



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

## Diplomarbeit

# Simulationsbasierte Gestaltung und Modellierung einer Abfüllstation in der chemischen Produktion

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines

## Diplom-Ingenieurs

unter der Leitung von

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

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Human Centered Cyber Physical Production  
and Assembly Systems)

**Dr. techn. Patrick Rupprecht, MSc MSc MA**

(E330 Institut für Managementwissenschaften, Bereich: Human Centered Cyber Physical Production  
and Assembly Systems)

eingereicht an der Technischen Universität Wien

**Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften**

von

**Philip Redl, BSc**



Wien, im August 2022

---

Philip Redl



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
WIEN

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

## **Diplomarbeit**

nur mit Bewilligung der Prüfungskommission berechtigt bin.

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

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

## Danksagung

Mein Dank gilt all jenen Personen, die mich durch das Studium begleitet und unterstützt haben. Mein Dank richtet sich an Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Sebastian Schlund für die Möglichkeit, meine Diplomarbeit im Forschungsbereich Human Centered Cyber Physical Production and Assembly Systems am Institut für Managementwissenschaften zu verfassen. Ich danke zudem Herrn Dr. techn. Patrick Rupprecht, MSc MSc MA für die ausgezeichnete Betreuung der Diplomarbeit und die wertvollen Ratschläge im Zuge der Erstellung der Arbeit.

Weiters möchte ich mich bei der Geschäftsleitung von DIC Performance Resins GmbH für die fachlichen und informativen Gespräche bedanken. Vor allem Dipl.-Ing. Dr. Herbert Wallner ist hervorzuheben.

Abschließend möchte ich mich bei meinen Eltern und meiner Freundin bedanken. Ohne ihre Unterstützung wäre mein Studium nicht möglich gewesen.

## Kurzfassung

Das Thema Assistenzsysteme in der Produktion ist in den letzten Jahren mehr in den Fokus vieler Firmen gerückt. Damit eng verbunden ist das ergonomische Arbeitsumfeld der MitarbeiterInnen. Es gibt Möglichkeiten einer digitalen Simulation menschlicher Arbeit. Mit solchen Programmen können vor der Umsetzung eines Projekts die ergonomische Belastung, die Prozesszeiten und Arbeitsreihenfolgen ermittelt werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, die theoretischen Grundlagen zu den Themen Ergonomie und Assistenzsystemen zu erarbeiten und diese anhand eines praktischen Beispiels anzuwenden. Hierfür wurde der Abfüllprozess der Chemiefirma DIC Performance Resins GmbH gewählt. Anfangs werden der Themenkomplex und die Notwendigkeit dieser Arbeit vorgestellt, genauso wie die zugrunde liegende Methode. Anschließend folgt die Präsentation der theoretischen Grundlagen in Bezug auf digitale Simulation und Arbeit, Assistenzsysteme in der Produktion, Mensch-Robotik-Kollaboration und den Stand der Technik in der Chemieindustrie. Der Arbeitsplatz wird modelliert, simuliert und bewertet. Am Anfang wird auf den Ist-Zustand eingegangen, bevor die Ausarbeitung von Konzepten im Mittelpunkt steht, um die derzeitige Situation zu verbessern. Abschließend folgt die Ausarbeitung der geeignetsten Variante. Eine finale Diskussion der Resultate und ein Ausblick auf weiterführende Forschungsansätze finden im letzten Kapitel statt.

Das Ergebnis dieser Arbeit ist eine Übersicht der vorhandenen Assistenzsysteme mit einer Analyse deren Vor- und Nachteile und des Einsatzes in einer explosionsfähigen Atmosphäre (Ex-Bereich). Bei der Ausarbeitung des praktischen Beispiels wurde erkannt, dass die Simulation eines Exoskeletts oder eines biegeschlaffen Körpers derzeit nicht möglich ist. Des Weiteren wurde anhand der Bewertung der ausgearbeiteten Konzepte ersichtlich, dass eine vollautomatisierte Anlage nicht die geeignetste Wahl darstellt, da die Flexibilität verloren geht. Die Ausarbeitung des Konzeptes zeigte, dass die Umstellung von einer komplett manuellen Arbeitsweise auf eine teilautomatisierte Anlage eine ergonomische und finanzielle Erleichterung darstellt. Durch die finanzielle Bewertung des Konzeptes ist zu erkennen, dass sich diese Investition binnen 2,57 Jahren rechnen wird.

In dieser Arbeit wird somit ein Überblick über die derzeitigen Hürden der digitalen Simulation und den Einsatz von Assistenzsystemen in der chemischen Industrie gegeben. Diese Hindernisse werden mithilfe eines praktischen Beispiels verdeutlicht.

## Abstract

In recent years, the topic of assistance systems in production has become more important for many companies, and the ergonomics of employees are closely related to this topic. There is the possibility of conducting digital simulations of human work, through which the ergonomic load, process times and work sequences can be addressed before the implementation of a project.

The aim of this work is to provide an overview of the theoretical principles in the topics of ergonomics and assistance systems and to apply these principles using a practical example the filling process of the chemical company DIC Performance Resins GmbH. At the beginning, the complexity of the topics, the necessity of this work, and the underlying methodology are discussed. This is followed by a presentation of the theoretical foundations in relation to digital simulation and work, assistance systems in production, human-robotic collaboration and the state of the art in the chemical industry. Subsequently, modelling, simulation and evaluation of the workplace are presented. At the beginning, the current state of the workplace is addressed. The next step is the elaboration of concepts to improve the current situation. Finally, the most suitable variant is determined. A final discussion of the results and an outlook regarding the future are provided in the last chapter.

The results of this work include an overview of the existing assistance systems, an analysis of their advantages and disadvantages and an analysis of their use in a potentially explosive atmosphere (Ex area). Through the elaboration of the practical example, it was found that the simulation of an exoskeleton or a flexible body is currently not possible. Furthermore, the evaluation of the elaborated concepts showed that a fully automated system is not the most suitable choice because flexibility is lost. The elaboration of the concept also demonstrated that changing from a completely manual mode of operation to a partially automated system would be ergonomically and financially beneficial. The financial analysis of the concept shows that this investment would pay for itself within 2.57 years.

Overall, this paper gives an overview of the current obstacles to digital simulation and the use of assistance systems in the chemical industry. These obstacles are illustrated using a practical example.

