



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

Diplomarbeit

Leitfaden zur Untersuchung von Auswirkungen der Gestaltung eines Arbeitsplatzes mittels ereignisorientierter Simulation

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sebastian Schlund

(E330 Institute of Management Science,
Bereich: Human Centered Cyber Physical Production and Assembly Systems)

Dipl.-Ing. David Kostolani

(E330 Institute of Management Science,
Bereich: Human Centered Cyber Physical Production and Assembly Systems)

eingereicht an der TU Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

von

Johannes Patsch, BSc

01527002 (066 482)



Wien, im Jänner 2022

Johannes Patsch



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN
Vienna University of Technology

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

Diplomarbeit

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

Ich erkläre hiermit 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 Jänner 2022

Johannes Patsch

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei all jenen bedanken, die mir beim Verfassen dieser Arbeit durch ihre fachliche und persönliche Unterstützung geholfen haben.

Besonderer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. David Kostolani, ohne dessen Hilfe und Bemühungen diese Arbeit nicht zustande gekommen wäre. Ich möchte mich für die gute Zusammenarbeit und die hilfreichen Anregungen bei der Erstellung dieser Arbeit bedanken.

Weiters möchte ich mich bei Herr Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Ing. Sebastian Schlund für die Leitung meiner Arbeit bedanken. Ich möchte mich herzlich für die Kontaktherstellung zu BRP Rotax zu Beginn und die konstruktive Kritik bei der Erstellung der Arbeit bedanken.

Ich will mich auch bei der Firma BRP Rotax für die Unterstützung bei der Umsetzung der Diplomarbeit und die Zurverfügungstellung der notwendigen Ressourcen bedanken.

Abschließend möchte ich mich für die Unterstützung meiner Familie und meiner Freundin Elena bedanken. Sie haben mir auch in den stressigsten Zeiten Rückhalt und Zuversicht gegeben.

Kurzfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, inwiefern die ereignisorientierte Simulation für die Bewertung der Gestaltung eines Arbeitsplatzes genutzt werden kann. Produzierende Unternehmen stehen durch immer kürzer werdende Lieferzeiten, steigende Variantenvielfalt und zunehmend turbulente Umfeldbedingungen vor großen Herausforderungen. Um trotz dieser anspruchsvollen Weiterentwicklungen weiterhin in hoher Qualität produzieren zu können ist eine ständige Verbesserung notwendig. In dieser Arbeit werden daher zunächst die aus den Herausforderungen entstandenen technologischen Lösungskonzepte vorgestellt. Besonderer Fokus liegt dabei auf den Möglichkeiten, die Vernetzung und Automatisierung bieten. Zusätzlich werden die Prinzipien des Lean Managements und verschiedene Assistenzsysteme vorgestellt.

Unternehmen stehen vor einer breiten, fast überwältigenden Palette an Lösungen. Doch welche Lösung bringt welches Ergebnis? Und welche ist für den konkreten Fall am besten geeignet? Um diese Frage möglichst früh und präzise zu beantworten wurde ein Leitfaden zur Bewertung konkreter Gestaltungsmaßnahmen am Arbeitsplatz mithilfe einer ereignisorientierten Simulation erstellt. Dabei unterscheidet man zwischen technischen, organisatorischen und menschlichen Arbeitseinflüssen. Je nach Art ist ein weiteres Werkzeug zur Quantifizierung der unmittelbaren Auswirkungen notwendig. Die ereignisorientierte Simulation ermöglicht in weiterer Folge die Ermittlung der Auswirkungen des Gesamtprozesses. Somit lässt sich bereits im Vorhinein eine qualitative Empfehlung abgeben.

Der erstellte Leitfaden wird in weiterer Folge an einem tatsächlichen Fallbeispiel innerhalb des Unternehmens BRP Rotax angewendet. Aufgrund eines identifizierten Engpasses wird dort eine zusätzliche Schleifmaschine angeschafft. Im Zuge der Anschaffung soll der Arbeitsplatz an der Schleifmaschine neugestaltet werden. Um die Auswirkungen geplanter Maßnahmen bereits im Vorhinein zu berechnen, werden diese mithilfe von Werkzeugen des Industrial Engineerings quantifiziert und anschließend mithilfe der Simulation ermittelt. Es zeigt sich, dass sich die Auswirkungen technischer sowie organisatorischer Einflüsse deutlich einfacher ermitteln lassen als die Auswirkungen menschlicher Einflüsse.

Abstract

This thesis deals with the question how the discrete-event simulation can be used to evaluate the design of a workplace. Manufacturing companies are facing great challenges due to the call for shorter delivery times, increasing product diversity and turbulent environmental conditions. In order to continue producing in high quality despite the never-ending need for adaptation, constant improvement is necessary. This thesis therefore first presents the technological solution concepts that have emerged from these challenges. Focus is placed on the possibilities offered by networking and automation. In addition, the principles of lean management and various assistance systems are presented.

Consequently, companies are faced with huge, nearly overwhelming number of solutions. But which solution brings which result? And which suits best for the specific case? To answer these questions as early and precisely as possible, a guideline for the evaluation of concrete design measures at the workplace was created with the help of a discrete-event simulation. Work influences are thereby divided into technical, organizational, and human work influences. Depending on the type, another tool is needed to quantify the immediate effects. The discrete-event simulation makes it possible to determine the effects of the overall process. Thus, a qualitative recommendation can be made in advance.

The created suffering guideline is subsequently applied on a real case in the company BRP Rotax. Due to an identified bottleneck, an additional grinding machine is purchased. During the acquisition, the workplace at the grinding machine has to be redesigned. To calculate the effects of planned measures in advance, they are quantified with the help of industrial engineering tools and then determined with the help of simulation. It turns out that the effects of technical and organizational influences can be determined much more easily than the effects of human influences.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Motivation	1
1.2	Problemstellung und Forschungsfragen.....	3
1.3	Aufbau der Arbeit	4
2	Theoretische Grundlagen der Arbeitsplatzgestaltung	7
2.1	Grundlagen der CPPS.....	7
2.2	Vernetzung in der Produktion	10
2.3	Fertigungsautomatisierung	11
2.4	CAD-CAM-NC Prozesskette	14
2.5	Arbeit 4.0	15
2.6	Lean Production	16
2.6.1	Wertstromdesign.....	17
2.6.2	Visualisierung	18
2.6.3	Poka-Yoke	19
2.6.4	5S	19
2.7	Ergonomie	20
2.7.1	Grundlagen der Ergonomie	20
2.7.2	Anthropometrische Arbeitsplatzgestaltung	22
2.8	Informationsbereitstellung	23
2.9	Assistenzsysteme in der Produktion	25
3	Simulation von Produktionsprozessen	30
3.1	Ereignisorientierte Simulation.....	32
3.2	State-of-the-Art.....	36
3.2.1	Relevante Publikationen	36
3.2.2	Fazit der State-of-the-Art-Recherche.....	40
4	Leitfaden zur Untersuchung der Umgestaltung eines Arbeitsplatzes	41
4.1	Bewertung unterschiedlicher Arbeitseinflüsse.....	41
4.2	Aufbau des Leitfadens.....	42
4.2.1	Aufnahme Ist-Zustand	43
4.2.2	Gesamter Wertstrom	43

4.2.3	Aufnahme des betrachteten Arbeitsplatzes	45
4.2.4	Verbesserungspotentiale identifizieren	46
4.2.5	Ideenmanagement.....	48
4.2.6	Ermittlung quantitativer Auswirkungen der Arbeitseinflüsse	52
4.2.7	Kennzahlen für die Prozessperformance-Messung.....	55
4.2.8	Simulation des verbesserten Gesamtprozesses	57
5	Umsetzung bei BRP Rotax	58
5.1	Aufnahme des Ist-Zustands	58
5.2	Erstellung des Simulationsmodells.....	62
5.3	Identifikation von Verbesserungspotentialen.....	65
5.4	Ideenmanagement	67
5.4.1	Ideensammlung	67
5.4.2	Auswahl von Ideen	69
5.4.3	Umsetzung der Ideen	72
5.5	Ermittlung quantitativer Auswirkungen	75
6	Auswertung / Resultate	79
7	Diskussion und Ausblick	84
7.1	Beantwortung der Forschungsfragen	84
7.2	Ausblick	87
8	Literaturverzeichnis	89
9	Abbildungsverzeichnis	96
10	Anhang.....	98

1 Einleitung

1.1 Motivation

Produzierende Unternehmen sind seit Jahren mit vielfältigen Herausforderungen konfrontiert. Wegen des Rufes nach immer kürzeren Lieferzeiten und größerer Produktvielfalt ist die Komplexität in den letzten Jahren stark gestiegen. Aufgrund einer ebenso steigenden Zahl an Mitbewerbern sind produzierende Unternehmen gezwungen, trotz höherer Anforderungen in gleichbleibend hoher Qualität zu produzieren. Die steigende Komplexität und Varianz der Produkte führen zu wachsenden Anforderungen an die Mitarbeiter:innen. Auch bei der Firma BRP-Rotax wird ein vielfältiges Kurbelwellen-Portfolio auf den gleichen Maschinen bearbeitet. Daher benötigen die Maschinenbediener:innen jeweils produktspezifische Informationen. Derzeit erfolgt die Informationsbereitstellung über ausgedruckte Datenblätter. Daraus resultiert einerseits ein großer Platzbedarf, andererseits ein unübersichtlicher Arbeitsplatz [1][2].

BRP-Rotax ist spezialisiert auf die Entwicklung und Produktion innovativer Antriebssysteme für Produkte im Powersportbereich. In der Produktionsstätte in Gunskirchen, Oberösterreich, werden in einem 14-stufigen Fertigungsablauf auf 62 Einzelmaschinen Kurbelwellen für den konzerninternen Bedarf hergestellt.

Die Fertigung der Kurbelwellen erfolgt durch automatisierte, mithilfe von Portalladern beladenen Bearbeitungsmaschinen. Um den Arbeitsschritt „Hub-/Haupt-/ Passlagerschleifen“, welcher aktuell mit 7 Werkzeugmaschinen der Firma Junker ausgeführt wird, bildet sich momentan ein Engpass. Für eine Kapazitätssteigerung der Kurbelwellenfertigungslinie wird daher eine zusätzliche Schleifmaschine der Firma Junker angeschafft. Im Zuge des Ankaufs der Schleifmaschine soll ein neuer, innovativer Arbeitsplatz entwickelt und gestaltet werden.

Durch die wachsende internationale Konkurrenz der letzten Jahre, kam es zu einer stark schwankenden Nachfrage bei gleichzeitig hoher Varianz der Produkte. Um bei gleichbleibend hoher Qualität kosteneffizient zu produzieren, sind produzierende Unternehmen auf technologische Neuerungen angewiesen. Aktuelle Entwicklungen forcieren die Verschmelzung von realer und digitaler Welt, um den Zugriff auf physische Objekte ortsunabhängig zu ermöglichen. In diesem Zusammenhang wird auch von der vierten industriellen Revolution gesprochen, der sogenannten „Industrie 4.0“ [3][4].

Die Verknüpfung der virtuellen Datenebene mit der realen Fabrikabläufen fördert die Automatisierung der Produktion. Bestehende Betriebsmittel werden über Sensoren

und Schnittstellen miteinander verknüpft. Die Kommunikation zwischen den Maschinen wird erleichtert und in weiterer Folge wird eine flexible Produktion ermöglicht. Eine flexiblere Produktion hilft auch bei kleineren Stückzahlen zeiteffizient zu produzieren. In dieser Arbeit werden die Auswirkungen der Vernetzung an einer Neugestaltung einer Schleifmaschine diskutiert [4][5].

In der Zukunft wird es aber keine menschenleeren Fabriken geben. Die Studie „*Made in Austria: Produktionsarbeit in Österreich 2021*“ [6] hat Unternehmensvertreter:innen aus produzierenden österreichischen Unternehmen unter anderem dazu befragt. Fast 98% der Befragten gaben an, dass menschliche Arbeit nach wie vor von Bedeutung ist – Automatisierung alleine ist also keine Lösung für die immer weiter steigende Flexibilität [7].

Bei der Gestaltung des neuen Arbeitsplatzes steht die Verbesserung der Arbeitsbedingungen für die Mitarbeiter:innen im Vordergrund. Daher ist es notwendig, die Bedürfnisse der Mitarbeiter:innen aufzunehmen und anschließend auf diese einzugehen. Ergonomische, sowie sicherheitstechnische Standards müssen erfüllt und, sofern möglich, weiter verbessert werden. Ziel eines ergonomischen Arbeitsplatzes ist es, optimale Arbeitsbedingungen zu schaffen, um die Gesundheit der Arbeitnehmer:innen zu fördern. Gesunde und motivierte Mitarbeiter:innen wirken sich in weiterer Folge auf die Produktivität eines Unternehmens aus [8].

Eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen kann auch durch die Anwendung innovativer Assistenzsystemen, sowie einer Vernetzung und Automatisierung der zu bedienenden Maschine erfolgen. Assistenzsysteme können einerseits bei der Ausführung manueller Montagetätigkeiten unterstützen, andererseits können sie die Belastung der Mitarbeiter:innen reduzieren. Durch die zunehmende Digitalisierung der letzten Jahre ergeben sich neue Möglichkeiten für Neu- und Umgestaltung von Arbeitsplätzen in der Produktion. Es wird erwartet, dass Mensch und Maschine enger zusammenarbeiten als je zuvor. Um diese Zusammenarbeit zu ermöglichen, ist es notwendig, sich bereits bei der Arbeitsplatzgestaltung Gedanken über mögliche Schnittstellen zwischen Menschen und Maschine zu machen. Es wird daher diskutiert, inwiefern ein Arbeitsplatz gestaltet werden sollte, um eine Zusammenarbeit zu ermöglichen [9][10].

Die zunehmenden technischen Möglichkeiten der Vernetzung von Objekten bieten neue Chancen im Bereich der Produktionsplanung und -steuerung. Bedingt durch die Zunahme an vernetzbaren Objekten wird immer öfter vom Internet of Everything (IoX) anstatt des Internet of Things (IoT) gesprochen. Die Grundlage für die Vernetzung bietet die Modellbildung von Maschinen, ganzen Arbeitsabläufen, oder anderen Objekten. Das Modell erlaubt eine Betrachtung des dargestellten Objektes, aber auch die Berechnung verschiedener Parameter. Cyber-physische Systeme beschreiben die Integration von softwaretechnischen Komponenten in physische Objekte. Sie

ermöglichen die Verarbeitung der gewonnenen Informationen sowie Berechnung im Modell. Außerdem erlauben sie eine Steuerung der Systeme auf Basis der Berechnungen. Essenziell ist die Echtzeit-Überschneidung der beiden Komponenten – sie stehen in permanenter Interaktion [11][12].

Unternehmen stehen daher folglich vor einem sehr breiten Lösungsangebot. Doch welche Lösung bringt das beste Ergebnis? Um diese Frage möglichst früh und präzise zu beantworten, wird ein Leitfaden zur Bewertung konkreter Gestaltungsmaßnahmen erstellt. Dabei wird die ereignisorientierte Simulation zur Bewertung angewendet. Diese Methode eignet sich, um bereits in der Planungsphase Auswirkungen von Änderungen am Arbeitsplatz auf den gesamten Produktionsprozess bewerten zu können.

1.2 Problemstellung und Forschungsfragen

Wie oben beschrieben, sind die kann die Neugestaltung eines Arbeitsplatzes unterschiedlich ausgeführt werden. Unternehmen, die eine Neugestaltung forcieren, treffen auf ein breite Palette an Arten der Verbesserung. Neben den Möglichkeiten einer kostenintensiven ganzheitlichen Vernetzung der Produktion existiert eine Vielzahl an Angeboten zur gezielten Verbesserung direkt am Arbeitsplatz. Es stellt sich nun die Frage, welche Innovation in einem speziellen Fall den größten Nutzen bringt. Jedes Unternehmen sowie jeder Arbeitsplatz müssen hier individuell betrachtet werden. Um einerseits strukturiert vorzugehen, andererseits auf die Bedürfnisse eines Unternehmens einzugehen, ist ein umfassendes Konzept im Vorhinein erforderlich.

Diese Arbeit bietet einen Leitfaden zur Konzepterstellung eines neuen Arbeitsplatzes. Ziel ist zunächst, eine ganzheitliche Betrachtung des Ist-Zustandes zu ermöglichen. Mithilfe einer Literaturrecherche zu Beginn wird ein fachlicher Überblick über das Themengebiet gegeben. Anschließend werden relevante Kriterien zur Bewertung des Ist-Zustandes definiert. Dabei wird einerseits beleuchtet, welche Aspekte Einfluss auf die Arbeitsplatzgestaltung haben. Andererseits werden Kriterien zu deren Bewertung definiert. Es lassen sich dadurch folgende Forschungsfragen ableiten:

- *Welche Einflüsse sind bei der Arbeitsplatzgestaltung zu berücksichtigen?*
- *Wie lassen sich quantitative Auswirkungen von verschiedenen Arbeitseinflüssen ableiten?*

Der Ist-Zustand wird anschließend auf Basis der Kriterien bewertet. Die Bewertung stellt die Grundlage für das Ableiten konkreter Maßnahmen dar. Um die qualitativen Effekte geplanter Maßnahmen bereits im Vorhinein bewerten zu können, wird eine Simulation erstellt. Die dafür verwendete Methode ist hier die ereignisorientierte Simulation. Sie dient dazu, Auswirkungen für den gesamten Produktionsprozess

aufzuzeigen und zu evaluieren. Es lässt sich daher die folgende Forschungsfrage definieren:

- *Wie lassen sich konkrete Maßnahmen der Arbeitsplatzgestaltung mithilfe einer ereignisorientierten Simulation bewerten?*

Die Ergebnisse der Simulation liefern anschließend eine Grundlage hinsichtlich des Nutzens einer geplanten Maßnahme.

1.3 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau der Arbeit wird in der folgenden Abbildung nähergebracht.

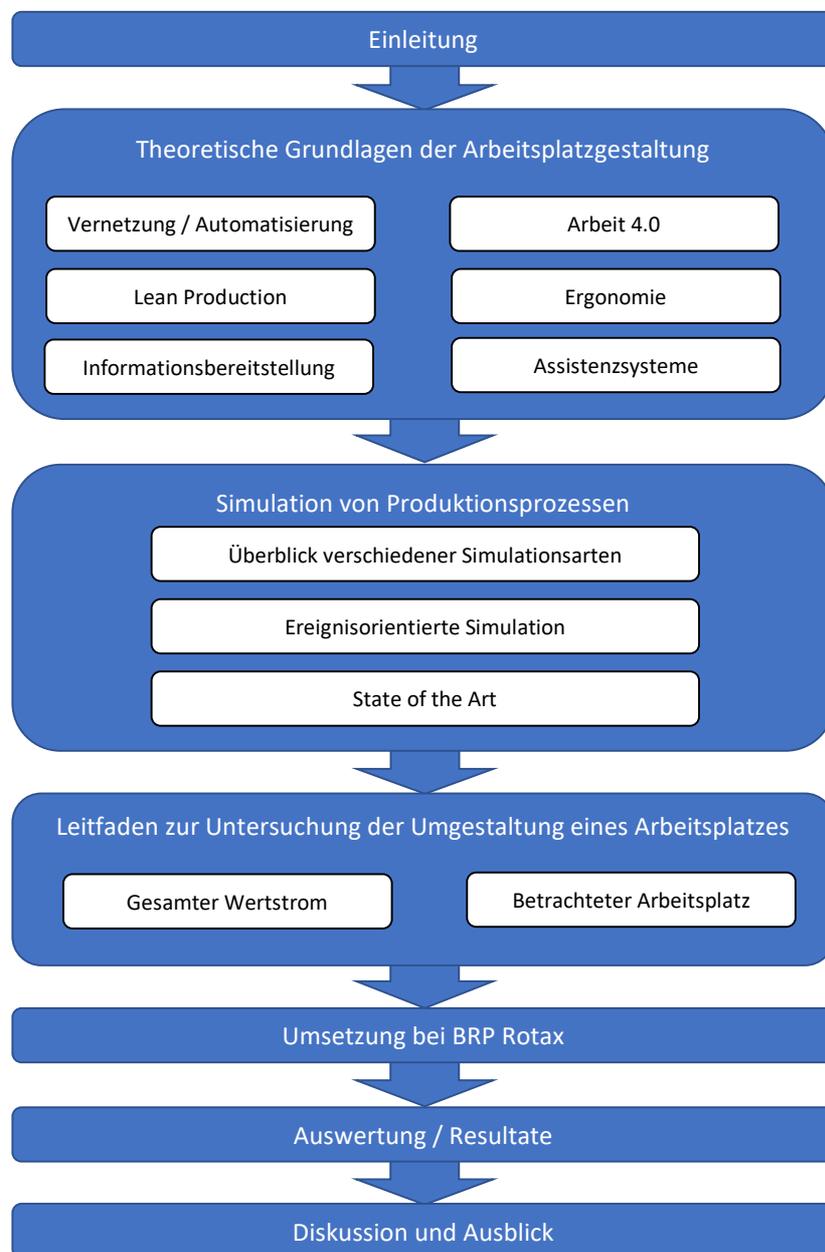


Abbildung 1: Aufbau der Arbeit

Einleitung

In diesem Kapitel wird ein grober Überblick über die Arbeit gegeben. Neben einem fachlichen Einstieg werden die Ausgangssituation sowie die Motivation für die Erstellung der Arbeit geliefert. In weiterer Folge werden außerdem die Forschungsfragen sowie der Aufbau der Arbeit erläutert.

Theoretische Grundlagen der Arbeitsopplatzgestaltung

Dieses Kapitel geht von der Problemstellung aus und gibt einen fachlichen Überblick über das Themengebiet. Es hat den Zweck, sich mit dem Thema, sowie dem aktuellen Wissenstand vertraut zu machen. Eine umfangreiche Literaturrecherche ist die Grundlage dieser Arbeit und ermöglicht das Verständnis des später folgenden Praxisteils. Man widmet sich jedoch auch nach ähnlichen Problemen, sowie deren Lösungen. Als Quellen dienen Artikel aus Fachjournalen und -zeitschriften, Lehrbücher sowie Monografien. In weiterer Folge werden auch Zeitschriftenartikel sowie Lexika, Enzyklopädien und Dissertationen herangezogen. Die Inhalte des Kapitels wurden in Abstimmung mit dem später erstellten Leitfadens sowie der Praxisanwendungen gewählt.

Simulation von Produktionsprozessen

In diesem Kapitel wird zunächst ein Überblick über den Einsatz von Simulation in Produktionsprozessen gegeben. Da in der realen Umgebung die Planung einzelner Prozessschritte mit erheblichem Aufwand verbunden ist, helfen Simulationen Unternehmen, Ressourcen zu sparen. Sie ermöglichen eine Planung und Analyse des Herstellungsprozesses in einer virtuellen Umgebung. In weiterer Folge wird genauer auf die ereignisorientierte Simulation und deren Funktionsweise eingegangen. Im abschließenden State-of-the Art Teil werden verschiedene Einsatzmöglichkeiten der ereignisorientierten Simulation gezeigt.

Leitfaden zur Untersuchung der Umgestaltung eines Arbeitsplatzes

In diesem Kapitel wird ein Leitfaden zur Konzepterstellung einer Neugestaltung eines Arbeitsplatzes erstellt. Dieser gliedert sich in eine Aufnahme und Analyse des Ist-Zustandes sowie in ein anschließendes Ableiten von Maßnahmen und eine Lösungsfindung. Dabei wird eine diskrete ereignisorientierte Simulation verwendet, um Auswirkungen von Veränderungen auf die gesamte Linie zu betrachten und diese bereits im Vorhinein zu analysieren. Der Leitfaden gibt einen Überblick, welche Schritte durchlaufen werden müssen und welche Werkzeuge in welchem Schritt eingesetzt werden.

Umsetzung bei BRP-Rotax

Zunächst wird eine möglichst genaue Beschreibung der Ist-Situation durchgeführt. Die Beschreibung der Ist-Situation hilft einerseits, den Prozess zu verstehen, andererseits bietet sie einen Referenzstand für einen späteren Vergleich. Im Zuge der Darstellung der Ist-Situation wird auch die vorliegende Problematik beschrieben. Dafür werden zunächst die Anforderungen verschiedener Mitarbeiter:innengruppen erhoben. Diese Erhebung findet mithilfe von Expert:inneninterviews und Fragebögen statt. Auf Basis der erhobenen Anforderungen werden anschließend Maßnahmen abgeleitet und geordnet. Anschließend werden die abgeleiteten Maßnahmen in ein Konzept zur Gestaltung eines neuen Arbeitsplatzes zusammengefasst.

Auswertung/Resultate

In diesem Kapitel sollen zunächst die Auswirkungen verschiedener Arbeitseinflüsse bewertet werden. Mithilfe einer Simulation werden anschließend die Auswirkungen der Maßnahmen auf den Arbeitsplatz sowie die gesamte Linie gezeigt. Anschließend werden die Vorteile eines Arbeitsplatzes der Zukunft gezeigt.

Diskussion und Ausblick

Im abschließenden Kapitel wird zunächst die Anwendbarkeit des Leitfadens anhand des Praxisbeispiels analysiert. Anschließend werden weitere Trends und Richtungen der Arbeitsplatzgestaltung besprochen. Es wird diskutiert, wie ein Arbeitsplatz der Zukunft aussehen könnte. Wo ist eine Veränderung schon im Gange? Wo werden sich Arbeitsplätze am stärksten verändern? Abschließend soll die Anwendbarkeit der (ereignisorientierten) Simulation zur Arbeitsplatzgestaltung bewertet werden.

Der inhaltliche Fokus der Arbeit liegt einerseits auf den Möglichkeiten der **Arbeitsplatzgestaltung**. Es werden die Vorteile innovativer Lösungen aufgezeigt. Andererseits wird die Analyse und **Bewertung** der Gestaltung des Arbeitsplatzes **mithilfe der ereignisorientierten Simulation** fokussiert.

2 Theoretische Grundlagen der Arbeitsplatzgestaltung

Dieses Kapitel gibt einen fachlichen Überblick über aktuelle Trends der Arbeitsplatzgestaltung. Es werden die verschiedenen Aspekte derselben nähergebracht und diskutiert. Die Arbeitseinflüsse wurden unter Rücksichtnahme auf die spätere Leitfadens- und Konzeptgestaltung gewählt.

2.1 Grundlagen der CPPS

Die in Kapitel 1 beschriebenen Rahmenbedingungen bringen produzierende Unternehmen dazu, vermehrt auf technologische Neuerungen zu setzen. Systeme werden über Schnittstellen miteinander verbunden, um eine selbstorganisierte Produktion zu ermöglichen. Cyber-physische Objekte sind jederzeit in der Lage, Daten und Informationen aus dem Internet zu beziehen bzw. an das Internet zu übermitteln. Auf Basis dieser Vernetzung und durch die ständige selbstoptimierende Automatisierung findet eine Steigerung der Flexibilität, sowie der Effizienz in der Produktion statt [3][13].

Die Automatisierungspyramide klassifiziert die verschiedenen IT-Ebenen der industriellen Fertigung. Die unterste Ebene – die Feldebene – fungiert als Schnittstelle zwischen Produktionsprozess und Steuerungsebene. Auf dieser wird der Produktionsprozess geregelt. Auf höchster Ebene – der Unternehmensleitebene – findet die grobe Produktionsplanung sowie die Bestellabwicklung statt. Aktuell wird die Automatisierungspyramide vermehrt diskutiert und weiterentwickelt. Durch die einfache Verfügbarkeit von Daten wird sie in ihrer klassischen Form aufgelöst und die Kommunikationswege werden drastisch verkürzt. Die folgende Abbildung zeigt die zunehmende Vernetzung der Systeme untereinander. Verglichen mit der aktuellen Situation tritt die Orientierung an der Produktion stark in den Vordergrund [4][5].

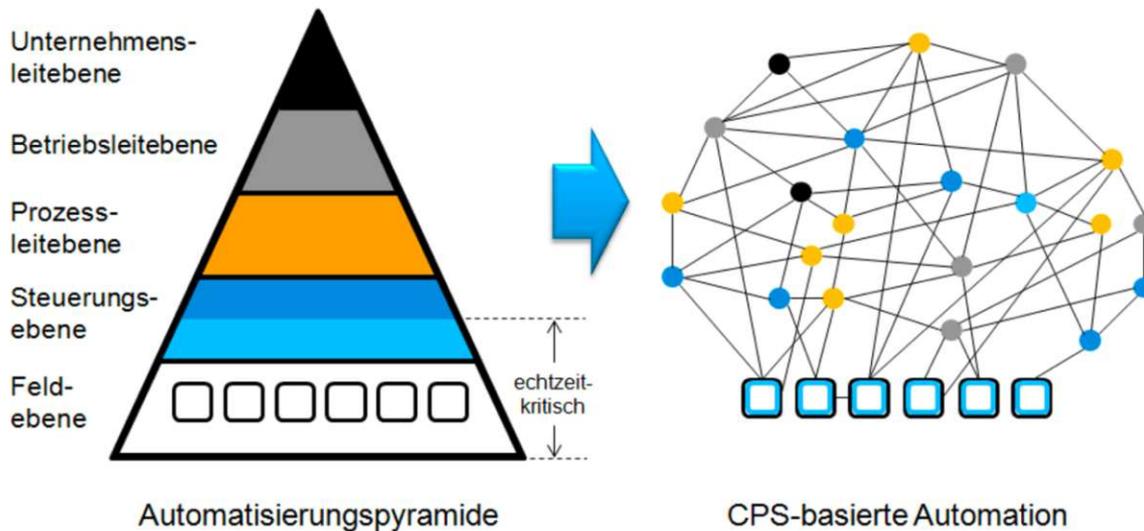


Abbildung 2: Auflösung der Automatisierungspyramide [14]

Voraussetzung für eine dezentrale Vernetzung ist die dauerhafte Verfügbarkeit einer stabilen Internetverbindung. Verknüpfte Objekte können selbstständig über das bestehende Netz miteinander kommunizieren und so Aufgaben bewältigen, die früher der Mensch erledigen musste – reale und virtuelle Welt werden miteinander verknüpft. In diesem Zusammenhang wird auch vom Internet der Dinge oder IoT (Internet of Things) gesprochen [7].

Das Internet der Dinge oder Internet of Things (IoT) stellt die Implementierung des Internets in die reale Welt dar. Analoge Objekte werden mithilfe moderner Informationstechnik zu „smarten“ Objekten. Sie können miteinander kommunizieren, aufeinander reagieren, oder über Sensoren ihre Umgebung wahrnehmen. Durch die Steigerung der Flexibilität digitaler Objekte wird ein Mehrwert geschaffen. Ein weiterer Mehrwert ist die Möglichkeit, ans Internet angebundene Objekte aus der Ferne bedienen, steuern und gegebenenfalls auch reparieren zu können. Auch Kennzahlen zur Produktivität lassen sich automatisiert ableiten und aus der Ferne betrachten und analysieren. Unternehmen können so verschiedene Produktionsstätten analysieren und vergleichen. Qualitative Entscheidungen können auf Basis dieser Vergleiche getroffen werden [15].

Auch in der Industrie kommunizieren Objekte miteinander – man spricht auch vom Industrial Internet of Things (IIoT). Das IIoT zielt darauf ab, industrielle Anlagen wie Motoren, Stromnetze und Sensoren über ein Netzwerk mit der Cloud zu verbinden. Die verbundenen Systeme können Informationen überwachen, analysieren und sofort reagieren, sollte etwas nicht wie geplant ablaufen [16].

Cyber-physische Systeme (CPS) sind mittlerweile in unserem täglichen Leben angekommen. Von intelligenten Thermostaten im Eigenheim über Ampeln, die sich an den Verkehrsfluss anpassen bis hin zur vernetzten Smartwatch, die permanent

Informationen sammelt und verarbeitet. All diese Systeme stellen eine Verbindung zwischen der realen und der digitalen Welt dar. Sie symbolisieren den symbiotischen Ansatz einer digitalen Vernetzung aller beteiligten Objekte. Physikalische Größen, wie die Temperatur, das Verkehrsaufkommen oder Bewegungen werden mithilfe geeigneter Sensoren aufgenommen und in digitale Informationen umgewandelt. In Echtzeit werden Berechnungen oder Simulationen durchgeführt – man spricht in diesem Zusammenhang auch oft von einer Modellierung oder einem digitalen Zwilling. Auf Basis der Simulationsergebnisse werden Handlungen abgeleitet und elektrische Signale ausgegeben. Mithilfe von Aktoren, werden anschließend elektrische Signale in mechanische Größen umgewandelt und übermittelt. CPS sind sowohl lokal als auch global digital untereinander verbunden und können auf weltweit verfügbare Daten zugreifen. Die verschiedenen Eigenschaften eines cyber-physischen Systems, die in Abbildung 2 zusammengefasst sind, helfen CPS, Aufgaben selbständig zu lösen und sich neuen Randbedingungen anpassen zu können [13][17][18].



Abbildung 3: Cyber-physisches System [19]

Auch in der modernen Produktion sind Cyber-physische Systeme zu einem essenziellen Bestandteil geworden – man spricht in diesem Zusammenhang von Cyber-physischen Produktionssystemen (CPPS). CPPS stellen miteinander kommunizierende und aufeinander reagierende Elemente dar – sie kooperieren eigenständig [20]. Sie zeichnen sich durch folgende drei Charakteristika aus:

- Sie nehmen Informationen aus der Umgebung auf und verarbeiten diese selbstständig. Mit Hilfe von CPPS können Produkte auf Basis von aktuellen Kapazitäten und Plänen selbst weitere Produktionsschritte steuern und beeinflussen.
- Sie besitzen die Fähigkeit, Verbindungen zu anderen Objekten für eine Zusammenarbeit herzustellen. Dabei können sie auch im Internet hinterlegte Informationen und Dienste nutzen.
- Cyber-physische Produktionssysteme können auf interne und externe Veränderungen reagieren [21].

Diese dezentrale Steuerung steht im Gegensatz zur traditionellen zentralen Produktionsplanung und -steuerung. Eine dezentrale Steuerung kann allerdings helfen, die Flexibilität in der Produktion zu steigern und in weiterer Folge, individuelle Produkte herzustellen [20].

2.2 Vernetzung in der Produktion

Die Vernetzung der Wertschöpfung auf Basis digitaler Technologien in Echtzeit stellt das Kernelement der Idee „Industrie 4.0“ dar. Produkte und Produktionsmittel werden an das Internet der Dinge angebunden und schaffen somit neue Möglichkeiten der Informationstechnik. „Industrie 4.0“ zeichnet sich dadurch aus, dass nicht nur Maschinen untereinander kommunizieren, sondern alle Systeme untereinander intelligent vernetzt sind und in Echtzeit Informationen austauschen. Auch das produzierende Produkt ist Teil des Netzwerks, nimmt Informationen auf und gibt diese weiter [22].

Die wichtigsten Argumente für eine ganzheitliche Vernetzung sind eine Kostenreduktion sowie eine Produktivitätssteigerung. Durch eine permanente Informationsaufnahme und -weitergabe lassen sich beispielsweise Instandhaltungskosten reduzieren. Auftretende Abnutzungserscheinungen sowie Störungen können frühzeitig erkannt werden. Eine Wartung im Vorhinein ist in vielen Fällen deutlich günstiger als eine Reparatur im Nachhinein. Doch nicht nur Kosten werden eingespart, auch die Prozessqualität wird deutlich gesteigert. Mängel am herzustellenden Produkt werden früh festgestellt. Die Kommunikationswege zu den bearbeitenden Maschinen werden deutlich verkürzt. Eine Erhöhung der Prozessqualität spiegelt sich in der Kund:innenzufriedenheit wider. Es werden weniger fehlerhafte Produkte ausgeliefert und auf neue Marktentwicklungen kann früher reagiert werden [23][24].

Die Vernetzung der Produktion schafft Transparenz in Echtzeit über den Wertschöpfungsprozess. Der Bearbeitungsfortschritt, sowie der genaue Aufenthaltsort

eines Werkstücks kann genau bestimmt werden. Diese Informationen können einerseits an im Produktionsprozess sinnvollen Orten, wie an der Maschine des nächsten Bearbeitungsschrittes, bereitgestellt werden. Andererseits können sie mit der Verfügbarkeit benötigter Mitarbeiter:innen, sowie Produktionsmittel abgeglichen werden. Sofern es zu Ressourcenproblemen kommen sollte, kann auf diese rechtzeitig reagiert werden. Die Flexibilität in der Produktion wird also deutlich gesteigert. Neue Produktvarianten werden schneller in bestehende Produktionsprozesse integriert [24].

