.3 Grundkonzept für weitere Maschinenanlagen am Standort

Das vorgestellte Grundkonzept kann nach erfolgreicher Automatisierung und Standardisierung für weitere geplanten Maschinenanlagen innerhalb des Standortes Wien Leberstraße angewandt werden.

### 7.2.4 Anwendung einer Analysesoftware am Shopfloor

Nach der Projektierung des MES wird angestrebt, dass die eingeführte und adaptierte Analysesoftware beim Meister und dem Vorarbeiter in der Fertigung in Einsatz kommen. Es wird empfohlen, dass der verantwortliche Vorarbeiter täglich die Maschinendaten retrospektiv betrachtet. Dadurch können frühzeitig Problem- und Potenzialfelder entdeckt und Gegenmaßnahmen entwickelt werden. In wöchentlichen Meetings sollte die Entwicklung der OEE mit dem Meister und dem Vorarbeiter besprochen werden. Dadurch wird gewährleistet, dass die OEE nicht vernachlässigt und die Wirksamkeit von laufenden Verbesserungsmaßnahmen kontinuierlich geprüft wird.

### 7.2.5 Entwurf einer Prognoseberechnung zur Bestimmung der zukünftigen OEE

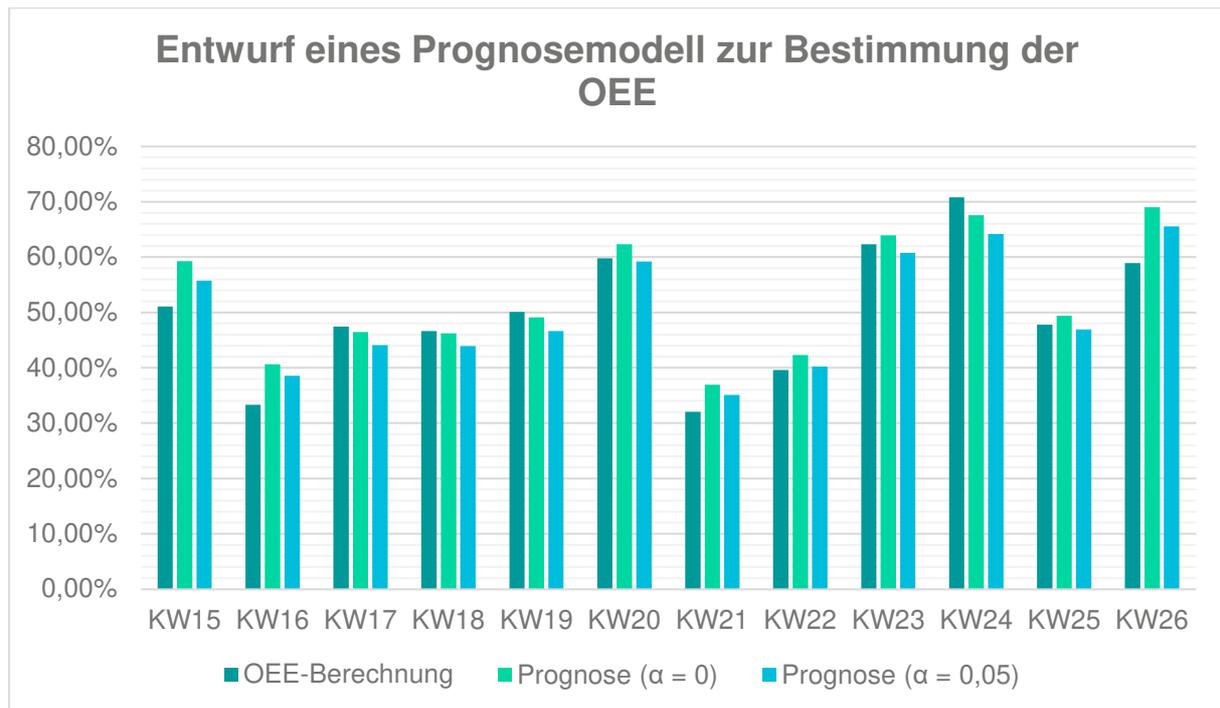
Im folgenden Teilabschnitt wird ein Entwurf eines Prognosemodelles zur Ermittlung der zukünftigen OEE auf Grundlage historischer ermittelter Daten beschrieben.