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung .....	1
1.1	Ausgangslage und Problemstellung .....	1
1.2	Forschungsfragen und Ziele der Arbeit .....	6
1.3	Verwendete Methode und Vorgehensweise .....	8
2	Theoretische Grundlagen.....	10
2.1	Flexibilität und Automatisierungsgrad von Arbeitssystemen.....	10
2.2	Digitale Simulation von Arbeit und Ergonomie .....	11
2.3	Assistenzsysteme in der Produktion.....	17
2.3.1	Mobile und interaktive Assistenzsysteme .....	20
2.3.2	Gamifizierte Assistenzsysteme .....	23
2.3.3	Kontextintensive Assistenzsysteme .....	24
2.3.4	Exoskelette .....	26
2.4	Mensch-Roboter-Kollaboration .....	29
2.4.1	Industrieroboter .....	36
2.4.2	Leichtbaucobots.....	37
2.4.3	Schwerlastcobots.....	37
2.4.4	Transportroboter .....	38
2.5	Stand der Technik in der Chemieindustrie.....	39
2.6	Übersicht und Zusammenfassung der recherchierten Assistenzsysteme ....	42
3	Simulationsbasierte Gestaltung und Modellierung der Abfüllstation .....	46
3.1	Use-Case Abfüllstation .....	46
3.2	Simulationsbasierte Modellierung verschiedener Arbeitsplatzkonzepte .....	47
3.2.1	Ist-Analyse bestehender Abfüllung .....	47
3.2.2	Modellierung und Simulation von Verbesserungskonzepten .....	62
3.2.3	Analyse des Einsatzes von Assistenzsystemen.....	99
3.3	Evaluierung der Konzepte aus Ergonomie, Investment und Assistenzsystem Sicht .....	103
3.3.1	Bewertung der Konzepte .....	103
3.3.2	Auswahl der geeignetsten Variante .....	107
3.4	Detaillierte Umsetzungsplanung des Konzeptes 3 .....	110
3.4.1	Projektplan .....	110

---

3.4.2	Meilensteinplan .....	116
3.4.3	Kostenplan .....	116
3.5	Resultate in Bezug auf die Forschungsfragen .....	121
4	Resümee und Ausblick .....	126
4.1	Resümee .....	126
4.2	Ausblick .....	127
5	Literaturverzeichnis .....	129
6	Abbildungsverzeichnis .....	132
7	Tabellenverzeichnis .....	135
8	Abkürzungsverzeichnis .....	136
9	Anhang.....	137

# 1 Einleitung

## 1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Das Thema Digitalisierung der Produktion ist in jedem Unternehmen zentral. Vor allem in der chemischen Industrie gibt es Hürden, zum Beispiel Bereiche mit einer explosionsfähigen Atmosphäre (Ex-Bereich). Vermehrt zeigt sich, dass die Digitalisierung die Arbeit der ProduktionsmitarbeiterInnen verändert hat. Sie nehmen häufiger eine Kontrollfunktion ein, das heißt (d. h.) das Überwachen und Eingreifen im Störfall. Somit steht die Problemlösungskompetenz im Vordergrund. Daher werden eintönige und repetitive Arbeiten des Öfteren substituiert (Baumhauer et al., 2019, S. 23).

Unergonomisch gestaltete Arbeitsprozesse führen in vielen Fällen zu gesundheitlichen Beschwerden, höheren Prozesszeiten und sinkender Arbeitsqualität und -motivation. Abhilfe soll der Einsatz von Softwaresystemen schaffen, die in der frühen Planungsphase Arbeitsprozesse virtuell abbilden und nach ergonomischen sowie wirtschaftlichen Kriterien bewerten und gestalten können. Daraus folgen Kosten- und Zeiteinsparungen. Somit werden korrektive Produkt- und Prozessänderungen vermieden (Ullmann, 2019b). Dieser Bereich stellt das Interagieren von Mensch und Maschine in den Mittelpunkt. Kriterien wie die technische Möglichkeit, Nutzerkompetenz, Zuverlässigkeit, Flexibilität bei der Durchführung, Gesundheit und Wohlbefinden des Nutzers sind für die Aufgabenverteilung zwischen Mensch und Maschine von hoher Bedeutung (Apt, Schubert & Wischmann, 2018, S. 20). Bei der Mensch-Maschine-Interaktion wird zwischen informatorischer und physischer Interaktion unterschieden (Vogel- Heuser et al., 2017, S. 509–511). Ziel der informatorischen Interaktion von Mensch und Roboter ist es, das elektronisch gesteuerte Gerät für eine Aufgabe zu instruieren oder direkt im Prozess zu steuern (Vogel- Heuser et al., 2017, S. 509). Neben der Robotik ist das Thema der digitalen Assistenzsysteme von Bedeutung. Aktuell geht der Trend eher zu visuellen, bildschirmlastigen Assistenzsystemen in der Arbeitswelt (Apt, Schubert & Wischmann, 2018, S. 20).

In einer Produktion sind Komponenten all dieser Gruppen vertreten, was sich im praktischen Teil der vorliegenden Arbeit widerspiegeln wird. Das Recherchieren und Bearbeiten digitaler Simulation, digitaler Assistenzsysteme und Mensch-Maschine-Interaktionen stellen Hauptaufgaben dieser Arbeit dar.

Die Erkenntnisse finden in einem Use-Case Anwendung. Hierbei handelt es sich um die Abfüllstation der Firma DIC Performance Resins GmbH. Die ausgewählte Anlage ist zur Abfüllung von Polyurethanen, Polyurethandispersionen und Polyacrylatharze in 200 Liter fassenden Spannringfässern, 60 Liter Spannringfässern und 1000 Liter

Kunststoff Intermediate Bulk Containern (IBC) geplant. Bei diesen Produkten handelt es sich um Rohstoffe für Farben, Lacke und Beschichtungen.

Derzeit erfolgt die Abfüllung der Reaktoren noch manuell. Die Positionierung der Fässer findet am unteren Ende der Kessel per mobiler Waage statt. ProduktionsmitarbeiterInnen führen per Hand die Abfüllstutzen in die Fässer ein, eine Pumpe ist zur Produktförderung zwischengeschaltet und muss von den ArbeiterInnen ein- beziehungsweise (bzw.) ausgeschaltet werden. In den Abbildungen 1-1 und 1-2 ist dieser Vorgang dargestellt. Es wird von MitarbeiterInnen nur der Kugelhahn geöffnet und geschlossen, die Bedienung der Pumpe findet an einem anderen Ort statt.



Abbildung 1-1 | Ist-Situation Abfüllung Bild 1 (Eigendarstellung)

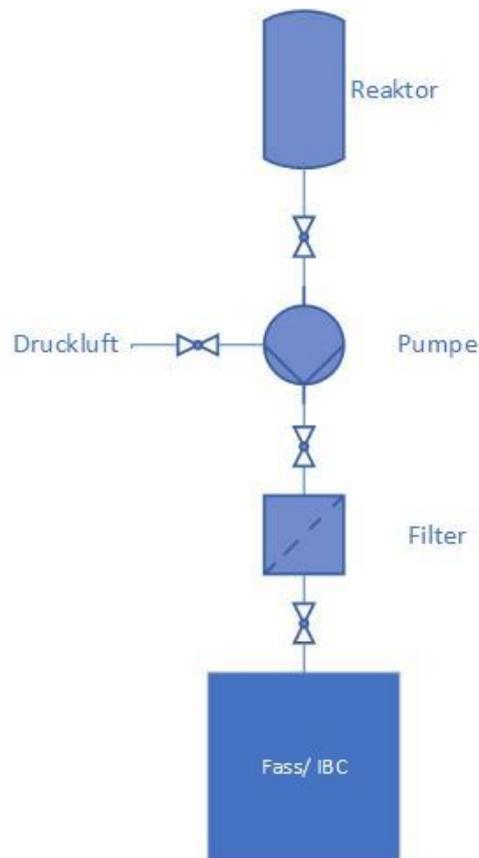


Abbildung 1-2 | Schema des Abfüllprozesses (Eigendarstellung)

Das Schließen mit einem Deckel und das Bekleben mit Schildern der Fässer wird per Hand durchgeführt. In Abbildung 1-3 ist diese Arbeitsabfolge in einem Flow-Chart dargestellt.