Eine gesamtheitliche Vernetzung betrifft in weiterer Folge auch die Vernetzung der Mitarbeiter:innen untereinander. Im privaten Umfeld sind neue Technologien wie Mobiltelefone, Smartwatches oder Tablets bereits weit verbreitet. Sie helfen uns, Kontakt mit Freunden aufzunehmen, erleichtern Terminabstimmungen, erinnern uns rechtzeitig von zu Hause loszugehen und navigieren uns durch den Alltag. All diese Vorteile lassen sich auch in der Arbeitswelt einsetzen. Zusätzliche Vernetzung hilft, Mitarbeiter:innen anders und gezielter einzusetzen, um neue Arbeitstechniken in der Produktion realisieren zu können. Mobile Endgeräte, wie Smartphones, sind dazu in der Lage, relevante Informationen, sowie Arbeitsanweisungen schnell und in hoher Qualität bereitzustellen. In weiterer Folge bieten sie die Möglichkeit Informationen vor Ort aufzunehmen und zu verarbeiten. Auch die Verteilung von Aufträgen lässt sich schnell und einfach über Mobilgeräte abwickeln [7].

Einer der größten Vorteile der zunehmenden Vernetzung ist die Reduktion des manuellen Arbeitsaufwandes. Durch die Kommunikation von Maschinen zueinander werden die erforderlichen manuellen Tätigkeiten drastisch reduziert. Maschinenprogramme müssen nicht mehr manuell eingestellt werden, sondern können über andere Maschinen oder das Werkstück selbst ermittelt werden. Rüst- und Einrichtungszeiten können durch eine frühere automatisierte Einstellung deutlich verkürzt werden. Ziel ist ein automatisierter Informationsaustausch zwischen allen, im Produktions-, Planungs- und Prüfprozess involvierten Maschinen. Ein Eingreifen vom Mensch soll dabei nicht erforderlich sein. In der Fertigung wird bereits in vielen Unternehmen auf sogenannte CAD-CAM-NC-Prozessketten gesetzt. Die Grundzüge dieser Ketten werden im folgenden Absatz beschrieben [25].

2.3 Fertigungsautomatisierung

Der Begriff Automatisierung beschreibt nach DIN 19233 „[d]as Ausrüsten einer Einrichtung, so dass sie ganz oder teilweise ohne Mitwirkung des Menschen bestimmungsgemäß arbeitet“ [26]. Maschinen haben gegenüber dem Menschen die Vorteile einer höheren Leistungsfähigkeit, keiner Ermüdung, sowie einer Kostenersparnis. Besonders bei anspruchsvollen mechanischen Bearbeitungsschritten ist eine Unterstützung durch automatisierte Prozesse sinnvoll.

Seit vielen Jahren geht der Trend zu Systemen, die in der Lage sind, Aufgaben selbstständig zu lösen.

In weiterer Folge lässt sich der Automatisierungsgrad als der „Anteil der selbsttätigen Funktionen an der Gesamtheit der Funktionen eines Systems oder einer technischen Anlage“ [26] beschreiben. Ein höherer Automatisierungsgrad erhöht die Flexibilität und reduziert somit die laufenden Personalkosten. Gleichzeitig erhöht der Automatisierungsgrad auch die Anschaffungskosten. Wirtschaftlich gilt es, den optimalen Automatisierungsgrad zu finden – siehe Abbildung 4.

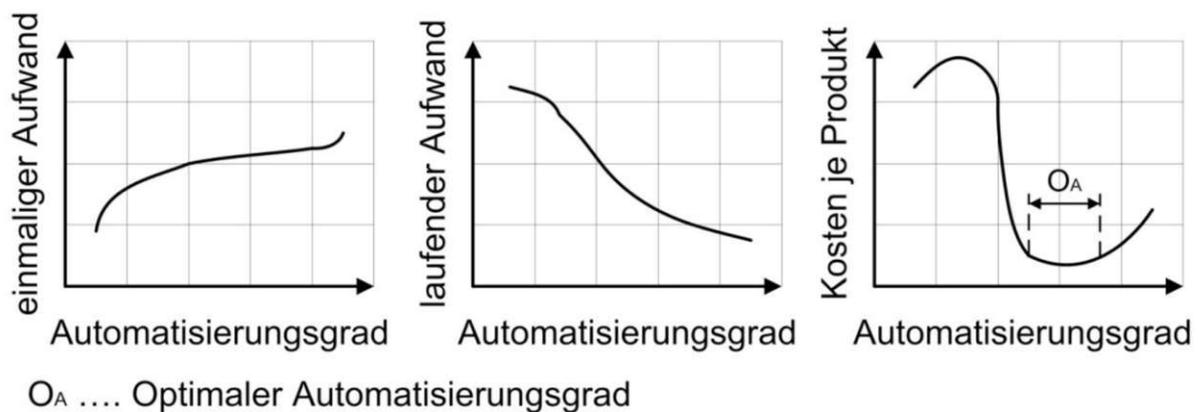


Abbildung 4: Optimaler Automatisierungsgrad nach Kosten [27]

Die Fertigungsautomatisierung stellt ein Teilgebiet der Automatisierung dar und zielt auf automatisierte Fertigungssysteme ab. Dabei werden Maschinen mit notwendigen mechanischen Komponenten, sowie einer computerbasierten Steuerung [28] versehen, um den Fertigungsablauf selbstständig zu bewältigen. Auch in der Fertigung kann der Grad der Automatisierung variieren.

Bearbeitungszentren sind CNC-Maschinen mit höherem Automatisierungsgrad. Sie besitzen Vorrichtungen für einen automatischen Werkzeugwechsel sowie einen Werkzeugspeicher. Der Werkstückwechsel erfolgt jedoch manuell. Über Sensoren sowie andere Messkomponenten können Prozesskennzahlen sowie Maschinendaten verarbeitet und weitergegeben werden [29].

Ein Bearbeitungszentrum, das zusätzlich um eine automatisierte Werkstückbestückung ergänzt wird, wird als eine **flexible Fertigungszelle bezeichnet**. Über ein geeignetes Materialflusssystem ist das Bearbeitungszentrum mit einem Werkstückspeicher verbunden. Materialflusssysteme können dabei Förderbänder, Portallader, oder andere Handhabungsmaschinen sein. Die Bearbeitungsreihenfolge sowie das Bearbeitungsprogramme ergeben sich vorgegebenen Reihenfolge oder nach einer definierten Arbeitsreihe. Auch das

Einlesen entsprechender Informationen, über codierten Informationsträger (z.B. RFID-Transponder) ist möglich [27][30].

Werden mehrere Bearbeitungszentren über Transportsysteme miteinander bzw. mit einem Materiallager oder Werkzeuglager verbunden, spricht man von einem **flexiblen Fertigungssystem**. Die Steuerung der Werkstück- sowie Werkzeugtransportsysteme erfolgt dabei über einen Zentralrechner. Dieser bildet das Herzstück des Fertigungssystems und ermöglicht außerdem die NC-Steuerung, sowie die Informationsverarbeitung der Betriebsdaten [29][31]. Die folgende Abbildung fasst die verschiedenen Fertigungsmöglichkeiten zusammen.

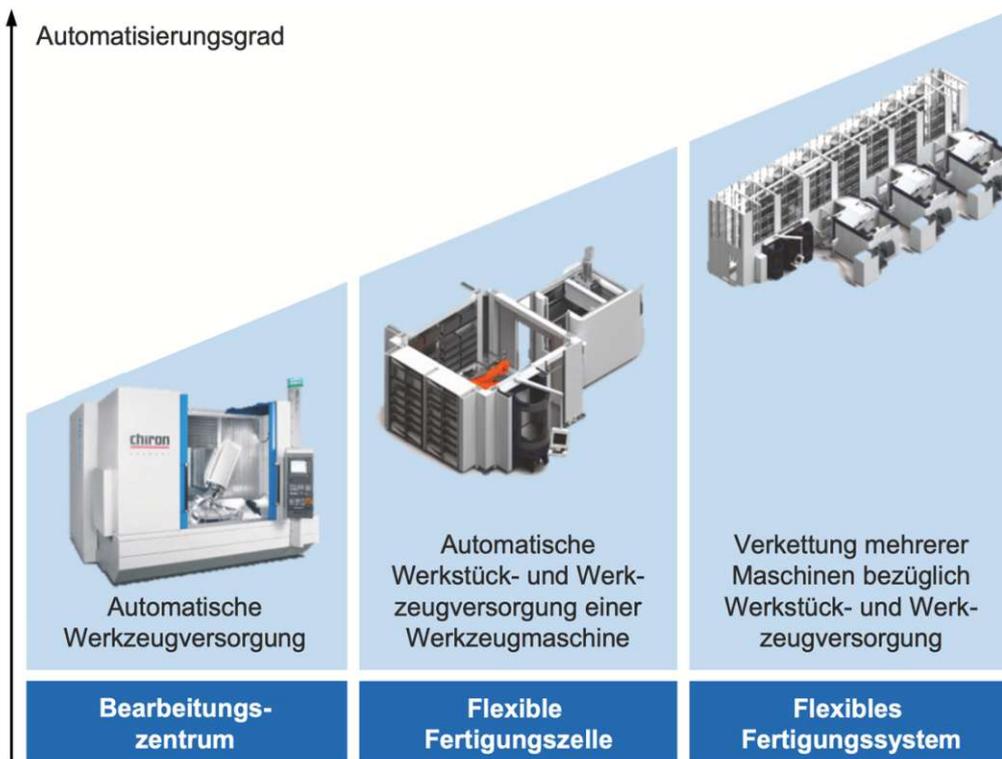


Abbildung 5: Fertigungsmöglichkeiten nach Automatisierungsgrad [29]

Für die Zukunft ist die Weiterentwicklung der Verkettung der einzelnen Systeme zu erwarten. Die von Maschinen ausgegebenen Daten sollen in Echtzeit verwertet werden. Um eine Auswertung in Realzeit zu ermöglichen, müssen die Rechenleistung der Steuerungssysteme, sowie die Geschwindigkeiten im Steuerungsablauf verbessert werden. Ziel ist eine flexible, anpassungsfähige, Infrastruktur für Produktionssysteme. Diese sollen auch in der Lage sein, neue, nicht vorausgeplante Erzeugnisse zu produzieren. Um diese Anforderungen zu erfüllen, muss außerdem die Kommunikationsfähigkeit zwischen den Maschinen verbessert werden [23].

2.4 CAD-CAM-NC Prozesskette

Eine hohe Datenqualität ist durch die bessere Prozesskenntnis und -steuerung maßgeblich für den Unternehmenserfolg. Qualitativ hochwertige Daten verursachen weniger Reparatur-, sowie Suchaufwände und bilden eine wichtige Basis für weitere Entscheidungen. Neue angebundene Technologien helfen, Daten und Informationen effizient zu verarbeiten. Fehlerquellen, wie eine falsche Eingabe durch Mitarbeiter:innen werden eliminiert. Wo eine manuelle Eingabe nach wie vor erforderlich ist, helfen mobile Endgeräte, den Aufwand der Dokumentation deutlich zu reduzieren [7][32].

Die CAD-CAM-NC Prozesskette beschreibt die Verbindung von Konstruktion, Programmierung, sowie Fertigung von Bauteilen [33].

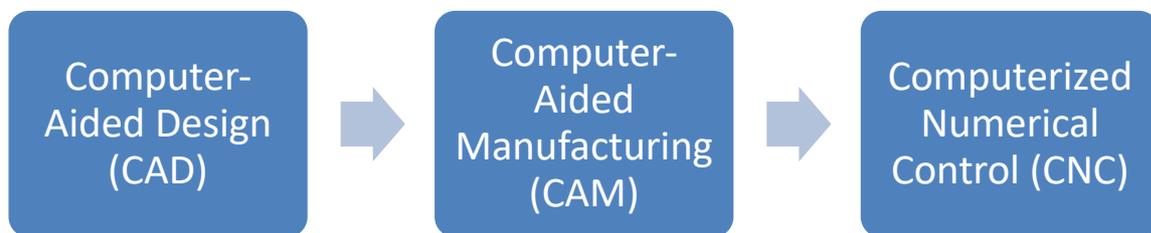


Abbildung 6: CAD-CAM-NC Prozesskette - eigene Darstellung

Computer-Aided Design (CAD) – rechnergestütztes Konstruieren

Computer-Aided Design beschreibt die ganzheitliche Unterstützung durch Rechnerhilfsmittel bei der Geometrieerzeugung bzw. zum Berechnen von physikalischen Größen. CAD-Systeme sind heute aus keinem produzierenden Unternehmen mehr wegzudenken, eine computergestützte Konstruktion steht am Beginn aller Produktentwicklungszyklen [34].

Computer-Aided Manufacturing (CAM) – rechnergestützte Fertigung

Computer-Aided Manufacturing beschreibt das Erstellen und Planen von Fertigungsabläufen. Dabei werden Bearbeitungsstrategien und Verfahren definiert. Auf Basis der definierten Strategien wird ein NC-Programm erstellt. Der erstellte Fertigungsprozess lässt sich anschließend im CAM-Modul simulieren, um Fehler zu entdecken.

Computerized Numerical Control (CNC) – computerunterstützte numerische Maschinensteuerung

Computerized Numerical Control stellt den letzten Schritt in der Prozesskette zu einem fertigen Werkstück dar. Eine CNC-Steuerung ist ein elektronisches Eingabegerät zum Bedienen und Steuern von Werkzeugmaschinen. Basierend auf Positions-Soll-Werten steuert sie die Werkzeugmaschinen, um Bearbeitungen sachgerecht zu absolvieren [34].

Besonders bei kleinen und mittelständischen Unternehmen bereitet die fehlende Durchgängigkeit der Daten in der CAD-CAM-NC-Kette immer wieder Probleme. Um die Verfügbarkeit von Daten zu erhöhen, wird aktuell an vernetzungsbasierten Ansätzen zur Datenverwaltung geforscht. Eine hohe Verfügbarkeit sowie Qualität der Daten liefern die Grundlage für eine funktionierende Automatisierung [30].

2.5 Arbeit 4.0

Der Begriff „Arbeit 4.0“ beschreibt die zukünftige Gestaltung der Arbeitswelt und deckt dabei verschiedene Themenbereiche ab. Die Etablierung von agilen Arbeitsmodellen sowie die steigende Digitalisierung und Vernetzung der Arbeit tritt dabei stark in den Vordergrund. Durch die zunehmende Automatisierung verändern sich auch die Anforderungen an die Mitarbeiter:innen. Die Möglichkeit, immer wieder auftretende Abläufe zu automatisieren, fordert die Mitarbeiter:innen, flexibler zu werden, sowie sich permanent weiterzubilden [35][36].

Die Weiterentwicklung der Arbeitsplätze stellt jedoch nicht nur neue Anforderungen an die Mitarbeiter:innen, sondern bringt auch Erleichterungen im Arbeitsalltag. So erwartet die Mitarbeiter:innen ein „hürdenloses“ Arbeiten. Es werden schnellere Reaktions- und Kommunikationsgeschwindigkeiten ermöglicht. Die steigende Digitalisierung erlaubt außerdem größere räumliche Distanzen zwischen Fachkräften. So muss künftig eine Fachkraft für die Maschinenwartung nicht mehr vor Ort sein, sondern kann die Maschine direkt über einen Remote-Zugriff ansteuern. Alternativ werden Anweisungen an Mitarbeiter:innen vor Ort weitergegeben oder direkt am Arbeitsplatz gezeigt [37].



Abbildung 7: Remote Maintenance bitnamic CONNECT [38]

Die stark zunehmende Kommunikationsgeschwindigkeit rückt effizientes Zeitmanagement weiter in den Fokus. Während früher tendenziell eine Aufgabe nach der anderen übernommen wurde, wird heute bereits während der Bearbeitung einer Aufgabe die Nächste verteilt. Adaptive Planungssysteme streben eine möglichst effiziente Auslastung der Betriebsmittel an. Der gleichzeitige Einsatz vieler moderner Technologien kann zu einem sogenannten Technostress führen. Bei den Mitarbeiter:innen kann dies zu einem Gefühl der Reizüberflutung oder aber der vollen Kontrolle führen [37].

Kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) haben aufgrund der hohen Relevanz von Erfahrung und des Fachwissens ihrer Mitarbeiter:innen eine Sonderstellung. Um den wirtschaftlichen Erfolg der Unternehmen weiterhin zu sichern, fordern Ludwig et al. das Einbeziehen der Mitarbeiter:innen in die Konzeptionierung neuer Arbeitsmodelle. BRP-Rotax stellt aufgrund seiner Größe zwar kein klassisches KMU dar, allerdings lassen sich durch die Aufteilung in verschiedene Business-Units Parallelen zu KMUs ziehen. Viele Mitarbeiter:innen haben ihre Berufslaufbahn bei BRP Rotax gestartet und sind dem Unternehmen Jahre, sogar Jahrzehnte treugeblieben [39].

2.6 Lean Production

Lean Production beschreibt den sparsamen sowie zeiteffizienten Einsatz von Produktionsressourcen. Ressourcen sind einerseits Betriebsmittel, Personal und Werkstoffe, andererseits auch Planungs- und Organisationsaufwand im Rahmen aller Unternehmensaktivitäten. Ziel der Lean Production ist es, Verschwendung in Form von Überproduktion, langen Durchlaufzeiten oder fehlerhaften Produkten zu vermeiden [40]. Durch die Vermeidung von Verschwendung sollen Unternehmen effektiver und wettbewerbsfähiger werden, sowie Voraussetzungen für Automatisierung und Digitalisierung schaffen. Ein weiteres Merkmal des Lean Gedankens ist die starke Kund:innenorientierung. Sämtliche Tätigkeiten werden auf Kund:innen ausgerichtet – es wird im „Kund:innentakt“ produziert. Dadurch wird sichergestellt, dass Auftraggeber:innen die gewünschte Ware zur richtigen Zeit erhalten [41].

Aufgrund der einfachen Anwendung und Effektivität hat Lean Production in den 90er Jahren sehr große Bekanntheit erlangt und wurde weitläufig eingesetzt. Viele Grundsätze des Lean Thinkings, wie die Vermeidung von Verschwendung, die kontinuierliche Verbesserung, sowie eine starke Kund:innenorientierung bilden heute die Basis von Produktionssystemen. Die in der Einleitung beschriebenen Veränderungen der Anforderungen an die moderne Produktion bringen die Lean Production allerdings an ihre Grenzen. Starre Prozessabläufe und Durchlaufzeiten sind nicht geeignet für die Herstellung weniger individueller Werkstücke [42].

Die Prinzipien der Lean Production helfen, die Produktivität sowie die Produktqualität bei gleichzeitiger Steigerung der Flexibilität zu verbessern. Zur **Verbesserung der Produktivität** wird bei gleichbleibendem Output der Einsatz verschiedener Produktionsfaktoren gesenkt. Dazu werden Lagerbestände abgebaut sowie Durchlaufzeiten verkürzt. Für eine **Erhöhung der Produktqualität** werden regelmäßige Qualitätskontrollen durchgeführt sowie notwendige Nachbearbeitungen sofort durchgeführt. Ziel ist die Vermeidung von Ausschuss in der Produktion. Die **Flexibilität** wird durch die Nutzung temporärer Kapazitäten sowie der Einführung flexibler Produktionssysteme **gesteigert**. In weiterer Folge werden ausgewählte Methoden der Lean Production vorgestellt [43].

2.6.1 Wertstromdesign

Der Wertstrom eines Produktes umfasst alle Tätigkeiten, die für die Herstellung eines Fertigprodukts aus einem Rohmaterial notwendig sind. Der Produktionsprozess zeigt die Reihenfolge, in der das Erzeugnis die Betriebsmittel durchläuft, sowie Material- und Informationsflüsse [44]. Mithilfe der Wertstromanalyse werden die Produktionsabläufe des Ist-Zustand sowie der angestrebte Soll-Zustand einer bestehenden Fabrik visualisiert. Die umfassende Darstellung der Produktionsabläufe ermöglicht eine transparente Analyse – Schwachstellen lassen sich gezielt aufdecken und Verbesserungspotenziale erkennen. Ineffiziente Prozessabläufe und Bestände werden aufgedeckt – Verschwendungen sollen vermieden werden.

Innerhalb kürzester Zeit wird ein Überblick vom Lieferanten bis hin zu den Kund:innen geschaffen. Die Darstellung der gesamten Produktion erschließt die Zusammenhänge der Prozessschritte und vermeidet punktuelle Problembereiche. Durch die transparente Darstellung wird ein umfassendes Verständnis der Produktion ermöglicht. Durch eine einheitliche Sprache wird die Kommunikation innerbetrieblich, aber auch mit externen Personen erleichtert [45].

Wertstromdesign baut auf der Analyse des Ist-Zustandes auf. Ziel ist die Neugestaltung bzw. Optimierung der Produktion zu einem effizienten und kundenorientierten Wertstrom. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Vermeidung von Verschwendung, insbesondere auf durch Überproduktion, Lagerhaltung und Transport hervorgerufenen Verschwendungen. Nach Erstellung eines Soll-Wertstroms können Maßnahmen zum Erreichen dieses Soll-Zustands abgeleitet werden. Diese setzen sich aus technischen Innovationen sowie Veränderungen in der Organisation und im Produktionsmanagement zusammen.

Ergebnis des Wertstromdesigns ist einerseits die transparente und übersichtliche Darstellung des angestrebten Soll-Zustandes. Andererseits werden die abgeleiteten Einzelmaßnahmen definiert, sortiert und Verantwortlichen zugeordnet [45]. In Kapitel 2

befindet sich eine Abbildung des Ist-Wertstroms, welche im Rahmen der Analyse erstellt wurde.

2.6.2 Visualisierung

Key Performance Indicators (KPIs) helfen, den Unternehmenserfolg zu überwachen und zu steuern. Sie ermöglichen permanente Selbstkontrolle und helfen, potentielle Negativentwicklungen frühzeitig zu erkennen. Mitarbeiter:innen werden am Shopfloor durch die Visualisierung der relevanten Informationen unterstützt, Fehlentwicklungen rechtzeitig zu erkennen und gegebenenfalls gegenzusteuern. Falls beispielsweise eine Maschine falsch eingestellt ist, lässt sich dies durch zu lange oder zu kurze Taktzeiten erkennen. Die Mitarbeiter:innen können anschließend die Einstellungen erneut prüfen und anpassen. Erfolgsfaktoren, die durch Handeln direkt beeinflussbar sind, werden **operationalisierbar** genannt. **Direktionale** Erfolgsfaktoren zeigen einen Trend an, während **qualitative** Kennzahlen numerische Messwerte beschreiben. Diese helfen den Mitarbeiter:innenn, Tagesziele zu realisieren.

Die Visualisierung findet entweder mithilfe von Flipcharts, papierbasiert oder digital statt. Um die Mitarbeiter:innen zu unterstützen und nicht zusätzlich zu belasten, müssen Informations-Dashboards übersichtlich gestaltet und gut lesbar sein.

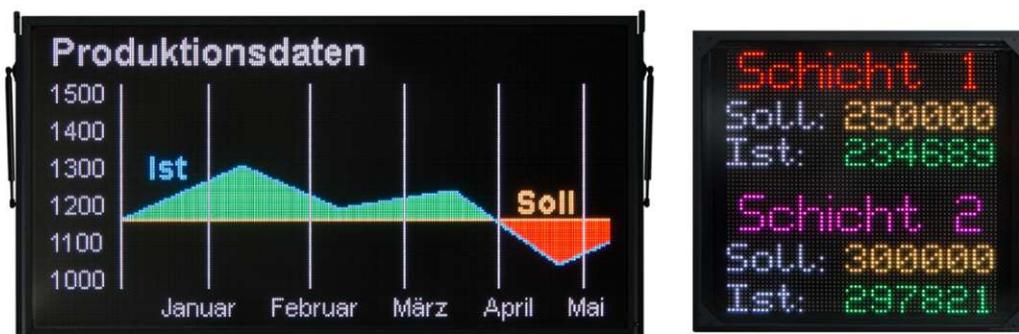


Abbildung 8: Kennzahlen der Produktion [46]

2.6.3 Poka-Yoke

Poka-Yoke kommt aus dem Japanischen, bedeutet übersetzt „unglückliche Fehler vermeiden“ und geht davon aus, dass Menschen Fehler machen. Ziel dieses Werkzeugs ist das Vermeiden von unbeabsichtigten Fehlhandlungen. Es wird meist durch einfache und wirkungsvolle Systeme dafür gesorgt, dass fehlerhafte Handlungen vermieden werden. Ein klassisches Poka-Yoke Beispiel sind verschieden große Stecker, die nur in einer Richtung in eine Buchse gesteckt werden können – siehe Abbildung 8.

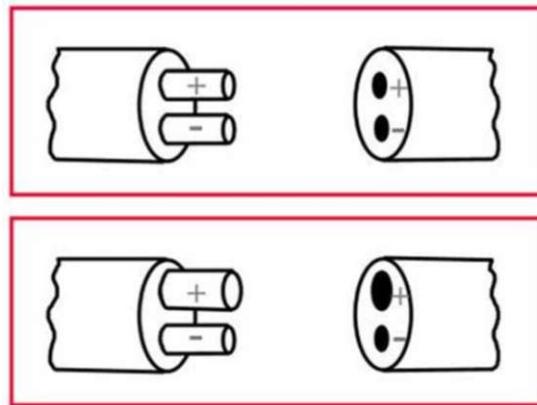


Abbildung 9: Poka-Yoke

Während im oberen Fall ein Vertauschen der Pole erst später bemerkt wird, ist dies im unteren Fall bereits mechanisch ausgeschlossen. Poka-Yoke zielt meist auf den Einsatz von technischen Hilfsmitteln, da diese schnell einführbar sind. Auch in unserem Alltag sind Poka-Yoke Lösungen bereits zu einem festen Bestandteil geworden. So lassen sich Tankdeckel durch eine Schnur nicht mehr so einfach verlieren oder Geldscheine erst nach Abziehen der Karte aus dem Bankomaten entnehmen. In der Produktion lassen sich Produkte beispielsweise erst nach Überprüfen der vorausgehenden Prozessschritte weiterbearbeiten.

2.6.4 5S

Der Begriff „5S“ setzt sich aus den fünf japanischen Wörtern *Seiri*, *Seiso*, *Seiton*, *Seiketsu* und *Shitsuke* zusammen, die eine Vorgehensreihenfolge beschreiben, um Ordnung und Sauberkeit am Arbeitsplatz zu schaffen, nämlich sortieren, säubern, sichtbar-machen, standardisieren und sichern des Standards. Mit 5S wird eine sichtbare Veränderung erreicht. Es geht dabei um ein ganzheitliches Umdenken zur Schaffung von Standards und die dauerhafte Verankerung dieser. 5S beschränkt sich dabei nicht nur auf den Arbeitsplatz am Shopfloor, sondern findet auch im Büro, im Lager oder in der Kaffeeküche Anwendung. Die einzelnen Elemente des 5S werden im Folgenden näher beschrieben [47].

Seiri – Sortieren

Alles, was sich am Arbeitsplatz befindet, wird sortiert. Es wird dabei in drei Kategorien unterschieden: Behalten – Unklar – Entsorgen. Nicht mehr Benötigtes wird entsorgt. Das können Werkzeuge, die seit Jahren nicht mehr benützt wurden, oder nicht dokumentierte Kleinteile sein. Unklare Teile werden anschließend einzeln geprüft und entweder behalten oder entsorgt.

Seiso – Säubern

Der leere Arbeitsplatz wird anschließend gereinigt und gesäubert. Auch Werkzeuge und Betriebsmittel werden gründlich gereinigt. Auf diese Weise werden die Zustände der Teile genau überprüft und betrachtet. Es wird außerdem deutlich, welche Werkzeuge wie oft gereinigt bzw. gewartet werden müssen.

Seiton – Sichtbar-machen

Jedem Werkzeug wird anschließend ein eindeutiger Platz zugewiesen. Dieser wird anschließend gekennzeichnet. Für Werkzeuge eignen sich Shadowboards – Einlagen aus Hartschaumstoff – um jedem Werkzeug einen Platz zuzuweisen. Fehlt ein Werkzeug, lässt sich das schnell erkennen. Sichtbar-machen betrifft den ganzen Arbeitsbereich wie Boden, Wände, Türen und Ablageflächen.

Seiketsu – Standardisieren

Erarbeitete Lösungen werden zu Standards für weitere Arbeitsplätze. Es wird festgelegt, welche Farben wofür stehen, welche Werkzeuge wie und wo angeordnet werden.

Shitsuke – Sichern des Standards

Um die festgelegten Standards zu sichern und zu etablieren, ist es notwendig, regelmäßig deren Einhaltung zu prüfen.

2.7 Ergonomie

2.7.1 Grundlagen der Ergonomie

Im Zuge seiner Arbeit bewältigt der Mensch verschiedene Aufgabenstellungen. Während der Bewältigung dieser Aufgaben kommt er mit verschiedenen Arbeitssystemen, die jeweils spezifische Anforderungen mit sich bringen, in Berührung. Ergonomie zielt auf eine Gestaltung der Arbeitssysteme, dass das Wohlbefinden des Menschen, sowie die Leistung des Gesamtsystems optimiert wird [48]. Um die Anforderungen weiter zu diskutieren, ist eine Kategorisierung notwendig. Die einfachste Unterteilung der Arbeit des Menschen ist in geistige und körperliche Arbeit – in der Arbeitswissenschaft spricht man von informatorischer bzw. energetischer Arbeit. Da eine rein geistige bzw. rein körperliche Arbeit nur in seltenen

Fällen auftritt, unterteilt man vielmehr die Mischformen der idealtypischen Extremformen [49].

Psychische Arbeit beschreibt die Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung sowie anschließend die Informationsabgabe. Der körperliche Anteil der Arbeit wird als Muskelarbeit bezeichnet und mit der Umsetzung mechanischer Arbeit verbunden. Es werden vor allem Muskeln und das Herz-Kreislauf-System beansprucht. Die verrichtete Arbeit wird dabei in **dynamische** und **statische Arbeit** unterschieden [48]. Bei gleichem Energieaufwand gilt statische Arbeit als ermüdender, da es zu einer schlechteren Muskeldurchblutung und somit zu einer schnelleren Muskelermüdung kommt. Bei dynamischer Muskelarbeit kommt es zu einer wechselnden Anspannung und Entspannung der Muskeln. Das führt zu einer besseren Blutversorgung – siehe Abbildung 9. Ermüdung äußert sich durch ein Nachlassen der Muskelleistung, sowie der Aufmerksamkeit und der Konzentration [50].

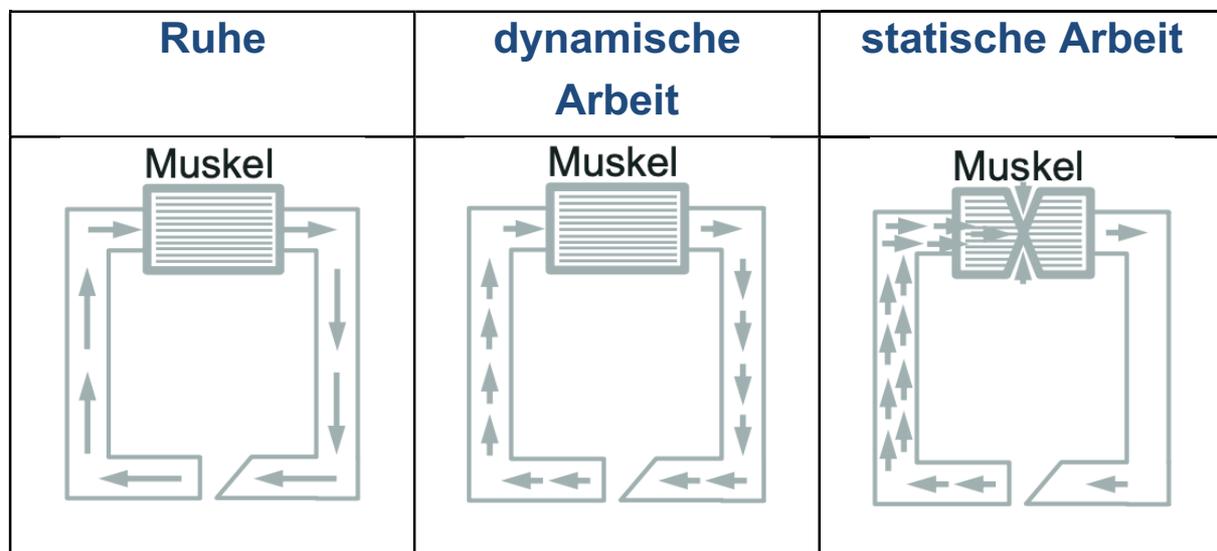


Abbildung 10: Statische und Dynamische Arbeit [50]

Die Kombination der zu verrichtenden Arbeit resultiert in einer **Belastung**. Belastung umfasst alle Anforderungen, die sich durch Arbeitsaufgabe (Abgeben von Kräften, Bewegungen), Arbeitsumgebung (Beleuchtung, Klima, Lärm) und Arbeitsorganisation (Betriebsklima, Arbeitsinhalt) ergeben. Sie setzt sich aus einer Belastungshöhe und einer Belastungsdauer zusammen. Die Belastung fasst die Gesamtheit der äußeren Einflüsse, die für sämtliche Mitarbeiter:innen gleich sind, zusammen.

Der Mensch antwortet auf eine von außen einwirkende Belastung mit einer individuellen Reaktion – der **Beanspruchung**. Da jeder Mensch verschieden ist, reagieren Menschen aufgrund von unterschiedlichen körperlichen sowie geistigen Eigenschaften mit einer subjektiven Beanspruchung. Sportliche trainierte Mitarbeiter:innen haben beispielsweise geringere Probleme mit dem Tragen einer schweren Last als Untrainierte. Es spielen jedoch nicht nur Muskelkräfte und Ausdauer eine Rolle, sondern auch das Wissen um die Ausführung der Arbeit [50].

Die **individuelle Leistungsfähigkeit** stellt die Verknüpfung zwischen Beanspruchung und Belastung her. Diese setzt sich wiederum aus Fähigkeiten und Fertigkeiten zusammen. Fähigkeiten sind angeborene Eigenschaften, die es uns ermöglichen, Handlungen auszuführen. Durch gezieltes Training können Fähigkeiten verbessert werden. Fertigkeiten sind durch Übung erworbene bzw. erlernte Eigenschaften, die auf Fähigkeiten aufbauen. Führt man die eben beschriebenen Begriffe zusammen, ergibt sich das Belastungs-Beanspruchungs-Modell nach Rohmert und Rutenfranz [50].

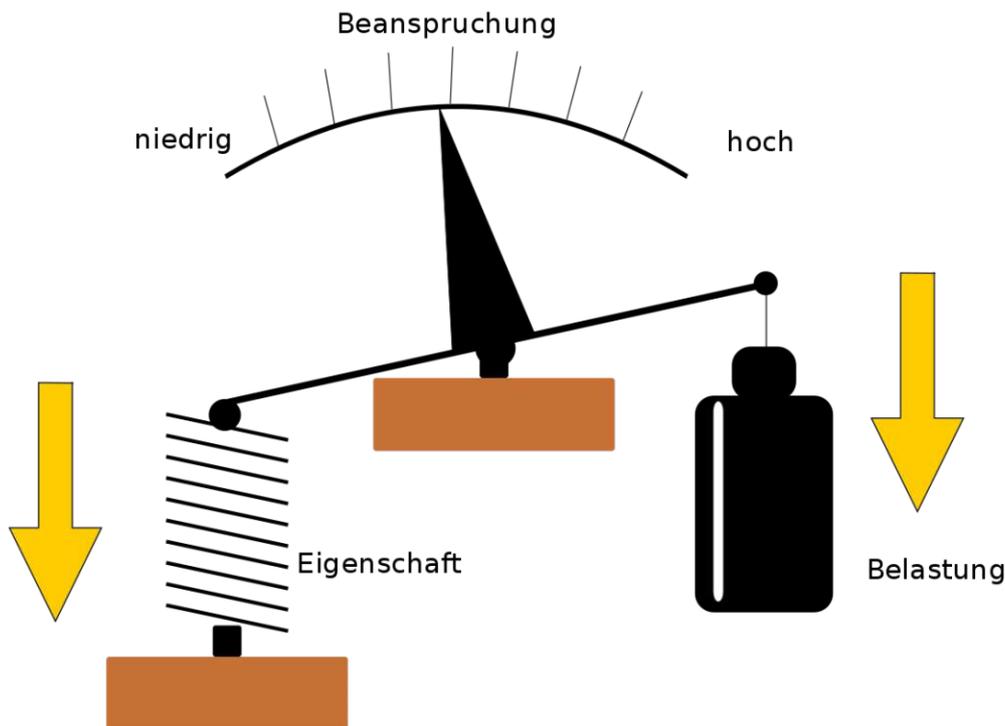


Abbildung 11: Belastungs-Beanspruchungs-Modell [51]

2.7.2 Anthropometrische Arbeitsplatzgestaltung

Anthropometrie ist die Lehre der Maßverhältnisse am menschlichen Körper. Dazu zählen Körpermaße, Körpertypen, verschiedene Körperhaltungen sowie der benötigte Platz beim Durchführen bestimmter Bewegungen. Die Anthropometrische Arbeitsplatzgestaltung beschäftigt sich folglich mit der Anpassung des Arbeitsplatzes an die menschlichen Abmessungen [49].