Die prognostizierte OEE  $OEE_{\text{prog}}$  berechnet sich aus der geplanten Zeit für das NC-Programm  $t_{\text{NC,gepl},i}$ , der Bruttobetriebszeit  $t_{B,i}$ , der durchschnittlichen Effektivität des NC-Programmes  $\overline{\text{Effektivität}_1}$  und dem Abschlagsfaktor  $\alpha$  wie folgt:

#### Formel 7.1: Prognostizierte OEE

$$OEE_{\text{prog}} = \sum_{n=1}^i \left( \frac{t_{\text{NC,gepl},i}}{t_{B,i}} \cdot \overline{\text{Effektivität}_1} \right) \cdot (1 - \alpha)$$

Der Abschlagfaktor  $\alpha$  dient dazu, etwaige Qualitätsverluste (Ausschuss beim Einfahren oder Qualitätsmängel), technische Störungen und Verluste durch Hantiervorgänge, die nicht in der durchschnittlichen Effektivität enthalten sind, zu berücksichtigen. In der Abbildung 7.2 wird das Prognosemodell mit und ohne Abschlagfaktor dargestellt.



**Abbildung 7.2: Entwurf eines Prognosemodell zur Bestimmung der zukünftigen OEE**

Die absolute Abweichung zwischen Prognose und OEE-Berechnung sinkt bei Verwendung eines Abschlagsfaktors  $\alpha = 0.05$  (siehe Abbildung 7.2 und Tabelle 7.1). Die Konsequenz daraus ist, dass Qualitätsverluste, technische Störungen und Verluste durch Hantiervorgänge nicht vernachlässigt werden dürfen.

Es besteht die Möglichkeit zur Anpassung der Formel durch Implementierung weiterer Parameter, wie beispielsweise dem Schichtmodell, saisonalen Effekten, etc. Mittels dieser Anpassung und der Erhöhung der Stichprobe von historischen Kennwerten, zur mittleren Effektivität von NC-Programmen, können genauere Prognoseergebnisse erzielt werden.

Tabelle 7.1: Prognoseberechnung der OEE

	OEE-Berechnung	Prognose ( $\alpha = 0$ )	Prognose ( $\alpha = 0,05$ )	abs. Abweichung ( $\alpha = 0$ )	abs. Abweichung ( $\alpha = 0,05$ )
<b>KW15</b>	51,10%	59,29%	55,73%	8,19%	4,63%
<b>KW16</b>	33,31%	40,61%	38,58%	7,31%	5,28%
<b>KW17</b>	47,44%	46,45%	44,12%	-1,00%	-3,32%
<b>KW18</b>	46,65%	46,22%	43,91%	-0,43%	-2,74%
<b>KW19</b>	50,08%	49,10%	46,64%	-0,99%	-3,44%
<b>KW20</b>	59,82%	62,31%	59,19%	2,49%	-0,62%
<b>KW21</b>	32,05%	36,97%	35,12%	4,92%	3,07%
<b>KW22</b>	39,57%	42,33%	40,21%	2,76%	0,64%
<b>KW23</b>	62,34%	63,96%	60,77%	1,62%	-1,58%
<b>KW24</b>	70,83%	67,57%	64,19%	-3,26%	-6,64%
<b>KW25</b>	47,82%	49,40%	46,93%	1,59%	-0,88%
<b>KW26</b>	58,93%	69,03%	65,58%	10,11%	6,66%
<b>Mittelwert</b>	50,00%	52,77%	50,08%		

### 7.3 Weitere Schritte zur Erhöhung der OEE

Das letzte Unterkapitel dieser Diplomarbeit befasst sich mit der Prognoseberechnung von Verbesserungsmaßnahmen zur Steigerung der OEE. Die Prognoseberechnung erfolgt auf Grundlage von Eintrittswahrscheinlichkeiten. Zu Beginn wird die Methode der Stillstands-Wahrscheinlichkeit beschrieben. Im Anschluss wird aus den ermittelten und teilweise geschätzten Eintrittswahrscheinlichkeiten das Potenzial zur Steigerung der OEE ermittelt.

Alle angeführten Verbesserungsmaßnahmen haben bereits die Freigabe und das notwendige Budget erhalten und werden in den kommenden Monaten umgesetzt.