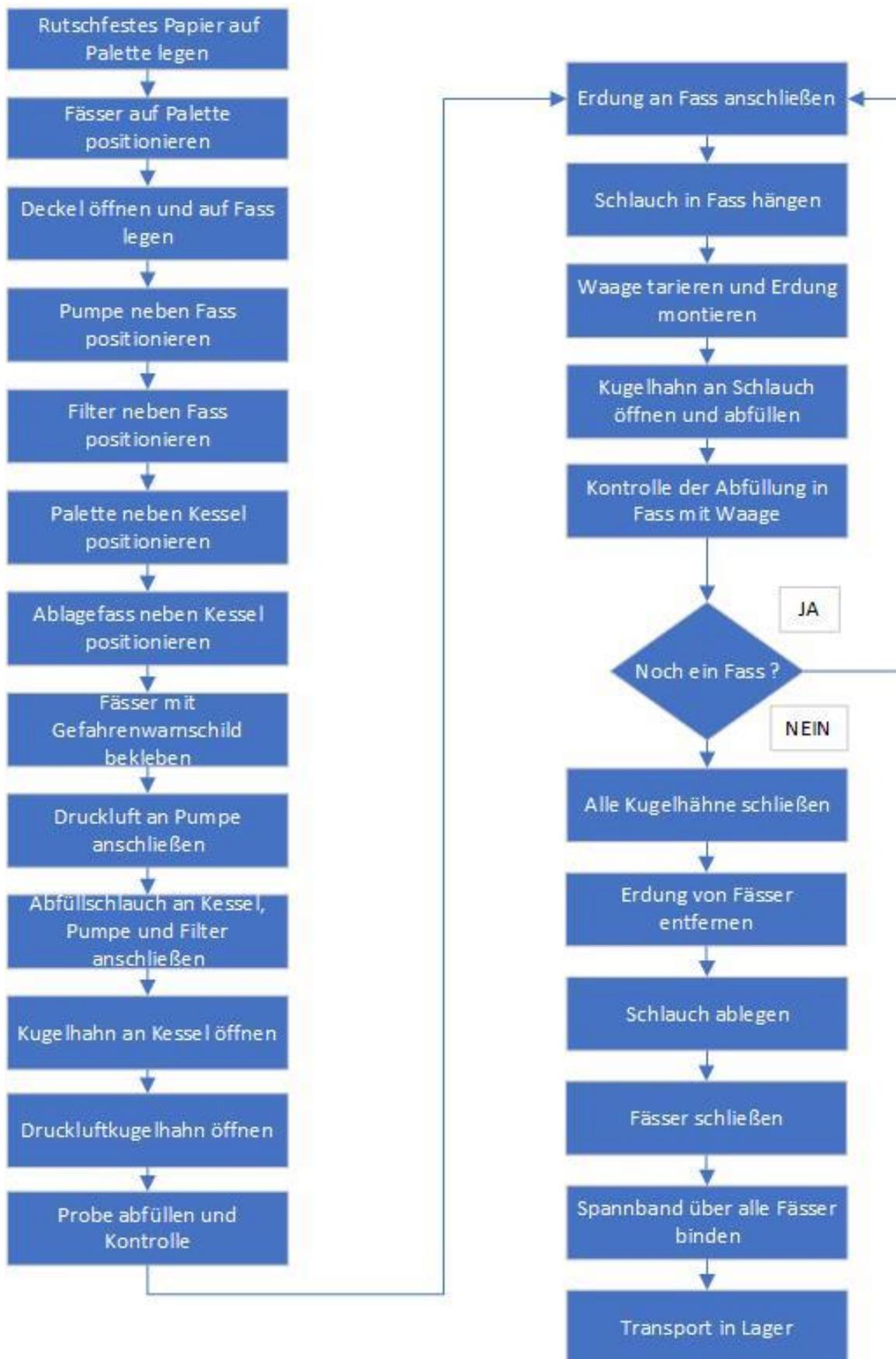


Abbildung 1-3 | Flow-Chart Ist-Situation (Eigendarstellung)

Diese Arbeitsweise ist langsam und ineffektiv. Des Weiteren ist sie nicht nur anstrengend und ergonomisch ungünstig, sondern aufgrund der lösungsmittelbasierenden Produkte nicht gesund. Demzufolge herrscht aus Sicht der MitarbeiterInnen und des Unternehmens dringender Handlungsbedarf.

Im Zuge der Planung eines neuen Reaktors werden diese Arbeiten optimiert und automatisiert. Dies erfolgt mithilfe einer Abfüllstation für den Kochkessel und die bestehenden Reaktoren. Ein Fokus ist auf digitale Assistenzsysteme und Robotikanwendungen zu legen. Folgende Arbeitsschritte sind im Abfüllprozess zu tätigen: Anfangs wird ein rutschfestes Papier auf einer Palette platziert, danach werden die Fässer darauf positioniert. Anschließend wird die Palette auf ein Förderband abgestellt, es folgt die Beförderung der Fässer zum vorgesehenen Abfüllstutzen. In einer vergleichbaren Anlage finden die Platzierung des Stutzens und die Befüllung der Fässer per Hand statt. Es soll getestet werden, ob diese Tätigkeiten automatisiert werden können. Das Produkt wird per Rohrleitungen von den Reaktoren zu diesem Stutzen geführt. Im Bereich der Abfüllung herrscht eine explosionsfähige Atmosphäre, weswegen auf die vorgesehenen Gerätschaften geachtet werden muss. Nach der Abfüllung folgt die Schließung der Fässer mit einem Deckel. Sofern es möglich ist, wäre ein automatisches Bekleben mit Hinweisen auf Gefahrenstoffe erwünscht, genauso wie die Montage der Transportsicherung in Form von Spannbändern. Der letzte Schritt ist der Transport der Paletten in das Lager.

Inwieweit diese Abfüllstation und der Einsatz von Assistenzsystemen und Robotikanwendungen den Prozess effizienter machen und das ergonomische Arbeiten der MitarbeiterInnen verbessern, soll geklärt werden. Für das Unternehmen spielt die Wirtschaftlichkeit der getätigten Schritte eine zentrale Rolle.

Anhand des praktischen Beispiels liegen am Ende dieser Arbeit die Vorteile einer 3-D-Planung auf der Hand. Die Simulation der geplanten Arbeiten am Beginn eines Projektes beantwortet Fragen im Vorhinein und eröffnet Frage- und Problemstellungen, die am Anfang noch nicht vorhersehbar waren. Eine Reduktion von Planungsfehlern ist die positive Folge, wodurch eine gute Übersicht entsteht. Des Weiteren werden digitale Assistenzsysteme und Robotikanwendungen modelliert, simuliert und unter Gesichtspunkten der Ergonomie, Automatisierung und der Assistenzsysteme bewertet. Abschließend wird eine Variante detailliert geplant. Im nächsten Kapitel werden die Forschungsfragen und die Ziele dieser Arbeit definiert.