Bei der Gestaltung eines Arbeitsplatzes läge die Annahme nahe, zunächst von einem durchschnittlich großen Menschen auszugehen. Bei genauerer Betrachtung erweist sich diese Annahme jedoch als unsinnig. Ein Durchgang, durch den ein durchschnittlich großer Mensch passt, wäre für 50% der Menschheit zu klein. Das Bücherregal des Durchschnittsmenschen wäre wiederum für 50% zu hoch. In diesen Fällen wäre eine Auslegung mithilfe von Perzentilwerten sinnvoller. Ein **Perzentilwert**

gibt an, wie viel Prozent der Menschen kleiner ist als der jeweils angegebene Maß [50]. Um Unterschiede zwischen individuellen Körpermaßen auszugleichen, ist eine Verstellbarkeit des Arbeitsplatzes notwendig. So setzen beispielsweise viele Unternehmen auf höhenverstellbare Schreibtische. Damit haben die Mitarbeiter:innen die Möglichkeit, deren Höhe nach ihren Vorlieben zu verstellen.

2.8 Informationsbereitstellung

Um die steigenden Anforderungen der letzten Jahre an Arbeitssysteme in der Produktion zu erfüllen, wird vermehrt auf computergestützte Informationssysteme gesetzt. Computergestützte Führungs- und Planungsinformationssysteme entlasten die Mitarbeiter:innen bei Routineaufgaben sowie bei anspruchsvollen Aufgaben [49].

Zentraler Bestandteil der MMI ist der Austausch von Informationen. Die Informationsübertragung kann in eine **unmittelbare**, sowie eine **mittelbare Informationsübertragung** unterteilt werden. Die Unmittelbare beschreibt eine direkte Aufnahme über die Sinne – beispielsweise ein akustisches Warnsignal. Aufgrund der schnellen Informationsaufnahme bei einer gleichzeitig hohen Informationsdichte ist eine unmittelbare einer mittelbaren Informationsübertragung anzustreben. Diese beschreibt eine Informationsaufnahme über Anzeigen und wird eingesetzt, falls Informationen durch menschliche Sinne nicht wahrnehmbar oder zu ungenau sind [49].

Eine Schnittstelle besteht aus **Eingabesystemen** sowie **Ausgabensystemen**. Die Eingabe kann über Stellteile, Tastaturen, grafikorientierte Systeme oder über Sprachsteuerungen geschehen. Die Ausgabe kann auditiv oder über visuelle Anzeigen geschehen. Außerdem ist eine Anzeige direkt am Arbeitsplatz sowie eine Projektion am Bauteil möglich. Auf die verschiedenen Arten der Informationsbereitstellung wird im nächsten Kapitel detailliert eingegangen [50].

Neuartige Techniken der Informationsbereitstellung führen zu erheblichen Vorteilen. Aufgaben, die die Mitarbeiter:innen zuvor viel Zeit gekostet haben, lassen sich mithilfe digitaler Vernetzung schnell und einfach erledigen. Mussten früher bauteilspezifische Informationen, wie relevante Prüfgrößen, aus unübersichtlichen Katalogen herausgesucht werden, so können diese heute nach einem einfachen Scanvorgang, innerhalb kürzester Zeit bereitgestellt werden. Neben einer deutlichen Verkürzung der Arbeitszeit sinkt auch die Fehlerwahrscheinlichkeit drastisch durch eine solche Maßnahme. Unternehmen und deren Prozesse können durch eine Anpassung der Informationsfindung sowie der Informationsbereitstellung an die Mitarbeiter:innen reaktionsfähiger werden.

Entscheidungsrelevante Daten müssen zur richtigen Zeit, am richtigen Ort, im geeigneten Maße verfügbar sein [5]. Intelligente Maschinen liefern eine große Menge

an Daten, die es zu filtern gilt. Um die Mitarbeiter:innen nicht zu überfordern ist eine sinnvolle Ordnung und Darstellung der Informationen wichtig.

Der Mensch hat mehrere Möglichkeiten, Informationen und Signale wahrzunehmen. Am verbreitetsten ist die **visuelle Informationsaufnahme** über die Augen. Visuelle Informationsbereitstellung ist sinnvoll, um umfangreiche, komplexe Informationen, die mehrmals benötigt werden, darzustellen. Sie ist geeignet, um Informationen simultan oder sequenziell einzelnen Beobachter einer Gruppe darzustellen. Visuelle Darstellungen werden in eingeschränkten Beobachtungsbereichen sowie bei hohen Umgebungsgeräuschen eingesetzt [50].

Auditive Informationsbereitstellungen

Auditive Informationsbereitstellungen sind geeignet, um einfache, prägnante Informationen zu übermitteln. Diese Informationen werden meist nur einmal benötigt und sind sofort zu beachten. Der Standort der Mitarbeiter:innen ist flexibler, da akustische Signale über größere Distanzen zu hören sind. Sie werden dort eingesetzt, wo eine visuelle Darstellung Kontrast- oder Beleuchtungsgründen nicht möglich ist. Auditive Systeme werden auch ergänzend zu visuellen Systemen eingesetzt, falls diese bereits ausgelastet sind [50].

Papierbasierte Informationsdarstellung

Informationen werden auf Papier zusammengefasst und den Mitarbeiter:innen in ausgedruckter Form zur Verfügung gestellt. Fertigungsinformationen werden zu Ablauf- oder Prüfplänen zusammengefasst und in Katalogen geordnet. Der größte Vorteil dieser Art der Informationsdarstellung ist der Preis. Ein weiterer Vorteil ist, dass man Kataloge jederzeit um neue Seiten ergänzen kann. Je umfangreicher die Informationen allerdings werden, desto mehr Platz wird benötigt, um die ausgedruckten Anweisungen zu ordnen. Je mehr Platz benötigt wird, desto aufwendiger gestaltet sich die Suche nach gezielten Informationen.

Ausgedruckte Anweisungen sind außerdem in ihren Gestaltungselementen eingeschränkt. So werden hauptsächlich Text, Tabellen oder Zeichnungen eingesetzt. Durch diese Einschränkung kann es zu Fehlinterpretationen und damit zu Produktionsfehlern kommen. In vielen mittelständischen produzierenden Betrieben wird dennoch noch immer mit papierbasierten Anleitungen gearbeitet [52].

Digitale Informationsdarstellung

Um benötigte Informationen, wie oben beschrieben, zur richtigen Zeit am richtigen Ort anzeigen zu können, bedarf es einer digitalen Informationsbereitstellung. Die Informationen werden meist in einer zentralen Datenbank verwaltet und gepflegt. Das Ausgabegerät greift direkt auf die zentrale Datenbank zu und stellt den Mitarbeiter:innen die aktuell benötigte Information zur Verfügung. Analog zur papierbasierten Informationsdarstellung werden auch hier Fertigungsinformationen

sowie Prüfanweisungen angezeigt. Verglichen zur papierbasierten Darstellung nimmt eine digitale Lösung in vielen Fällen deutlich weniger Platz in Anspruch – ein Tablet ist beispielsweise nur wenige Millimeter dünn.

Ein weiterer Vorteil ist die Möglichkeit, Systeme spezifisch auf Arbeitsplätze und individuell auf einzelne Mitarbeiter:innen anzupassen. Die Fähigkeiten und Vorlieben eines Beschäftigten werden hinterlegt und innerhalb kürzester Zeit abgerufen. Digitale Informationsdarstellungen beschränken sich im Allgemeinen nicht auf Texte, oder Zeichnungen. So lassen sich beispielsweise Videos oder Animationen einspielen, die die Unterstützungsleistung deutlich erhöhen. Digitale Systeme bieten gegenüber papierbasierten Systemen erhebliche Vorteile. Sie sind daher ein essenzieller Bestandteil der künftigen Arbeitsplatzgestaltung [53].

Ausgabegeräte für die digitale Informationsdarstellung können Bildschirme, Tablets, aber auch AR-Brillen bzw. Smart-Glasses sein. Die Informationen werden mithilfe von Augmented-Reality-Elementen an die Mitarbeiter:innen gebracht werden.

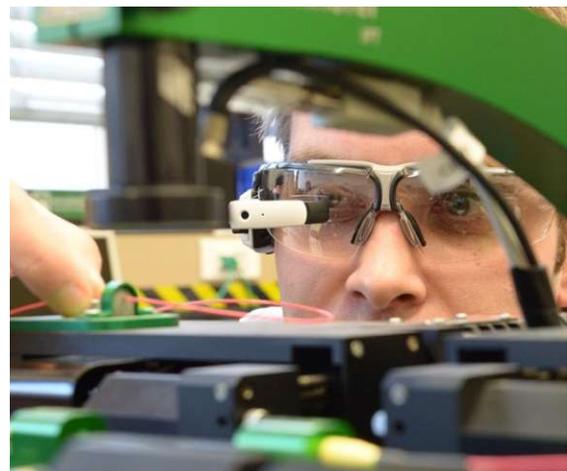


Abbildung 12 (links): Informationsbereitstellung über Tablet [53]

Abbildung 13 (rechts): Informationsbereitstellung über Smart Glasses - vgl. Fraunhofer IPT

2.9 Assistenzsysteme in der Produktion

Assistenzsysteme sind uns aus unserem täglichen Leben schon seit vielen Jahren bekannt. Sie unterstützen uns bei verschiedenen Tätigkeiten und erleichtern die Bewältigung dieser. Seit Mitte der 2000er Jahre wird kein Auto mehr ohne integriertes Antiblockiersystem (ABS) produziert. Das Antiblockiersystem (ABS) verhindert das Blockieren der Räder beim Bremsen, indem es in vielen kurzen Intervallen bremst. Dadurch kann die Manövrierfähigkeit des Fahrzeugs auch bei starken Bremsvorgängen beibehalten werden. Das menschliche Gefühl reicht gewöhnlich nicht aus, um die Bremskraft so genau zu dosieren, dass ein Rutschen verhindert wird.

Somit wird der Mensch von einem Assistenzsystem unterstützt, den Bremsvorgang sicherer zu gestalten [54].

Auch in der Produktion gewinnt der Einsatz von Assistenzsysteme an Bedeutung. Die Mitarbeiter:innen werden von Assistenzsystemen in der Bewältigung seiner Arbeit unterstützt. Assistenzsysteme sind rechnerbasierte Systeme, die Menschen bei der Informationsaufnahme, Informationsverarbeitung und bei der Arbeitsausführung unterstützen. Intelligente Assistenzsystemen sind in der Lage, durch Algorithmen oder künstliche Intelligenz, eigenständig auf Situationen zu reagieren und sich so individuell an den Mitarbeitenden anzupassen [55].

Zur Klassifizierung von Assistenzsystemen existieren verschiedene Ansätze. So unterscheidet man beispielsweise zwischen Unterstützungsgrad, Unterstützungsart und den Unterstützungszielen. Neben dem Einsatzbereich (Produktion, Qualität, Logistik) wird auch zwischen der Art der Ein- und Ausgabe unterschieden. Diese können optisch, haptisch oder akustisch geschehen. Es existiert eine Vielzahl an multikriteriellen Bewertungssystemen, die die oben genannten und weitere Kriterien zur genauen Klassifizierung heranziehen. In weiterer Folge wird auf die verschiedenen Arten von Assistenzsystemen eingegangen.

Art der Unterstützung	Physisch		Kognitiv		Organisatorisch		Kommunikativ	
Art der Delegation	Im Einzelfall			Routinemäßige Nutzung			Selbstorganisation	
Eingriffsart	Informierend		Warnend		Assistierend		Teilautonom	Vollautonom
Automatisierungsstufe	Handlungsalternativen	Auswahl einschränkung	Vorschlag	Ausführung Bestätigung	Ausführung bei Vetorech	Ausführung Info	Info nur nach Anfrage	Autonome Entscheidung
Arbeitsteilung	Seriell			Parallel		Parallelredundant		
Anwendungsgebiet	Fertigung, Montage	Logistik	PPS, AV		Qualität	Instandhaltung, Service	Sonstige	
Informations-eingabe	Manuell		Verbal		Gestikulär	Bewegungsarten		Sonstige
Eingabeeinheit	Haptisch/Taktil		Auditiv		Kinästhetisch	Optisch		Sonstige (bspw. Bionisch)
Informations-ausgabe	Optisch		Akustisch		Haptisch		Sonstige	
Ausgabeeinheit	Visuell ortsfest	Visuell mobil	Auditiv ortsfest	Auditiv mobil	Haptisch		Sonstige	

Abbildung 14: Multikriterielle Bewertung von Assistenzsystemen - vgl. [56]

Physische Unterstützung

Die Mitarbeiter:innen werden beim Ausüben ihrer Tätigkeit physisch unterstützt und entlastet. Ziel ist eine Verbesserung der ergonomischen Situation des Arbeitsvorganges. Dabei können Kräfte umgeleitet oder angepasst werden. Teile können auf der richtigen Höhe bereitgestellt werden, sowie Arbeitsplätze an

verschieden große Mitarbeiter:innen angepasst werden. Bei schweren Bauteilen können die Mitarbeiter:innen beim Umgang mit diesen unterstützt werden. Auch die Materialbereitstellung wird mithilfe von physischen Assistenzsystemen unterstützt. Fahrerlose Transportsysteme (FTS) transportieren Material über weite Strecken innerhalb der Produktion. Kollaborative Roboter (Cobots) arbeiten unmittelbar mit Menschen zusammen. Sie übernehmen Aufgaben, die eine anstrengende oder auf Dauer ungesunde Körperhaltung erfordern. Mit Traglasten von bis zu 16 kg [57] können Cobots die Mitarbeiter:innen beim Heben schwerer Lasten unterstützen.



Abbildung 15 (links): Fahrerloses Transportsystem SSI Schäfer [58]

Abbildung 16 (rechts): Kollaborativer Roboter UR16e [57]

Kognitive Unterstützung

Kognitive Assistenzsysteme unterstützen, indem sie Informationen im geeigneten Maße zur Verfügung stellen. Informationen können Anweisungen zu korrekten Arbeitsabläufen, sowie die Überprüfung dieser sein. Aber auch weitere Kennzahlen, wie die bereits produzierte Stückzahl oder die Anzahl fehlerhafter Teile können von großer Relevanz sein. Spezifische Sicherheitsanweisungen werden mithilfe von kognitiven Assistenzsystemen zur richtigen Zeit am richtigen Ort bereitgestellt. Die klassische papiergebundene, unspezifische Informationsdarstellung wird durch innovative Systeme verbessert und die Produktivität somit gesteigert [53]. Fehlinterpretationen der Informationen aufgrund einer kognitiven Überforderung bei komplexen Montageaufgaben können deutlich reduziert werden.

Um die Unterstützung möglichst individuell zu gestalten, und somit auf unterschiedliche Fähigkeiten anders einzugehen, muss das System immer mehr Leistungsdaten erfassen und verarbeiten. Während des Ausübens der Tätigkeit stellt die zu unterstützende Person diese Informationen meist unbewusst bereit. Daraus ergibt sich die Möglichkeit des Erfassens von Parametern der Beschäftigten zur Leistungsüberwachung. Es ist daher essenziell bei der Implementierung kognitiver

Assistenzsysteme auf geeignete Datenschutz-Richtlinien zu achten, um eine breite Akzeptanz der Beschäftigten zu erzielen [53].

Informationen können optisch, akustisch, haptisch, sowie über andere Sinnesorgane an die Mitarbeiter:innen weitergegeben werden. Der bevorzugte Kommunikationsweg hängt dabei von Faktoren, wie der Entfernung, dem Umgebungslärm, sowie persönlichen Vorlieben ab. In Abbildung 16 werden die Vor- und Nachteile der verschiedenen Möglichkeiten zusammengefasst [59].

Art der Wahrnehmung	Vorteile	Nachteile
Visuell	<ul style="list-style-type: none"> hohe Empfindlichkeit gegenüber Bewegungen/Änderungen in der peripheren Sicht Benutzer kann aus Informationen wählen Nutzer entscheidet über den Zeitpunkt der Wahrnehmung sehr hohe Anzahl von Symbolen, leicht voneinander zu unterscheiden geeignet für Grafik- und Textinformationen 	<ul style="list-style-type: none"> Reaktionszeit: 200-400 ms „Übersehen“ relevanter Informationen möglich eingeschränktes Sichtfeld
Akustisch	<ul style="list-style-type: none"> Reaktionszeit: 100-150 ms Wahrnehmung nicht vom Sichtfeld abhängig 	<ul style="list-style-type: none"> Nutzer kann Wahrnehmung selektiv steuern begrenzte Anzahl von Objekten, die voneinander unterschieden werden können nicht geeignet für grafische Informationen
Haptisch	<ul style="list-style-type: none"> Reaktionszeit: 80-150 ms einzige Möglichkeit, Bewegungen wahrzunehmen 	<ul style="list-style-type: none"> Wahrnehmung an Körperkontakt gebunden nur für Übertragung nicht komplexer Informationen

Abbildung 17: Vergleich verschiedener Wahrnehmungsarten – vgl. [59]

Die Informationsdarstellung erfolgt durch verschiedene mobile elektronische Endgeräte. Je nach Einsatzort, werden Tablets, Datenbrillen, Smart Watches, Projektoren oder einfache Monitore verwendet. Sie bilden in diesem Fall die Schnittstelle zwischen Menschen und Maschine und bedürfen daher hoher

Aufmerksamkeit [17]. Konkrete Beispiele für verschiedene Arten der Informationsbereitstellung, sowie deren Nutzen werden in Kapitel 4.3 vorgestellt.

Organisatorische Unterstützung

Die organisatorische Unterstützung ähnelt der Kognitiven, betrachtet aber nicht nur einen einzelnen Mitarbeiter:innen, sondern das Unternehmen, sowie einzelne Prozesse im Gesamten. So werden beispielsweise die Zustände von Maschinen und Gesamtprozessgrößen überwacht. Ziel ist es, Transparenz über einen Wertschöpfungsprozess zu schaffen.

Kommunikative Unterstützung

Kommunikative Assistenzsysteme erleichtern die Kommunikation zwischen mehreren Mitarbeiter:innenn. Sie helfen ihnen, mit anderen Mitarbeiter:innenn arbeitsrelevante Themen zu besprechen. Aufgaben können mithilfe von speziell programmierten Apps verteilt werden. Aber auch spezifisches Wissen wird mithilfe von Assistenzsystemen geteilt und zur Verfügung gestellt.

3 Simulation von Produktionsprozessen

In der realen Umgebung ist die Planung einzelner Prozessschritte mit erheblichem Aufwand verbunden. Anpassungen und deren Auswirkungen lassen sich erst zeitverzögert und kostenintensiv zeigen. Die Erstellung und Berechnung in einer Simulation helfen Unternehmen, Ressourcen zu sparen. Bei einer Simulation werden Systeme nachgebildet, um die Funktionalität dieser zu testen und die Erkenntnisse anschließend auf die Wirklichkeit zu übertragen. Die erstellte Simulation ist dabei das digitale Abbild eines physischen Objekts oder einer gesamten Produktionsanlage in der realen Fabrik. Es ermöglicht eine Planung und Analyse des Herstellungsprozesses, sowie die Optimierung einzelner Schritte in einer virtuellen Umgebung. Das Verhalten, die Funktionalität sowie Veränderungen in der Realität können unter verschiedenen Aspekten kostengünstig simuliert werden. So kann beispielsweise der Einsatz neuer Betriebsmittel bereits im Vorhinein betrachtet und bewertet werden – siehe Abbildung 18 [60][61][62].



Abbildung 18: Simulation Robotereinsatz - [63]

Moderne Produktionssysteme sind komplizierte, voneinander abhängige Systeme, die sich aus verschiedenen Prozessen zusammensetzen. Ziel ist es, unter niedrigen Kosten, Produkte mit hoher Qualität herzustellen. Bereits eine kleine Änderung der Betriebsparameter kann das Ergebnis des Prozesses grundlegend verändern. Die ereignisorientierte Simulation hilft, die Auswirkungen bereits im Vorhinein zu zeigen und systemspezifische Leistungskennzahlen zu liefern [64].

Grundsätzlich untersucht man eine Simulation allerdings selten als ein „gesamtes“ System, da sie ständig im Austausch mit dem realen Unternehmen steht. Dies nennt

man „bidirektionales“ Funktionieren. Es werden einerseits unterschiedliche Parameter simuliert, andererseits spielt man Veränderungen der Wirklichkeit in die Simulation ein. Dadurch wird es möglich Auswirkungen der Inbetriebnahme einer weiteren Maschine zeitgenau zu bestimmen. Anschließend können in Reaktion darauf der Produktionsplan und die notwendigen Ressourcen angepasst werden. Auftretende Störungen oder andere ungewollte Ereignisse, wie Verzögerungen von Werk- und Rohstofflieferungen können rasch aufgegriffen werden. Anlagen, die sich noch in Planung befinden, können so abgebildet und simuliert werden. Echte Tests müssen durch die virtuelle Durchführung also nicht mehr durchgeführt werden und dafür ursprünglich eingeplante Mittel können eingespart werden. [62][65][66].

Historische Daten, die man in die Simulation einspielt, verbessern außerdem die Qualität der Simulationsergebnisse. Diese Daten werden manuell eingegeben bzw. automatisiert eingelesen und anschließend verarbeitet. Aktuelle Daten können des Weiteren automatisiert über Sensoren eingespielt werden und helfen, Erkenntnisse über vorangegangene Abläufe zu gewinnen. Auf Basis derer kann man wiederum Produktionspläne für die Zukunft erstellen. Gerade bei Branchen mit stark variablen Anforderungen führt eine Simulation zu signifikanten Verbesserungen. Flexibilität und Qualität eines realen Prozesses können so nämlich wesentlich erhöht werden. Systeme werden nachgebildet, diese bilden dynamische Prozesse nach, die im Modell getestet und anschließend in die Wirklichkeit übertragen werden [62][66].

Der Simulationsfortschritt kann über verschiedene Parameter bestimmt werden. Im Allgemeinen wird zwischen kontinuierlichem und diskretem Voranschreiten unterschieden. Kontinuierliche Fortschrittsmechanismen sind in der Regel durch Differenzialgleichungen gesteuert. Bei diskreten Modellen finden zu definierten Zeitpunkten Berechnungen auf Basis von definierten Regeln statt. Der Fortschritt wird daher entweder durch festgelegte Zeitschritte Δt , oder durch Ereignisse bestimmt. Ereignisse können definierte Aktivitäten sowie Prozesse sein. Die folgende Abbildung stellt die Klassifizierung von Simulationen dar [62][67].

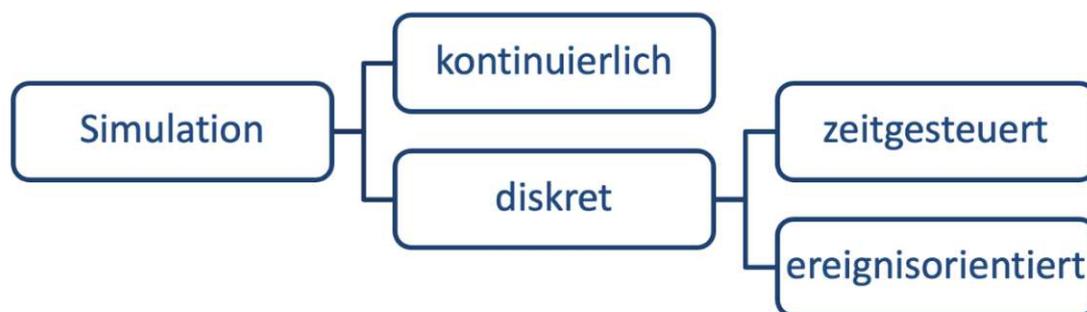


Abbildung 19: Klassifizierung von Simulationen - vgl. [67]

3.1 Ereignisorientierte Simulation

Wie oben bereits beschrieben, zeichnet sich die ereignisorientierte Simulation dadurch aus, dass Aktivitäten durch Ereignisse ausgelöst werden. Somit ergibt sich der Simulationsfortschritt durch die Abarbeitung von definierten Ereignissen, wie beispielsweise dem Durchlaufen von Bearbeitungsstationen. Eine Änderung des Simulationszustands zu diskreten Zeitpunkten kennzeichnet die ereignisorientierte Simulation.

Konzept der ereignisorientierten Simulation

Die ereignisorientierte Simulation basiert auf Ereignissen, die zu diskreten Zeitpunkten auftreten – englisch: discrete event simulation (DES). Das deutlichste Merkmal ist die sprunghafte Änderung des Systemzustandes beim Auftreten von Ereignissen. Im Zeitraum zwischen zwei Ereignissen bleibt der Zustand konstant. Ereignisse beschreiben beispielsweise das Eintreffen eines Werkstückes an einem Arbeitsplatz und verändern somit den Systemzustand. Sie bestimmen durch ihr Eintreten den nächsten Simulationsschritt und lösen somit eine Handlung aus. Die Zeit, die für die Absolvierung eines Prozesses benötigt wird, kann einerseits festgelegt werden, andererseits mittels Zufallszahlengeneratoren ermittelt werden. Um die Simulation zu beschleunigen, können Zeiten, in denen nichts passiert, übersprungen werden. Durch eine möglichst einfache und gleichzeitig zielorientierte Modellierung kann somit innerhalb kurzer Zeit eine konkrete Aussage getroffen werden [64].

Mögliche Anwendungsgebiete der ereignisorientierten Simulation

Die ereignisorientierte Simulation eignet sich besonders gut für die Berechnung der folgenden Prozesstypen:

- **Warteschlangensysteme**
Systeme wie beispielsweise Bankschalter, an denen Kund:innen gelegentlich eintreffen. Nach ihrem Eintreffen warten sie in Schlangen auf den benötigten Service, werden bedient und gehen anschließend wieder [68].
- **Fertigungssysteme**
Systeme, in denen Teile an verschiedenen Stationen bearbeitet werden sowie Prozessketten, die aus einzelnen definierten Prozessschritten bestehen. Solche Prozessketten findet man beispielsweise in produzierenden Unternehmen. Abhängig vom zu fertigenden Bauteil werden mehrere Fertigungsschritte durchlaufen [69].
- **Inventarsysteme**
Systeme wie beispielsweise Supermärkte, in denen Kund:innen jeden Tag zufällige Mengen eines bestimmten Produkts kaufen. Das Produkt wird dabei von Stufe zu Stufe weitergegeben, bevor es in der Filiale gekauft wird [68].

Die oben genannten Beispiele werden durch Ereignisse gesteuert, die zu diskreten Zeiten auftreten und den Zustand der Simulation verändern. Diese Zeitpunkte sind beispielsweise Kund:innenankünfte, Maschinenausfälle oder ein Start-Ereignis. Es ergibt sich eine Vielzahl an möglichen Anwendungsfällen. Im folgenden State-of-the-Art Kapitel werden weitere Anwendungsfälle aufgezeigt.

Funktionsweise der ereignisorientierten Simulation

Die wichtigste Komponente eines DES-Systems ist eine **Ereignisliste**, die alle zukünftigen Ereignisse enthält. Die Ereignisliste enthält die Menge der anstehenden Ereignisse, deren Durchlaufen für den weiteren Simulationsfortschritt verantwortlich ist. Darin werden alle für das Ereignis charakteristischen Informationen, wie der Ereignistyp und der Eintrittszeitpunkt hinterlegt. Die Simulation schreitet voran, indem sie von Ereignis zu Ereignis fortschreitet. Die Ereignisse sind daher nach ihren Eintrittszeitpunkten aufsteigend sortiert.

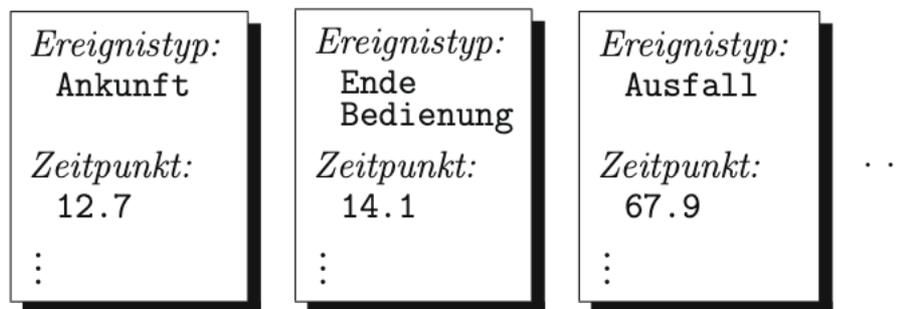


Abbildung 20: Ereignisliste - [70]

Jedes Mal, wenn ein Ereignis eintritt, wird für das eintretende Ereignis eine sogenannte **Ereignisroutine** ausgeführt. Die Ereignisroutine ist ein Programmcode als Teil der Simulationssoftware. Sie erledigt im Allgemeinen drei Aufgaben [71]:

- **Berechnung eines neuen Zustands**
Der neue Zustand kann sich aus mehreren Komponenten zusammensetzen und stellt die aktuelle Situation dar.
- **Aktualisierung der Ereignisliste**
Werden neue Ereignisse in die Ereignismenge eingefügt, so spricht man von Folgeereignissen des ausgeführten Ereignisses.
- **Durchführung statistischer Auswertungen**
Die für die Auswertung zu berechnenden Größen werden berechnet und aktualisiert.

Anschließend wird zum nächsten Ereignis auf der aktualisierten Ereignisliste übergegangen. Falls der Eintrittszeitpunkt eines Ereignisses vom Zufall abhängt, wird dieser mit Hilfe eines Zufallszahlengenerators bestimmt. Das führt dazu, dass die Zielgrößen des Systems nur mithilfe von statistischen Methoden beschrieben werden können. Die Ereignisliste wird in der Regel als einfache Liste gehandhabt. Dadurch gestaltet sich das Einfügen und Löschen von Ereignissen in der Liste als einfach. Der für die Auswahl des nächsten Elementes verantwortliche **Algorithmus** führt drei Aufgaben aus:

- Entfernen des ersten Elements der Ereignisliste,
- Aktualisierung der Simulationszeit und
- Ausführung der zum jeweiligen Ereignistyp gehörenden Ereignisroutine.

Die Routine endet, sobald die vorgegebene Simulationsdauer erreicht bzw. überschritten wird. Neben dem Festlegen eines Endzeitpunktes wird vor dem allgemeinen Ablauf die Simulationszeit auf 0 gesetzt sowie Anfangsereignisse geplant [68][71].

Formalisierung der ereignisorientierten Simulation

Der Zustand wird durch Ereignisse verändert – zwischen zwei Ereignissen wird der Zustand folglich als konstant angenommen. Der Zustand Z des Simulationssystems beinhaltet folgende Größen:

- den Zustand des simulierten Systems S
- die aktuelle Simulationszeit c
- die Ereignismenge aller noch nicht ausgeführten Ereignisse E

Der Zustand eines Systems lässt sich somit als $Z(S, c, E)$ beschreiben. Der Startzustand eines Systems ergibt sich zu $Z_0(S_0, c_0, E_0)$.

Ein Ereignis eines Simulationssystems beinhaltet folgende Größen:

- den Ausführungszeitpunkt t
- den Ereignistyp τ
- die Menge von Parametern P (Anzahl und Typ der Parameter sind von τ abhängig)

Ein Ereignis eines Systems lässt sich somit als $\tau(p_1, p_2, p_3, \dots)@t$ beschreiben.

Die Transitionsfunktion f , entspricht der Ausführung eines Ereignisses und ist abhängig vom aktuellen Systemzustand S und dem Ereignis e . Die Funktion f verändert den Systemzustand und erzeugt Folgeereignisse. Die Funktion f kann dabei auch eine zufallsbezogene Funktion sein. Mathematisch ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$f(S, e) = (S', E')$$

- S' beschreibt den neuen Zustand des Systems
- E' beschreibt die Menge der erzeugten Folgeereignisse

Die Simulation ist beendet, sobald die Ereignismenge \mathbf{E} leer ist. Soll die Simulation nach einer gewissen Zeit t_{max} beendet werden, so wird die Transitionsfunktion f entsprechend definiert. Alle Ereignisse, die nach t_{max} auftreten, lassen den Zustand des Systems unverändert, außerdem werden keine weiteren Folgeereignisse definiert [71].

Vor- und Nachteile der ereignisorientierten Simulation

Simulationen helfen bei der Untersuchung von Systemen. Auf Basis von relevanten Daten wird ein Simulationsmodell erstellt. Digitale Modelle stellen meist eine Abstraktion der Realität dar. Daher ist es notwendig, dieses anschließend zu verifizieren und zu validieren. Dadurch wird sichergestellt, dass eine hinreichende Übereinstimmung zwischen Modell und Realität gegeben ist. Kleine Änderungen am realen Gesamtsystem lassen sich kostengünstig in der Simulation abbilden. Dadurch lassen sich bereits früh potenzielle Auswirkungen analysieren [70].

Ein großer Vorteil der ereignisorientierten Simulation ist die einfache Untersuchung und Erprobung von komplexen Systemen. Laufende Prozesse zwischen Ereignissen müssen nicht berechnet werden. Für eine gesamtheitliche Betrachtung von Industrieprozessen eignet sich die ereignisorientierte Simulation sehr gut. Produktions- und Belegungspläne lassen sich innerhalb kürzester Zeit und unter geringem Rechenaufwand adaptieren [70][72].

Es lassen sich außerdem die Vorteile der einer schlanken Produktion im gesamten System aufzeigen. Somit wird innerhalb kürzester Zeit vermittelt, wie sie mögliche operative Änderungen auf das gesamte System auswirken. Durch eine Betrachtung der Auswirkungen lassen sich Schlüsse ziehen, wie das betrachtete System zukünftig verbessert werden kann. Der Einsatz der ereignisorientierten hilft auch, die Produktionsplanung zu verbessern. Eine verbesserte Produktionsplanung hilft, bestehende Kapazitäten besser zu nützen und steigert somit maßgeblich die Effizienz [67][73][74].

Der Nachteil der ereignisorientierten Simulationen ist, dass sich menschliche Eigenschaften nur schwer abbilden lassen. Um auf menschliche Fähigkeiten oder Fehler einzugehen, müssen andere Methoden verwendet werden. Mensch-zentrierte Prozesse lassen sich daher schwierig direkt mithilfe von abbilden. Zur Erstellung eines Simulationsmodells ist außerdem meist eine spezielle Ausbildung erforderlich [67][73].

Einschränkungen der ereignisorientierten Simulation

Es zeigt sich, dass die ereignisorientierte Simulation ein geeignetes Werkzeug zur Betrachtung eines gesamten Produktionsprozesses ist. Um Änderungen an einem Arbeitsplatz direkt zu beurteilen, eignet sie sich allerdings nicht optimal. Um die Auswirkungen an einem Arbeitsplatz direkt zu bewerten, wird auf andere Methoden – beispielsweise Methoden des Industrial Engineerings – zurückgegriffen. In weiterer Folge wird ein Leitfaden vorgestellt, der, durch die Anwendung und Verknüpfung geeigneter Methoden, die Konzeptionierung eines Arbeitsplatzes erleichtert. Dabei muss für jeden Prozessschritt eine geeignete Methode verwendet werden.