#### Stillstands-Wahrscheinlichkeits-Analyse

Die Stillstands-Wahrscheinlichkeits-Analyse beruht auf der Annahme, dass die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Stillstandes über die gesamte Schicht nicht konstant ist. Für die Stillstands-Wahrscheinlichkeits-Analyse wird pro Zeitperiode die Wahrscheinlichkeit des Auftretens eines ungeplanten Stillstandes, der länger als 30 Minuten dauert, betrachtet. Technischen Störungen, Personalausfälle und Wartungen werden in dieser Betrachtung nicht als ungeplante Stillstände betrachtet. Die Berechnung der Wahrscheinlichkeit eines Stillstandes erfolgt durch die Division der aufgetretenen ungeplanten Stillstände durch die Gesamtanzahl der möglichen ungeplanten Stillstände.

Eine interessante Erkenntnis aus der Stillstands-Wahrscheinlichkeitsanalyse ist, dass die Schicht 1 (42,80%) im Vergleich zu der Schicht 2 (28,36%) und Schicht 3 (31,79%) die höchste durchschnittliche Wahrscheinlichkeit für einen Stillstand aufweist. Die Schicht 1 ist dafür verantwortlich, dass die mittlere Stillstands-Wahrscheinlichkeit bei ungefähr 34,32% liegt (siehe rote punktierte Linie in Abbildung 7.3).

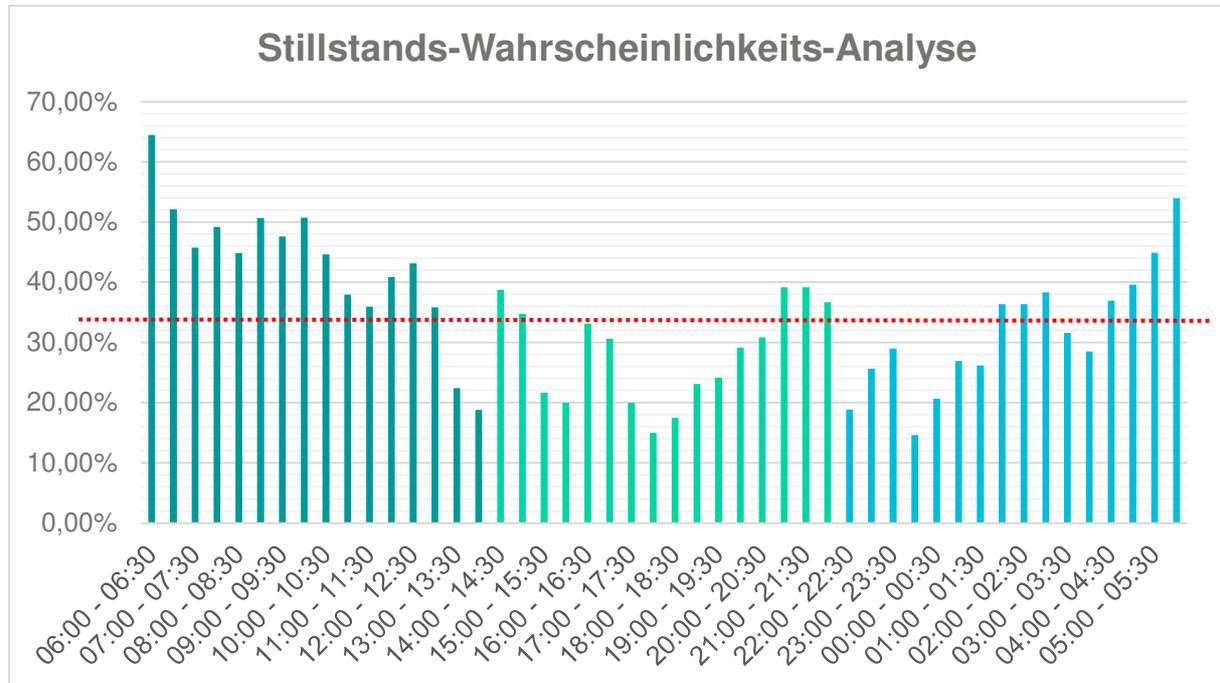


Abbildung 7.3: Stillstands-Wahrscheinlichkeits-Analyse

### Prognoseberechnung auf Grundlagen der Stillstands-Wahrscheinlichkeits-Analyse

Das Potenzial zur OEE-Erhöhung durch eine Verbesserungsmaßnahme  $i$   $OEE_{Pot,i}$  berechnet sich aus der Eintrittswahrscheinlichkeit  $P_i$ , dem Potenzial pro Schicht  $t_{ZE,pS_i}$ , der Bruttobetriebszeit pro Schicht  $t_{B,pS_i}$  und dem historischen mittleren Leistungs-  $\overline{LF}$  und Qualitätsfaktor  $\overline{QF}$  wie folgt:

**Formel 7.2: Potenzial zur OEE-Erhöhung einer Verbesserungsmaßnahme  $i$**

$$OEE_{Pot,i} = P_i \cdot \frac{t_{ZE,pS_i}}{t_{B,pS_i}} \cdot \overline{LF} \cdot \overline{QF}$$

Für den Vorrichtungs- und Werkzeughalter wird laut Aussagen der Maschinenbediener angenommen, dass in jeder dritten Schicht ein Wechsel der Vorrichtungen erfolgt. Dadurch ergibt sich eine Eintrittswahrscheinlichkeit für diese zwei Verbesserungsmaßnahmen von 33,33%.

Tabelle 7.2: Stillstands-Wahrscheinlichkeit beim Schichtwechsel

Schichtwechsel 1 – 2	13:00 - 13:30	13:30 - 14:00	14:00 - 14:30	14:30 - 15:00	Mittelwert
		22,41%	18,80%	38,75%	34,79%
Schichtwechsel 2 – 3	21:00 - 21:30	21:30 - 22:00	22:00 - 22:30	22:30 - 23:00	Mittelwert
		39,17%	36,67%	18,89%	25,65%
Schichtwechsel 3 – 1	05:00 – 05:30	05:30 - 06:00	06:00 - 06:30	06:30 - 07:00	Mittelwert
		44,91%	53,98%	64,44%	52,13%

Tabelle 7.3: Stillstands-Wahrscheinlichkeit bei Pausen in der ersten Schicht

Schicht 1 Frühstückspause	09:00 - 09:30	09:30 - 10:00	Mittelwert
		47,59%	50,74%
Schicht 1 Mittagspause	11:30 - 12:00	12:00 - 12:30	Mittelwert
		40,83%	43,15%

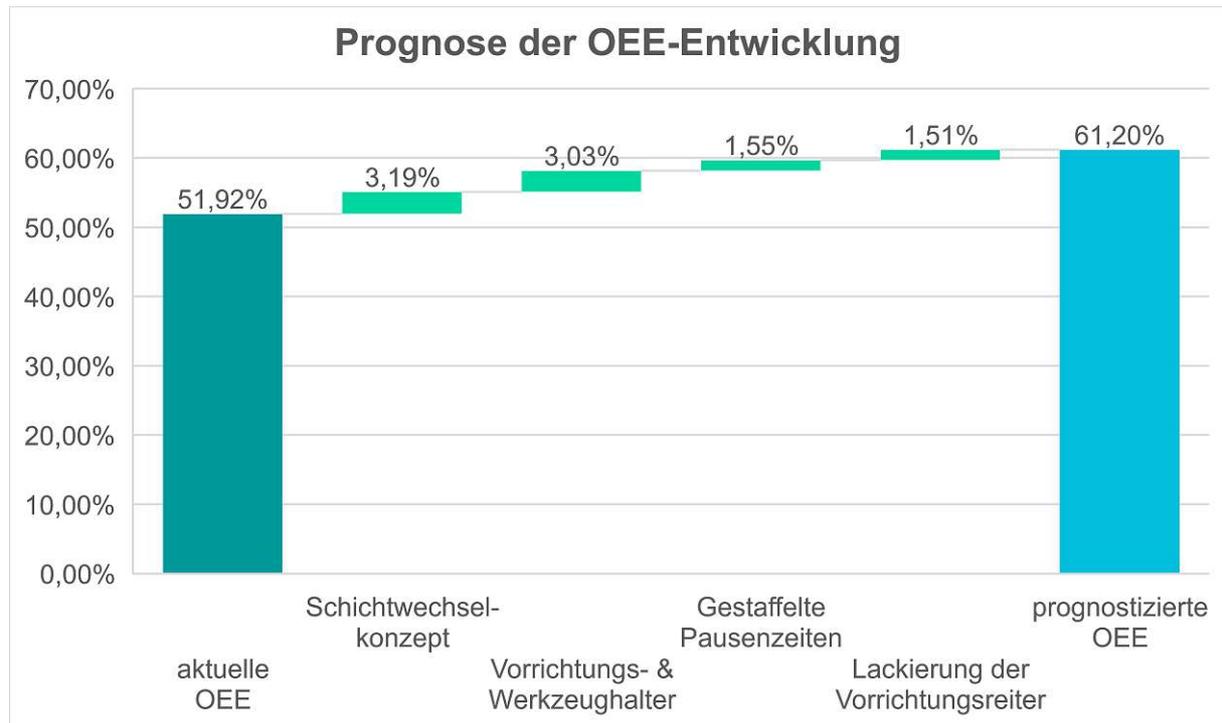
Die Eintrittswahrscheinlichkeit für das Schichtwechselkonzept wird berechnet durch die Differenz zwischen dem Mittelwert der drei mittleren Stillstands-Wahrscheinlichkeiten (siehe Tabelle 7.2) und der Ziel Stillstands-Wahrscheinlichkeit von 20%. Analog wird die Eintrittswahrscheinlichkeit von den gestaffelten Pausenzeiten berechnet (siehe Tabelle 7.3.). Die Ziel Stillstands-Wahrscheinlichkeit wird für 20% festgelegt, da die Maschine nicht durchgehend in allen Pausen bzw. Schichtwechseln in den Zustand der automatischen Fertigung versetzt werden kann.