## 1.2 Forschungsfragen und Ziele der Arbeit

In dieser Arbeit sollen folgende Forschungs- und Unterfragen beantwortet werden:

- Wie können menschliche Arbeit, Ergonomie sowie Prozesse eines Arbeitsplatzes in der chemischen Produktion softwarebasiert simuliert und analysiert werden?
  - Welche Herausforderungen herrschen in Bezug auf Ergonomie und Prozesseffizienz beim aktuellen Arbeitsplatz vor?
  - Wie kann der Arbeitsplatz in Bezug auf Ergonomie und Prozesseffizienz verbessert werden?
  - Welche Assistenzsysteme können eingesetzt werden, um die MitarbeiterInnen am Arbeitsplatz zu unterstützen?
  - Welche besonderen Anforderungen sind für die Produktion in der Chemieindustrie notwendig?
- Wie können moderne Konzepte des Arbeitsplatzes in der Chemieindustrie bewertet und umgesetzt werden?

Das Hauptziel dieser Arbeit ist es, die Modellierung, Simulation und Bewertung menschlicher Arbeit eines Arbeitsplatzes in der Chemieindustrie zu erforschen. Durch Unterstützung von digitalen Assistenzsystemen und Robotik werden Arbeitsbedingungen verbessert. Der Fokus soll auf die chemische Produktion gelegt werden, da besondere Anforderungen herrschen, wie die explosionsfähige Atmosphäre. Es werden gezielt die Grundlagen und der Technikstand der digitalen Simulation, der Assistenzsysteme und der Robotik ermittelt.

Die errungenen Erkenntnisse finden in einem Use-Case Anwendung. Mithilfe der Software *ema Work Designer* (Imk-Ema, 2022) ist eine Modellierung, Simulierung und Bewertung der Abfüllanlage der Firma DIC (<https://www.dic.co.at/>) möglich. Am Anfang stehen die Modellierung und Simulation der Ist-Situation im Fokus. Es handelt sich um einen derzeit komplett manuellen Arbeitsprozess ohne jegliche Anwendung von Assistenz oder Robotik. Die Prozessineffizienz und die ergonomisch ungünstige Arbeitssituation sollen aufgezeigt werden. Anschließend wird dies für verschiedene Varianten der Abfüllstation mit unterschiedlichen Assistenzsystemen und Robotikanwendungen durchgeführt. Anhand der Modellierung und Simulation verschiedener Szenarien mit gezieltem Einsatz unterschiedlicher Assistenzsysteme und Robotik lassen sich Schlussfolgerungen ableiten. Durch die ergonomische Bewertung der Maßnahmen kann evaluiert werden, welche Konzepte wirksam sind, um MitarbeiterInnen am Arbeitsplatz zu unterstützen. Abschließend folgt eine detaillierte Umsetzungsplanung des geeignetsten Konzeptes. Diese beinhaltet eine Zeit-, Meilenstein- und eine Kostenplanung.

Das Ergebnis dieser Arbeit ist neben der theoretischen Aufarbeitung von Themen die Umsetzung anhand eines praktischen Beispiels. Im theoretischen Teil werden Grundlagen erklärt und Fachbegriffe definiert, außerdem wird der Technikstand mit Beispielen erläutert. Im Praxisteil werden Konzepte mit unterschiedlichem Automatisierungsgrad erstellt. Deren Bewertung erfolgt anhand einer Nutzwertanalyse. All diese Varianten nehmen Assistenzsysteme und Robotikanwendungen hinzu. Abschließend folgt die Erstellung eines Projektplans für die geeignetste Konzeption. Die Errechnung eines Returns on Investment (ROI) soll die Kosten der Maßnahme dem Nutzen gegenüberstellen. Diese Arbeit hat eine theoretische Relevanz, da sie einen Beitrag leistet, wie Arbeitsplätze simulationsbasierend modelliert und simuliert werden. In Abbildung 1-4 ist die weitere Vorgehensweise dargestellt.

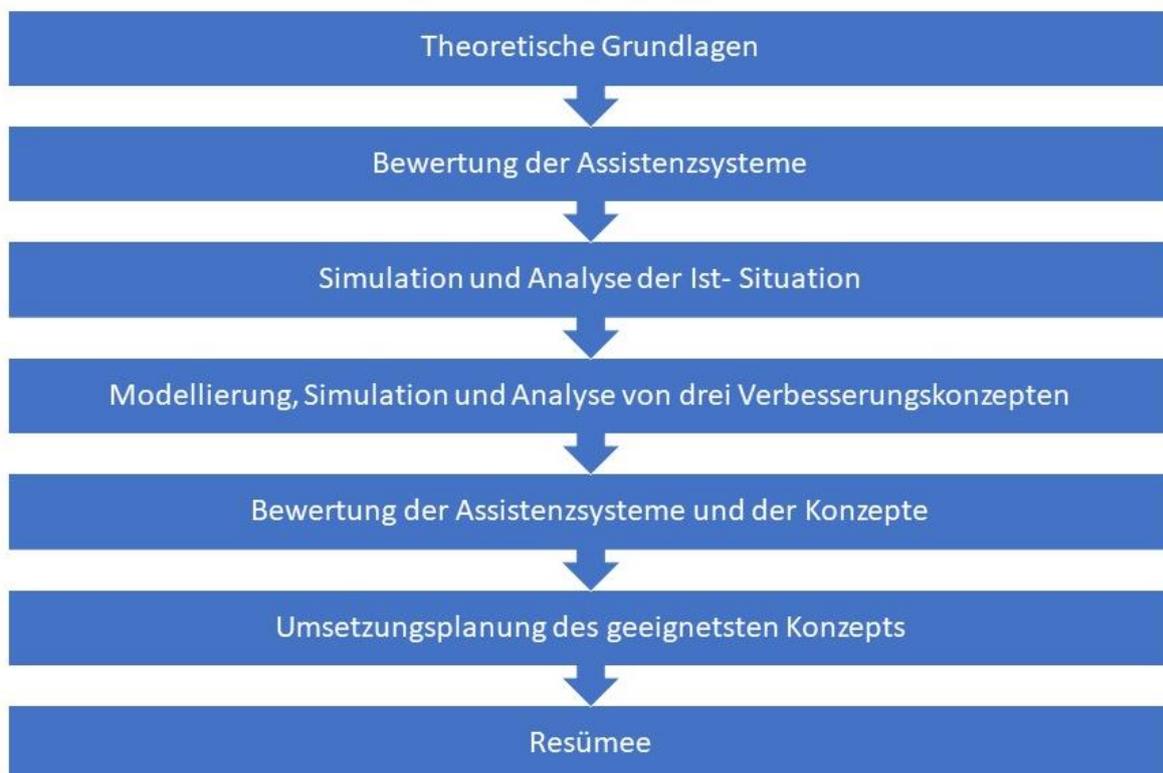


Abbildung 1-4 | Vorgehensweise der Arbeit (Eigendarstellung)

Wie in Abbildung 1-4 zu sehen, werden nach der Aufbereitung der theoretischen Grundlagen die gefundenen Assistenzsysteme bewertet. Anschließend wird die Ist-Situation modelliert, simuliert und bewertet. Derselbe Ablauf erfolgt für drei Verbesserungskonzepte. Danach werden die eingesetzten Assistenzsysteme beurteilt. Danach werden die Konzepte gegenübergestellt und bewertet. Für die geeignetste Variante ist eine Umsetzungsplanung vorgesehen. Abschließend erfolgt ein Resümee dieser Diplomarbeit. Im nächsten Kapitel wird die Vorgehensweise dieser Arbeit näher erklärt.