3.2 State-of-the-Art

Die ereignisorientierte Simulation eignet sich allerdings nicht nur für die Modellierung von Produktionsprozessen. Auch in anderen Bereichen ist ein Einsatz sinnvoll. Besonders im Gesundheitswesen ist die ereignisorientierte Simulation bereits weit verbreitet. Im folgenden Kapitel soll ein Überblick über bestehende Lösungsansätze bzw. Einsätze der ereignisorientierten Simulation gegeben werden. Dazu wurde nach relevanten Publikationen aus den letzten drei Jahren gesucht. Ausgewählte Publikationen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

Nutzen der Simulation	Jahr	Erstautor	Anwendungsgebiet
Beschreibung des Zusammenhangs zwischen Verkehrssystemen	2019	Y. Zhang	Öffentlicher Verkehr
Verbesserung der Liefertermintreue	2019	G. Schuh	Logistik
Ermittlung der Kosten durch Schlaganfälle	2020	A. Patel	Gesundheitswesen
Optimierung von Fertigungssystemen	2020	S. Lidberg	Produktion
Vergleich verschiedener Layoutstrategien von Lagerhallen	2021	M. Amorim-Lopes	Logistik
Berechnung von COVID-19 Testkapazitäten	2021	M. Saidani	Gesundheitswesen

Abbildung 21: State-of-the-Art Recherche

3.2.1 Relevante Publikationen

Im Folgenden werden die oben angeführten Publikationen kurz vorgestellt.

Y. Zhang, C. G. Cassandras, W. Li, and P. J. Mosterman, “A discrete-event and hybrid traffic simulation model based on SimEvents for intelligent transportation system analysis in Mcity” vol. 29, no. 3. *Discrete Event Dynamic Systems*, 2019.

Diese Publikation beschäftigt sich mit dem Zusammenhang zwischen Verkehrssystemen der ereignisgesteuerten Dynamik. Intelligente Verkehrssysteme stellen, durch physische Komponenten, wie vernetzte automatisierte Fahrzeuge typische cyber-physische Systeme dar. Um die Leistung sowie die Sicherheit eines solchen Systems bewerten zu können, wird ein, auf SimEvents basierendes, Simulationsmodell erstellt. Das Modell beinhaltet folgende drei Komponenten:

- Infrastruktur: Straßen, damit die Fahrzeuge fahren können und Einrichtungen, die die Kommunikation ermöglichen und das Verkehrsmanagement durchführen.
- Fahrzeuge: Diese unterscheiden sich in Bezug auf ihre Bewegungsdynamik, Fahrerverhaltensmodelle und Kraftstoffverbrauch.
- Ereignisse: Sie zwingen bestimmte Elemente, ihr Verhalten zu ändern. So führt beispielsweise ein unerwarteter Sturm dazu, dass die Fahrzeuge langsamer fahren.

Das Modell ermöglicht eine Untersuchung des Verkehrsverhaltens. Die Auswirkungen neuer Steuerungsalgorithmen für CAVs lassen sich unter verschiedenen Verkehrsszenarien zeigen [75].

G. Schuh et al., “Verbesserung der Liefertermintreue durch Simulation” *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetr.*, vol. 114, no. 12, pp. 819–822, 2019, doi: 10.3139/104.112201.

Diese Publikation beschreibt die ereignisorientierte Simulation als Entscheidungsgrundlage für eine Verbesserung der Liefertermintreue. Aufgrund von unvorhergesehenen Störungen kommt es oftmals zu Gefährdungen von Kundenlieferterminen. Aufgabe der Produktionssteuerung ist es, effektiv und effizient auf diese kurzfristigen Störungen zu reagieren. Häufig werden Entscheidungen auf Basis von subjektiven Erfahrungen des Produktionsplaners getroffen. Um die Qualität der Entscheidung zu verbessern, beschreibt dieser Artikel eine App, die eine quantitative Entscheidungsfindung ermöglicht. Das System besteht aus den folgenden drei Komponenten:

- Benutzeroberfläche: Die Interaktion der Benutzer mit dem System wird ermöglicht.
- Datenkomponente: Benötigte Daten werden erfasst, transformiert und aggregiert.

- Modellkomponente: Das betrachtete System wird vereinfacht, um dessen Verhalten abbilden zu können.

Für eine Bewertung wird zunächst eine Störung identifiziert sowie ein Ist-Zustand modelliert. Mithilfe der Benutzeroberfläche kann der Nutzer das Modell um beschleunigende Elemente ergänzen. Anschließend werden die verschiedenen Varianten in der Modellkomponente simuliert. Die Ergebnisse der Simulation werden anschließend erneut in der Benutzeroberfläche angezeigt.

Die Simulation unterschiedlicher Maßnahmen sowie deren Kombinationen ermöglicht eine objektive Entscheidungsfindung bei kurzfristigen Störungen. Sie hilft, Maßnahmen zu identifizieren, die eine Einhaltung eines gefährdeten Kundenliefertermins doch noch ermöglichen.

Das Unterstützungssystem hilft außerdem, die Zeit der Entscheidungsfindung deutlich zu reduzieren, da keine manuellen Analysen durchgeführt werden müssen. Korrigierende Maßnahmen können somit früher eingeleitet werden, um zusätzlich Zeit und Kosten einzusparen [76].

A. Patel, V. Berdunov, Z. Quayyum, D. King, M. Knapp, and R. Wittenberg, "Estimated societal costs of stroke in the UK based on a discrete event simulation" *Age Ageing*, vol. 49, no. 2, pp. 270–276, 2020

Diese Publikation beschäftigt sich mit der Abschätzung der jährlich, durch Schlaganfälle, verursachten Kosten im Vereinigten Königreich. Zunächst wurden die jährlichen Kosten pro Person von vergangenen Jahren analysiert. Auf Basis der gesammelten Daten wurde eine ereignisorientierte Simulation erstellt. Dabei wurden einerseits die Kosten im ersten sowie in den folgenden Jahren berücksichtigt. Auch die Wahrscheinlichkeit des Fortschreitens der Krankheit und die Dauer der Inanspruchnahme verschiedener Gesundheitsleistungen wurde berücksichtigt. Dazu wurden historische Daten ausgewertet und Prognosen mithilfe von Zufallsgeneratoren erstellt. Um aussagekräftigere Ergebnisse zu erhalten, wurden die Variablen nach Geschlecht und Alter unterteilt.

Es lassen sich damit durchschnittliche Kosten eines neu auftretenden Schlaganfalls in Höhe von £45.409 im ersten und £24.778 in den folgenden Jahren ermitteln [77].

S. Lidberg, T. Aslam, L. Pehrsson, and A. H. C. Ng, "Optimizing real-world factory flows using aggregated discrete event simulation modelling: Creating decision-support through simulation-based optimization and knowledge-extraction" *Flex. Serv. Manuf. J.*, vol. 32, no. 4, pp. 888–912, 2020

Diese Publikation beschäftigt sich mit einer schnellen Reaktion auf die sich ständig verändernden Marktanforderungen. Um Änderungen nicht an Systemen, die bereits in

Betrieb sind zu erproben, wird ein Simulationsmodell erstellt. Ziel des Systems ist es, die Verbesserungen mit festgelegten investierten Ressourcen zu maximieren. Dafür wird die diskrete Ereignissimulation mit Methoden der multikriteriellen Optimierung und des Data-Mining kombiniert.

Ein Produktionsprozess besteht aus verschiedenen, voneinander abhängigen Schritten. Da eine detaillierte Verknüpfung zu aufwändig wäre, werden mithilfe einer ereignisorientierten Simulation die einzelnen Schritte vereinfacht und anschließend miteinander verknüpft. Operative Änderungen an einzelnen Stationen werden mithilfe von anderen Methoden ermittelt und deren Auswirkungen auf Werksebene anschließend mithilfe der ereignisorientierten Simulation bewertet. Anschließend wird ein Praxisbeispiel mit dem Ziel der Senkung der Lagerbestände, einer Verringerung der Durchlaufzeit und einer Verringerung der Losgrößen beschrieben [78].

M. Amorim-Lopes, L. Guimarães, J. Alves, and B. Almada-Lobo, "Improving picking performance at a large retailer warehouse by combining probabilistic simulation, optimization, and discrete-event simulation" Int. Trans. Oper. Res., vol. 28, no. 2, pp. 687–715, 2021

Diese Publikation beschäftigt sich mit der Verbesserung von Layout- und Lagerzuweisungsstrategien von Lagerhallen. Der Fokus dieses Artikels liegt auf nicht automatisierten, arbeitsintensiven Lager. Aufgrund besonders zeitaufwändiger Tätigkeiten, wie die Abholung von Artikeln können Techniken zur Bestandskategorisierung zu einer erheblichen Verbesserung beitragen. Um die Auswirkungen verschiedener Techniken zu bewerten, wird eine dreistufige Methodik vorgestellt.

- Analyse der verschiedenen Bereiche: Die Leistungen der verschiedenen Lagerbereiche werden mithilfe von Zufallsvariablen abgeschätzt
- Optimierungsmodell: Das gesamte Lagerlayout wird durch Auswahl verschiedener Konfigurationen verbessert
- Simulationsphase: Die optimierte Layout-Lösung wird mit Hilfe eines ereignisorientierten Simulationsmodells getestet.

Für die Berechnung mithilfe der ereignisorientierten Simulation werden einige Parameter, wie die Anzahl der Transportwagen bestimmt, andere Parameter, wie die benötigte Zeit, werden mithilfe von Zufallsgeneratoren ermittelt. Die beschriebene Methode wurde anschließend anhand dreimonatiger Betriebsdaten aus dem Lager eines großen Einzelhändlers validiert. Es wird gezeigt, dass die Simulation erfolgreich zur Verbesserung der Leistung eines Distributionslagers eingesetzt werden kann. Das DES-Modell wird als sehr hilfreich beschrieben, um Lösungen visuell darzustellen und so den Entscheidungsträgern zu helfen, die vorgeschlagenen Änderungen zu verstehen und ihre Auswirkungen zu erkennen [79].

M. Saidani, H. Kim, and J. Kim, “Designing optimal COVID-19 testing stations locally: A discrete event simulation model applied on a university campus” PLoS One, vol. 16, no. 6 June, pp. 1–16, 2021

Diese Publikation beschäftigt sich mit der Berechnung ausreichender Testkapazitäten, um die Ausbreitung der COVID-19 Pandemie zu verzögern. Für die Konzeptionierung von Teststationen wird ein diskretes Ereignissimulationsmodell entwickelt. Das Modell zielt darauf ab, die Anzahl der benötigten Maschinen, benötigtem Personal sowie deren Aufteilung zu berechnen. Dabei werden die verfügbaren Ressourcen sowie die Anzahl der täglich zu testenden Proben berücksichtigt.

Für die Modellentwicklung wurden Daten des Universitätscampus der University of Illinois herangezogen – dort mussten täglich durchschnittlich etwa 10.000 Proben verarbeitet werden. Die Simulation hilft, Engpässe im Prozess und somit Verbesserungspotentiale zu identifizieren, um Personal und Zeit zu sparen. Sie zeigt den optimalen Ressourceneinsatz je nach Losgröße.

Im betrachteten Artikel wird explizit darauf hingewiesen, dass das verwendete Modell auch in Bereichen der Produktion für eine sinnvolle Ressourcenzuordnung eingesetzt werden kann [80].

3.2.2 Fazit der State-of-the-Art-Recherche

Die State-of-the-Art Recherche zeigt die vielfältigen Einsatzgebiete der ereignisorientierten Simulation. Durch die Recherche zeigen sich folgende drei Nutzen der ereignisorientierten Simulation:

- **Identifikation von Verbesserungspotenzialen**
Der Einsatz von Simulationen hilft, Engpässe und Probleme in bestehenden Systemen zu erkennen. Dadurch werden bereits erste Verbesserungspotentiale deutlich.
- **Ermittlung von Auswirkungen auf das Gesamtsystem**
Mithilfe eines Simulationsmodells werden bereits im Vorhinein Auswirkungen konkreter Maßnahmen ermittelt. So kann beispielsweise der Personal- oder Maschinenbedarf im Vorhinein ermittelt werden.
- **Entscheidungsgrundlage**
Ein gutes Simulationsmodell ermöglicht es, eine Vielzahl an Szenarien zu simulieren und so eine bessere Grundlage für eine strategische Entscheidungen zu schaffen.

Einschränkungen zeigen sich dahingehend, dass die ereignisorientierte Simulation nur für die Berechnung von diskreten quantitativen Aspekten herangezogen wird. So werden beispielsweise für die Quantifizierung von einzelnen Teilaufgaben andere Methoden und Werkzeuge benötigt.

4 Leitfaden zur Untersuchung der Umgestaltung eines Arbeitsplatzes

4.1 Bewertung unterschiedlicher Arbeitseinflüsse

Das Ziel einer Neugestaltung eines Arbeitsplatzes ist, wie in Kapitel 3 bereits erwähnt, den Arbeitsprozess menschengerecht zu gestalten und gleichzeitig ein wirtschaftliches Arbeiten zu ermöglichen. Sowohl bei der Analyse und Beurteilung bestehender Arbeitsplätze als auch bei der Gestaltung neuer Arbeitsplätze gilt es, diese Ziele zu verfolgen.

Um diese Ziele gleichermaßen zu erreichen, existieren verschiedene Lösungsansätze. Der Zukauf einer weiteren Maschine erhöht beispielsweise die Produktionskapazität direkt. Eine ergonomische Verbesserung der Arbeitsbedingungen hingegen, beispielsweise durch eine bessere Beleuchtung der Werkzeuge, reduziert die Fehlerquote sowie Rüst- und Nebenzeiten. Eine Kapazitätssteigerung lässt sich jedoch nicht direkt ermitteln. Es wird deutlich, dass verschiedene Maßnahmen unterschiedliche Auswirkungen auf den gesamten Arbeitsprozess haben. Bei der Arbeitsplatzgestaltung lassen sich nach REFA die Auswirkungen in ergonomische, sowie organisatorische Arbeitseinflüsse unterteilen. In weitere Folge wird diese Unterteilung um technische Arbeitseinflüsse ergänzt [81].

Ergonomische Arbeitseinflüsse befassen sich mit dem Arbeitsplatz an sich. Konkrete Gestaltungsmerkmale, wie die Arbeitsplatzgröße, die vorgesehene Haltung der Mitarbeiter:innen, sowie die Arbeitsumgebung (Licht, Temperatur, Umgebungslärm) wirken sich unterschiedlich auf die Arbeit aus. Auch die zur Verfügung gestellte Ausstattung wirkt sich auf die Arbeit der Mitarbeiter:innen aus. Dazu zählen verwendete Betriebsmittel sowie Werkzeuge und Assistenzsysteme zur Unterstützung der Mitarbeiter:innen. Wie eingangs bereits erwähnt, lassen sich Auswirkungen ergonomischer Arbeitseinflüsse auf Gesamtprozesszahlen schwer direkt quantifizieren.

Organisatorische Arbeitseinflüsse befassen sich mit Maßnahmen der Arbeitsgestaltung und Arbeitsteilung. Es wird festgelegt, ob Arbeitszeiten fix oder flexibel gestaltet werden sowie wann Pausen eingelegt werden. Weiters wird definiert, wie Arbeitsabläufe stattfinden sollen. Auch die Zuordnung der Mitarbeiter:innen an die Betriebsmittel wird festgelegt. Es lässt sich dadurch ein Mitarbeiter:innenbedarf für einen bestimmten Zeitraum definieren. Im Gegensatz zu ergonomischen Arbeitseinflüssen, lassen sich die Auswirkungen organisatorischer Arbeitseinflüsse gut quantifizieren.

Technische Arbeitseinflüsse befassen sich mit Maßnahmen, die sich direkt an verwendete Betriebsmittel orientieren. So fällt beispielsweise der Kauf einer weiteren Maschine in diese Kategorie. Aber auch eine Änderung der Taktzeit, oder die Automatisierung von Prozessschritten werden hier beschrieben. Die Auswirkungen technischer Arbeitseinflüsse lassen sich ebenso gut quantifizieren.

4.2 Aufbau des Leitfadens

Es wird deutlich, dass unterschiedliche Maßnahmen unterschiedlich bewertet werden müssen. Besonders die Auswirkungen ergonomischer Arbeitseinflüsse auf den Gesamtprozess lassen sich nur schwer quantifizieren. Um sie dennoch mithilfe der diskreten ereignisorientierten Simulation bewerten zu können, wurde der folgende Leitfaden erstellt. Das folgende Prozessdiagramm zeigt den groben Ablauf der empfohlenen Konzepterstellung.

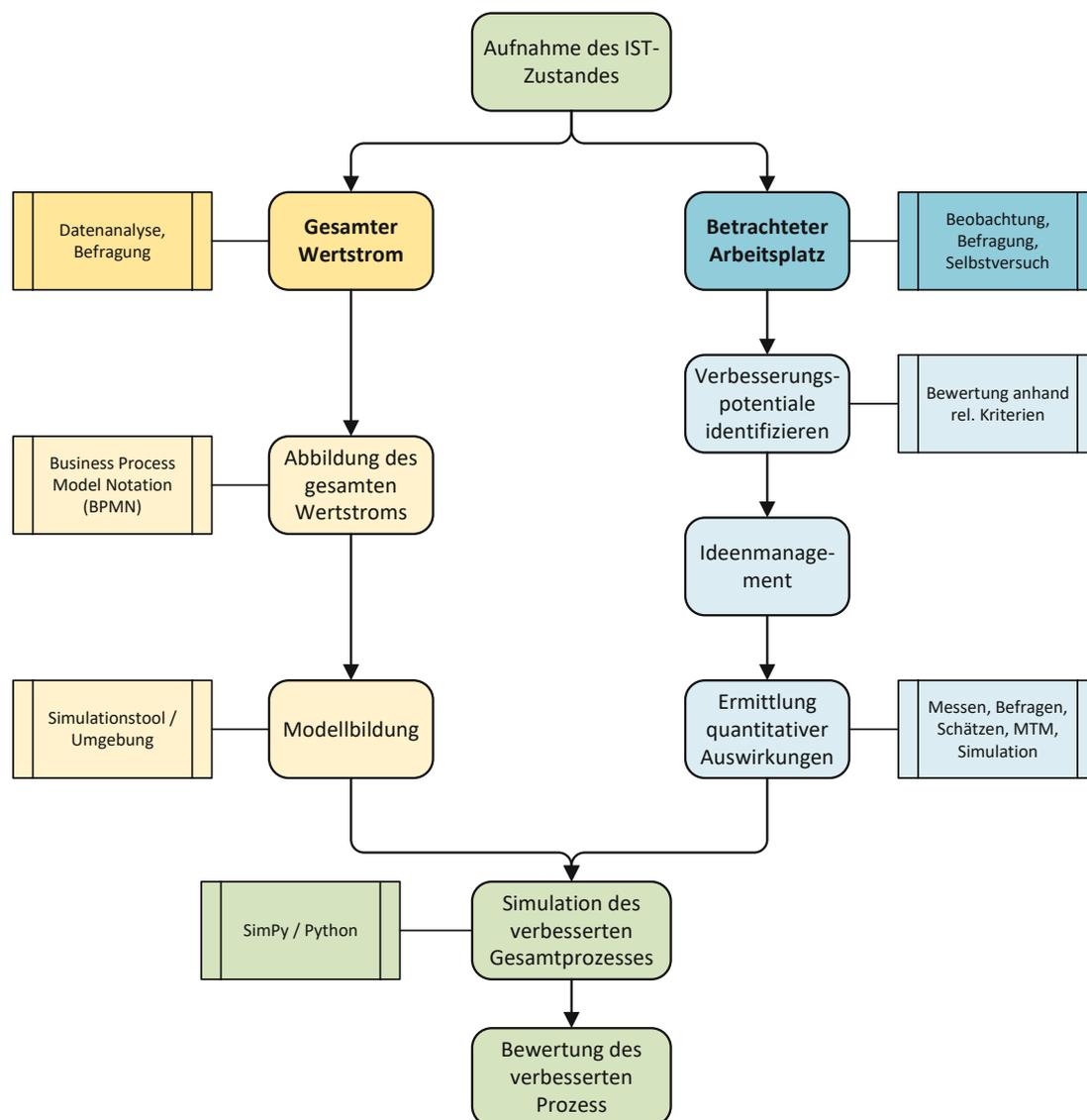


Abbildung 22: Leitfaden für die Konzepterstellung

4.2.1 Aufnahme Ist-Zustand

Die Aufnahme des Ist-Zustands steht am Beginn der Bewertung der Arbeitseinflüsse. Dabei wird einerseits der betroffene Arbeitsplatz betrachtet. Andererseits wird der gesamte Wertschöpfungsprozess aufgenommen. Der betroffene Arbeitsplatz wird detailliert erfasst und analysiert. Hier wird vermehrt auf ergonomische bzw. menschliche Arbeitseinflüsse, wie die Arbeitsumgebung sowie die konkrete Arbeitsgestaltung, eingegangen.

Die Aufnahme des gesamten Wertstroms ist relevant, um im späteren Verlauf Auswirkungen arbeitsplatzspezifischer Maßnahmen auf den gesamten Produktionsprozess zeigen zu können. Organisatorische und technische Arbeitseinflüsse, die sich leicht quantifizieren lassen, können direkt aufgenommen und bewertet werden.

In weiterer Folge werden die Aufnahme des gesamten Wertstroms sowie des betrachteten Arbeitsplatzes erläutert. Es wird ausgeführt, wieso welche Methode für die jeweilige Aufnahme sinnvoll ist.

4.2.2 Gesamter Wertstrom

Die Aufnahme des gesamten Wertstroms gliedert sich in folgende Punkte:

- **Abbildung des gesamten Wertstroms** mithilfe der Business Process Model Notation
- **Modellbildung** in einer Simulationsumgebung

Die Prozessaufnahme beschreibt eine systematische Analyse von Prozessen. Ziel ist es, nicht nur Prozessfragmente zu betrachten, sondern den Prozess als Ganzes zu verstehen. Anschließend wird dieser ganzheitlich bewertet. Der Produktionsprozess wird dabei in den einzelnen Schritten betrachtet, um ein geeignetes Modell bilden zu können. Jeder Arbeitsschritt stellt ein Ereignis dar und muss abgebildet werden. Die betrachtete Wertschöpfungskette wird vom ersten bis zum letzten Bearbeitungsschritt aufgenommen und liefert in weiterer Folge eine Grundlage für Vergleiche und Bewertungen. Eine erfolgreiche Prozessaufnahme erläutert, welche Subprozesse betrachtet werden sowie wie diese ablaufen [82][83].

Zu Beginn einer Prozessaufnahme steht die **Informationssammlung** zu bestehenden Prozessen. In der Regel sind benötigte Informationen nicht gesammelt verfügbar. Ein Hauptgrund ist, dass Prozesswissen häufig fragmentiert und verteilt über mehrere Abteilungen und Personen vorhanden ist. Benötigte Informationen können folgendermaßen gesammelt werden [83]:

- evidenzbasiert

- interviewbasiert
- workshopbasiert

Für die Aufnahme des gesamten Wertschöpfungsprozesses ist die evidenzbasierte Informationssammlung am besten geeignet. Sie befasst sich einerseits mit einer umfassenden Dokumentenanalyse, andererseits mit einer Beobachtung des Prozesses. In den meisten Fällen sind zahlreiche Dokumente vorhanden. Es muss jedoch sorgfältig geprüft werden, ob diese vollständig sowie vertrauenswürdig sind. Oft existiert eine Vielzahl an Dokumenten, die individuell betrachtet und anschließend zusammengeführt werden müssen. In weiterer Folge sind diese nützlich, um eine erste Prozesslandschaft zu skizzieren. Eine Beobachtung hilft einerseits, noch offene Fragen zu klären. So können beispielsweise fehlende Informationen gezielt erfragt bzw. ermittelt werden. Andererseits lässt sie Rückschlüsse auf die tatsächliche Ausführung der Prozesse zu. Beobachtungen können sowohl teilnehmend als auch nicht-teilnehmend durchgeführt werden. Der große Nachteil von Beobachtungen ist die benötigte Zeit sowie ihre Kostenintensivität [83].

Für die **Prozessvisualisierung** von Produktionsprozessen eignet sich eine Vielzahl an Methoden. Für dieses Konzept wird die Business Process Model Notation (BPMN)–Darstellung empfohlen. BPMN wurde zunächst von Stephen A. White von IBM mit dem Ziel, eine standardisierte, grafische Prozessnotation bereitzustellen, entwickelt. Ziel der BPMN ist einen Überblick über Informations- und Datenflüsse zwischen Prozessen sowie mehrerer Organisationseinheiten zu erhalten. Eine BPMN-Darstellung erhöht außerdem das Verständnis der Flusslogik von Prozessen und liefert in weiterer Folge eine wichtige Grundlage für die Automatisierung von Prozessen. Die BPMN greift auf bestimmte Basiselemente zu. Ein Überblick über die gängigsten Elemente ist im Anhang zu finden [82][84].

Die erstellte Visualisierung bildet gemeinsam mit einer Strukturierten Datenanalyse eine Basis für eine anschließende Modellierung des Wertstroms. Diese kann beispielsweise in der Programmiersprache Python erstellt werden. Da eine Vielzahl an Softwarelösungen am Markt existiert, wird ein kurzer Überblick gegeben.

- **SimPy**: SimPy ist eine, auf Python basierende, Bibliothek, die Werkzeuge für ereignisgesteuerte Simulationen bereitstellt. Für die Simulation benötigte Ressourcen lassen sich zunächst definieren und interagieren anschließend sowohl miteinander, als auch mit der Umgebung [85].
- **Arena**: Arena ist eine, von Rockwell Automation vertriebene Software für die ereignisgesteuerte Simulation. Prozesse lassen sich durch unterschiedliche geometrische Formen zusammenstellen. Über Schnittstellen zu Excel sowie anderen Programmen ist Arena besonders benutzerfreundlich [86].
- **Matlab SimEvents**: SimEvents ist ein, von MathWorks entwickeltes diskretes Ereignissimulationstool, das der Simulink-Umgebung eine Bibliothek grafischer

Bausteine hinzufügt. Über eine grafische Drag-and-Drop-Schnittstelle kann ein Modell erstellt werden. SimEvents und Simulink können im selben Simulationsmodell verwendet werden, um Systeme zu simulieren, die sowohl zeitbasierte als auch ereignisbasierte Komponenten aufweisen [87].

- **Anylogic:** AnyLogic ist ein Simulationswerkzeug, das verschiedene Arten der Modellierung unterstützt. Neben der ereignisorientierten kann sowohl Systemdynamik als auch die agentenbasierte Modellierung beliebig kombiniert werden. Durch die Kombination mehrerer Simulationsmethoden können die Nachteile einzelner Ansätze überwunden werden [88].

4.2.3 Aufnahme des betrachteten Arbeitsplatzes

Nach der Aufnahme des gesamten Produktionsprozesses folgt die konkrete Betrachtung und Aufnahme eines konkreten Arbeitsplatzes. Diese liefert einerseits einen Referenzzustand für einen späteren Vergleich, andererseits werden Verbesserungspotenziale für die Umgestaltung sichtbar. Um bei der Betrachtung und anschließenden Bewertung systematisch vorzugehen, werden die, im vorigen Kapitel definierten Kriterien herangezogen:

- Automatisierung
- Digitalisierung
- Lean-Management
- Ergonomie
- Assistenzsysteme

Während bei der **Aufnahme** des gesamten Produktionsprozesses evidenzbasierte Methoden zielführend sind, erweisen sich bei der Analyse eines Arbeitsplatzes zudem die interviewbasierten Methoden als zielführend. Durch persönliche Gespräche mit Experten lässt sich innerhalb kurzer Zeit ein genaues Bild des betrachteten Arbeitsplatzes zeichnen. Neben der reinen Beobachtung des Arbeitsplatzes sowie der Befragung von Experten besteht die Möglichkeit einer Feldstudie. Es kann hilfreich sein, für eine bestimmte Zeit selbst die Arbeit am betrachteten Arbeitsplatz durchzuführen und auftretende Schwierigkeiten zu notieren. Für eine detaillierte Analyse des Arbeitsplatzes wird daher das folgende Procedere empfohlen:



Abbildung 23: Ablauf der Arbeitsplatzanalyse

Die **Beobachtung** steht zu Beginn der Arbeitsplatzanalyse. Sie ist nützlich, um einen Überblick über die Tätigkeiten zu erhalten. Dabei wird der Arbeitsplatz betrachtet und Auffallendes notiert. Dabei können auch Fotos verwendet werden, um die Anschaulichkeit zu erhöhen. Um eine Struktur in der Beobachtungsphase beizubehalten, empfiehlt es sich, sich anhand der vorhin definierten Kriterien zu orientieren. So wird beispielsweise konkret auf ergonomische Aspekte geachtet, um diese anschließend zu analysieren. In einem weiteren Schritt wird anschließend beurteilt, wie ressourcensparend gearbeitet wird. Durch diese Struktur wird trotz geringem Vorwissen sichergestellt, dass möglichst kein Aspekt vergessen wird.

Das, durch die Beobachtung erlangte Wissen hilft, eine systematische **Befragung** zu planen und durchzuführen. Es wird zunächst definiert, wer befragt wird. Der befragte Personenkreis sollte, sofern es zeitlich möglich ist, möglichst breit gefasst werden. Die Befragung der Führungskräfte hilft, ein allgemeines Verständnis der Problematik zu bekommen. Gespräche mit Mitarbeiter:innern am Arbeitsplatz eignen sich ausgezeichnet, um auf konkrete Probleme aufmerksam zu werden. Die Befragung kann auch auf weitere Mitarbeiter:innen ausgeweitet werden, die nicht unmittelbar an dem betrachteten Arbeitsplatz arbeiten, jedoch indirekt davon betroffen sind. In allen Fällen wird empfohlen, im Vorhinein einen Interviewleitfaden zu erstellen. Dieser sollte möglichst offene Fragen enthalten, um auch mögliche Nebenthemen zu erkennen. Um auf mögliche Nebenthemen zu kommen, ist es notwendig, besonders aufmerksam zuzuhören. Es kann gegebenenfalls auch hilfreich sein, die Tonspur des Interviews aufzuzeichnen – dabei muss allerdings im Vorhinein eine Genehmigung eingeholt werden [83][89].

Im abschließenden **Selbstversuch** am Arbeitsplatz werden die in den vorigen Schritten erfassten Erkenntnisse geprüft und ergänzt. Durch das direkte Arbeiten am Arbeitsplatz lassen sich Zweifel über Aussagen und Erkenntnisse aus dem Weg schaffen. Die direkte Konfrontation mit auftretenden Problemen hilft, diese einzuordnen und zu gewichten.

4.2.4 Verbesserungspotentiale identifizieren

Die Aufnahme existierender Prozesse erfolgt mit dem Ziel, Verbesserungspotentiale zu identifizieren. Sowohl bei der Aufnahme und Betrachtung des Gesamtprozesses als auch des Arbeitsplatzes werden Schwierigkeiten aufgezeigt. Diese Schwierigkeiten bzw. Probleme bieten Potentiale zur Verbesserung. Um eine Verbesserung der aktuellen Situation zu erzielen, müssen diese Potentiale in einem ersten Schritt systematisch erfasst werden. Dabei ist es zweckmäßig, bereits zu Beginn relevante Kriterien zu definieren, anhand derer die auftretenden Probleme geordnet werden.

Aus diesem Grund steht die **Definition relevanter Kriterien** am Beginn der Konzepterstellung. Definierte Kriterien sind wichtig, um den Ist-Zustand systematisch

zu bewerten. Auftretenden Probleme werden entsprechenden Kriterien zugewiesen. Falls im betrachteten Beispiel ein bestimmter Aspekt fokussiert werden soll, lassen sich konkrete Probleme identifizieren und entsprechende Maßnahmen ableiten. Es wird empfohlen, bei der Auswahl ein möglichst ganzheitliches Bild zu zeichnen. Aus diesem Grund wurde in der vorausgegangenen Literaturrecherche eine Vielzahl an Aspekten betrachtet. Die ausgewählten Aspekte können den verschiedenen Arbeitseinflüssen zugeteilt werden. Es ergibt sich dadurch folgende Einteilung:

Ergonomische Arbeitseinflüsse

- **Ergonomie**

Ergonomie am Arbeitsplatz wird zunehmend wichtiger. Das primäre Ziel eines ergonomisch gestalteten Arbeitsplatzes ist die langfristige Sicherstellung der Gesundheit der Arbeitnehmer:innen. Aber auch Arbeitgeber:innen profitieren durch die Vermeidung von Ausfällen auf lange Sicht. Die ergonomische bzw. sichere Gestaltung eines Arbeitsplatzes muss daher bei jeder Arbeitsplatzkonzeptionierung sichergestellt werden [49][50].

- **Assistenzsysteme**

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, kann eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen auch durch die Anwendung innovativer Assistenzsysteme erzielt werden. Assistenzsysteme unterstützen den Mitarbeiter:innen in der Bewältigung seiner Arbeit. Komplexe Fertigungsaufgaben lassen sich schnell und in hoher Qualität von gering qualifizierten Mitarbeiter:innen ausüben. Sie bilden außerdem durch einen wichtigen Schritt in Richtung einer vernetzten Fabrik und steigern somit die Flexibilität eines Unternehmens. Vor einer Neugestaltung muss daher analysiert werden, ob und welche Assistenzsysteme aktuell im Einsatz sind sowie, wo ein Einsatz sinnvoll erscheint [55].

Organisatorische Arbeitseinflüsse

- **Lean-Management**

Die Vermeidung von Verschwendungen, sowie die starke Kundenorientierung ermöglichen es, günstigere Preise der Produkte anzubieten und somit wettbewerbsfähiger zu sein. Die „leane“ Gestaltung eines Arbeitsplatzes führt in weiterer Folge zu einer Verbesserung der Wertschöpfungskette sowie zu Kostenersparnissen in verschiedenen Bereichen. Um möglichst ressourcensparend arbeiten zu können, kann auf die in Kapitel 3 beschriebenen Werkzeuge zurückgegriffen werden [41][43].

Technische Arbeitseinflüsse

- **Digitalisierung**

Durch die Steigerung der Flexibilität digitaler Objekte wird ein Mehrwert geschaffen. Wie in Kapitel 3 beschrieben, können benötigte Informationen mithilfe von digitalen Hilfsmitteln zur richtigen Zeit am richtigen Ort angezeigt werden. Auch die Anpassungsfähigkeit auf spezifische Arbeitsplätze und einzelne Mitarbeiter:innen nimmt zu. Durch eine zunehmende Digitalisierung lässt sich Verbesserung des Arbeitsplatzes erzielen. Daher sind die Erhebung und Analyse dieses Aspektes von großem Interesse [53].

- **Automatisierung**

Automatisierung bedeutet, dass eine Aufgabe oder ein Ablauf nicht mehr manuell ausgeführt werden muss. Stattdessen läuft dieser automatisiert ab. Vorgänge, die von Mitarbeiter:innenn durchgeführt wurden, fallen durch den Einsatz von Maschinen weg. Prozesse und Arbeitsschritte lassen sich dadurch bei weniger Arbeitsaufwand beschleunigen. Automatisierung führt daher zu einer Steigerung von Produktivität und Effizienz. Um eine mögliche Produktivitätssteigerung zu erkennen, ist eine Analyse des Automatisierungsgrades sinnvoll [23].

- **Vernetzung**

Die zunehmende Vernetzung in der Produktion bildet die Basis für die Flexibilität von Fertigungsprozessen. Maschinen sind in der Lage, miteinander zu kommunizieren sowie sich selbstständig anzupassen. Die Vernetzung der Anlagen über Regelungssysteme und Sensoren ist daher ein wichtiges Merkmal, das genau betrachtet und analysiert werden muss [23][24].

Durch die umfassende Aufnahme und Analyse des Ist-Zustandes ist eine Vielzahl an potenziellen Verbesserungsideen zu erwarten. Sowohl die evidenzbasierte Aufnahme des gesamten Prozesses als auch die Beobachtung des Arbeitsplatzes liefert bereits eine große Zahl an Ideen. Es ist davon auszugehen, dass Mitarbeiter:innen über großes Fachwissen sowie ein großes Maß an Praxiserfahrung verfügen.

Die gesammelten Ideen können nun anhand der definierten Kriterien abgelegt und geordnet werden. Um diese im weiteren Verlauf bestmöglich zu nützen ist ein geeignetes Ideenmanagement erforderlich.

4.2.5 Ideenmanagement

Ziel des Ideenmanagements ist es, das vorhandene Know-how der Mitarbeiter:innen zu nutzen, um Verbesserungen der aktuellen Situation in einem Unternehmen zu erzielen. Essenziell ist also die systematische Förderung von Mitarbeiter:innenideen

zum Wohle des Unternehmens. Das beinhaltet das Sammeln von Ideen, relevante Ideen auszuwählen, sowie anschließend geeignete Ideen umzusetzen, um Neuerungen in Gang zu setzen [90].