Die Berechnung der Potenziale der Verbesserung zur OEE-Erhöhung können aus Tabelle 7.4 entnommen. Der historische mittlere Leistungsfaktor beträgt 73,37% und der Qualitätsfaktor 99,00%

Tabelle 7.4: Prognoseberechnung der OEE bei Umsetzung weiterer Verbesserungsmaßnahmen

	Schichtwechselkonzept	Vorrichtung- und Werkzeughalter	Gestaffelte Pausenzeiten	Lackierung der Vorrichtungsreiter
Eintrittswahrscheinlichkeit [%]	17,55%	33,33%	25,58%	33,33%
Potenzial pro Schicht [h]	2,00	1,00	0,67	0,50
Bruttobetriebszeit pro Schicht [h]	8,00			
Ermitteltes Potenzial [%]	4,39%	4,17%	2,13%	2,08%
Potenzial der OEE-Erhöhung [%]	3,19%	3,03%	1,55%	1,51%

In Abbildung 7.4 wird die Prognoseberechnung bei Umsetzung der Verbesserungsmaßnahmen grafisch dargestellt



**Abbildung 7.4: Prognoseberechnung von Verbesserungsmaßnahmen zur Erhöhung der OEE**



Die approbierte gedruckte Originalversion dieser Diplomarbeit ist an der TU Wien Bibliothek verfügbar  
The approved original version of this thesis is available in print at TU Wien Bibliothek.

## 8 Literaturverzeichnis

- Azizi, A.: Evaluation Improvement of Production Productivity Performance using Statistical Process Control, Overall Equipment Efficiency, and Autonomous Maintenance, in: *Procedia Manufacturing* 2 (2015), S. 186-190
- Bhade, S.; Hegde, S.: Improvement of Overall Equipment Efficiency of Machine by SMED, in: *Materials Today: Proceedings* 24, 2020, S. 463-472
- Charron, R.; Harrington, H. J.; Voehl, F.; Wiggin, H.: *The Lean Management Systems Handbook*, CRC Press, Hoboken, 2015
- Da Silva, I. B.; Godinho Filho, M.: Single-minute exchange of die (SMED): a state-of-the-art literature review, in: *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 102, 9-12 (2019), S.4289-4307
- Díaz-Reza, J. R.; García-Alcaraz, J. L.; Martínez-Loya, V.: *Impact Analysis of Total Productive Maintenance*, Springer International Publishing, Cham, 2019
- Dickmann, P.: *Schlanker Materialfluss*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2015
- Earley, J. A. A.: *The lean book of lean, A concise guide to lean management for life and business*, John Wiley & Sons, Chichester, West Sussex, UK, 2016
- Gupta, P.; Vardhan, S.: Optimizing OEE, productivity and production cost for improving sales volume in an automobile industry through TPM: a case study, in: *International Journal of Production Research* 54,10 (2016), S. 2976-2988
- Hangad W.; Kumar S.: TPM – A Key Strategy for Productivity Improvement in Medium Scale Industry, in: *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* 3, 6 (2013), S.485-492
- Hänggi, R.; Fimpel, A.; Siegenthaler, R.: *LEAN Production – einfach und umfassend*, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2021
- Hedman, R.; Subramaniyan, M.; Almström, P.: Analysis of Critical Factors for Automatic Measurement of OEE, in: *Procedia CIRP* 57 (2016), S.128-133
- Hirano, H.; Talbot, B.: *5 pillars of the visual workplace, The sourcebook for 5S implementation*, Productivity Press, New York, 1995