### 1.3 Verwendete Methode und Vorgehensweise

Am Anfang steht die Literaturrecherche zu relevanten Grundlagen in den Bereichen digitale Simulation, Assistenzsysteme in der Produktion und Mensch-Maschine-Interaktion im Vordergrund. Vor allem im theoretischen Teil wird auf einschlägige Fachliteratur eingegangen. Grundlegende Begriffe und Themen werden erläutert, wobei ein besonderer Fokus auf digitale Assistenzsysteme, digitale Simulation von Arbeit und die Mensch-Maschine-Interaktion und die damit einhergehende Ergonomie gesetzt wird.

Die Frage nach dem Stand der Technik im Bereich digitale Assistenzsysteme und Robotik ist essenziell, um zu entscheiden, welche Anwendungen für das gewählte Use-Case relevant sind. Gezielt wird nach besonderen Herausforderungen in der chemischen Produktion gesucht, vor allem in Bereichen mit explosionsfähiger Atmosphäre.

Eine Recherche wird in folgenden Suchmaschinen durchgeführt:

- Google Scholar
- Science Direct
- Springer Link

Anschließend findet das gesammelte Wissen in einem praktischen Beispiel Anwendung. Mithilfe des Programmes Editor Menschlicher Arbeit (ema) soll die neue Abfüllstation der Firma DIC visualisiert werden. Die Themen Ergonomie, Assistenzsysteme und Robotik stehen im Fokus. Am Anfang ist die Analyse der Ist-Situation relevant, für die die derzeitige Vorgehensweise in ema modelliert, simuliert und bewertet wird. Anschließend werden verschiedene Varianten der Abfüllstation mit unterschiedlichen Assistenzsystemen und Robotikanwendungen modelliert und simuliert. Die Testung dieser Versionen ist mithilfe der Software ema möglich. Die Bewertung der Ergebnisse erfolgt aus Sicht von Ergonomie, Kosten und Prozesseffizienz. Kriterien wie die körperliche Belastung, die Arbeitssicherheit, die Prozessgeschwindigkeit und -genauigkeit sind hervorzuheben. Aufbauend auf diesen Daten wird die geeignetste Konzeption ausgewählt, wobei die Anschaffungskosten bei der Auswahl von Bedeutung sind. Abschließend wird das geeignetste Konzept für die Praxis geplant und eine Umsetzungsplanung entworfen. Neben einer Kostenauflistung aller anfallenden Arbeiten und Komponenten werden Zeit- und Meilensteinpläne erstellt. Es folgt die Berechnung eines ROI des geeignetsten Konzeptes, d. h. die Gegenüberstellung der anfallenden Kosten mit dem finanziellen Nutzen. In Abbildung 1-5 sind der Aufbau und die Struktur dieser Diplomarbeit dargestellt.

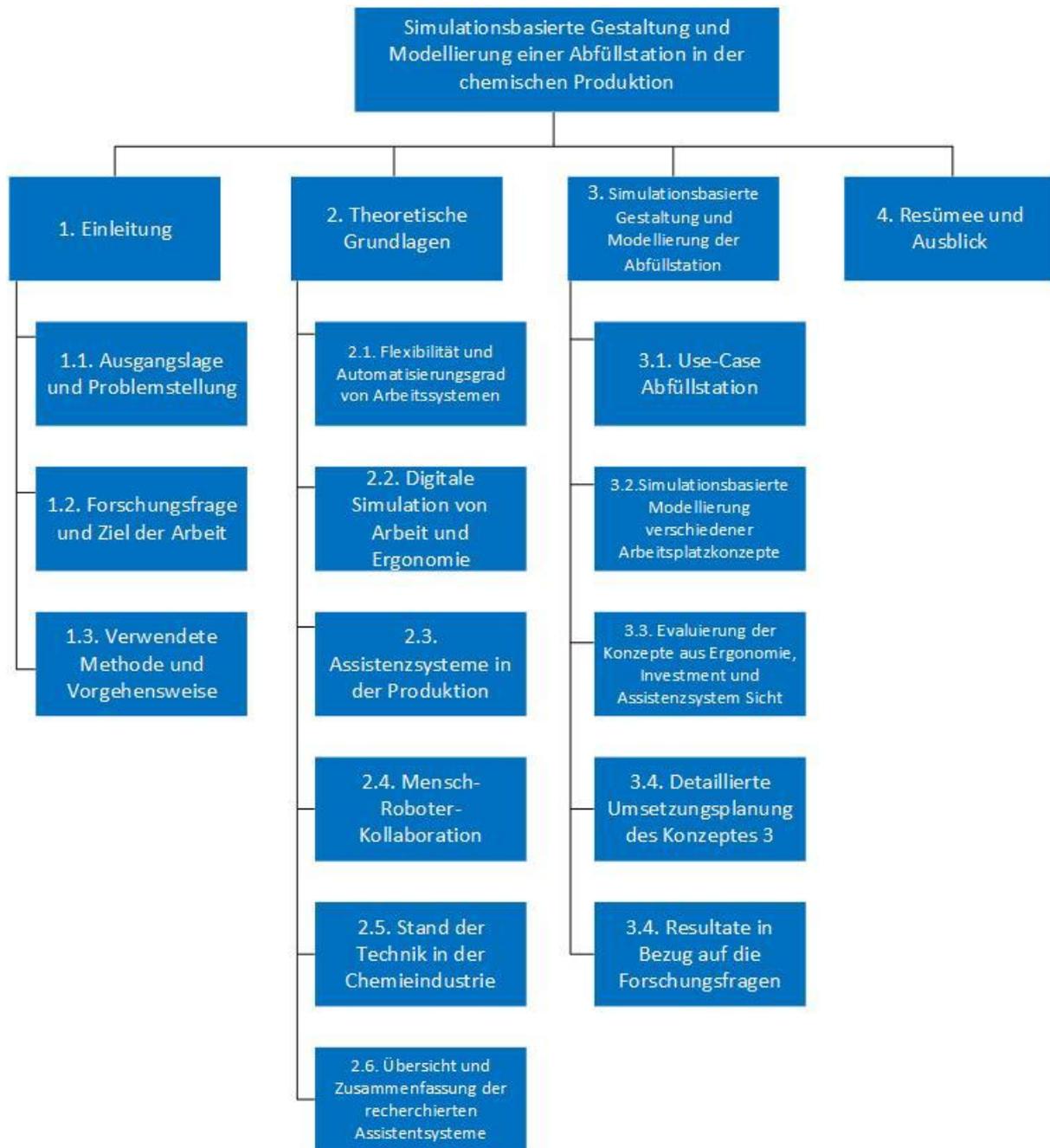


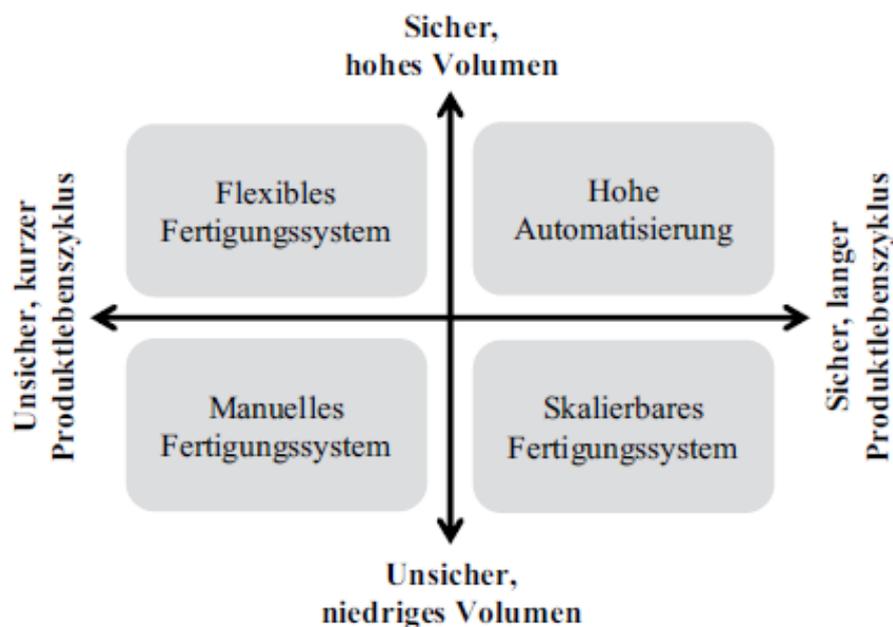
Abbildung 1-5 | Aufbau und Struktur der Diplomarbeit (Eigendarstellung)