Abbildung 24: Ablauf Ideenmanagement

Das Wort Ideenmanagement liefert bereits einen ersten Überblick über die Prinzipien der Methodik. Während „Idee“ spontane, intuitive Einfälle beschreiben, steht das Wort „Management“ für eine strukturierte systematische Arbeitsweise. Es soll also mithilfe einer strukturierten Arbeitsweise sichergestellt werden, dass aus spontanen Ideen das Beste für das Unternehmen rausgeholt wird. Aus diesem Grund umfasst das Ideenmanagement nach Läge drei Säulen – siehe Abbildung 21 [91].

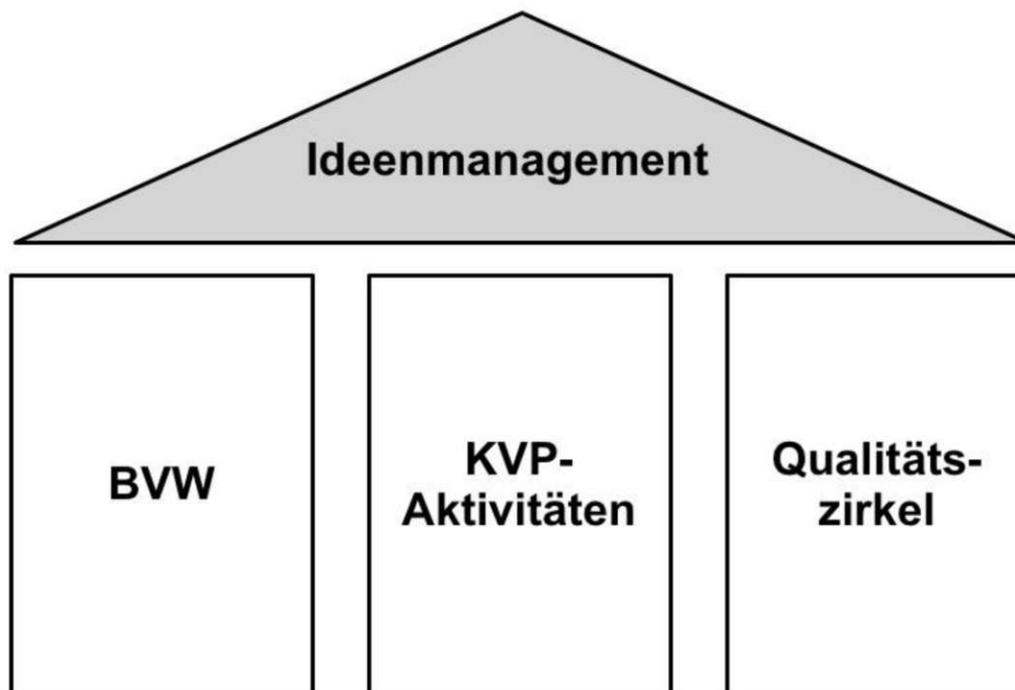


Abbildung 25: Säulen des Ideenmanagements [92]

Betriebliches Vorschlagswesen – BVW

Betriebliches Vorschlagswesen zielt darauf ab, spontanen Ideen durch einzelne Mitarbeiter:innen zu erfassen. Der Grundgedanke ist, so viele Ideen wie möglich zu generieren. BVW versucht daher eine möglichst informelle Umgebung zu kreieren, um

eine volle Ausschöpfung des Kreativitätspotentials der Mitarbeiter:innen zu erzielen. Es ist dabei nicht vorgegeben, dass sich Ideen bzw. Verbesserungsvorschläge auf den eigenen Arbeitsbereich beschränken. Es ist sogar gewünscht, Ideen zu sammeln, die über den eigenen Bereich hinausgehen. Auch bei der Umsetzung einer Idee wird der Ideengeber mit einbezogen [91][93].

Kontinuierlicher Verbesserungsprozess

Der kontinuierliche Verbesserungsprozess eine Methode des Lean Managements und zielt auf ständige Verbesserung in kleinen Schritten ab. Auch hier sollen Mitarbeiter:innen motiviert werden, Ideen einzubringen, ihren Arbeitsprozess permanent zu verbessern. Im Gegensatz zum betrieblichen Vorschlagswesen entstehen die Ideen während sogenannter „KVP-Workshops“. Dabei handelt es sich um Gruppengespräche, in denen systematisch Ideen entstehen. Die entstandenen Ideen betreffen meistens einen ausgewählten Arbeitsbereich [91].

Qualitätszirkel

Ein Qualitätszirkel beschreibt eine kleine Gruppe von Mitarbeiter:innenn, die auftretende Probleme besprechen und nach Lösungen suchen. Die Zusammenarbeit findet auf freiwilliger Basis zwischen Mitarbeiter:innenn des Arbeitsprozesses selbst statt. In weiterer Folge werden die Ideen auch von der gleichen Personengruppe selbst umgesetzt [94].

Die drei Säulen des Ideenmanagements bieten Werkzeuge zur **Ideensammlung**. Es wird dabei je nach Anwendungsfall entschieden, welche Werkzeuge in welchem Maß verwendet werden. Eine systematische Erfassung und Verwaltung der gesammelten Ideen schließen den Teil der Ideensammlung ab.

Im nächsten Schritt werden die gesammelten Ideen analysiert und bewertet. Wie bereits erwähnt werden die verwendeten Kriterien herangezogen, falls ein Aspekt besonders gefördert werden soll. Hat sich ein Unternehmen beispielsweise dazu entschieden, die Arbeitsbedingungen seiner Mitarbeiter:innen deutlich zu verbessern, werden vorrangig Ideen der Kategorie „Ergonomie“ verfolgt.

Meist gelingt es Unternehmen ohne erheblichen Aufwand, eine Vielzahl an Ideen zur Weiterentwicklung zu finden. Neben den oben genannten Methoden, besteht außerdem die Möglichkeit auf Anforderungen aus dem Vertrieb oder Wettbewerbsbeobachtungen einzugehen. Oft mangelt es allerdings an Zeit und Ressourcen, die benötigt werden, um gute Ideen umzusetzen. Eine **Bewertung** und ein anschließendes **Priorisieren** der Ideen in eine sinnvolle Reihenfolge für die Umsetzung sind daher notwendig.

Die Bewertung der Ideen überprüft, ob eine weitere Betrachtung und schließlich eine Umsetzung sinnvoll sind. Grundsätzlich ist die Umsetzung einer Idee dann sinnvoll, wenn ein tatsächliches Problem gelöst wird, oder ein direkter Nutzen erkennbar ist, der dem Unternehmen einen Mehrwert liefert [95].

Dem entstehenden Mehrwert steht der benötigte Aufwand – in finanzieller Betrachtung Kosten – entgegen. Im Folgenden werden einige Kriterien der beiden Seiten erläutert [96].

Nutzen können in folgenden Bereichen entstehen:

- Für das Unternehmen selbst durch
 - wirtschaftlichen Nutzen
 - strategischer Nutzen
 - Erkenntnisgewinn für weitere Umsetzungen
- Verglichen zur Konkurrenz
 - Wettbewerbsvorteile
- Für Kundenbeziehung
 - Kundennutzen
 - Kundengewinnung

Kosten können beispielsweise bedingt werden durch:

- Ressourcen-Aufwand
 - finanzieller Aufwand
 - benötigtes Material
 - Personalaufwand
- Zeitlicher Aufwand
- Hohe Komplexität
- Risiko, nicht erfolgreich zu sein
- Abhängigkeiten von anderen Unternehmen

Anhand dieser sowie der vorhin definierten Kriterien wird eine Bewertung durchgeführt. Anschließend ist es zweckmäßig, eine sinnvolle **Priorisierung** abzuleiten. Die Bewertung bzw. Priorisierung findet in einem vorhin definierten Personenkreis statt. Dieser Personenkreis sollte möglichst klein gehalten werden, um eine rasche Entscheidung zu ermöglichen. Auf Basis der stattgefundenen Priorisierung werden konkrete **Ideen** für eine Umsetzung **ausgewählt**.

Im letzten Schritt folgt die **Umsetzung ausgewählter Ideen**. Dabei ist es abhängig von der Idee bzw. der abgeleiteten Maßnahme. Oft geschieht die Umsetzung mithilfe einer Fremdfirma, die mit spezifischem innovativem Knowhow behilflich ist.

Nicht umgesetzte Ideen sollen nicht aus den Augen verloren werden. Aus diesem Grund wird empfohlen, Ideen, die möglicherweise zu einem späteren Zeitpunkt umgesetzt werden, visuell darzustellen. Eine **Visualisierung der Ideen** kann aber auch Maßnahmen abbilden, die sich aktuell in Umsetzung befinden. Dadurch erhalten die Mitarbeiter:innen einen Überblick, woran aktuell gearbeitet wird. Sie werden außerdem motiviert, weiterhin Ideen einzubringen. Eine Visualisierung kann beispielsweise mit einem Magnetboard – ähnlich einer To-Do Liste geschehen.

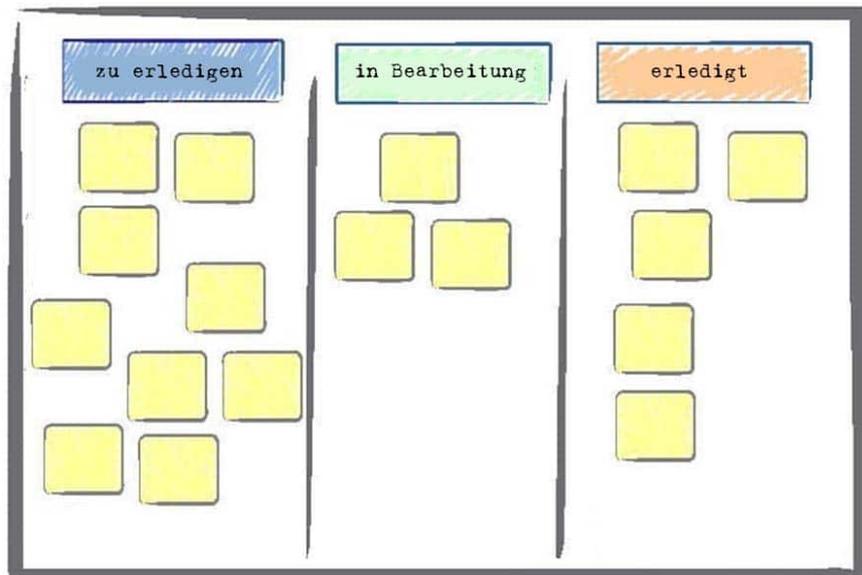


Abbildung 26: Task-Board [97]

4.2.6 Ermittlung quantitativer Auswirkungen der Arbeitseinflüsse

Die ereignisorientierte Simulation betrachtet den gesamten Produktionsprozess. Sie hilft, die im vorigen Kapitel eingeführten Kennzahlen zu berechnen und zu vergleichen. Um die Auswirkungen von Maßnahmen am Arbeitsplatz zu quantifizieren, werden konkrete Zahlenwerte benötigt. Mithilfe von konkreten Zahlen lassen sich Änderungen sowie Verbesserungen im Gesamtprozess aufzuzeigen.

Wie am Beginn von Kapitel 4 beschrieben, lassen sich unterschiedliche Maßnahmen bzw. deren Auswirkungen unterschiedlich beschreiben. Während technische und organisatorische Arbeitseinflüsse meist direkt quantifiziert werden können, müssen die Einflüsse ergonomischer Maßnahmen erst mithilfe einer geeigneten Methode beziffert werden. Der Unterschied zwischen unterschiedlich stark beleuchteten Arbeitsplätzen lässt sich zwar in Lumen angeben. Wie sich eine solche physikalische Änderung allerdings in den produktionspezifischen Kennzahlen niederschlägt, ist nicht ohne weiteres ersichtlich. Im Folgenden werden daher Werkzeuge und Methoden für die Ableitung von Zeit- und Zahlenwerten gezeigt.

Für die Zeitermittlung gibt es zwei unterschiedliche Ansätze – die Erfassung von Ist-Zeiten und die Ermittlung von Soll-Zeiten. Ist-Zeiten können für bereits bestehende

manuelle Tätigkeiten sowie betriebsmittelbezogene Zeiten ermittelt werden. Dabei können diese Zeiten entweder gemessen werden oder durch Befragungen ermittelt.

Soll-Zeiten lassen sich hingegen aus zuvor erfassten Ist-Zeiten ableiten. Sie lassen sich im Vorhinein über Vergleichen, Schätzen sowie dem Zusammensetzen einzelner Zeitbausteine ermitteln. Viele Unternehmen führen üblicherweise Kataloge zur systematischen Ordnung einzelner Planzeitbausteine. Die folgende Abbildung gibt einen Überblick über die verschiedenen Möglichkeiten der Zeitermittlung.

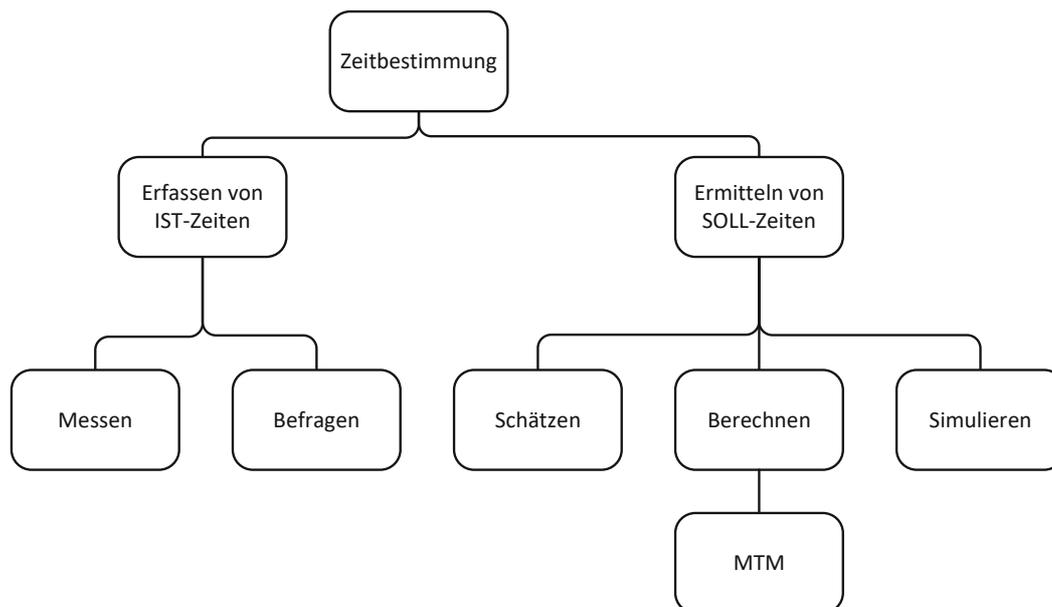


Abbildung 27: Überblick Zeitbestimmung

In weiterer Folge werden einige Methoden zur Zeitbestimmung vorgestellt:

- **Messen**

Die einfachste Möglichkeit der Messung stellt die **Selbstaufschreibung** dar. In diesem Fall werden die Arbeitszeiten durch die arbeitenden Mitarbeiter:innen selbst ermittelt. Die Mitarbeiter:innen protokollieren diese im Nachgang. Dabei kann es jedoch zu subjektiven Verfälschungen der Ergebnisse kommen. Abhilfe kann die Aufnahme, sowie die Erfassung einer nicht am Arbeitsprozess beteiligten Person schaffen. Dieser kann mithilfe von Geräten Zeiten exakt aufnehmen und erfassen – man spricht auch von **Fremdaufschreibung**. Die genaueste Möglichkeit stellt die **automatisierte Zeitdatenerfassung** dar. Dabei werden Daten automatisch aus den verwendeten Betriebsmitteln bzw. Geräten ermittelt [98].

- **Befragung**

Bei dieser Form der Zeitermittlung findet die Erfassung über eine Befragung der Mitarbeiter:innen statt. Dabei werden Mitarbeiter:innen nachträglich dazu

befragt, wie lange die Absolvierung eines definierten Arbeitsschrittes gebraucht hat. Ähnlich zur Selbstabschreibung kann es auch hier leicht zu subjektiven Verfälschungen kommen [98].

- **Schätzen**

Auf Basis von gemessenen Ist-Zeiten lassen sich Soll-Zeiten für neue Maßnahmen abschätzen. Zeiten werden ermittelt, indem ein oder mehrere bekannte Arbeitsabläufe mit noch unbekanntem verglichen werden. Nach Ausarbeitung der resultierenden Unterschiede werden die resultierenden Zeitabweichungen geschätzt. Dabei führt eine Unterteilung des Gesamtprozesses in Teilprozesse sowie die Einbeziehung mehrerer Mitarbeiter:innen zu deutlich besseren Ergebnissen [98].

- **Berechnen mithilfe von Planzeitbausteinen**

Aus gemessenen Ist-Zeiten lassen sich Soll-Zeiten ableiten. Diese werden genutzt, um Planzeitbausteine für definierte Arbeitsabläufe zu bilden. Planzeitbausteine sind Soll-Zeiten, deren Kombination die Beschreibung neuer Arbeitsprozesse beschreibt. Durch eine strukturierte Arbeitsablaufplanung wird eine frühzeitige Bewertung geplanter Arbeitsabläufe möglich. Planzeitbausteine müssen allerdings nicht unternehmensspezifisch sein. Unternehmensneutrale Planzeitbausteinsysteme setzen auf Systeme vorbestimmter Zeiten. Durch umfangreiche Untersuchungen wurden für menschliche Bewegungselemente vorbestimmte Zeiten definiert [98].

- **Methods Time Measurement (MTM)**

Ein sehr verbreiteter Vertreter von Systemen vorbestimmter Zeiten ist das Bausteinsystem Methods Time Measurement (MTM). MTM gliedert manuelle Abläufe in einzelne Bewegungselemente und ordnet anschließend jedem Bewegungselement einen Normzeitwert zu. MTM-Normzeitwerten sind in Normzeitwerttabellen in Abhängigkeit ihrer Einflussgrößen festgeschrieben. Sie werden in Time Measurement Units (TMU) angegeben – 1 TMU entspricht 0,036 Sekunden [98].

- **Simulation**

Arbeitsabläufe lassen sich auch mithilfe von Simulationen beschreiben. Einerseits ist eine diskrete Beschreibung anhand auftretender Ereignisse möglich. Andererseits existieren bereits Software-Lösungen, die eine virtuelle Arbeitsplatzgestaltung ermöglichen. Der ema Work Designer ermöglicht beispielsweise eine 3D-Simulation menschlicher Arbeit. Mithilfe eines Verhaltens- und Prozesseditors lassen sich Arbeitsabläufe detailliert gestalten und anschließend die benötigte Zeit, aber auch die Ergonomie bewerten [99].

4.2.7 Kennzahlen für die Prozessperformance-Messung

Umgesetzte Verbesserungsmaßnahmen haben den Zweck, den gesamten Produktionsprozess qualitativ zu verbessern. Diese Verbesserung ist nicht nur für die Mitarbeiter:innen spürbar, sie lässt sich auch quantitativ beschreiben. Es werden daher zunächst Kriterien zur Erfüllung einer Messung sowie anschließend relevante Kennzahlen zur Bewertung des gesamten Prozesses vorgestellt.

Performance-Messungen werden durch Messgrößen bestimmt, die eindeutig für den gewählten Geschäftsprozess bestimmt werden kann. Man spricht auch von einer Messung von Key Performance Indicators (KPI). Bei der Durchführung einer Performance-Messung müssen folgende Kriterien erfüllt werden [83]:

- **Objektivität**
 - Die Messungen sind unabhängig von der Person, die misst.
 - Subjektive Erwartungen haben keinen Einfluss auf die Messung.
- **Validität**
 - Die ausgewählten Kriterien müssen zweckmäßig für die zu messende Größe sein.
- **Effizienz**
 - Die Kosten der Messung sollen den Nutzen nicht übersteigen.
- **Akzeptanz**
 - Die Messungen müssen auf allen Ebenen akzeptiert sein.

Um eine quantitative Prozessbewertung durchzuführen, eignen sich die folgenden Kennzahlen:

- **Durchlaufzeit**

Die Durchlaufzeit (DLZ) beschreibt die Zeitspanne, die für die Bearbeitung von definierten Aufträgen benötigt wird. Sie ist eine der wichtigsten Kennzahlen für Unternehmen und wird einerseits für die Planung von Lieferzeiten sowie für die Prozessoptimierung herangezogen. Sie setzt sich aus Belegungszeiten sowie Übergangszeiten zusammen. Belegungszeiten gliedern sich in Bearbeitungszeiten sowie Rüstzeiten. Übergangszeiten umfassen Transportzeiten, Liegezeiten sowie weitere Zeitaufwände, die zusätzlich zur geplanten Prozesszeit entstehen. Für eine Berechnung der Durchlaufzeit werden die unterschiedlichen Prozesszeiten addiert [83].
- **Zeiteffizienz**

Die Zeiteffizienz beschreibt den Anteil der Bearbeitungszeit an der gesamten Durchlaufzeit. Ziel ist es, ein möglichst hohes Effizienzniveau zu erreichen [83].

- **Taktzeit / Zykluszeit**

Die Taktzeit gibt die Zeitspanne an, in der ein Produkt gefertigt werden muss, um den Kundenbedarf zufrieden zu stellen. Konkret handelt es sich um die Zeit, die zwischen dem Arbeitsbeginn von zwei aufeinander folgenden Produkten vergeht. Sie beschreibt also das Zeitintervall, indem ein Produkt produziert wird. Die Taktzeit ist, wie die Durchlaufzeit, ein wichtiger Performance-Indikator für die Produktionseffizienz. Für eine Berechnung der Taktzeit wird die gesamte verfügbare Arbeitszeit durch die Anzahl der nachgefragten Einheiten geteilt [100].

- **Ausbringungsmenge bzw. Produktionsoutput**

Die Ausbringungsmenge bezeichnet die während eines betrachteten Produktionszeitraums hergestellte Produktmenge. Im betrachteten Fall der Produktion wird diese in Stückzahlen gemessen. Da die Menge auf einen betrachteten Zeitraum bezogen ist, stellt die Ausbringungsmenge die Produktionsleistung des Produktionssystems dar. Die Ausbringungsmenge kann auch für einzelne Maschinenermittelt werden. Sie unterscheidet jedoch nicht zwischen Gut- und Schlechtteilen [101].

- **Gesamtanlageneffektivität - Overall Equipment Effectiveness (OEE)**

Die Gesamtanlageneffektivität ist eine Kennzahl zur Angabe der effektiven Nutzung von Betriebsmitteln in Unternehmen. Sie definiert den Prozentsatz, in dem in einer vorgegebenen Geschwindigkeit, Produkte in zufriedenstellender Qualität produziert werden. Die Gesamtanlageneffektivität liefert eine wichtige Grundlage für die Identifikation von Problemen und eine anschließende Verbesserung. Die OEE setzt sich aus drei Komponenten zusammen – der Verfügbarkeit, der Leistung sowie der Qualität. Die Verfügbarkeit beschreibt ungeplante Stillstände der Anlage – die Ist-Zeit wird in Verhältnis zur Soll-Zeit gesetzt. Der Leistungsfaktor setzt die tatsächliche Stückzahl in Relation zu einer geplanten Stückzahl. Der Qualitätsfaktor stellt den Verlust durch Schlechtteile dar. Dadurch werden Verluste definiert, die entsorgt bzw. nachbearbeitet werden müssen. Die Berechnung der OEE geschieht durch Multiplikation der drei genannten Faktoren – siehe Abb. 24 [101].

Bestandteil	Prozentsatz
Verfügbarkeit	90%
Leistung	83%
Qualität	74%
Gesamtanlageneffektivität (OEE)	55%

Abbildung 28: Berechnung Gesamtanlageneffektivität

4.2.8 Simulation des verbesserten Gesamtprozesses

Für den neuen, verbesserten Gesamtprozess wird eine neue Simulation erstellt. Dabei werden die abgeleiteten in das bestehende Prozessmodell eingespielt. Dadurch lassen sich die beiden Prozesse miteinander vergleichen. Für eine Bewertung werden abschließend die Kriterien aus Kapitel 4.2.4 herangezogen.

Mithilfe der Analyse der abgeleiteten Prozesskennzahlen lassen sich umgesetzte sowie noch in Planung befindende Maßnahmen bewerten. In weiterer Folge lassen sich auch mögliche Auswirkungen einer Veränderung auf zusätzlichen Arbeitsplätzen, also zusätzlichen Prozessschritten, zeigen.

5 Umsetzung bei BRP Rotax

Wie in der Einleitung beschrieben, stellt die Firma Rotax aktuell in einem, bis zu 14 Schritte umfassenden, Fertigungsverfahren Kurbelwellen her. Um möglichst effizient fertigen zu können, ist es zielführend, die Zykluszeiten aufeinander abzustimmen. Idealerweise werden alle Maschinen mit einer hohen Auslastung betrieben. Im laufenden Betrieb wurde ein Engpass während des Fertigungsschritt „Schleifen“ identifiziert. Die Auslastungen der Maschinen nach diesem Schritt lagen deutlich unter den Auslastungen davor liegenden Maschinen. Aus diesem Grund wurde eine weitere Schleifmaschine angeschafft.

Im Zuge dieses Kaufes wird der Arbeitsplatz an der Maschine verbessert. Ziel ist es, einen Arbeitsplatz für die Mitarbeiter:innen zu schaffen, der ihnen ein möglich effizientes Arbeiten ermöglicht. Dabei sollen vorwiegend die Aspekte „Lean“ und „Digital“ in den Vordergrund gestellt werden. Der Arbeitsplatz soll in weiterer Folge als Pilot- bzw. Leuchtturm-Arbeitsplatz betrachtet werden. Das bedeutet, dass Maßnahmen zunächst dort umgesetzt und in weiterer Folge auf andere Arbeitsplätze übertragen werden sollen.

Um die Auswirkungen nicht nur am Arbeitsplatz, sondern auf der gesamten Fertigungslinie zu zeigen, wird der vorhin erstellte Leitfaden zur Konzeptionierung herangezogen. Dabei wird eine ereignisorientierte Simulation des gesamten Wertstroms für die Bewertung erstellt. Mithilfe der Simulation werden im weiteren Verlauf ergonomische, organisatorische sowie technische Arbeitseinflüsse bewertet.

5.1 Aufnahme des Ist-Zustands

Aufnahme des gesamten Wertstroms

Zunächst wird der aktuelle gesamte Fertigungsprozess aufgenommen. Dabei wird exemplarisch nur ein Kurbelwellentyp betrachtet. Dabei ist es sinnvoll, eine Kurbelwelle auszuwählen, die auch tatsächlich auf der neuen Maschine gefertigt wird. Nach Rücksprache mit dem Fertigungsleiter fiel die Auswahl daher auf den Typ „819930“. Es wird im Weiteren daher der Produktionsprozess der betrachteten Kurbelwelle analysiert.

Mithilfe einer gezielten Prozessanalyse wurde der Produktionsprozess transparent dargestellt. Ziel ist einerseits eine übersichtliche Darstellung des Ist-Zustands sowie eine Referenz für einen späteren Vergleich zu haben. Durch Gespräche mit Mitarbeiter:innenn sowie Vor-Ort-Beobachtungen wurden Prozessdetails erfasst. Dadurch konnten Abläufe, Prozesszeiten und Durchlaufzeiten aufgenommen werden. Zur Veranschaulichung wurde das folgende BPMN-Abbild erstellt.

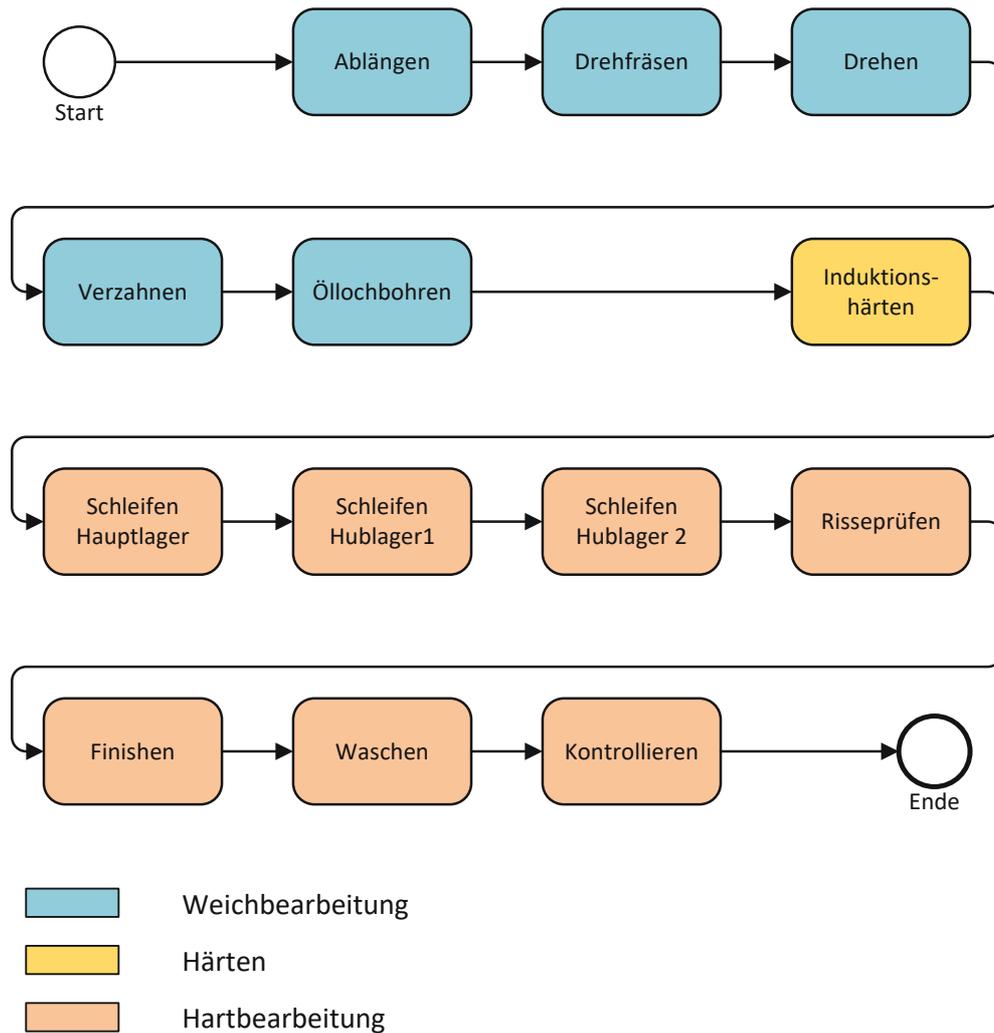


Abbildung 29: Fertigungsprozess Kurbelwelle

Aufnahme des betroffenen Arbeitsplatzes

Ähnlich wie beim gesamten Produktionsprozess wird zunächst die aktuelle Situation eines Arbeitsplatzes an einer Junker-Schleifmaschine aufgenommen. Diese dient einerseits als Referenzzustand, andererseits werden bereits erste Verbesserungspotentiale sichtbar. Für die Aufnahme wurde der betroffene Arbeitsplatz zunächst beobachtet. Dadurch wurde ein erster Überblick über die Tätigkeiten der Mitarbeiter:innen gewonnen. Anschließend wurden Gespräche mit verschiedenen Arbeiter:innenn an der Maschine geführt. Um die gewonnenen Erkenntnisse zu bestätigen, wurde anschließend ein Selbstversuch durchgeführt. Dabei wurden die Aufgaben der Maschinenbediener:innen für eine halbe Schicht absolviert. Das Layout der sechs Schleifmaschinen sowie die zurückzulegenden Wege für die Bereitstellung des Werkzeuges ist in der folgenden Abbildung gezeigt.

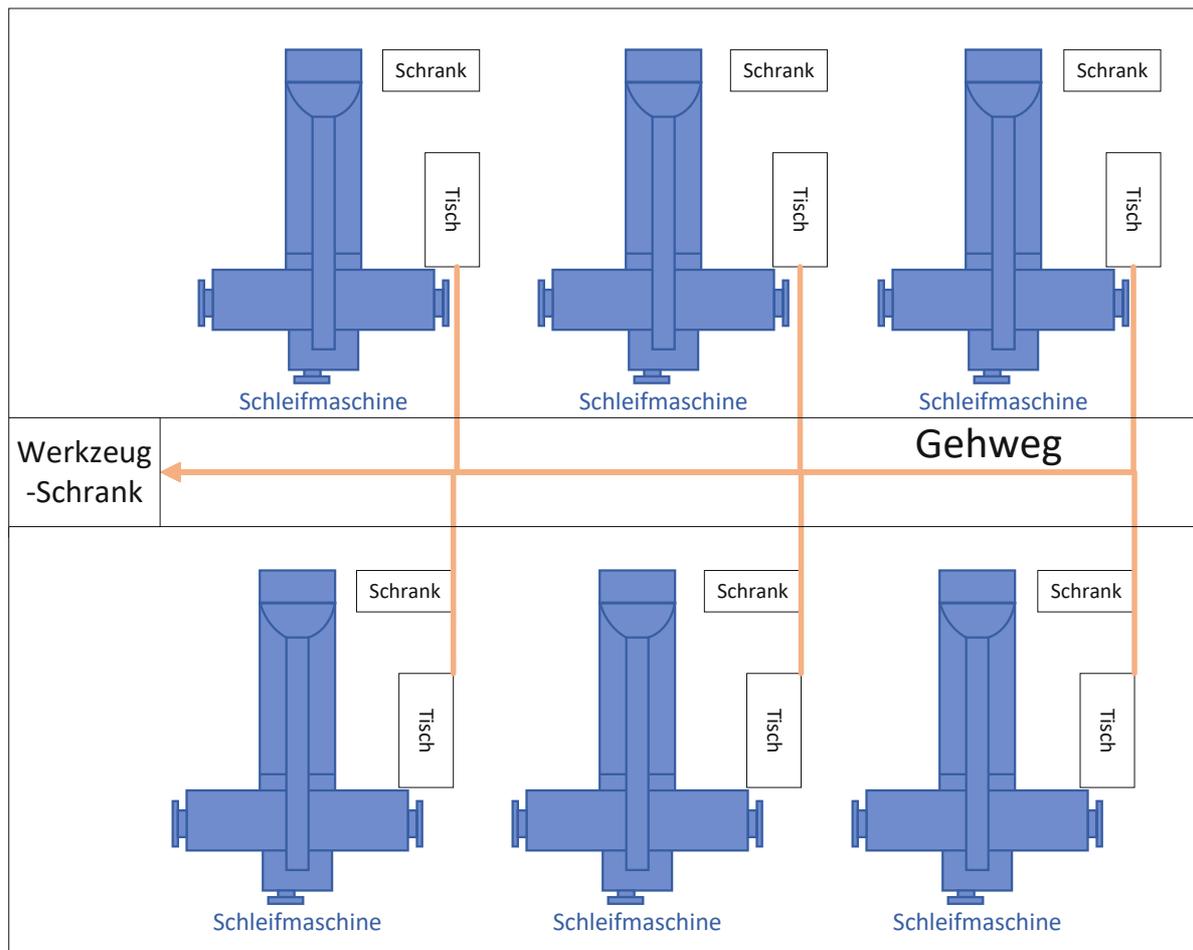


Abbildung 30: Layout Schleifmaschinen

Es wird deutlich, dass die Mitarbeiter:innen bereits für die Bereitstellung von Werkzeug sehr lange Wege zurücklegen müssen.

Die Situation am Arbeitsplatz ist nicht ideal. Die Anordnung der jeweiligen Tische unterscheidet sich stark. Um einen Überblick zu bekommen, wurden mehrere Arbeitstische betrachtet und analysiert. Darauf finden sich folgende Elemente im Arbeitsbereich:

- **Kurbelwellen**, die aktuell gemessen werden,
- **Werkzeuge**, die für der Rüstvorgang benötigt werden,
- **papierbasierte Informationen**, die die Prüfanweisungen beinhalten,
- **Tastatur und Maus**, zur Bedienung des Bildschirms am Arbeitsplatz und
- **persönliche Gegenstände**, wie Kaffeebecher oder Schutzbrillen.

Die folgende Abbildung zeigt einen nachgezeichneten Arbeitsplatz.