Huang, S. H.; Dismukes, J. P.; Shi, J.; Su, Q. I.; Razzak, M. A.; Bodhale, R.; Robinson, D. E.: Manufacturing productivity improvement using effectiveness metrics and simulation analysis, in: International Journal of Production Research 41 ,3 (2003), S.513-527

Institut für Angewandte Arbeitswissenschaft: 5S als Basis des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses, ifaa-Edition, Springer Vieweg. Berlin, Heidelberg, 2016

Jain, A.; Bhatti, R.; Singh, H.: Total productive maintenance (TPM) implementation practice, in: International Journal of Lean Six Sigma 5, 3 (2014), S.293–323

Jain, A.; Bhatti, R. S.; Singh, H.: OEE enhancement in SMEs through mobile maintenance: a TPM concept, in: International Journal of Quality & Reliability Management 32, 5 (2015), S.503-516

Kennedy, R. K.: Understanding, Measuring, and Improving Overall Equipment Effectiveness, How to Use OEE to Drive Significant Process Improvement, 1st ed., Taylor and Francis, Milton, 2017

Kiran, D. R.: Total Quality Management, Key Concepts and Case Studies, Elsevier, Amsterdam, Boston, 2017

Kletti, J.; Schumacher, J.: Die perfekte Produktion, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2014

Mobley, R.: An introduction to predictive maintenance, 2. ed., Butterworth-Heinemann, Amsterdam, 2002

Muchiri, P.; Pintelon, L.: Performance measurement using overall equipment effectiveness (OEE): literature review and practical application discussion, in: International Journal of Production Research 46,13 (2008), S.3517-3535

Nakajima, S.: Introduction to TPM, Total productive maintenance, Productivity Press, Portland, Or., 1988

Ohunakin, O.; Leramo, R.: Total Productive Maintenance Implementation in a Beverage Industry: A Case Study, in: Journal of Engineering and Applied Sciences 7, 2 (2012), S.128-133

Pötters, P.; Schmitt, R.; Leyendecker, B.: Effectivity of quality methods used on the shop floor of a serial production – how important is Poka Yoke?, in: Total Quality Management & Business Excellence 29 , 9-10 (2018), S.1200-1212

Ramgir, M.: Internet of Things, 1st edition, Pearson Education India; Safari, Boston, MA, 2019

Raouf, A.: Improving Capital Productivity through Maintenance, in: International Journal of Operations & Production Management 14 ,7 (1994), S.44–52

Sinsel, A.: Das Internet der Dinge in der Produktion, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2020

Soroush, M.; Baldea, M.; Edgar, T.: Smart manufacturing, Concepts and methods, Elsevier, Amsterdam, 2020

Woratschek, H.; Schröder, J.; Eymann, T.; Buck, M.: Wertschöpfungsorientiertes Benchmarking, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2015

Zennaro, I.; Battini, D.; Sgarbossa, F.; Persona, A.; Marchi, R.: Micro downtime, in: International Journal of Quality & Reliability Management 35 ,4 (2017), S.965-995