Im nächsten Kapitel werden die theoretischen Grundlagen ausgearbeitet.

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Flexibilität und Automatisierungsgrad von Arbeitssystemen

Bei einer Neuinvestition und Umplanung sollte eine systematische Planung vorliegen. In einer solchen Investitionsstrategie stehen Planungsprämissen und Risikobewertungen im Vordergrund. Diese Strategie ist bei einem stabilen Verkaufsvolumen und einem geplanten Produktlebenszyklus einfach zu wählen. Da aber vor allem das Verkaufsvolumen instabil verläuft, ist diese Strategiewahl nicht so leicht. In Abbildung 2-1 ist dieses Verhältnis veranschaulicht. (Dombrowski & Mielke, 2015, S. 46-47).



**Abbildung 2-1 | Investitionsstrategie in Abhängigkeit von Volumen und Produktlebenszyklus**  
(Dombrowski & Mielke, 2015, S.47)

Wie in Abbildung 2-1 zu sehen, ist bei einem stabilen Verkaufsvolumen und einem langen Produktlebenszyklus ein hoher Automatisierungsgrad zu wählen. Neben diesen Faktoren tragen das Prozessrisiko, die Variantenkomplexität und weitere Standortfaktoren zur Entscheidung bei. Somit ist festzuhalten, dass bei Anlagen mit einem hohen Automatisierungsgrad bei Änderungen höhere Kosten anfallen als bei Fertigungssystemen mit geringem Automatisierungsgrad. Der Aspekt der Variantenkomplexität ist von hoher Bedeutung. Bei Produkten mit einer geringen Varianz sollte die Wahl auf eine Anlage mit einer hohen Automatisierung fallen. Manuelle Fertigungssysteme sind für Anlagen geeignet, die eine kurze Rüstzeit benötigen und auf Volumenschwankungen reagieren müssen. Die Standortfaktoren wie das Lohnniveau oder die MitarbeiterInnenqualifikation haben ebenfalls Einfluss auf die Entscheidung.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es keine optimale Investitionsstrategie gibt und die Wahl dieser Taktik von unterschiedlichen Faktoren abhängt (Dombrowski & Mielke, 2015, S. 46-47).

## 2.2 Digitale Simulation von Arbeit und Ergonomie

Ergonomisch schlecht ausgelegte Arbeitsplätze können für die MitarbeiterInnen kurz- und langfristig zu gesundheitlichen Schäden führen. Es kommt vor, dass auf einem manuellen Arbeitsplatz die Haltung beim Sitzen, Stehen oder Bücken vernachlässigt wird oder die Belastung zu hoch ist. Aus wirtschaftlicher Sicht können die Potenziale der Belegschaft nicht optimal genutzt werden. Das Wort Ergonomie setzt sich aus ‚ergon‘ (Arbeit) und ‚nomos‘ (Gesetz, Regel) zusammen, dies verdeutlicht die Relevanz. Neben der prophylaktischen Weitsicht wird auf Personen individuell eingegangen, unabhängig davon, ob es um das Alter, das Geschlecht oder die Größe geht (item Redaktion, 2017). Durch die Anwendung von Softwaresystemen zur Planung von Arbeit kann in frühen Phasen der Planung eine wirtschaftliche und ergonomische Bewertung und Gestaltung von Arbeitsprozessen realisiert werden. Eine hohe Kosten- und Zeiteinsparung ist die Folge. Ein zentrales Tool, um Arbeit zu simulieren und zu bewerten, ist das digitale Menschmodell (DMM) (Ullmann, 2019a, S. 2).

Zur Erklärung der digitalen Simulation von menschlicher Arbeit sind noch grundlegende Begriffe zu definieren.

### Virtuelle Ergonomie

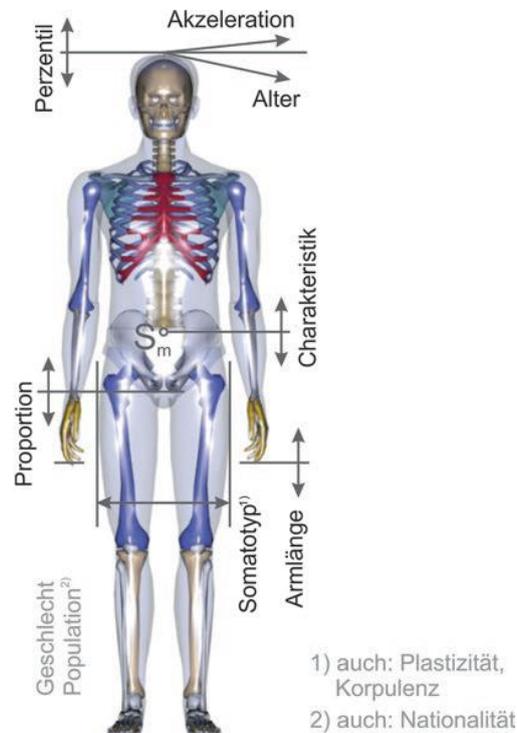
„Virtuelle Ergonomie bezeichnet die rechnergestützten Methoden und Werkzeuge zur ergonomischen Gestaltung von Produkten, Arbeitssystemen und Prozessen. Unter dem Begriff werden Software-Werkzeuge oder Teile davon zusammengefasst, mit denen arbeitswissenschaftliche Ziele verfolgt und ergonomische Gestaltungen durchgeführt werden können“ (Bullinger-Hoffmann & Mühlstedt, 2016, S. 33).

### Anthropometrie

Unter Anthropometrie werden das Messen und die Verhältnisse des menschlichen Körpers verstanden. Ihre Erkenntnisse betreffen Längen und Massen des gesamten menschlichen Körpers und dessen Körperteilen. Die Anthropometrie hat die Bereitstellung von Längenmaßen und Körpermaßen als Ziel, die Grundlage zur Planung von Arbeitsplätzen und Maschinen bilden (Bullinger-Hoffmann & Mühlstedt, 2016, S. 33).