Abbildung 31: Layout Arbeitsplatz

Es wird deutlich, dass aktuell zu viele, nicht benötigte Instrumente im Arbeitsbereich liegen. Das Messen der Bauteile wird für die Mitarbeiter dadurch deutlich erschwert. Ebenso kommt es aufgrund der Unordnung zu verlängerten Suchzeiten der Werkzeuge.

Die Bearbeitung des Bauteils wird von automatisierten Fertigungszentren durchgeführt. Die Mitarbeiter:innen haben einerseits dafür zu sorgen, dass die Maschinen bereit sind das richtige Bauteil zu fertigen. Andererseits müssen sie in regelmäßigen Abständen Bauteile überprüfen, um sicherzustellen, dass die Maschine in der geforderten Qualität produziert. Die Tätigkeiten der Mitarbeiter:innen an der Schleifmaschine lassen sich daher in folgende zwei Aufgaben teilen:

- Das Umrüsten der Maschine zwischen verschiedenen bearbeiteten Losen (Abbildung 28).
- Das Prüfen von Bauteilen während der Serienproduktion (Abbildung 29).

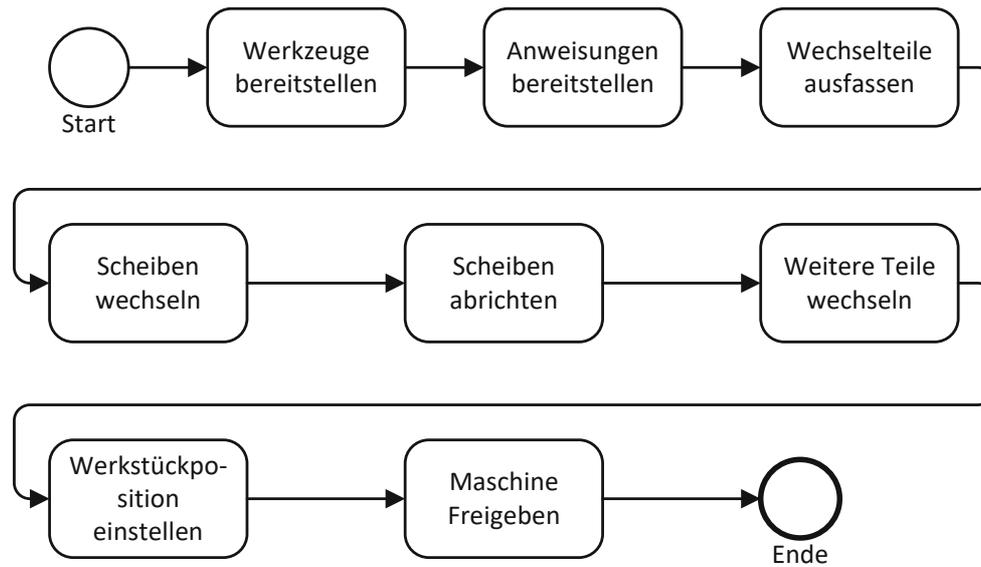


Abbildung 32: Umrüsten zwischen verschiedenen Losen

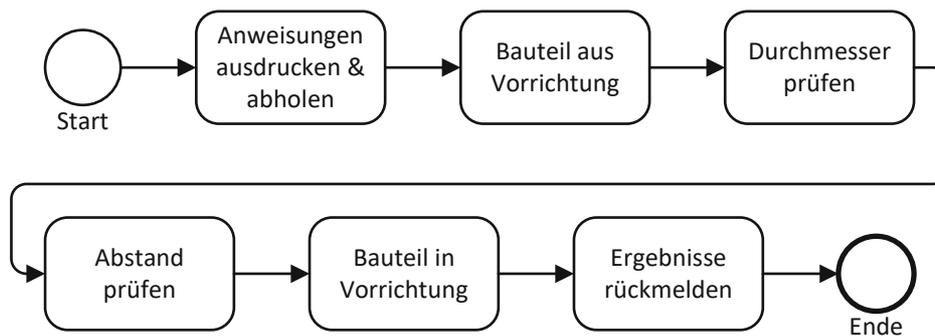


Abbildung 33: Prüfen von Werkstücken während der Bearbeitung

5.2 Erstellung des Simulationsmodells

Für die Erstellung der Simulation wird auf die Bibliothek **SimPy** zugegriffen. SimPy ist eine ereignisdiskrete, auf Python basierende, Bibliothek, die Werkzeuge für ereignisgesteuerte Simulationen bereitstellt. Das Verhalten in Prozessen wird in Simpy modelliert. Dafür werden zunächst die relevanten Komponenten (Betriebsmittel, Ressourcen oder Mitarbeiter:innen) in einer Umgebung modelliert. Wie in Kapitel 3 beschrieben, werden Ereignisse die folgenden drei Eigenschaften zugeordnet:

- Ausführungszeitpunkt t
- Ereignistyp τ
- Menge von Parametern \mathbf{P}

Eine Simulationsumgebung bietet einen Rahmen für die Simulationszeit sowie die Planung und Verarbeitung von Ereignissen. Sie bietet die Möglichkeiten, eine Simulation schrittweise zu durchlaufen oder auszuführen. Anschließend interagieren sie sowohl untereinander als auch mit der Umgebung. Die Interaktion findet in der Regel in einer der folgenden drei Arten statt [85]:

- **Sleep until woken up**
Der Zustand eines Simulationselements wird als passiv modelliert. Durch ein auftretendes Ereignis wird dieser reaktiviert.
- **Waiting for another process to terminate**
Ein Ereignis wird durch das Ablaufen eines vorausgehenden Ereignisses aktiviert.
- **Interrupting another process**
Ein vorausgehender Prozess wird unterbrochen und das Ereignis sofort aktiviert.

Neben der Bibliothek SimPy wird auf die Bibliothek random zugegriffen. Mithilfe von random lassen sich Zufallsvariablen generieren. Dadurch werden bestimmte Prozesskennzahlen, wie beispielsweise die Quote an nachzubearbeitenden Bauteilen zufällig ermittelt.

Mithilfe von Generatoren werden Ereignisse erzeugt, die anschließend verknüpft werden. Generatoren sind durch ihren Aufbau für das Eintreten bzw. Auslösen von Ereignissen und somit für den Simulationsfortschritt verantwortlich. Der Prozess wird angehalten bzw. wieder fortgesetzt, sobald ein Ereignis ausgelöst wird. Abgesehen von diskreten Ereignissen, kann auch ein definierter Zeit-Wert – ein sogenanntes Timeout – übergeben werden. Das Verstreichen einer bestimmten Zeitspanne stellt selbst in diesem Fall ein Ereignis dar. Erstellte Simulationen können dabei in Echtzeit durchlaufen werden. Durch das Überspringen von unbedeutenden Prozessschritten kann die Simulation auch beschleunigt durchlaufen werden [102][103].

Die erstellte Simulation bildet den Ist-Zustand ab. Sie wird im späteren Verlauf als Referenzzustand für eine Bewertung der Arbeitseinflüsse herangezogen. Dadurch lassen sich aktuelle Kennzahlen, wie der Produktionsoutput pro Schicht, die Zeiteffizienz der Anlagen oder die Gesamtanlagenauslastung ermitteln.

Eine Schicht enthält 8 Stunden, also 480 Minuten. Aktuell werden pro Schicht durchschnittlich **132 Kurbelwellen** des betrachteten Typs hergestellt. Davon werden derzeit **2 Kurbelwellen nachbearbeitet** – das ergibt einen zusätzlichen Zeitsaufwand von **12 Minuten** und **20 Sekunden** pro Schicht. Der Anschaulichkeit halber wurde die produzierte Stückzahl pro Schicht berechnet. Um einen **aussagekräftigeren Vergleich** zu erzielen, wird **im weiteren Verlauf die Produktion von 1000 Kurbelwellen** betrachtet.

Die minimale Durchlaufzeit beträgt aktuell **38 Minuten und 36 Sekunden**. Die weitere Analyse wird im Kapitel 6 durchgeführt.

Für die Berechnung der Zeiteffizienz wird berücksichtigt, dass Maschinen im späteren Prozessverlauf erst später beginnen zu produzieren. Es ergibt sich folgende Formel für die Berechnung:

$$\frac{\frac{\text{Taktzeit} * \text{Losgröße}}{\text{Maschinenanzahl}}}{\text{Endzeit} - \text{Startzeit}} * 100[\%]$$

- **Taktzeit:** Für die Bearbeitung eines Bauteils benötigte Zeit
- **Losgröße:** Anzahl der bearbeiteten Kurbelwellen eines Typs
- **Maschinenanzahl:** Anzahl der, für einen Bearbeitungsschritt zur Verfügung stehenden, Maschinen
- **Endzeit:** Der Zeitpunkt, an dem mit der Bearbeitung des letzten Bauteils aufgehört wird
- **Startzeit:** Der Zeitpunkt, an dem mit der Bearbeitung des ersten Bauteils begonnen wird

Die Effizienzwerte der, während der jeweiligen Bearbeitungsschritte benötigten Anlagen sind im folgenden Diagramm gezeigt¹.

¹ In der Übersicht wurde auf Prozessschritt 13 „Kontrolle“ verzichtet. Dieser findet ausschließlich durch Mitarbeiter:innen statt. Eine Maschinenauslastung ist in diesem Zusammenhang nicht sinnvoll.

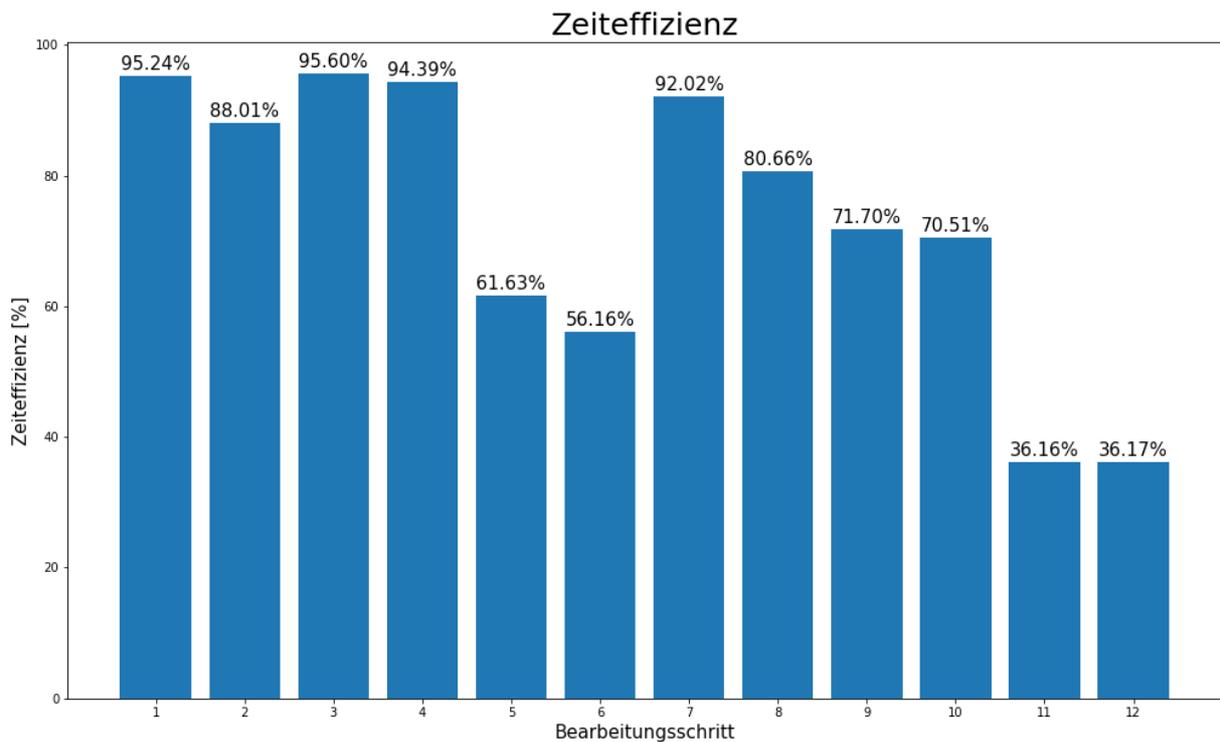


Abbildung 34: Zeiteffizienz Ist-Zusand

5.3 Identifikation von Verbesserungspotentialen

Wie im Leitfaden beschrieben, wurden zunächst relevante Kriterien definiert. Diese wurden einerseits basierend auf der oben angeführten Empfehlung, andererseits auf Basis von individuellen Wünschen der Fa. Rotax definiert. So wurde der Aspekt Ergonomie um das Thema Sicherheit erweitert. Zusätzlich wurden die Themen Qualität, Produktivität und Kosten ergänzt.

Es ergeben sich folgende Bewertungsaspekte:

- Sicherheit / Ergonomie
- Qualität
- Produktivität
- Lean-Management
- Nachvollziehbarkeit
- Assistenzsysteme
- Digitalisierung
- Automatisierung
- Vernetzung
- Kosten

Auf Basis dieser Kriterien wurde anschließend ein Fragebogen sowie eine Bewertungsmatrix erstellt. Diese dienen anschließend als Gesprächs- und Bewertungsleitfaden für Fachgespräche mit Mitarbeiter:innenn und Führungskräften. Der vollständige Fragebogen inkl. Bewertungsmatrix ist im Anhang zu finden.

Um ein möglichst umfassendes Bild des Arbeitsplatzes zu erhalten, wurden Gespräche mit einer Vielzahl an Mitarbeiter:innenn geführt. Um verschiedene Sichtweisen auf die aktuellen Tätigkeiten sowie anfallende Probleme zu erhalten, wurden Personen in folgenden Funktionen mithilfe eines Interviewleitfadens befragt:

- **Maschinenbediener:in:** Maschinenbediener:innen bedienen die Produktionsmaschinen. Ihre Aufgaben umfassen die Instandhaltung sowie das Umrüsten der Anlagen. Sie sind außerdem für die Bedienung der Maschinen sowie die Kontrolle der Qualität nach Fertigstellung eines Produktes verantwortlich.
- **Fertigungsleiter:in:** Fertigungsleiter:innen sind für die Qualität sowie die Quantität des Fertigungsprozesses zuständig. Ziel ist eine effiziente Produktion sowie die Einhaltung von Terminen, Kostenvorgaben und anderen Zielen.
- **Quality Engineer:** Qualitätsingenieur:innen sind dafür zuständig, die Produktqualität zu kontrollieren. Sie sorgen für die Einhaltung von Qualitätsnormen.
- **Business Unit Leiter:in:** Business Unit Leiter:innen leiten eine Geschäftseinheit innerhalb eines Unternehmens. Sie sind dabei für Personal, das operative Geschäft und die Bilanz der Einheit zuständig.
- **Lean Manager:** Lean Manager:innen arbeiten daran, Unternehmensprozesse aufeinander abzustimmen, dass diese ohne Verschwendung laufen. Sie arbeiten dabei kundenorientiert und kostenreduzierend.
- **Smart Factory Manager:** Smart Factory Manager:innen beschäftigen sich mit Elementen einer "intelligente Fabrik". Ziel ist es, eine Produktionsumgebung von vernetzten Fertigungsanlagen und die Logistiksysteme zu schaffen.
- **Director of Quality Management:** QM-Management Direktor:innen sind für die Einhaltung von Qualitätsstandards im gesamten Unternehmen verantwortlich. Sie treffen wichtige Management-Entscheidungen, sorgen unternehmensweit für QM-Kennzahlen und berichten direkt an das Top-Management.

- **Director of Manufacturing:** Produktionsleiter:innen leiten Produktionsabläufe des gesamten Industrie- und Gewerbebetriebs. Sie sind für Budget- und Zeitpläne verantwortlich und berichten direkt an das Top-Management.

Durch die Gespräche mit verschiedenen Personengruppen wurden die verschiedenen Ziele und Wünsche deutlich. Während die Maschinenbediener:innen operative Wünsche, wie verbesserte Werkzeuge oder eine übersichtlichere Informationsdarstellung äußerten, forderten Personen aus dem höheren Management eine verbesserte Datenqualität, sowie eine effizientere Produktion. Personen aus den Fachbereichen wiesen auf fachspezifische Verbesserungspotentiale hin. Um einen möglichst großen Pool an Ideen zu erhalten, wurden die oben beschriebenen Personen in das Ideenmanagement eingebunden.

5.4 Ideenmanagement

5.4.1 Ideensammlung

Die im vorherigen Kapitel beschriebene Personengruppe wurde anschließend nach Ideen zur Verbesserung befragt. Der Personenkreis wurde dabei so groß gehalten, um einen möglichst breiten und vielfältigen Pool an Ideen zu gewinnen. Für den ersten Schritt, die Ideensammlung, wurde ein aktueller Arbeitsplatz mit den befragten Personen besichtigt. Zur Erfassung von Ideen wurden Problem-/Ideen – siehe Abbildung 27 – erstellt und den befragten Personen zur Verfügung gestellt.

	Problem-/Ideenkarte			
Name:			Datum:	
Arbeitsplatz:	Junker Schleifmaschine			
Problem / Idee:				
betrifft:				
Sicherheit	Qualität	Produktivität	Lean-Management	Nachvollziehbarkeit
Ergonomie				
Assistenzsysteme	Digitalisierung	Automatisierung	Vernetzung	Kosten

Abbildung 35: Problem-/ Ideenkarte Rotax

Mithilfe der Problemeideenkarten konnten über 25 verschiedene Ideen gesammelt werden. Diese sind im Folgenden geordnet und zusammengefasst:

- Klassische Lean Maßnahmen am Arbeitsplatz
 - Verwendung von Shadow-Boards
 - Trennung der Messmittel und Werkzeuge
 - Werkzeuge für Rüstvorgang ordnen
 - Markierungen der Werkzeuge
 - Verwendung von Anti-Ermüdungsmatten zu Entlastung von Gelenken und Wirbelsäule
 - Umsetzung von bestehenden Arbeitsplatzstandards
- Digitale Informationsdarstellung (Schwerpunkt Prüfen)
 - Prüfplan/Prüfbericht digital anzeigen
 - Prüfergebnisse automatisch an Messraum übermitteln
 - Prüfzyklus anzeigen
 - Automatisches Stückzählen während der Produktion
 - Ist-Werten und Ziel-Werte anzeigen
 - Wartungsintervalle bzw. Zeit bis zum nächsten Wartungsvorgang anzeigen
 - Rüstanweisungen anzeigen
 - häufigste Fehler anzeigen
 - Bereitstellung von arbeitsplatzbezogener Sicherheitsunterweisung
 - Gefahrenhinweise darstellen
 - Reinigungsplan anzeigen
- Unterstützung durch Automatisierung/Vernetzung
 - automatischer Programmstart / Programmsperre
 - automatischer Maschinenstopp bei Abweichung
 - Rüsten mithilfe von Scanner, Arbeit erst möglich, wenn alle Teile verbaut
 - Bedienung der Maschine nur von Mitarbeiter:innen mit bestimmten Qualifikationen möglich
 - Maschine erst bedienbar bei positivem Messergebnis
 - Verarbeitung erst, wenn vorheriger Schritt absolviert
 - Check-in /Check-out von jedem bearbeiteten Bauteil
- Begleitende Maßnahmen
 - Organisatorische Unterstützung durch Patenmodell
 - Visualisierung von noch nicht umgesetzten Ideen
 - regelmäßiger Durchgang mit Business Unit Leiter

5.4.2 Auswahl von Ideen

In der zweiten Phase, der Auswahl von Ideen, wurden die Ideen geordnet und priorisiert. Dafür wurden Gespräche mit dem Business Unit Leiter:innen geführt und schließlich Ideen ausgewählt, die zuerst umgesetzt werden sollen. Dabei wurden folgende Ideen ausgewählt.

Verwendung von Shadowboards am Arbeitsplatz

Für die Tätigkeiten während des Rüstens werden verschiedene Werkzeuge benötigt. Analog dazu werden für die Prüfung während der Serienproduktion von Bauteilen Messmittel benötigt. Bei Beobachtung beider Tätigkeiten fällt auf, dass zu Beginn die benötigten Betriebsmittel meist nicht am Arbeitsplatz bereitstehen. Bevor mit den eigentlichen Rüst- bzw. Prüftätigkeiten begonnen werden kann, wenden die Mitarbeiter:innen aktuell viel Zeit auf, die benötigten Werkzeuge bzw. Messmittel zusammensuchen. Die eigentlich Kerntätigkeit verzögert sich dadurch.

Um dieses Problem zu lösen, sollen zukünftig Shadowboards für die Anordnung von Messmitteln sowie Werkzeugen verwendet werden. Shadowboards sind Vorrichtungen zum Organisieren von Werkzeugen oder anderen Betriebsmitteln. Sie legen fest, wo bestimmte Werkzeuge platziert werden sollen, wenn sie nicht verwendet werden. Shadowboards stellen die die Umrisse der jeweiligen Werkzeuge dar, um eine schnelle Erkennung von fehlenden Werkzeugen zu ermöglichen. Oft kommen sie als zweifarbige Schaumstoffeinlagen zum Einsatz – siehe Abbildung 28. Durch die andere Farbe erkennt der Anwender sofort fehlende Werkzeuge. Dadurch werden die Suchzeiten vermieden. In weiterer Folge wird auch der Verlust von Werkzeugen stark reduziert.



Abbildung 36: Shadowboard für Werkzeuge - [104]

Digitale Darstellung der Prüfpläne

Während der Serienproduktion haben die Mitarbeiter:innen regelmäßig die Qualität der Bauteile zu überprüfen. Jedes Produkt ist im unternehmensweiten ERP-System erfasst. Dabei ist auch definiert, welches Maß nach welchem Arbeitsschritt zu überprüfen ist. Vor dem aktuellen Prüfschritt druckt der Mitarbeiter:innen daher das Kennblatt des zu prüfenden Bauteils aus und prüft anhand dieses Kennblatts, ob die jeweiligen Maße innerhalb des Toleranzbereiches liegen.

Bei Beobachtung dieses Arbeitsschrittes fällt einerseits der große Zeitaufwand für das Ausdrucken und Abholen des benötigten Prüfplanes auf. Andererseits wird die dadurch entstehende Unordnung am Arbeitsplatz sichtbar. Dadurch erhöht sich die Fehleranfälligkeit im Prozessschritt Prüfen. Um sowohl die Dauer zu verkürzen als auch die Fehlerquote zu reduzieren, sollen die Prüfanweisungen zukünftig digital bereitgestellt werden.

Dabei ist eine möglichst einfache, bildhafte Darstellung zu empfehlen. Das bearbeitete Bauteil wird beispielsweise auf einem Bildschirm abgebildet und die zu überprüfenden Maße auf diesem eingezeichnet. Eine schemahafte Darstellung ist in Abbildung 30 zu sehen. Dadurch wird sichergestellt, dass die richtigen Maße geprüft werden.

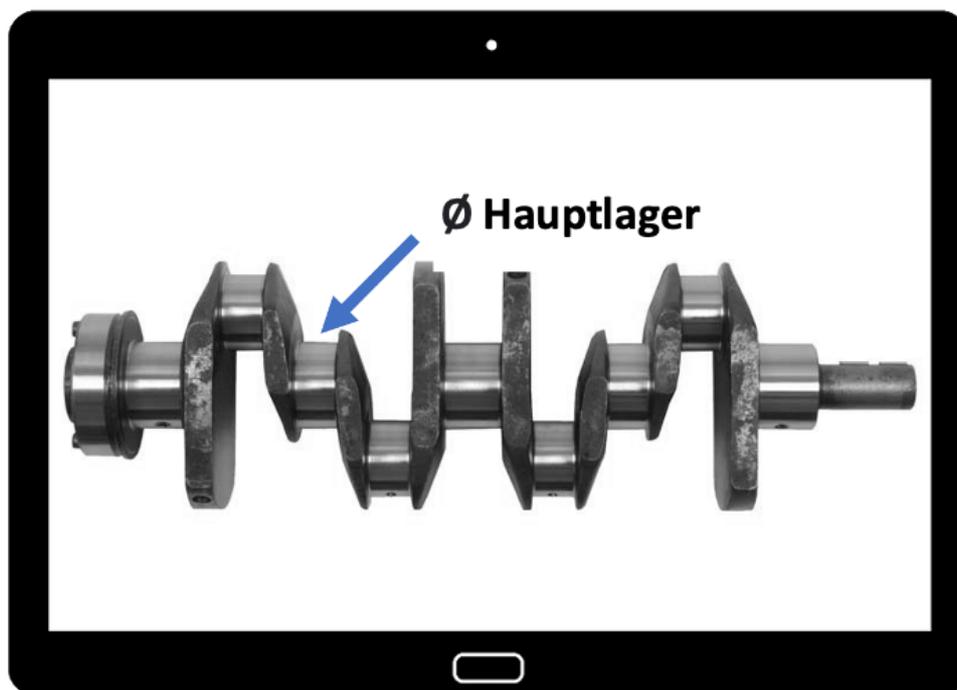


Abbildung 37: Digitale Prüfanweisung

In weiterer Folge sollen auch die Ergebnisse der Messungen automatisiert erfasst und übermittelt werden. Eine Anbindung des Prüfsystems an das unternehmensweite ERP-System ist daher notwendig.

Bedienen der Maschine nur mit entsprechenden Qualifikationen

Im Laufe der Befragungen wurde mehrfach das Problem geschildert, dass die Qualität der Werkstücke stark von den Mitarbeiter:innenn, die aktuell die Maschine bedienen, abhängt. Als mögliche Ursache wurde dabei die unterschiedlichen Erfahrungen sowie Qualifikationen der Mitarbeiter:innen genannt.

Um eine hohe Produktqualität sicherzustellen, sollen Qualifikationen der Mitarbeiter:innen erfasst und im ERP-System hinterlegt werden. Die Bearbeitung von Produkten soll im Anschluss nur möglich sein, falls definierte Qualifikationen erfüllt sind. So ist es beispielsweise Mitarbeiter:innen nicht möglich, eine neue Maschine ohne entsprechende Einschulung zu bedienen.

Es wird empfohlen, eine Mitarbeiter:innen-Bewertungsmatrix anzulegen. Die Mitarbeiter:innen werden anhand definierter Kriterien mit Punkten von 1-5 bewertet, wobei 1 die beste Bewertung darstellt. Diese könnte beispielsweise folgendermaßen ausschauen:

Tätigkeit / Operation		Drehfräsen					Schleifen				
		Rüsten	Erststück-freigabe	Produktions-ablauf	Nachbear-beitung	Prüfmittel	Rüsten	Erststück-freigabe	Produktions-ablauf	Nachbear-beitung	Prüfmittel
Pers. Nr.:	Mitarbeiter, Name, Vorname,										
1111	Mitarbeiter 1	3	4	2	3	2	2	2	1	3	2
2222	Mitarbeiter 2	1	2	1	2	1	2	3	1	2	2
3333	Mitarbeiter 3	4	4	5	5	5	4	3	4	4	5
4444	Mitarbeiter 4	1	2	1	1	3	4	5	4	4	5

Abbildung 38: Mitarbeiter:innen-Qualifikations-Matrix

Anschließend gilt es, Maßnahmen für verschiedene Aspekte zu definieren. Diese könnten folgendermaßen definiert werden:

- 5-8 Punkte: keine weiteren Maßnahmen erforderlich (Mitarbeiter:in 2 – „Drehfräsen“)
- 8-12 Punkte: spezifische Einschulungen der betroffenen Aspekte (Mitarbeiter:in 1 – „Schleifen“)
- 12-16 Punkte: verpflichtende Nachschulung des gesamten Prozesses (Mitarbeiter:in 1 – „Drehfräsen“)
- 16-25 Punkte: Inbetriebnahme nicht möglich (Mitarbeiter:in 4 – „Schleifen“)

Visualisierung von weiteren Ideen

Im Zuge der Ideensammlung ist eine Vielzahl an Ideen erfasst worden. Damit diese nicht verloren gehen und gleichzeitig Anstöße für weitere Ideen geben, ist eine Visualisierung der Ideen sinnvoll. Hier werden einerseits gesammelte Ideen dargestellt, andererseits wird ein Überblick über aktuell umgesetzte Ideen geliefert. Die Visualisierung der Ideen kann dabei entweder elektronisch oder mithilfe einer Magnetwand erfolgen.

Die Vor- und Nachteile der beiden Varianten sind im Folgenden kurz beschrieben:

- Anschaffung
 - Touchscreen-Monitor ist in der Anschaffung deutlich teurer.
 - Neben den Materialkosten, wäre noch eine Software zu entwickeln und somit zu bezahlen.
 - Eine elektronische Variante benötigt zusätzlich eine Stromversorgung.
- Darstellungsmöglichkeiten
 - Die Darstellungsmöglichkeiten sind im digitalen Fall deutlich vielfältiger.
 - Neben statischen Elementen können auch Produktionsdaten, Videos oder andere interaktive Inhalte gezeigt werden.
 - Interaktive Informationen verursachen jedoch einen höheren Produktionsaufwand.
- Wartung/Inbetriebnahme
 - Eine Magnetwand kann einfach und ohne Vorwissen bedient werden.
 - Für beide Varianten wird eine verantwortliche Person benötigt, die sich regelmäßig um die Aktualität kümmert.
 - Die elektronische Variante verursacht zusätzlichen technischen Wartungsaufwand.
 - Eine elektronische Variante ist anfälliger für Verschmutzung sowie Flüssigkeiten.

Sofern der Nutzen durch die vielfältigeren Informationen die Aufwände übersteigt, ist eine elektronische Variante zu bevorzugen. In den meisten Fällen ist jedoch die analoge Variante aufgrund der deutlich günstigeren Anschaffung sowie der unkomplizierten Inbetriebnahme zu empfehlen.

5.4.3 Umsetzung der Ideen

Der letzte Schritt ist die konkrete Umsetzung der Ideen. Im Folgenden werden die Umsetzungen der ausgewählten Ideen kurz skizziert.

Für die Umsetzung der **Shadowboards** wurde zunächst eine Erhebung der benötigten Werkzeuge bzw. Messmittel durchgeführt. Anschließend wird ein Layout zur Anordnung der benötigten Werkzeuge erstellt. Dabei werden neben den Umrissen der

Werkzeuge auch Blöcke zum Aufnehmen der Werkzeuge ausgefräst. Es ergibt sich exemplarisch folgendes Layout.

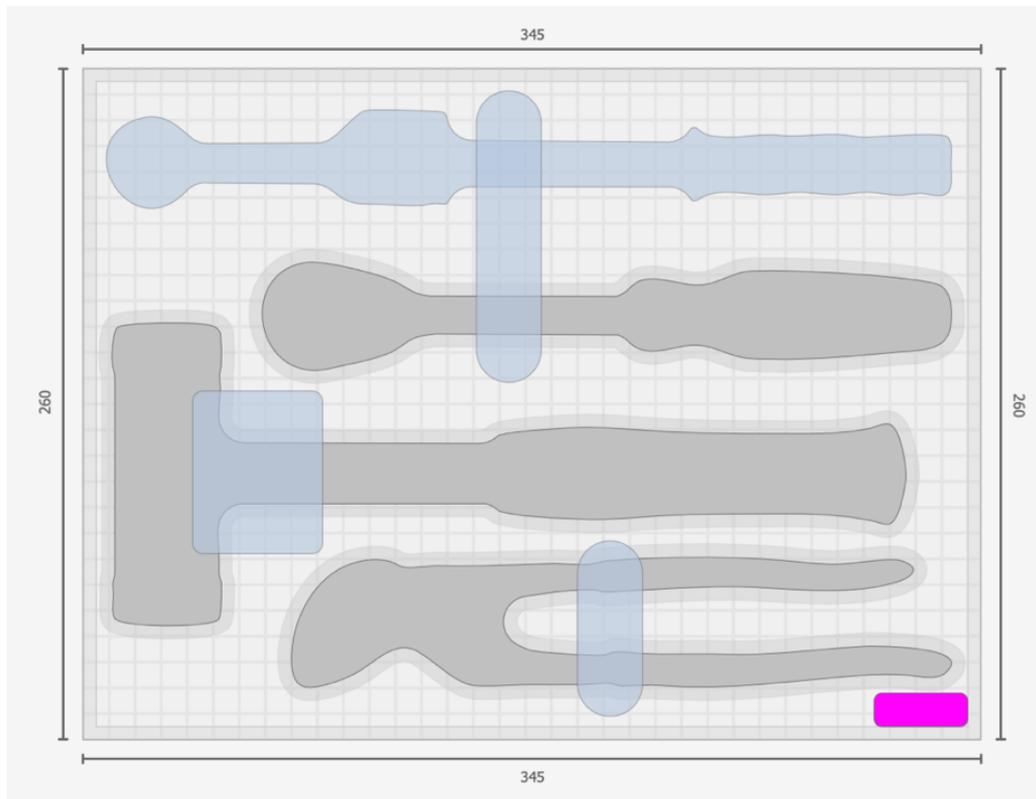


Abbildung 39: Layout Shadowboard – gezeichnet mit [105]

Im weiteren Verlauf wird eine Fremdfirma mit der Umsetzung beauftragt sowie die genaue Position der Shadowboards am Arbeitsplatz festgelegt. Dafür wird ein 3D-Modell des gesamten Arbeitsplatzes angelegt. Die Position der Shadowboards kann mithilfe von mehrfach angebrachten Befestigungsleisten individuell verändert werden. Somit kann gezielt auf die individuellen Bedürfnisse der Mitarbeiter:innen eingegangen werden. Im weiteren Verlauf werden auch Aspekte wie die Stromversorgung oder die Beleuchtung berücksichtigt. Um auf diese Aspekte einzugehen, wurde folgendes 3D Modell des Arbeitsplatzes gezeichnet.

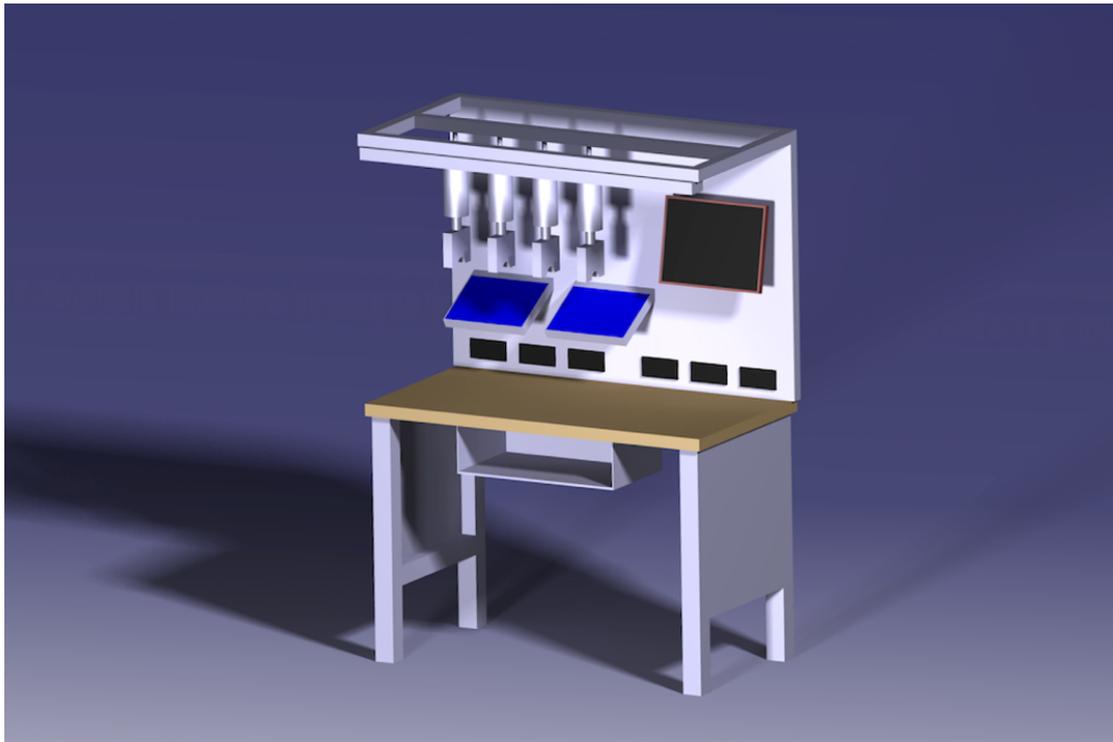


Abbildung 40: 3D Modell Arbeitsplatz

Für die Umsetzung der **digitalen Informationsbereitstellung** muss zunächst der aktuelle Stand der Prüfpläne überprüft werden. Dieser muss vollständig sein, weil er im weiteren Verlauf als Entwicklungsbasis für einen digitalen Prüfplan herangezogen wird. Im nächsten Schritt wird eine optische Variante entworfen. Wichtig ist dabei, dass diese leicht verständlich und für die Mitarbeiter:innen gut erkennbar ist. Um sicherzustellen, dass der richtige Prüfplan zum richtigen Bauteil gezeigt wird, ist eine Verknüpfung des ERP-Systems mit dem Maschinenkontrollsystem erforderlich. Dadurch wird ein Zusammenhang zwischen dem aktuell bearbeiteten Bauteil sowie dem zu prüfenden Bauteil geschaffen. Über eine Schnittstelle wird außerdem eine automatisierte Prüfdatenerfassung ermöglicht.