## 9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Aufbau und Struktur der Arbeit .....	5
Abbildung 2.1: Ursache-Wirkungs-Diagramm für ein Fertigungsunternehmen .....	15
Abbildung 2.2: Rüstzeitminimierung mit SMED-Methode .....	16
Abbildung 2.3: Das Gemba-Kaizen-Prinzip .....	17
Abbildung 2.4: Pareto-Analyse .....	18
Abbildung 2.5: Poka Yoke - Vorrichtung für Werkstückträger.....	19
Abbildung 2.6: Statistisches Konzept (links) und TQM Konzept (rechts) von Sigma	20
Abbildung 2.7: Beispiel Mehrmaschinenbedienung - IST-Taktzeit.....	21
Abbildung 2.8: Beispiel Mehrmaschinenbedienung – Taktzeitsynchronisierung.....	22
Abbildung 2.9: Mehrmaschinenbedienung bei guter Austaktung.....	22
Abbildung 2.10: Ausfallcharakteristik einer Anlage über den Lebenszyklus .....	25
Abbildung 2.11: Grundverständnis zur Overall Equipment Effectiveness.....	31
Abbildung 2.12: Die sechs Effizienzverluste („Six Big Losses“).....	34
Abbildung 2.13: Zeitenübersicht zur Berechnung der OEE-Kennzahl .....	34
Abbildung 2.14: Overall Asset Effectiveness Diagramm.....	37
Abbildung 2.15: Klassifizierung von Verlusten in der Overall Production Effectivness .....	38
Abbildung 4.1: Die Vorgehensweise des Konzepts (Teil 1) .....	58
Abbildung 4.2: Vorgehensweise des Konzepts (Teil 2) .....	59
Abbildung 4.3: First-Level Pareto Analyse (Theorie) .....	61
Abbildung 4.4: Second-Level Pareto Analyse (Theorie) .....	62
Abbildung 4.5: Effektivitätsanalyse von NC-Programmen (Theorie).....	63
Abbildung 4.6: Stillstands-Musteranalyse bei volatiler Verteilung von ungeplanten Stillständen.....	64
Abbildung 4.7: Ishikawa-Diagramm für OEE-Verluste (Theorie).....	65
Abbildung 4.8: Pendelbetrieb.....	66
Abbildung 4.9: Mehrmaschinenbedienung.....	66
Abbildung 5.1: Maschinenzustände der Plug and Play Version.....	74
Abbildung 5.2: Zeitenübersicht zur Berechnung der OEE Kennzahl .....	77
Abbildung 5.3: Entwicklung der OEE   IST-Analyse .....	80
Abbildung 5.4: Entwicklung der IST-Ausbringung   IST-Analyse .....	81
Abbildung 5.5: First-Level Pareto Analyse   IST-Analyse .....	83
Abbildung 5.6: Second-Level Pareto Analyse  IST-Analyse .....	83
Abbildung 5.7: Effektivitätsanalyse von NC-Programmen (IST-Analyse) .....	85
Abbildung 5.8: Stillstands-Musteranalyse   IST-Analyse.....	86
Abbildung 5.9: Häufigkeitsverteilung von Stillständen   IST-Analyse.....	87
Abbildung 5.10: Ishikawa-Diagramm (IST-Analyse) .....	91
Abbildung 5.11: Erweiterte Priorisierung der Verbesserungsmaßnahmen .....	101
Abbildung 5.12: CAD-Entwurf des Vorrichtungs- und Werkzeughalter.....	103

Abbildung 6.1: Entwicklung der IST-Ausbringung.....	111
Abbildung 6.2: Entwicklung der OEE.....	111
Abbildung 6.3: Stillstands-Musteranalyse des 3-Schicht-Modells.....	114
Abbildung 6.4: Stillstands-Musteranalyse des 2-Schicht-Modells.....	115
Abbildung 6.5: Vergleich der Ergebnisse der Effektivitätsanalyse von NC-Programmen .....	116
Abbildung 6.6: Effektivitätsanalyse von NC-Programmen über den gesamten Betrachtungszeitraum.....	117
Abbildung 6.7: Zusammenfassung aller offenen und priorisierten Verbesserungsmaßnahmen .....	119
Abbildung 7.1: Zukünftige Maschinenzustände des MES.....	123
Abbildung 7.2: Entwurf eines Prognosemodell zur Bestimmung der zukünftigen OEE .....	125
Abbildung 7.3: Stillstands-Wahrscheinlichkeits-Analyse.....	127
Abbildung 7.4: Prognoseberechnung von Verbesserungsmaßnahmen zur Erhöhung der OEE.....	129