Zu den zwei bedeutendsten anthropologischen Variablen zählen das Geschlecht und das Perzentil. „Ein Perzentilwert gibt an, wie viel Prozent der Menschen in einer Bevölkerungsgruppe- in Bezug auf ein bestimmtes Körpermaß- kleiner sind als der

jeweils angegebene Wert“. Wie in Abbildung 2-2 zu sehen, haben Grunddaten wie das Alter, die Nationalität oder die Akzeleration eine hohe Bedeutung. Es handelt sich um eine längsschnittbezogene Veränderung einer Population. Das heißt, dass sich die Körperhöhe eines Perzentils pro Dekade erhöht oder sinkt (Bullinger- Hoffmann & Mühlstedt, 2016, S. 33–40).

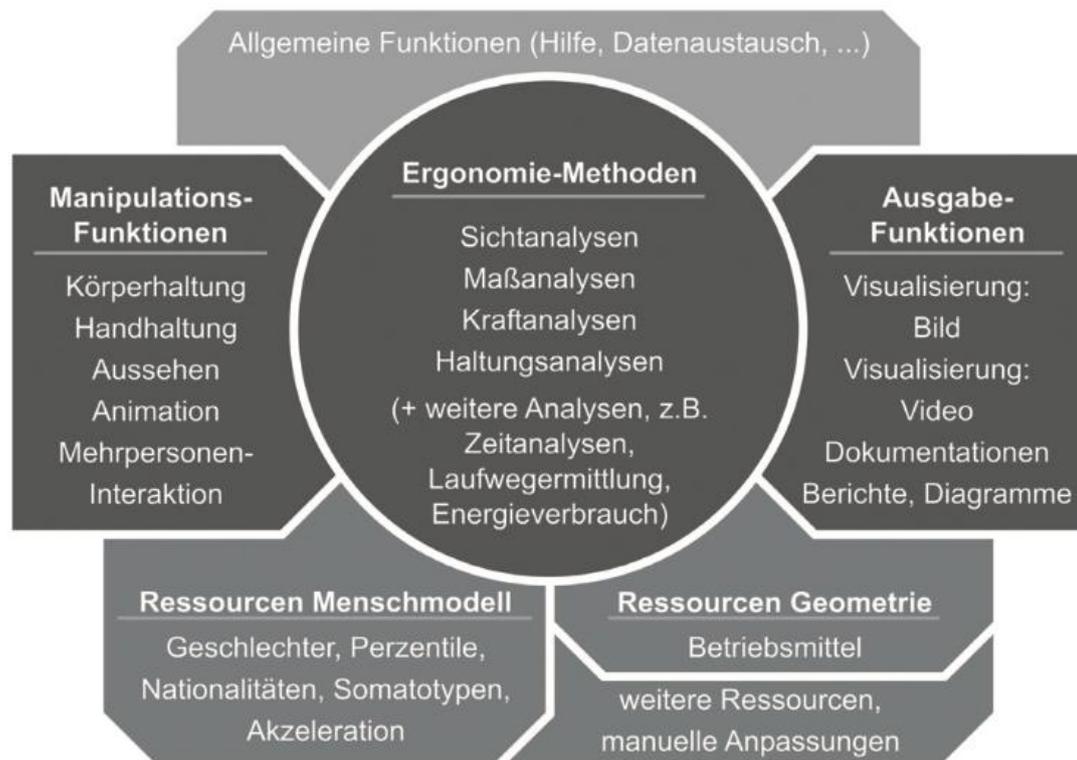


**Abbildung 2-2 | Anthropometrische Variablen des menschlichen Körpers (Bullinger- Hoffmann & Mühlstedt, 2016, S. 35)**

## Digitale Menschmodelle

Diese Modelle sind ein Werkzeug zur Analyse und Gestaltung der Ergonomie. Durch sie kann in frühen Planungsphasen auf eine effiziente Menschsimulation geachtet werden (Illmann et al., S. 2).

In Abbildung 2-3 ist ein Funktionsschema des digitalen Menschmodells dargestellt.



**Abbildung 2-3 | Funktionsschema digitaler Menschmodelle (Spanner- Ulmer & Mühlstedt, 2010, S. 2)**

In Abbildung 2-3 ist ein typischer Arbeitsablauf der Planung zu erkennen:

Anfangs wird ein Menschmodell unter Berücksichtigung von anthropometrischen Ressourcen erstellt und eine Umgebungsgeometrie generiert oder importiert. Die Manipulationsfunktion dient dazu, die Körperhaltung und das Aussehen festzulegen. Unter Anwendung der Ergonomiemethoden finden Analysen statt. Neben einer Sicht- und Haltungsanalyse können Erreichbarkeitsanalysen ausgeführt werden. Eine Visualisierung der Ergonomiemethoden wird durch eine Ausgabefunktion erreicht. Weiters stehen Hilfs- sowie Import- und Exportfunktionen zur Verfügung (Spanner-Ulmer & Mühlstedt, 2010, S. 2).

Durch die sogenannten Manipulationsfunktionen werden Gelenke und die Körperhaltung des Menschmodells erstellt und bewegt. Dadurch sind Softwareanwendungen vielseitig einsetzbar. Neben der Analyse der Ergonomie werden Rückschlüsse bezüglich der Prozesseffizienz gezogen. Für den Planer stehen unter anderem folgende Analysefunktionen bereit (Wischiewski, 2016):

- Dynamische Planung und Visualisierung eines Arbeitsprozesses und einer Mensch-Maschine- und Mensch-Produkt-Interaktion
- Analyse von Erreichbarkeit
- Sichtfeldanalyse
- Analyse der räumlichen Gegebenheiten
- Körperhaltungsanalyse

- Analyse und Vergleich der auftretenden Kräfte
- Zeitanalyse für eine Prozessoptimierung
- Lasthandhabungsanalysen
- Mehrpersonen-Interaktion

Diese Ausführungen können mithilfe von Kennzahlen vergleichbar gemacht werden. Die Auswertung der Ergonomiebewertung ist mit den gängigen Verfahren wie Methods-Time Measurement (MTM) und Universelles Analysier-System (UAS) möglich (Ullmann, 2019a).

„Die erforderlichen Informationen und rechentechnische Auswertungen für die Bewertung verschiedener Umgebungsbedingungen variieren zum Teil stark“ (Illmann et al., S. 4). In Tabelle 1 sind die Auswertungen nach ihrer Komplexität geordnet, wobei die Analyse von Gefahrenstoffen zu den umfassendsten Auswertungen gehört.

**Tabelle 1 | Vorgehensweise bei der Integration von Umgebungsbedingungen in der Menschsimulation (Illmann et al., S. 5)**

Stufe.	Gefährdungsbeispiele	Dimensionen relevanter Informationen			
1	Beleuchtung	Geo- metrisch	Phy- si- kalisch	Fluid- dynamisch	Biochemisch
2	Lärm / Schwingungen				
3	Klima				
4	Gefahrstoffe				

Für den Praxisteil sind vor allem die Mensch-Maschine-Interaktion und der Vergleich von unterschiedlichen Gestaltungsvarianten von hoher Bedeutung. Daher wird auf diese Themen detaillierter eingegangen.