Für die Umsetzung des **Bedienens der Maschine nur mit entsprechenden Qualifikationen** werden zunächst relevante Qualifikationen definiert. Im weiteren Verlauf müssen diese Qualifikationen einerseits im ERP System hinterlegt sein sowie andererseits Mitarbeiter:innenn zugeordnet werden. Abschließend muss eine Kontrolle der benötigten Qualifikationen, beispielsweise durch ein Einchecken über eine Chipkarte durchgeführt werden. Da aufgrund des Eincheckens genau verfolgt werden kann, welche Mitarbeiter:innen welches Teil gefertigt haben und damit eine Kontrollmaßnahme im Sinne der §§ 96 ff ArbVG darstellt, ist diese Maßnahme in strengem Austausch mit dem Betriebsrat zu entwickeln.

Für die Umsetzung der **Visualisierung von weiteren Ideen** wurde zunächst ein Erstentwurf angefertigt. Dieser wurde anschließend an eine Fremdfirma zur Erstellung übermittelt.

5.5 Ermittlung quantitativer Auswirkungen

Die Auswirkungen der geplanten Umsetzungen werden im Folgenden quantifiziert. Dabei ist es vom Einfluss der Maßnahme abhängig, ob eine Quantifizierung direkt möglich ist, oder ob zunächst Werkzeuge zur Quantifizierung angewendet werden müssen. Es wird betont, dass für die weitere Quantifizierung sowie die folgende Auswertung ausschließlich Maßnahmen am Arbeitsplatz 7 – „Schleifen“ betrachtet werden.

Die Verwendung der **Shadowboards** stellen eine ergonomische Verbesserung des Arbeitsplatzes dar. Die Mitarbeiter:innen wissen zu jederzeit, wo sich die Werkzeuge befinden. Durch ein Anbringen der Shadowboards unmittelbar am Arbeitsplatz wird außerdem der Weg zwischen Werkzeug und Arbeitsplatz verkürzt. Die Mitarbeiter:innen benötigen daher weniger Zeit, die benötigten Werkzeuge an den Arbeitsplatz zu bringen.

Um diese Zeitersparnis zu quantifizieren, wird eine Zeitaufnahme durchgeführt. Dabei wird zunächst der Ist-Zustand erhoben. Für die Erhebung wurden sowohl eine Zeitmessung als auch eine Befragung der Fertigungsmitarbeiter:innen durchgeführt. Aktuell setzt sich die Rüstzeit folgendermaßen zusammen:

Rüstzeit	
Werkzeuge bereitstellen	15 Minuten
Anweisungen bereitstellen	10 Minuten
Wechselteile auffassen	10 Minuten
Scheiben wechseln	60 Minuten
Scheiben abrichten	15 Minuten
Weitere Teile wechseln	60 Minuten
Werkstückposition einstellen	15 Minuten
Maschine freigeben	15 Minuten
Summe	200 Minuten

Es wird deutlich, dass aktuell viel Zeit sowohl für das Bereitstellen der Werkzeuge als auch der Anweisungen aufgewendet wird. Um diese Zeiten zu verkürzen, werden einerseits Shadowboards angeschafft, andererseits Arbeitsanweisungen an den Bildschirmen direkt angezeigt.

Um neue Zeiten für die betroffenen Arbeitsschritte zu bestimmen, wurden diese auf Basis von ähnlichen, schon im Einsatz befindlichen Arbeitsplätzen abgeschätzt. In der Montage sind Shadowboards bereits im Einsatz. In Absprache mit Mitarbeiter:innenn

vor Ort wurde als neue Bereitstellungszeit der Werkzeuge **1 Minute** festgelegt. Die Werkzeuge sind unmittelbar am Arbeitsplatz und stehen jederzeit zur Verfügung.

Für die Ermittlung der Bereitstellungszeit der Anweisungen wird die Dauer der Bereitstellung von Maschineninformationen am Arbeitsplatz betrachtet. Aktuelle Maschinenkennzahlen, wie die bisher produzierten Stück werden auf Bildschirmen gezeigt. Über ein Kontextmenu lassen sich verschiedene Informationen abrufen. In Absprache mit Mitarbeiter:innenn wurde als neue Such und Bereitstellungszeit der Anweisungen **5 Minuten** festgelegt.

Die Änderung der Rüstzeit ergibt sich folgendermaßen:

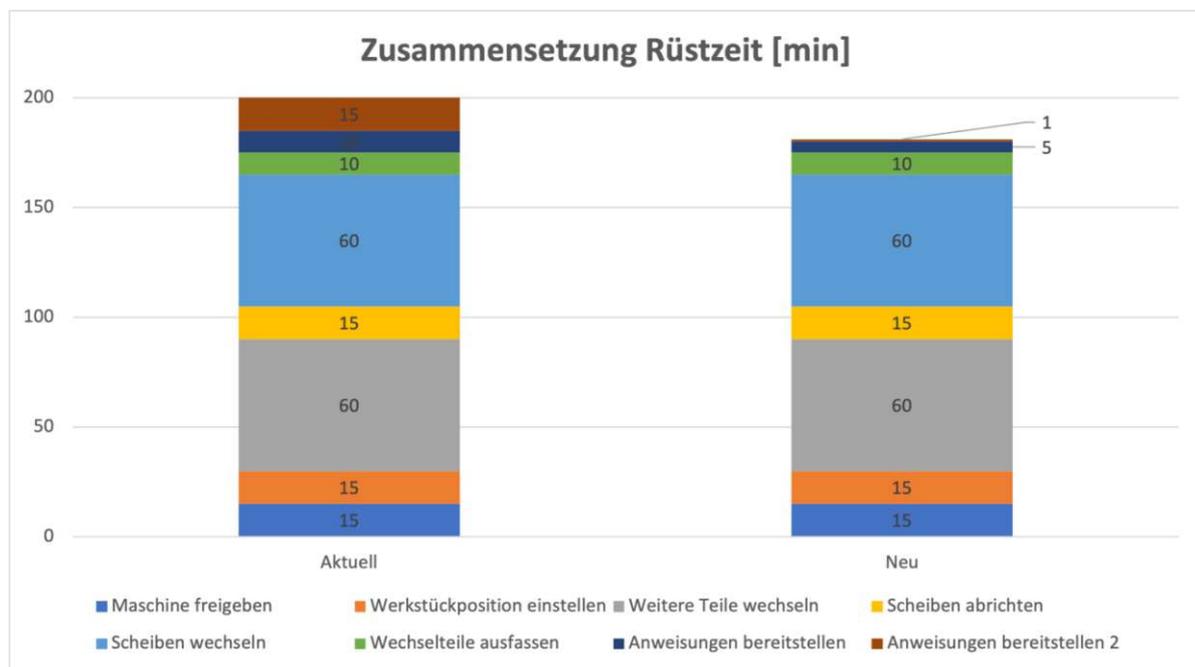


Abbildung 41: Zusammensetzung Rüstzeit

Es ergibt sich eine neue gesamte Rüstdauer von **181 Minuten**.

Das Verwenden von **digitaler Informationsbereitstellung am Arbeitsplatz** führt zu einer Zeitersparnis, da auch in diesem Fall die Such- und Bereitstellungszeiten verkürzt werden. Allerdings findet das Prüfen der Bauteile während der Serienproduktion statt. Die zeitliche Ersparnis hat daher keine Auswirkungen auf die Dauer des Gesamtprozesses. Aus diesem Grund wird in diesem Fall auf eine Zeitaufnahme verzichtet.

Ein weiterer Vorteil von digitaler Informationsbereitstellung ist die Reduktion der Fehleranfälligkeit. Eine hohe Quote an fehlerhaften Bauteilen führt zu einer erhöhten Nachbearbeitungsdauer. Daher ist es erstrebenswert, die Fehlerquote zu reduzieren. Der Einsatz digitaler Informationsbereitstellung resultiert in einer geringeren Fehlerquote. Eine geringere Fehlerquote führt zu einem reduzierten Nachbearbeitungsaufwand.

BRP-Rotax verfügt über keine Informationen, wie viele Teile je Arbeitsplatz nachbearbeitet werden müssen. Um eine Fehlerquote während des Arbeitsplatzes 7 – „Schleifen“ zu ermitteln, werden die aktuellen Fehlerquellen analysiert. Dafür werden anfallende Ausschussteile pro definierte Stückzahl gezählt. Da der Ausschuss allerdings stark variiert fließen zusätzlich Erfahrungen von Mitarbeiter:innenn in die Fehleranalyse ein.

Es ergibt sich folgende Fehlerquote²:

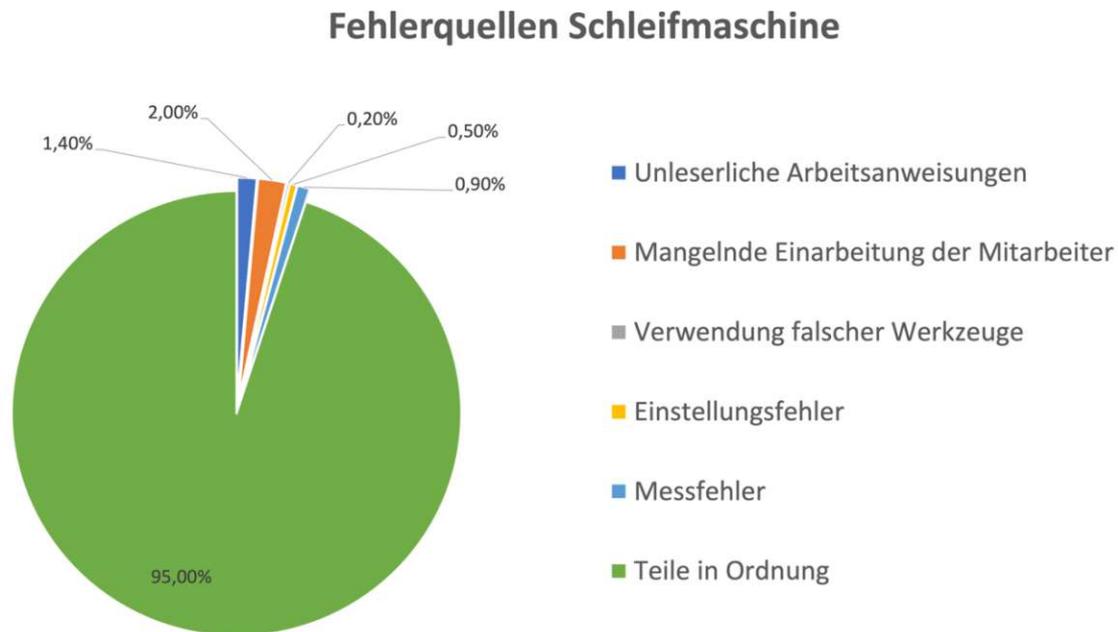


Abbildung 42: Fehlerquote Schleifmaschine aktuell

In Absprache mit Mitarbeiter:innenn wird festgelegt, dass der Fehleranteil von unleserlichen Anweisungen durch die Einführung von digitaler Informationsbereitstellung auf **0,4%** reduziert werden kann.

Zusätzlich kann die Fehlerquote verursacht durch mangelnde Einarbeitung der Mitarbeiter:innen reduziert werden. Durch Festlegen, über welche **Qualifikationen Mitarbeiter:innen** verfügen müssen, um die **Maschine zu bedienen** werden Fehler von nicht ausreichend geschulter Mitarbeiter:innen reduziert. Die neue Quote wird mit **1,00%** angenommen.

Die neu ermittelte Quote an fehlerhaften Teilen ergibt sich daher folgendermaßen.

² Die gezeigte Fehlerquote müsste über einen langen Zeitraum gemessen werden, um aussagekräftig zu sein. Es soll allerdings in weiterer Folge die Möglichkeit der Simulation gezeigt werden, auch diesen Parameter zu berücksichtigen.

Fehlerquellen Schleifmaschine

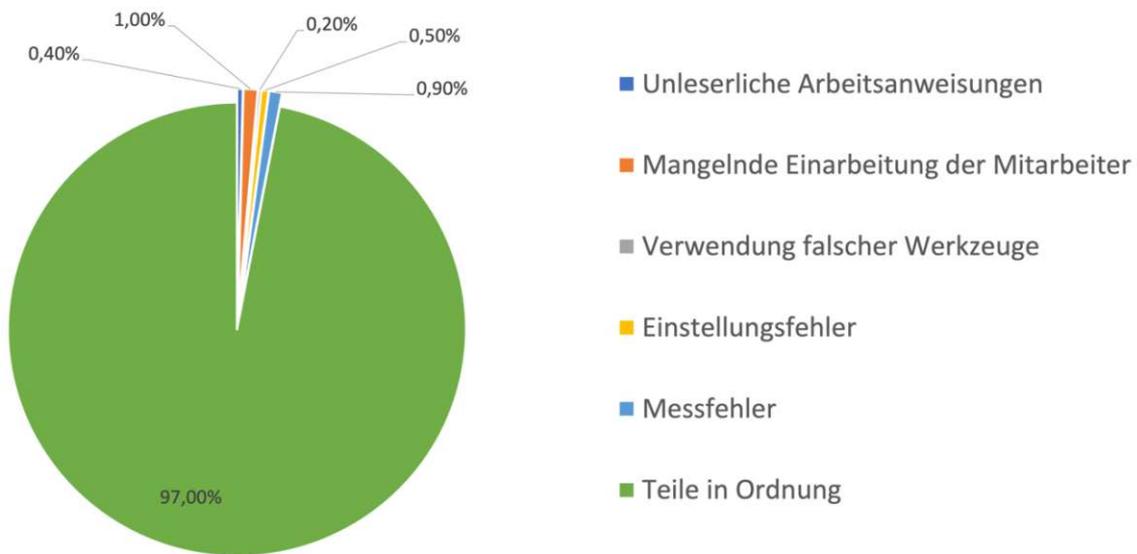


Abbildung 43: Fehlerquote Schleifmaschine neu

6 Auswertung / Resultate

Im folgenden Kapitel werden die Auswirkungen der umgesetzten bzw. geplanten Maßnahmen gezeigt. Zunächst werden Kennzahlen definiert, die mithilfe der Simulation bewertet werden. Unter Berücksichtigung der in Kapitel 4 angeführten Kennzahlen werden für die Auswertung folgende Kennzahlen ausgewählt:

- **Minimale Durchlaufzeit:** Die minimale Durchlaufzeit stellt eine wichtige Kennzahl für Unternehmen dar. Sie wird für die Produktionsplanung herangezogen. Für eine Berechnung werden die unterschiedlichen Rüst- und Bearbeitungszeiten addiert.
- **Zeiteffizienz:** Die Zeiteffizienz beschreibt den Anteil der Bearbeitungszeit an der gesamten Durchlaufzeit. Ziel ist es, ein möglichst hohes Effizienzniveau zu erreichen.
- **Produktionsoutput/-leistung:** Der Produktionsoutput beschreibt die während eines betrachteten Zeitraums hergestellte Ausbringungsmenge. Es kann auch die benötigte Zeitdauer für die Herstellung einer definierten Stückzahl analysiert werden.
- **Aufwand für die Nachbearbeitung:** Teile, die nicht den Qualitätsanforderungen entsprechen, werden nachbearbeitet. Der Aufwand der Nachbearbeitung setzt sich aus der Anzahl der zu bearbeitenden Teilen sowie der Nachbearbeitungsdauer pro Stück zusammen.

Betrachtung des Ist-Zustandes

Für die weitere Analyse wird die Herstellung von 1000 Kurbelwellen herangezogen. Die Herstellungsdauer von 1000 Kurbelwellen beträgt aktuell **57 Stunden, 46 Minuten und 12 Sekunden**. Aktuell werden davon **48 Kurbelwellen nachbearbeitet**, das entspricht einem Zeitaufwand von **295 Minuten und 50 Sekunden**.

Die Effizienzwerte der verschiedenen Anlagen während der jeweiligen Bearbeitungsschritte sind im folgenden Diagramm gezeigt.

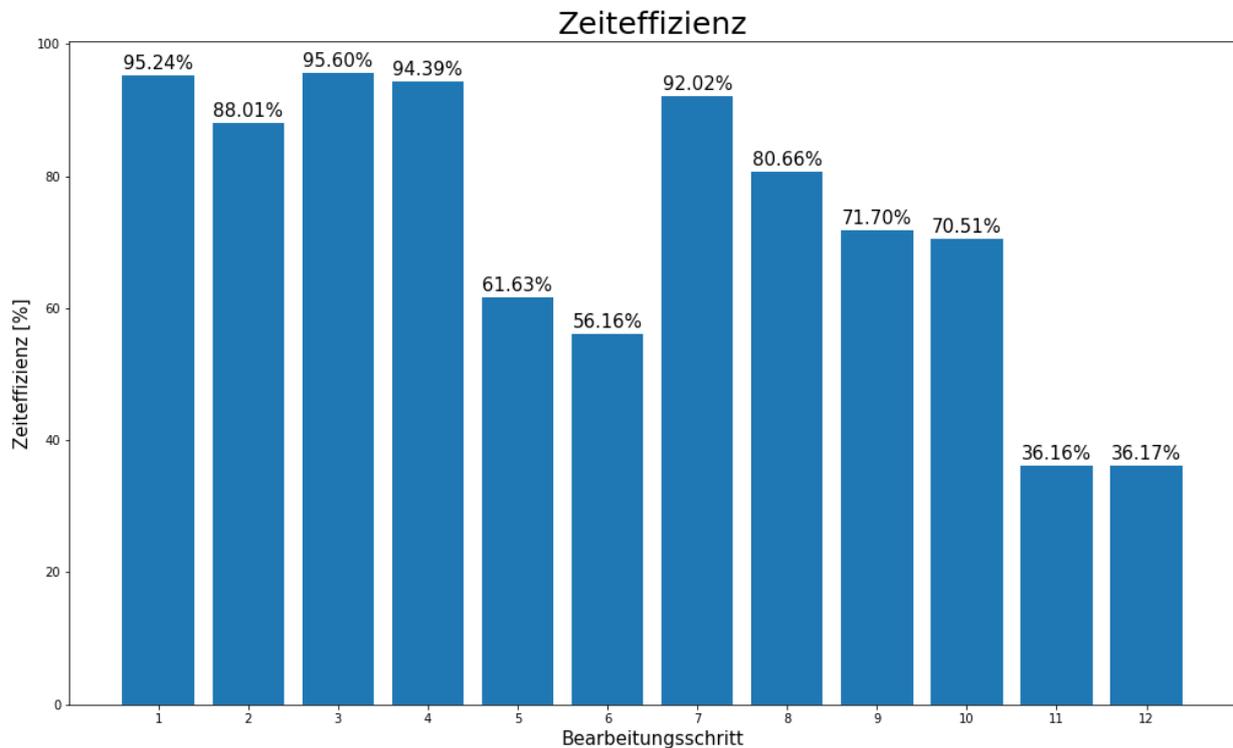


Abbildung 44: Zeiteffizienz Ist-Zustand

Anschaffung einer neuen Schleifmaschine

Durch die Anschaffung einer weiteren Schleifmaschine führt dazu, dass der, durch den Prozessschritt 7 – „Schleifen“ – verursachte, Engpass gelockert wird. Für die Herstellung von 1000 Kurbelwellen werden **48 Stunden, 19 Minuten und 21 Sekunden** benötigt. Das ergibt eine **Reduktion von mehr als 10%** verglichen mit dem Ist-Zustand. Da die Fehlerquote durch die Anschaffung einer neuen Maschine unverändert bleibt, bleibt der Zeitaufwand für benötigte Nachbearbeitungen konstant.

Deutliche Veränderungen zeigen sich bei Betrachtung der Effizienzwerte. Es zeigt sich, dass das Effizienzwerte der Schritte 9 bis 12 deutlich gesteigert werden können. Die Steigerung der beschriebenen Schritte beträgt **mindestens 10%**.

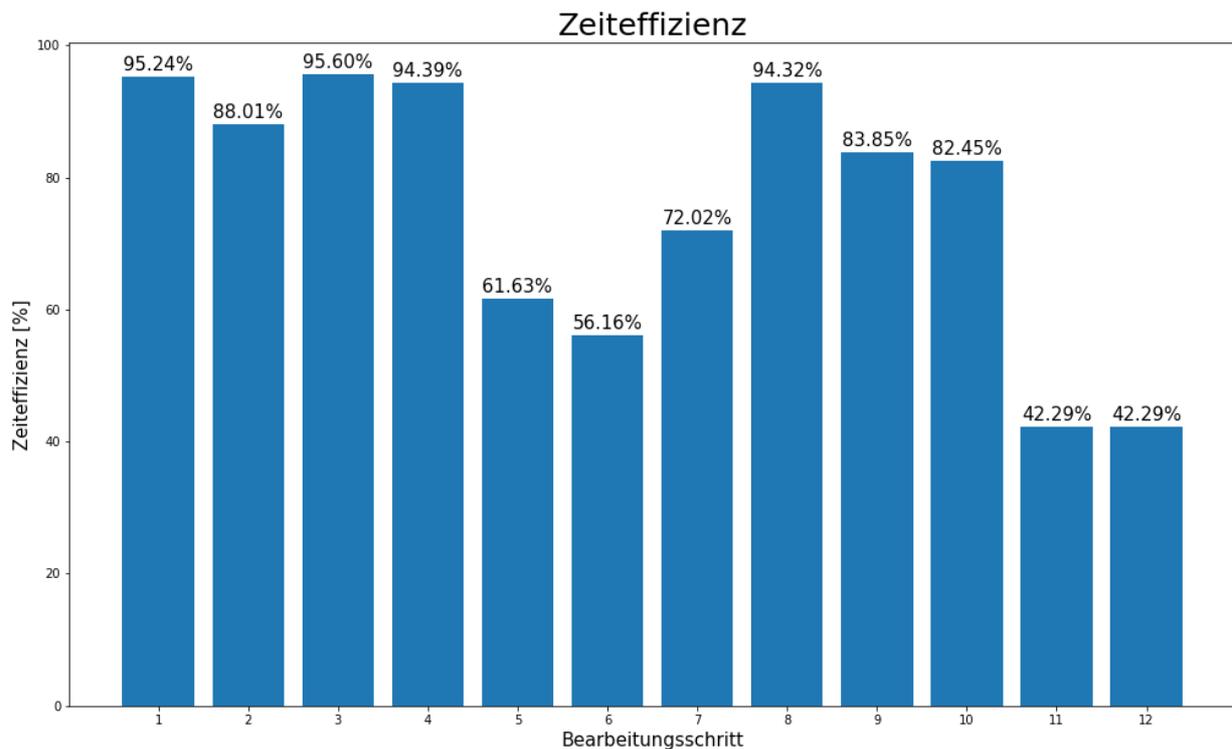


Abbildung 45: Zeiteffizienz neue Schleifmaschine

Reduktion der Rüstzeit

Die Verwendung von Shadowboards auf Arbeitsplatz 7 sowie digitaler Informationsbereitstellung führt zu einer Reduktion der Rüstzeit. Verglichen mit dem Ist-Zustand wird die benötigte Zeit auf **57 Stunden, 25 Minuten und 25 Sekunden** verkürzt. Es fällt sofort auf, dass die Zeitersparnis mit ungefähr **20 Minuten** deutlich geringer ausfällt als durch die Anschaffung einer weiteren Maschine. Um das Potential der Maßnahme zu zeigen, wird eine weitere Simulation durchgeführt. Es soll der Nutzen einer Umsetzung an allen Arbeitsplätzen gezeigt werden. Dafür wird angenommen, dass die Zeitersparnis durch den breiten Einsatz zwischen **10 und 15 Minuten** je Arbeitsplatz beträgt. Die benötigte Zeit kann so auf **55 Stunden, 37 Minuten und 15 Sekunden** verkürzt werden.

Bei Betrachtung der Effizienzwerte zeigt sich eine Steigerung der Werte in jedem Produktionsschritt.

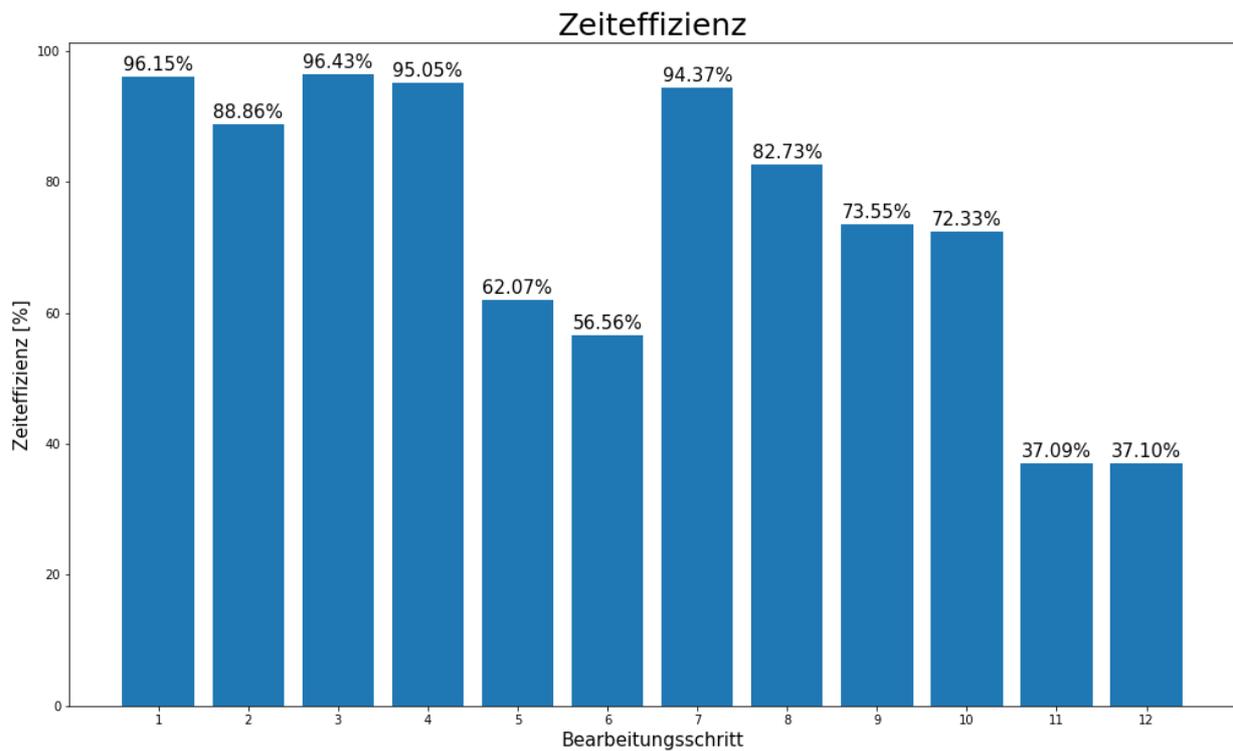


Abbildung 46: Zeiteffizienz Reduktion Rüstzeit

Reduktion der Fehlerquote

Durch die Verwendung von digitaler Informationsbereitstellung auf dem betrachteten Arbeitsplatz 7 sowie einer Mitarbeiter:innen-Qualifikationsmatrix soll die Fehlerquote auf 97% reduzieren. Dadurch wird der benötigte Nachbearbeitungsaufwand reduziert. Von 1000 Kurbelwellen müssen nur noch **28 Teile** nachbearbeitet werden, das entspricht einem Arbeitsaufwand von **172 Minuten und 40 Sekunden**. Die geringere Fehlerquote wirkt sich außerdem auf die benötigte Produktionszeit aus. Für die Fertigung von 1000 Kurbelwellen werden **56 Stunden, 45 Minuten und 44 Sekunden** benötigt.

Eine Reduktion der Fehlerquote wirkt sich nur sehr geringfügig auf die die Effizienzwerte aus. Da die Effizienzwerte durch die zufällige Nachbearbeitungsrate stärker schwanken als durch eine Reduktion der Fehlerquote, wird auf einen Vergleich verzichtet.

Kombination der Maßnahmen

Zuletzt wird die Kombination der beschriebenen Maßnahmen analysiert. Das bedeutet, die Anschaffung einer neuen Maschine, die Verwendung von Shadowboards, digitaler Informationsbereitstellung sowie eine Reduktion der Fehlerquote.

Für die Fertigung von 1000 Kurbelwellen werden **48 Stunden, 20 Minuten und 5 Sekunden** benötigt. Davon mussten **24 Teile** nachbearbeitet werden, das entspricht einem Arbeitsaufwand von **147 Minuten und 60 Sekunden**.

Die Effizienzwerte der verschiedenen Anlagen während der jeweiligen Bearbeitungsschritte sind im folgenden Diagramm gezeigt

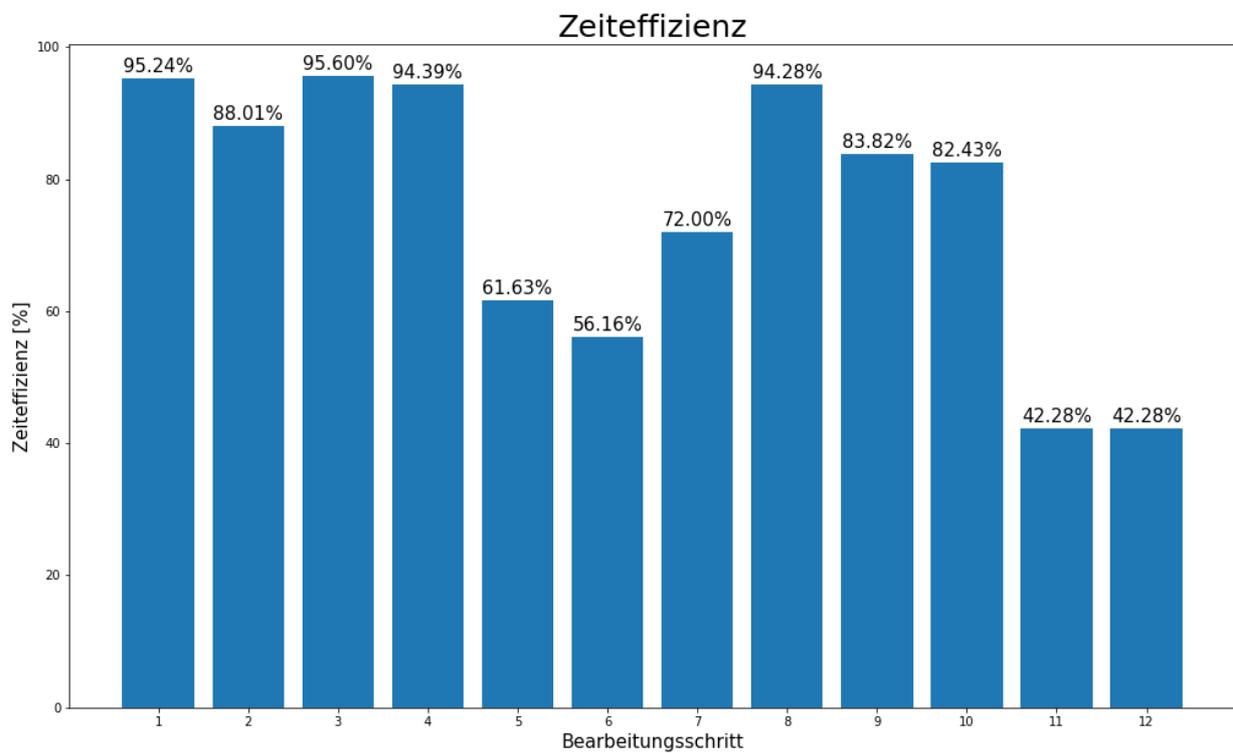


Abbildung 47: Zeiteffizienz Kombination

7 Diskussion und Ausblick

Es zeigt sich, dass die ereignisorientierte Simulation ein geeignetes Instrument für die Bewertung der Gestaltung eines Arbeitsplatzes darstellt. Für eine strukturierte Zusammenfassung werden die Punkte der State-of-the-Art Recherche erneut aufgegriffen.

- **Identifikation von Verbesserungspotenzialen**

Der Einsatz von Simulationen hilft bereits im Vorhinein, Engpässe zu erkennen. So wird deutlich, dass vor der Anschaffung der zusätzlichen Schleifmaschine ein deutlicher Engpass bei Prozessschritt 7 – „Schleifen“ liegt. Es wird außerdem deutlich, dass die Fehlerquote und der daraus resultierende Nachbearbeitungsaufwand aktuell auf einem sehr hohen Niveau liegen. In weiterer Folge liefern diese zwei Probleme Denkanstöße für weitere Verbesserungen.

- **Ermittlung von Auswirkungen auf das Gesamtsystem**

Mithilfe des Simulationsmodells werden bereits im Vorhinein Auswirkungen konkreter Maßnahmen ermittelt. So lässt sich einfach zeigen, dass durch die Anschaffung einer weiteren Schleifmaschine die Zeiteffizienzen der darauffolgenden Schritte deutlich angehoben werden. Ebenso lässt sich der zukünftig anfallende Nachbearbeitungsaufwand bereits im Vorhinein ermitteln.

- **Entscheidungsgrundlage**

Das Simulationsmodell ermöglicht es, präzise und belegte Aussagen zu treffen. Es lässt sich bereits im Vorhinein ermitteln, wie viele Kurbelwellen zukünftig pro Schicht gefertigt werden können. Somit wird eine Kosten-Nutzen-Rechnung deutlich präziser. Der Nutzen von ergonomischen Verbesserungen am Arbeitsplatz selbst auf den Gesamtoutput lässt sich bereits im Vorhinein präzise ermitteln.

Die Einschränkung der ereignisorientierten Simulation stellt in diesem Fall die Quantifizierung menschlicher Tätigkeiten dar. Dafür wurden verschiedene Werkzeuge des Industrial Engineerings verwendet. Die genaue Quantifizierung wird im Folgenden erläutert.

7.1 Beantwortung der Forschungsfragen

Welche Einflüsse sind bei der Arbeitsplatzgestaltung zu berücksichtigen?

Die Einflüsse auf die Arbeitsgestaltung lassen sich zunächst in ergonomisch-menschliche, organisatorische und technische Arbeitseinflüsse unterteilen. Die letzten zwei genannten Kategorien befassen sich mit Maßnahmen, die den Arbeitsplatz nur indirekt beeinflussen. So fließen auch verschiedene Arbeitszeit-Modelle oder die

Anzahl der bedienten Maschinen indirekt in die Arbeitsplatzgestaltung ein. Ergonomisch-menschliche Einflüsse hingegen beschäftigen sich unmittelbar mit der Gestaltung des Arbeitsplatzes. Bei der Gestaltung des Arbeitsplatzes wird daher in erster Linie auf Arbeitseinflüsse geachtet, die direkte Auswirkungen auf die Arbeitssituation der Mitarbeiter:innen haben.

Bei der Gestaltung des Arbeitsplatzes ist daher auf folgende Faktoren zu achten:

- **Ergonomie:** Ziel ist eine Gestaltung des Arbeitsplatzes, die sowohl das Wohlbefinden des Menschen, als auch die Leistung des Gesamtsystems verbessert. Einflussfaktoren sind in etwa die Arbeitsplatzgröße sowie die Arbeitsumgebung (Licht, Temperatur, Umgebungslärm). Auch die Anordnung der zur Verfügung gestellten Werkzeuge und Assistenzsysteme muss berücksichtigt werden.
- **Lean Management:** Ein sparsamer sowie zeiteffizienter Einsatz von Produktionsressourcen ist zu gewährleisten. Ziel ist die Vermeidung von Verschwendung. Für die Arbeitsplatzgestaltung ist es daher notwendig, benötigte Werkzeuge sowie benötigte Informationen im geeigneten Maße am Arbeitsplatz zur Verfügung zu stellen. Dadurch werden Suchzeiten verkürzt und somit eine effizientere Produktion ermöglicht.
- **Digitalisierung/Vernetzung:** Digitalisierung in der Arbeitswelt beschreibt die Entwicklung von analogen hin zu digitalen Elementen, wie Darstellungen sowie Datenverarbeitungen. Durch die zunehmende Digitalisierung verändern sich die Arbeitsinhalte der Mitarbeiter:innen. Außerdem ist bereits bei der Arbeitsplatzgestaltung zu klären, in welchem Maß auf Digitalisierung gesetzt werden soll. Benötigte Komponenten müssen in weiterer Folge bei der Planung berücksichtigt werden.