## 10 Formelverzeichnis

Formel 2.1: Berechnung der Overall Equipment Effectiveness .....	31
Formel 2.2: Planbelegungszeit .....	32
Formel 2.3: Bruttobetriebszeit.....	32
Formel 2.4: Nettobetriebszeit.....	32
Formel 2.5: Verfügbarkeitsfaktor .....	32
Formel 2.6: Betriebsgeschwindigkeit .....	32
Formel 2.7: Nettobetriebsrate .....	32
Formel 2.8: Leistungsfaktor .....	32
Formel 2.9: Qualitätsfaktor .....	33
Formel 2.10: Berechnung der Production Equipment Effectiveness für eine diskrete Fertigung .....	36
Formel 2.11: Berechnung der Total Effective Equipment Performance .....	36
Formel 2.12: Berechnung der Overall Factory Effectiveness.....	36
Formel 3.1: Cost per Improvement (kurz CPI) .....	48
Formel 4.1: Empfohlene Berechnung des Qualitätsfaktors (Stückverluste).....	57
Formel 4.2: Anteilsgemäße Nacharbeit für den Qualitätsfaktor (Stückverluste) .....	57
Formel 4.3: Effektivität eines NC-Programmes.....	62
Formel 4.4: Cost per Improvement .....	69
Formel 5.1: Effektivität eines Programmes .....	75
Formel 5.2: Mittelwert einer Stichprobe .....	79
Formel 5.3: Standardabweichung einer Stichprobe .....	80
Formel 5.4: Amortisationsdauer.....	99
Formel 5.5: Ermittlung des Potenzials zur Erhöhung der OEE .....	99
Formel 7.1: Prognostizierte OEE .....	124
Formel 7.2: Potenzial zur OEE-Erhöhung einer Verbesserungsmaßnahme i.....	127

# 11 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Der Konkurrenzvorteil von Lean Production (Stand 1990).....	8
Tabelle 2.2: Entwicklung zum Total Productive Maintenance.....	27
Tabelle 3.1: Maßnahmen zur Effizienzsteigerung von Maschinen und Arbeitsplätzen .....	46
Tabelle 4.1: Empfohlene Berechnungsmethode für unterschiedliche Fertigungstypen .....	55
Tabelle 4.2: Priorisierung von Verbesserungsmaßnahmen.....	68
Tabelle 4.3: Erweiterte Priorisierung von Verbesserungsmaßnahmen.....	69
Tabelle 5.1: Ausschnitt aus der Datenerfassung von Kalenderwoche 7.....	75
Tabelle 5.2: Auswertung der Maschinenzustände einzelner NC-Programme.....	76
Tabelle 5.3: Auswertung der Maschinenzustände (exkl. Versuche).....	77
Tabelle 5.4: Berechnung der OEE für die Kalenderwoche 7.....	78
Tabelle 5.5: Statistik zum IST-Zustand der OEE.....	80
Tabelle 5.6: Statistik zur IST-Ausbringung   IST-Analyse.....	81
Tabelle 5.7: Herleitung der Mindestdauer für die Stillstands-Musteranalyse.....	85
Tabelle 5.8: Zusammenfassung aktuellen Problem- und Potenzialfelder.....	92
Tabelle 5.9: Zusammenfassung der Problemfelder und der Verbesserungsmaßnahmen.....	97
Tabelle 5.10: Zusammenfassung der priorisierten Verbesserungsmaßnahmen.....	98
Tabelle 5.11: Ermittlung der Erhöhung der OEE von einzelnen Verbesserungsmaßnahmen.....	100
Tabelle 5.12: Zusammenfassung der Kosten-Nutzen-Analyse einzelner Verbesserungsmaßnahmen.....	100
Tabelle 6.1: Empfohlene technische und organisatorische Maßnahmen zur Steigerung der OEE.....	109
Tabelle 7.1: Prognoseberechnung der OEE.....	126
Tabelle 7.2: Stillstands-Wahrscheinlichkeit beim Schichtwechsel.....	128
Tabelle 7.3: Stillstands-Wahrscheinlichkeit bei Pausen in der ersten Schicht.....	128
Tabelle 7.4: Prognoseberechnung der OEE bei Umsetzung weiterer Verbesserungsmaßnahmen.....	128

## 12 Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
CAM	Computer-aided manufacturing
CPI	cost per improvement
d	Tage
etc.	Stunde
FSW	Friction Stir Welding
h	Stunde
IoT	Internet of Things
KMU	kleine und mittlere Unternehmen
MES	Manufacturing Execution Systems
min	Minute
MTTF	Mean Time To Failure
OAE	Overall Asset Effectiveness
OEE	Overall Equipment Effectiveness
OFE	Overall Factory Effectiveness
OPE	Overall Process Effectiveness
PEE	Production Equipment Effectiveness
SMED	Single Minute Exchange of Die
Stk	Stück
TEEP	Total Effective Equipment Performance
TPM	Total Productive Maintenance
TPS	Toyota Production System
y	Jahre
z.B.	zum Beispiel