Wie lassen sich quantitative Auswirkungen von verschiedenen Arbeitseinflüssen ableiten?

Wie bereits in Kapitel 4 erwähnt, müssen unterschiedliche Maßnahmen unterschiedlich quantifiziert werden. Technische Arbeitseinflüsse lassen sich am einfachsten quantifizieren. Die Zeitersparnis des Kaufes einer weiteren Maschine lässt sich beispielsweise einfach ermitteln. Bereits vorhandene Produktionsdaten gleicher Maschinen, wie Bearbeitungs- oder Rüstzeiten werden herangezogen. Durch den Kauf einer weiteren Maschine können benötigte Bearbeitungsschritte auf eine weitere Anlage verteilt werden. Die neue Anzahl von Maschinen ist ebenso bekannt, wie die Bearbeitungsdauern.

Auch organisatorische Arbeitseinflüsse, wie veränderte Arbeitszeitmodelle lassen sich leicht quantifizieren. Die neuen Arbeitszeiten liegen bereits in definierten Zeiten und somit in einem quantitativen Format vor.

Die Quantifizierung von Auswirkungen ergonomischer Arbeitseinflüsse gestaltet sich jedoch schwieriger. Dass eine verbesserte Lichtsituation bzw. eine ergonomische Anordnung der am Arbeitsplatz benötigten Werkzeuge die Arbeitssituation verbessert, leuchtet ein. Um beispielsweise die exakte zeitliche Veränderung zu bestimmen, werden Instrumente des Industrial Engineerings herangezogen. So lässt sich beispielsweise durch eine Zeitaufnahme die genaue Differenz bestimmen. Soll eine Aussage bereits im Vorhinein getroffen werden, wird mithilfe von Planzeiten gearbeitet. Diese werden aus Zeitbausteinen zusammengesetzt, um eine erwartete Gesamtzeit zu erhalten. Für die Zeitbestimmung kann eine Vielzahl an Werkzeugen herangezogen werden:

- **Messen:** Die genaue benötigte Zeit wird selbstständig, durch eine andere Person oder automatisiert gemessen.
- **Befragung:** Mitarbeiter:innen werden im Nachgang über die benötigte Dauer zur Absolvierung eines definierten Arbeitsschrittes befragt.
- **Schätzen:** Mithilfe von Ist-Zeiten für bekannte Arbeitsabläufe werden Soll-Zeiten für neue Abläufe abgeschätzt.
- **Berechnen mithilfe von Planzeitbausteinen:** Planzeitbausteine werden für definierte Arbeitsabläufe gebildet. Die Kombination ermöglicht die Beschreibung neuer Arbeitsprozesse
- **Methods Time Measurement (MTM):** Manuelle Abläufe werden in einzelne Bewegungselemente gegliedert. Jedem Bewegungselement wird anschließend ein Normzeitwert zugeordnet.
- **Simulation:** Mithilfe von Software-Lösungen lassen sich Arbeitsabläufe virtuell planen und beschreiben.

Wie lassen sich konkrete Maßnahmen der Arbeitsplatzplatzgestaltung mithilfe einer ereignisorientierten Simulation bewerten?

Die ereignisorientierte Simulation eignet sich, um bereits in der Planungsphase Auswirkungen von Änderungen am Arbeitsplatz auf den gesamten Produktionsprozess bewerten zu können. Da sich der Simulationsfortschritt durch die Abarbeitung von definierten Ereignissen ergibt, werden für die Berechnung allerdings diskrete Werte benötigt.

Mensch-zentrierte Prozesse, die den Arbeitsplatz direkt betreffen, liefern keine diskreten Werte. Da diese allerdings für eine Bewertung benötigt werden, wird ein zusätzliches Werkzeug zur Ableitung quantitativer Größen verwendet. Ein Überblick

über mögliche Werkzeuge wurde in der Beantwortung der vorherigen Frage gegeben. Je genauer die Quantifizierung der Maßnahmen, desto aussagekräftiger sind sie.



Abbildung 48: Bewertung mithilfe ereignisorientierter Simulation

Für die Bewertung mithilfe der Ereignisorientierten Simulation wird zunächst ein Modell in einem ausgewählten Programm erstellt. Dafür werden Produktionsressourcen sowie benötigte Zeiten definiert. Anschließend werden Prozessschritte zusammengefügt und durchlaufen. Für die Bewertung müssen zunächst Kennzahlen ausgewählt werden. Für die Bewertung eines Fertigungsprozesses eignen sich dafür folgende Kennzahlen:

- **Durchlaufzeit:** Zeitspanne, die für die Bearbeitung von definierten Aufträgen benötigt wird.
- **Zeiteffizienz:** Anteil der Bearbeitungszeit an der gesamten Durchlaufzeit.
- **Ausbringungsmenge bzw. Produktionsoutput:** Während eines betrachteten Produktionszeitraums hergestellte Produktmenge.

Mithilfe der Simulation kann zunächst der Ist-Zustand nachgebildet und simuliert werden. Anschließend kann die Simulation mit neuen Werten durchgeführt werden. Die Ergebnisse der beiden Durchläufe können anschließend anhand der definierten Kennzahlen verglichen werden. So wird gezeigt, inwiefern sich eine konkrete Maßnahme auf den gesamten Produktionsprozess auswirkt.

7.2 Ausblick

Die ereignisorientierte Simulation eignet sich gut für die Betrachtung eines gesamten Produktionsprozesses. In der Auswertung zeigte sich, dass die Bewertung technischer Maßnahmen am einfachsten war – es musste lediglich die Anzahl der vorhandenen Maschine verändert werden. Die Bewertung von Umgestaltungen am Arbeitsplatz selbst gestaltet sich als aufwendiger. Es musste ein zusätzliches Werkzeug als Zwischenschritt hinzugefügt werden.

Die Notwendigkeit eines zusätzlichen Schrittes stellt zusätzlichen Aufwand dar und wird daher noch als Hindernis gesehen. Eine Kombination von Simulationen der ergonomischen Arbeitsplatzgestaltung sowie des gesamten Produktionsprozesses würde diesen Aufwand reduzieren. Wie in Kapitel 4 kurz beschrieben, existieren bereits Softwarelösungen, die verschiedene Simulationsarten kombinieren.

So können SimEvents und Simulink im selben Simulationsmodell verwendet werden. Dadurch lassen sich in einem System sowohl zeitbasierte als auch ereignisbasierte Komponenten simulieren [87].

Programme, wie der ema Workdesigner ermöglichen die 3D-Simulation menschlicher Arbeit. Anschließend lassen sich Ergonomie sowie Zeitwerte ermitteln. Eine Erweiterung um eine Simulation des gesamten Herstellungsprozesses würde eine Aussage über Auswirkungen auf den gesamten Produktionsprozess ermöglichen. Dabei muss allerdings berücksichtigt werden, dass für die Simulation umso mehr Rechenaufwand benötigt wird, umso detaillierter sie gestaltet ist.

In Zukunft ist mit einem vermehrten Einsatz von Simulationen zur Arbeitsplatzgestaltung zu rechnen. Hierfür sind folgende drei Gründe ausschlaggebend:

- **Risikominimierung:** Simulationen liefern eine Umgebung, in der gefahrlos experimentiert werden kann. Es muss dabei weder auf bestehende Produktionsprozesse noch auf finanzielle Aspekte geachtet werden. Durchgeführte Simulationen verursachen keinen Schaden.
- **Verkürzung und Verbesserung der Planung:** Simulationen ermöglichen eine deutlich schnellere und zuverlässigere Planung. Durch einfache Modellbildungen lassen sich genaue Aussagen innerhalb kurzer Zeit ableiten. Diese können für die weitere Planung als Entscheidungsgrundlage herangezogen werden.
- **Gezielte Optimierung und Auswertung:** Simulationen bieten die Möglichkeit, Engpässe zu identifizieren und anschließend gezielt zu verbessern. Konkrete Maßnahmen können sofort analysiert werden. Die Auswirkungen verschiedener Maßnahmen können schnell ermittelt werden und ermöglichen so den Vergleich verschiedener Verbesserungsmaßnahmen.

8 Literaturverzeichnis

- [1] S. Wischmann and E. A. Hartmann, *Zukunft der Arbeit – Eine praxisnahe Betrachtung*, 1st ed. 20. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg : Imprint: Springer Vieweg, 2018.
- [2] H. F. Binner, "Industrie 4.0 bestimmt die Arbeitswelt der Zukunft," *Elektrotechnik und Informationstechnik*, vol. 131, no. 7, pp. 230–236, 2014.
- [3] C. G. Machado, M. P. Winroth, and E. H. D. da Silva, "Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda," *Int. J. Prod. Res.*, vol. 58, no. 5, pp. 1462–1484, 2020.
- [4] D. Jentsch, R. Riedel, A. Jäntschi, and E. Müller, "Fabrikaudit Industrie 4.0: Strategischer Ansatz zur Potenzialermittlung und schrittweisen Einführung einer Smart Factory," *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetr.*, vol. 108, no. 9, pp. 678–681, 2013.
- [5] F. Morlock, T. Wienbruch, S. Leineweber, D. Kreimeier, and B. Kühlenkötter, "Industrie 4.0-transformation für produzierende unternehmen: Reifegradbasierte Migration zum cyber-physischen produktionssystem," *ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetr.*, vol. 111, no. 5, pp. 306–309, 2016, doi: 10.3139/104.111514.
- [6] J. Patsch, D. Kames, W. Mayrhofer, and S. Schlund, "Made in Austria: Produktionsarbeit in Österreich." 2021, doi: 10.34726/1541.
- [7] D. Spath, O. Ganschar, S. Gerlach, M. Hämmerle, T. Krause, and S. Schlund, "Produktionsarbeit der Zukunft-Industrie 4.0," *Fraunhofer- Inst. für Arbeitswirtschaft und Organ. IAO*, p. 155, 2013, [Online]. Available: http://www.dkp-niedersachsen.de/produktion/medien/archiv/20131109wesem/Fraunhofer-IAO-Studie_Produktionsarbeit_der_Zukunft-Industrie_4.0.pdf.
- [8] J. Hofmann, *Arbeit 4.0 – Digitalisierung, IT und Arbeit: IT als Treiber der digitalen Transformation*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018.
- [9] P. Trompisch, "Industrie 4.0 und die Zukunft der Arbeit," *e i Elektrotechnik und Informationstechnik*, vol. 134, no. 7, pp. 370–373, 2017, doi: 10.1007/s00502-017-0531-1.
- [10] M. Saam, S. Viète, and S. Schiel, "Digitalisierung im Mittelstand: Status Quo, aktuelle Entwicklungen und Herausforderungen," Zentrum für Europäische Wirtschaftsforschung (ZEW), Mannheim, 2016. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10419/145963>.
- [11] K. Zeman, T. Pumhössel, J. Reisinger, G. Winter, and A. Kainz, "Modellbildung und Simulation – eine permanente Herausforderung auf dem Weg zur cyber-physischen Produktion," *BHM. Berg- und hüttenmännische Monatshefte*, vol. 161, no. 11, pp. 532–538, 2016.
- [12] L. Monostori *et al.*, "Cyber-physical systems in manufacturing," *CIRP Ann.*, vol. 65, no. 2, pp. 621–641, 2016.

- [13] R. Neugebauer, *Digitalisierung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg, 2018.
- [14] K. Bettenhausen and S. Kowalewski, "Cyber-Physical Systems : Chancen und Nutzen aus Sicht der Automation," *VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Autom.*, no. April, pp. 1–12, 2013.
- [15] F. Mattern and C. Flörkemeier, "Vom Internet der Computer zum Internet der Dinge," *Informatik-Spektrum*, vol. 33, no. 2, pp. 107–121, 2010.
- [16] H. Boyes, B. Hallaq, J. Cunningham, and T. Watson, "The industrial internet of things (IIoT): An analysis framework," *Comput. Ind.*, vol. 101, no. June, pp. 1–12, 2018, doi: 10.1016/j.compind.2018.04.015.
- [17] P. Hold, *Vorgehensmodell zur Planung und Evaluierung digitaler Assistenzsysteme in der Montage*. Wien, 2020.
- [18] B. Vogel-Heuser and S. Kowalewski, "Cyber-physische Systeme," *Autom.*, vol. 61, no. 10, pp. 667–668, 2013.
- [19] "https://viernull.blog/detail/Blog/Post/zeige/cyber-physische-systeme/," 2021. <https://viernull.blog/detail/Blog/Post/zeige/cyber-physische-systeme/>.
- [20] H. Meissner and J. C. Aurich, "Arbeitsplanung für cyber- physische Produktionssysteme," vol. 112, pp. 899–901, 2017.
- [21] L. Monostori *et al.*, "Cyber-physical systems in manufacturing," *CIRP Ann.*, vol. 65, no. 2, pp. 621–641, 2016, doi: 10.1016/j.cirp.2016.06.005.
- [22] R. H. Schmitt and C. Voigtmann, "Sensorinformationen als Dienst – Baustein der vernetzten Produktion," *Tech. Mess.*, vol. 84, no. 5, pp. 296–309, 2017.
- [23] B. Vogel-Heuser, M. ten Hompel, and T. Bauernhansl, *Handbuch Industrie 4.0 Bd.2: Automatisierung*, 2. Aufl. 2. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2016.
- [24] H. Hönig and B. Lorenz, "Low-Cost-Digitalisierung in der Produktion: Erste Schritte zur Vernetzung von Produktionsteilnehmern in KMU," *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetr.*, vol. 112, no. 12, pp. 895–898, 2017.
- [25] Fraunhofer IPT, "Industrie 4.0 – vernetzte, adaptive Produktion," 2013, [Online]. Available: [http://www.ipt.fraunhofer.de/content/dam/ipt/de/documents/Broschueren/Industrie 4.0-Vernetzte adaptive Produktion.pdf](http://www.ipt.fraunhofer.de/content/dam/ipt/de/documents/Broschueren/Industrie%204.0-Vernetzte%20adaptive%20Produktion.pdf).
- [26] DIN/VDE-DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik, "IEC 60050-351:2013 Leittechnik," *Int. Elektrotechnisches Wörterb.*, no. September, pp. 1–381, 2013.
- [27] S. Hesse, *Fertigungsautomatisierung : Automatisierungsmittel, Gestaltung und Funktion*, 1. Aufl.. Braunschweig [u.a.]: Vieweg, 2000.
- [28] E. Kiel, "Industrielle Produktion und Automatisierung," *Antriebslösungen*, pp. 7–76, 2007, doi: 10.1007/978-3-540-73427-7_2.
- [29] C. Brecher and M. Weck, *Werkzeugmaschinen Fertigungssysteme 1:*

- Maschinenarten und Anwendungsbereiche*, 9. Aufl. 2. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg, 2018.
- [30] C. Brecher, W. Lohse, and M. Königs, "Vernetzung von Arbeitsvorbereitung und Fertigung: Ein Cloud-basierter Ansatz zur Erhöhung der Planungsqualität," *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetr.*, vol. 110, no. 1–2, pp. 14–17, 2015.
- [31] P. Radey, *Entwicklung einer Entscheidungsmethodik zur Fertigungsautomatisierung*. 2011.
- [32] R. Bernerstätter, "Daten als Ressource in Industrie 4.0 - Kosten und Nutzen von Datenqualität," 2018.
- [33] P. Hehenberger, *Computerunterstützte Fertigung*. 2011.
- [34] D. Oehler, *Definition der CAD/CAM/CNC-Prozesskette auf Basis von Siemens NX10*. GRIN Verlag, 2017.
- [35] D. Lindner, T. Ludwig, and M. Amberg, "Arbeit 4.0 – Konzepte für eine neue Arbeitsgestaltung in KMU," *HMD Prax. der Wirtschaftsinformatik*, vol. 55, no. 5, pp. 1065–1085, 2018, doi: 10.1365/s40702-018-0425-7.
- [36] T. Kollmann and H. Schmidt, "Arbeit 4.0 BT - Deutschland 4.0: Wie die Digitale Transformation gelingt," T. Kollmann and H. Schmidt, Eds. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016, pp. 105–113.
- [37] D. Lindner, M. Ott, and C. Leyh, "Der digitale Arbeitsplatz – KMU zwischen Tradition und Wandel," *HMD Prax. der Wirtschaftsinformatik*, vol. 54, no. 6, pp. 900–916, 2017, doi: 10.1365/s40702-017-0370-x.
- [38] B. GmbH, "bitnamic CONNECT," 2021. <https://bitnamic.net>.
- [39] T. Ludwig *et al.*, "Arbeiten im Mittelstand 4.0 – KMU im Spannungsfeld des digitalen Wandels," *HMD Prax. der Wirtschaftsinformatik*, vol. 53, no. 1, pp. 71–86, 2016, doi: 10.1365/s40702-015-0200-y.
- [40] "https://www.onpulson.de/," 2021. <https://www.onpulson.de/lexikon/lean-production/>.
- [41] W. Sihn, P. Schieder, and T. Edtmayr, "Produktions- und Qualitätsmanagement 1," 2020.
- [42] D. Kolberg and D. Zühlke, "Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies," *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 3, pp. 1870–1875, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2015.06.359>.
- [43] "https://refa.de/service/refa-lexikon/lean-production," 2021. <https://refa.de/service/refa-lexikon/lean-production>.
- [44] M. Rother, J. Shook, B. Wiegand, J. Womack, and D. Jones, *Sehen lernen : mit Wertstromdesign die Wertschöpfung erhöhen und Verschwendung beseitigen*, Deutsche A. Mühlheim an der Ruhr: Lean Management Institut, 2015.
- [45] K. Erlach, *Wertstromdesign : Der Weg zur schlanken Fabrik*, 3rd ed. 20. Berlin Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg Imprint: Springer Vieweg, 2020.

- [46] “<https://www.microsyst.de/>,” 2021.
<https://www.microsyst.de/anwendungsbereiche/produktionsdatenanzeigen/soll-ist-anzeige.html>.
- [47] R. Hänggi, A. Fimpel, and R. Siegenthaler, *LEAN Production - Einfach und Umfassend: Ein Praxisorientierter Leitfaden Zu Schlanken Prozessen Mit Bildern Erklärt*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin / Heidelberg, 2021.
- [48] A. Markis, *Ergonomische Arbeitssystem-Gestaltung in Österreich: Studie zur Bewertung der aktuellen Relevanz ergonomischer und alternsgerechter Arbeitssystem-Gestaltung im Hinblick auf Produktivität in Zeiten des Demografischen Wandels für Unternehmen in Österreich*. 2014.
- [49] C. Schlick, R. Bruder, and H. Luczak, *Arbeitswissenschaft*, 4. Aufl. 2. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg Imprint: Springer Vieweg, 2018.
- [50] S. Schlund, “Grundlagen der Arbeitswissenschaft,” 2017.
- [51] “<https://de.wikipedia.org/>,” 2021.
https://de.wikipedia.org/wiki/Arbeitsbeanspruchung#/media/Datei:Belastungs-_Beanspruchungsmodell.svg.
- [52] K. Rönick, B. Röhm, P. Bausch, R. Anderl, and J. Metternich, “Digitale Informationsbereitstellung in der Produktion: Ein ganzheitliches Vorgehensmodell zur Entwicklung bedarfsorientierter Lösungen,” *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetr.*, vol. 115, no. 6, pp. 438–441, 2020.
- [53] M. Bovenschulte, “Kognitive Assistenzsysteme,” no. 38, pp. 1–9, 2020, [Online]. Available: <https://www.dfki.de/web/forschung/forschungsbereiche-gruppen/kognitive-assistenzsysteme/>.
- [54] P. Bunyai, *Untersuchungen zum Einfluss moderner Fahrerassistenzsysteme auf den Anhalteweg von Personenkraftwagen*. 2014.
- [55] M. Link and K. Hamann, “Einsatz digitaler Assistenzsysteme in der Produktion: Gestaltung der Mensch-Maschine Interaktion,” *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetr.*, vol. 114, no. 10, pp. 683–687, 2019.
- [56] S. Schlund, “Assistance Systems in Manufacturing I,” 2020.
- [57] Universal Robots, “Universal Robots,” 2021. <https://www.universal-robots.com/de/produkte/ur16e-roboter/>.
- [58] SSI Schaefer, “SSI Schaefer,” 2021. <https://www.ssi-schaefer.com/de-de>.
- [59] M. Schmauder and B. Spanner-Ulmer, *Ergonomie: Grundlagen zur Interaktion von Mensch, Technik und Organisation*, 1. Aufl.. [München]: Hanser, 2014.
- [60] J. Eitner and K. Strohmeier, “Industrie 4.0: Virtueller Zwilling steuert die Produktion,” p. 4, 2017, [Online]. Available: https://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/de/presse-medien/2017/Februar/pi5_IPK_Virtueller_Zwilling_steuert_die_Produktion_2016.pdf.
- [61] C. Weber, M. Wieland, and P. Reimann, “Konzepte zur Datenverarbeitung in

- Referenzarchitekturen für Industrie 4.0,” *Datenbank-Spektrum*, vol. 18, no. 1, pp. 39–50, 2018, doi: 10.1007/s13222-018-0275-z.
- [62] J. Patsch, T. Zigart, D. Kostolani, P. Rupprecht, and S. Schlund, “Simulationsbasierte Steigerung der Energieeffizienz in der variantenreichen Backwarenproduktion: Konzeption und Anwendung ereignisorientierter Simulation am Beispiel einer Großbäckerei,” *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetr.*, vol. 116, no. 11, pp. 792–796, 2021, doi: doi:10.1515/zwf-2021-0152.
- [63] “<https://www.simulatefirst.com/de/>,” 2021. <https://www.simulatefirst.com/de/>.
- [64] S. Lidberg, *Evaluating Fast and Efficient Modeling Methods for Simulation-Based Optimization*. 2021.
- [65] B. Ashtari Talkhestani *et al.*, “An architecture of an Intelligent Digital Twin in a Cyber-Physical Production System,” *At-Automatisierungstechnik*, vol. 67, no. 9, pp. 762–782, 2019, doi: 10.1515/auto-2019-0039.
- [66] T. Kuhn, “Digitaler Zwilling,” *Informatik-Spektrum*, vol. 40, no. 5, pp. 440–444, 2017, doi: 10.1007/s00287-017-1061-2.
- [67] B. C. Schumacher, “Beitrag zur Einarbeitung in ereignisdiskrete Simulation zur Neu- und Umplanung von Materialflusssystemen,” Technische Universität Berlin, Berlin, 2020.
- [68] D. Goldsman and P. Goldsman, “Discrete-Event Simulation BT - Modeling and Simulation in the Systems Engineering Life Cycle: Core Concepts and Accompanying Lectures,” M. L. Loper, Ed. London: Springer London, 2015, pp. 103–109.
- [69] J. Kohl, “Automatisierte Datenerfassung für diskret ereignisorientierte Simulationen in der energieflexiblen Fabrik,” 2016.
- [70] U. Hedstück, *Simulation diskreter Prozesse. Methoden und Anwendungen*. 2013.
- [71] W.-U. Raffel, “Agentenbasierte Simulation als Verfeinerung der Diskreten-Ereignis-Simulation unter besonderer Berücksichtigung des Beispiels Fahrerloser Transportsysteme.” 2005.
- [72] F. Echsler Minguillon, “Prädiktiv-reaktives Scheduling zur Steigerung der Robustheit in der Matrix-Produktion,” 2020.
- [73] E. Gerdin, E. Gerdin, and R. Rifve, “Manufacturing System Improvement with Discrete Event Simulation,” no. June, 2018.
- [74] H. Zupan and N. Herakovic, “Production line balancing with discrete event simulation: A case study,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 28, no. 3, pp. 2305–2311, 2015, doi: 10.1016/j.ifacol.2015.06.431.
- [75] Y. Zhang, C. G. Cassandras, W. Li, and P. J. Mosterman, *A discrete-event and hybrid traffic simulation model based on SimEvents for intelligent transportation system analysis in Mcity*, vol. 29, no. 3. Discrete Event Dynamic Systems, 2019.

- [76] G. Schuh *et al.*, “Verbesserung der Liefertermintreue durch Simulation,” *Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetr.*, vol. 114, no. 12, pp. 819–822, 2019, doi: 10.3139/104.112201.
- [77] A. Patel, V. Berdunov, Z. Quayyum, D. King, M. Knapp, and R. Wittenberg, “Estimated societal costs of stroke in the UK based on a discrete event simulation,” *Age Ageing*, vol. 49, no. 2, pp. 270–276, 2020, doi: 10.1093/ageing/afz162.
- [78] S. Lidberg, T. Aslam, L. Pehrsson, and A. H. C. Ng, “Optimizing real-world factory flows using aggregated discrete event simulation modelling: Creating decision-support through simulation-based optimization and knowledge-extraction,” *Flex. Serv. Manuf. J.*, vol. 32, no. 4, pp. 888–912, 2020, doi: 10.1007/s10696-019-09362-7.
- [79] M. Amorim-Lopes, L. Guimarães, J. Alves, and B. Almada-Lobo, “Improving picking performance at a large retailer warehouse by combining probabilistic simulation, optimization, and discrete-event simulation,” *Int. Trans. Oper. Res.*, vol. 28, no. 2, pp. 687–715, 2021, doi: 10.1111/itor.12852.
- [80] M. Saidani, H. Kim, and J. Kim, “Designing optimal COVID-19 testing stations locally: A discrete event simulation model applied on a university campus,” *PLoS One*, vol. 16, no. 6 June, pp. 1–16, 2021, doi: 10.1371/journal.pone.0253869.
- [81] “<https://refa.de/service/refa-lexikon/arbeitsplatzgestaltung>,” 2021. <https://refa.de/service/refa-lexikon/arbeitsplatzgestaltung>.
- [82] J. Freund and B. Rücker, *Praxishandbuch BPMN 2.0*. Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG, 2014.
- [83] S. Schlund, “Projekt- und Prozessmanagement,” 2020. .
- [84] P. Lang, *Erstellung eines Datenflusskonzepts mit BPMN 2.0 für zukünftige digitalisierte Produktionsprozesse*. Wien, 2016.
- [85] K. Müller, T. Vignaux, O. Lünsdorf, and S. Scherfke, “SimPy Documentation,” p. 373, 2018.
- [86] “<https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/software/arena-simulation.html>,” 2021. <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/software/arena-simulation.html>.
- [87] “<https://de.mathworks.com/products/simevents.html>,” 2021. <https://de.mathworks.com/products/simevents.html>.
- [88] “<https://www.anylogic.de>,” 2021. <https://www.anylogic.de>.
- [89] U. Kelle, F. Reith, and B. Metje, “Empirische Forschungsmethoden,” *Lehrer-Schüler-Interaktion*, pp. 27–63, 2017, doi: 10.1007/978-3-658-15083-9_2.
- [90] Deutsches Institut für Betriebswirtschaft, “Erfolgsfaktor Ideenmanagement: Kreativität im Vorschlagswesen.” Erich Schmidt, Berlin, p. 23, 2003.
- [91] H. Neckel, *Modelle des Ideenmanagements: Intuition und Kreativität unternehmerisch nutzen*. Klett-Cotta, 2004.

- [92] K. Läge, *Ideenmanagement: Grundlagen, optimale Steuerung und Controlling*. Springer-Verlag, 2013.
- [93] H.-D. Schat, *Ideen fürs Ideenmanagement: Betriebliches Vorschlagswesen (BVW) und Kontinuierlichen Verbesserungsprozess (KVP) gemeinsam realisieren*. 2005.
- [94] P. Roch, *Nutzung von kollektiver Intelligenz im Unternehmensumfeld am Beispiel eines KVP-Management Letters*. 2013.
- [95] G. Schuh, "Eindeutig Priorisieren," in *Lean Innovation*, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 19–63.
- [96] "<https://www.produktbezogen.de/first-things-first-priorisierung-von-ideen-anforderungen/>," 2021. <https://www.produktbezogen.de/first-things-first-priorisierung-von-ideen-anforderungen/>.
- [97] "<https://t2informatik.de/wissen-kompakt/taskboard/>," 2021. <https://t2informatik.de/wissen-kompakt/taskboard/>.
- [98] B. Lotter, J. Deuse, and E. Lotter, *Die Primäre Produktion: Ein praktischer Leitfaden zur verlustfreien Wertschöpfung*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg Imprint: Springer Vieweg, 2016.
- [99] "<https://imk-ema.com/ema-workdesigner.html>," 2021. <https://imk-ema.com/ema-workdesigner.html>.
- [100] "<https://refa.de/service/refa-lexikon/zykluszeit-produktion>," 2021. <https://refa.de/service/refa-lexikon/zykluszeit-produktion>.
- [101] M. Schenk, *Instandhaltung technischer Systeme: Methoden und Werkzeuge zur Gewährleistung eines sicheren und wirtschaftlichen Anlagenbetriebs*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010.
- [102] R. I. Tinini, M. R. P. dos Santos, G. B. Figueiredo, and D. M. Batista, "5GPy: A SimPy-based simulator for performance evaluations in 5G hybrid Cloud-Fog RAN architectures," *Simul. Model. Pract. Theory*, vol. 101, p. 102030, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.simpat.2019.102030>.
- [103] T. M. Pinho *et al.*, "Routing and schedule simulation of a biomass energy supply chain through SimPy simulation package," *Appl. Comput. Informatics*, vol. 17, no. 1, pp. 36–52, 2021.
- [104] "<https://www.werkzeug-news.de/forum/viewtopic.php?t=39247>," 2021. <https://www.werkzeug-news.de/forum/viewtopic.php?t=39247>.
- [105] "<https://designer.opt-i-store.com/>," 2021. <https://designer.opt-i-store.com/>.

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Aufbau der Arbeit.....	4
Abbildung 2: Auflösung der Automatisierungspyramide [14].....	8
Abbildung 3: Cyber-physisches System [19].....	9
Abbildung 4: Optimaler Automatisierungsgrad nach Kosten [27].....	12
Abbildung 5: Fertigungsmöglichkeiten nach Automatisierungsgrad [29].....	13
Abbildung 6: CAD-CAM-NC Prozesskette - eigene Darstellung	14
Abbildung 7: Remote Maintenance bitnamic CONNECT [38].....	15
Abbildung 8: Kennzahlen der Produktion [46].....	18
Abbildung 9: Poka-Yoke	19
Abbildung 10: Statische und Dynamische Arbeit [50].....	21
Abbildung 11: Belastungs-Beanspruchungs-Modell [51].....	22
Abbildung 12 (links): Informationsbereitstellung über Tablet [53].....	25
Abbildung 13 (rechts): Informationsbereitstellung über Smart Glasses - vgl. Fraunhofer IPT	25
Abbildung 14: Multikriterielle Bewertung von Assistenzsystemen - vgl. [56].....	26
Abbildung 15 (links): Fahrerloses Transportsystem SSI Schäfer [58].....	27
Abbildung 16 (rechts): Kollaborativer Roboter UR16e [57]	27
Abbildung 17: Vergleich verschiedener Wahrnehmungsarten – vgl. [59].....	28
Abbildung 18: Simulation Robotereinsatz - [63]	30
Abbildung 19: Klassifizierung von Simulationen - vgl. [67].....	31
Abbildung 20: Ereignisliste - [70].....	33
Abbildung 21: State-of-the-Art Recherche.....	36
Abbildung 22: Leitfaden für die Konzepterstellung	42
Abbildung 23: Ablauf der Arbeitsplatzanalyse	45
Abbildung 24: Ablauf Ideenmanagement	49
Abbildung 25: Säulen des Ideenmanagements [92].....	49
Abbildung 26: Task-Board [97]	52
Abbildung 27: Überblick Zeitbestimmung	53
Abbildung 28: Berechnung Gesamtanlageneffektivität.....	56
Abbildung 29: Fertigungsprozess Kurbelwelle	59
Abbildung 30: Layout Schleifmaschinen.....	60
Abbildung 31: Layout Arbeitsplatz	61
Abbildung 32: Umrüsten zwischen verschiedenen Losen	62
Abbildung 33: Prüfen von Werkstücken während der Bearbeitung	62
Abbildung 34: Zeiteffizienz Ist-Zusand	65
Abbildung 35: Problem-/ Ideenkarte Rotax.....	67
Abbildung 36: Shadowboard für Werkzeuge - [104].....	69
Abbildung 37: Digitale Prüfanweisung.....	70
Abbildung 38: Mitarbeiter:innen-Qualifikations-Matrix	71

Abbildung 39: Layout Shadowboard – gezeichnet mit [105]	73
Abbildung 40: 3D Modell Arbeitsplatz.....	74
Abbildung 41: Zusammensetzung Rüstzeit	76
Abbildung 42: Fehlerquote Schleifmaschine aktuell	77
Abbildung 43: Fehlerquote Schleifmaschine neu	78
Abbildung 44: Zeiteffizienz Ist-Zustand	80
Abbildung 45: Zeiteffizienz neue Schleifmaschine	81
Abbildung 46: Zeiteffizienz Reduktion Rüstzeit	82
Abbildung 47: Zeiteffizienz Kombination	83
Abbildung 48: Bewertung mithilfe ereignisorientierter Simulation	87
Abbildung 49: Notation BPMN – vgl. [82]	98

10 Anhang

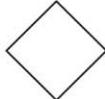
Flussobjekte


Aktivität

beschreibt den Hauptprozess, eine Aktivität, oder eine Aufgabe


Ereignis

stellt dar, dass etwas "passiert"


Gateway

modelliert die Flusslogik eines Aktivitätenflusses

Verbindende Objekte


Sequenzfluss

zeigt die Abfolge von Aktivitäten in einem Prozess


Datenfluss

wird genutzt, um den Datenfluss darzustellen


Materialfluss

wird genutzt, um den Materialfluss darzustellen

Artefakte


Anmerkung

wird genutzt, um zusätzliche Informationen festzuhalten

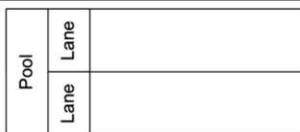

Gruppierung

wird genutzt, um Aktivitäten zusammenzufassen


Eigene Symbole

werden individuell genutzt

Teilnehmer

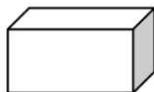

Teilnehmer

wird genutzt, um den Teilnehmer in einem Prozess zu modellieren

Objekte


Datenobjekt

beschreibt ein Daten- oder Informationsobjekt


Materialobjekt

beschreibt Material- oder ein physisches Objekt

Abbildung 49: Notation BPMN – vgl. [82]

Befragungsleitfaden Leuchtturm Arbeitsplatz Junker**Angaben zur Person**

Name:

Alter:

Im Unternehmen seit:

Stakeholder-Gruppe: Management Fachbereich Anwender**Inwiefern arbeiten Sie mit der Maschine bzw. Informationen zur und aus der Maschine zusammen?****Wo treffen Sie im Rahmen ihrer Arbeit auf Probleme mit der Schleifmaschine?****Was wünschen Sie sich für Ihre zukünftige Arbeit mit der Schleifmaschine?****Welche Vorteile erwarten Sie sich für sich und für das Unternehmen durch eine Neugestaltung des Arbeitsplatzes?****Wann wäre der neue Arbeitsplatz für Sie ein Leuchtturm-Arbeitsplatz?**

Bewertung des IST-Zustandes				
Bewerten Sie den aktuellen Arbeitsplatz an der Junker Schleifmaschine anhand der folgenden Einflussgrößen von 0 bis 5.				
1: Gut, 2: Eher gut, 3: Mittel, 4: Eher schlecht, 5: Schlecht; 0: Nicht relevant				
Einflussgröße	Instandhaltung/ Wartung	Rüsten	Serienproduktion/ Prüfen	Korrekturen/ Nachbearbeitung
Sicherheit				
Prozessqualität				
Ergonomie				
Produktivität				
Layoutgestaltung				
Ordnung und Sauberkeit				
Verschwendung				
Nachvollziehbarkeit				
Informationsbereitstellung				
Unterstützung durch Assistenzsysteme				
Digitalisierung				
Automatisierung				
Vernetzung				
Kosten				

Welche Aspekte sollen verbessert werden? Wie lassen sich diese verbessern?

Welche Arbeitsschritte sollen fokussiert betrachtet werden?

Wo gibt es aktuell die größten Potentiale?