### **Virtuelle Simulation von Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) an Arbeitsplätzen**

Neben der Simulation von menschlicher Arbeit können Arbeiten von Robotern und die Interaktion mit Menschen simuliert und bewertet werden. Hierbei wird ein Augenmerk auf die Gestaltungs- und Sicherheitsrichtlinien der DIN ISO/TS 15066 gelegt. Der Planer kann somit in der Planungsphase ein Sicherheitskonzept verfassen und auf Basis der MRK-Betriebsart (Koexistenz bis Kollaboration) die notwendigen Sicherheitsabstände erstellen. Er wird auf das Sicherheitsrisiko und die Kollisionsinformationen in Form einer Risikobewertung hingewiesen. Dem Planer ist es möglich, auf eine reichhaltige Sammlung von Robotern und Sensoren zurückzugreifen, um Arbeitsplätze zu erstellen. Des Weiteren ist die Festlegung von Spezifikationen wie der Robotergeschwindigkeit und Bewegungsräumen denkbar. Ein Test für den Fall des Notstopps oder der Verlangsamung bei Eintritt ist möglich. Eine Analyse der Prozesse ist ebenso ausführbar wie die Umsetzung der Maßnahmen. Per Drag-and-drop können Tätigkeiten vom Menschen zum Roboter verschoben werden, um eine Verbesserung der Ergonomie oder Produktivität zu erwirken. Somit ist mit der Simulation der Mensch-Roboter-Interaktion das Modellieren, Simulieren und Bewerten

eines sicheren und effizienten Arbeitsplatzes möglich (Hans-Jürgen Buxbaum, 2020, S. 74–77).

Durch die Methoden wie Kraft-, Haltungs- oder Zeitanalysen werden Arbeitsprozesse hinsichtlich Ergonomie und Wirtschaftlichkeit simuliert und bewertet. Es besteht somit die Möglichkeit, unterschiedliche Varianten anhand dieser Prüfung zu vergleichen. Daher können Informationen für den Verbaauraum oder den Arbeitsprozess generiert werden (Bullinger- Hoffmann & Mühlstedt, 2016, S. 230).

Die Verwendung der digitalen Simulation mit einer Software bringt Vor- und Nachteile mit sich, die in Tabelle 2 zusammengefasst sind.

**Tabelle 2 | Vor- und Nachteile der digitalen Simulation (vgl. Bullinger-Hoffmann & Mühlstedt, 2016, S. 214; Ullmann, 2019a)**

Vorteile	Nachteile
Arbeitsprozesse können abgebildet und ergonomisch sowie wirtschaftlich bewertet werden	Hoher Aufwand bei der Erstellung der Simulation und eine realistische, aber nicht exakte Simulation
Potenziale und Missstände können frühzeitig detektiert werden	Eine Schulung oder intensives Selbststudium ist zum Beherrschen der Software notwendig
Hohe Einsparung von Kosten und Zeit möglich	Geringe Akzeptanz der NutzerInnen
Bessere Kommunikation und Akzeptanz bei geplanten Maßnahmen	Teilweise sind gewisse Analysefunktionen nicht vorhanden, oder 3D- Objekte werden separat erstellt

## Software ema Work Designer

Für diese Diplomarbeit wurde für das digitale Modellieren, Simulieren und Bewerten der menschlichen Arbeit die Software ema Work Designer gewählt (Imk-Ema, 2022). Unter Zuhilfenahme digitaler Menschmodellen und Planungssysteme werden Arbeitsprozesse virtuell abgebildet. Eine Bewertung nach ergonomischen und wirtschaftlichen Kriterien ist ausführbar (Ullmann, 2019a). Derzeit wird diese Software von deutschen Automobilherstellern, Airbus und weiteren Unternehmen zur Planung von manuellen Fertigungsprozessen eingesetzt (Bullinger- Hoffmann & Mühlstedt, 2016, S. 373). Die Software wird in die drei Abschnitte Planen , Simulieren und Bewerten gegliedert (Bullinger- Hoffmann & Mühlstedt, 2016, S. 270–373):

### Planen und Gestalten

Am Anfang der Simulation steht die Erstellung der Arbeitsumgebung für das digitale Menschmodell im Vordergrund. Es besteht die Option, Betriebsmittel, Werkzeuge und Menschmodelle aus einer Objekt-Bibliothek herunterzuladen. Der Import von anderen Geometriedaten ist ebenfalls möglich. Wenn der Arbeitsbereich erstellt wurde, kann die Planung der manuellen Tätigkeiten beginnen. Durch das schrittweise Hinzufügen von Einrichtungen wie Greifen, Gehen und deren Parametrisierung und einer

Definition der zeitlichen Abfolge ist eine komplexe Simulation möglich. Sofern sich die Position eines Objektes ändert, passt sich im Hintergrund die Bewegung automatisch an und wird neu berechnet (Bullinger- Hoffmann & Mühlstedt, 2016, S. 370–371).

### **Simulieren und Visualisieren**

Nach der Erstellung des Szenarios folgt die Simulation, bei der die von den AnwenderInnen erstellten Eingangsinformationen in Arbeitsabläufe und Bewegungen für den Avatar umgewandelt werden. Durch diese Visualisierung können Planungsfehler erkannt und minimiert werden. Die Abbildung und Simulation von Mensch-Maschine-Interaktionen sind möglich und es werden Erkenntnisse über die gemeinsamen Arbeitsabläufe gewonnen. Die Auswahl verschiedener Kameraperspektiven, unterschiedlicher Blickpunkte, oder Kamerapfade hilft bei der Analyse von Prozessen. Ebenso können Objekte während einer Simulation ignoriert und die Simulationsgeschwindigkeit eingestellt werden (Bullinger- Hoffmann & Mühlstedt, 2016, S. 371–372).

### **Bewerten und Dokumentieren**

Die Software trifft eine Hauptaussage über die generelle Machbarkeit und Plausibilität des Arbeitsprozesses. Während der Simulation werden Informationen ermittelt und ausgewertet. Diese Analyse kann Fertigungszeiten und Wertschöpfungsketten auf Grundlage der MTM-Methoden bestimmen. Die Bewertung der Bewegungsdaten erfolgt durch Bewertungsverfahren wie EAWS. Ein Export aller Ergebnisse in Excel- oder Textdokumente ist möglich und die Erstellung von Diagrammen wie Spagetti- und Taktzeit-Diagrammen bietet sich an. Aus diesen Analysetools können wertvolle Daten herausgefiltert werden und zu einer Steigerung des Arbeitsprozesses oder zur Verbesserung der Ergonomie beitragen (Bullinger- Hoffmann & Mühlstedt, 2016, S. 372–373).

### **Ergonomic Assembly Worksheet (EAWS)**

Beim EAWS-Verfahren handelt es sich um ein Kombinationsverfahren zur ergonomischen Bewertung, zum Beispiel Körperhaltung, Aktionskräfte, Lastenhandhabung und repetitive Tätigkeiten. Das Ergebnis der Analyse ist neben einem Punktwert eine Ampeleinstufung in drei Risikobereiche (Bullinger- Hoffmann & Mühlstedt, 2016, S. 213).

### **MTM-UAS**

Das MTM-Verfahren (Methods-Time Measurement) ist eine Arbeitsablauf-Zeitanalyse mit vorbestimmten Zeiten. Hiermit kann menschliche Arbeit analysiert und prospektiv mit Zeiten hinterlegt werden. Eine spezielle Form ist das MTM-UAS (Universelles Analysier-System), das für gröbere Analysen bei längeren zyklischen Wiederholungen

angewendet wird. Im ema Work Designer ist diese Funktion im Programmteil Ablauf- und Bewegungssimulation zu finden (Bullinger- Hoffmann & Mühlstedt, 2016, S. 218–219). Ein Beispielbild ist in Abbildung 2-4 zu sehen.

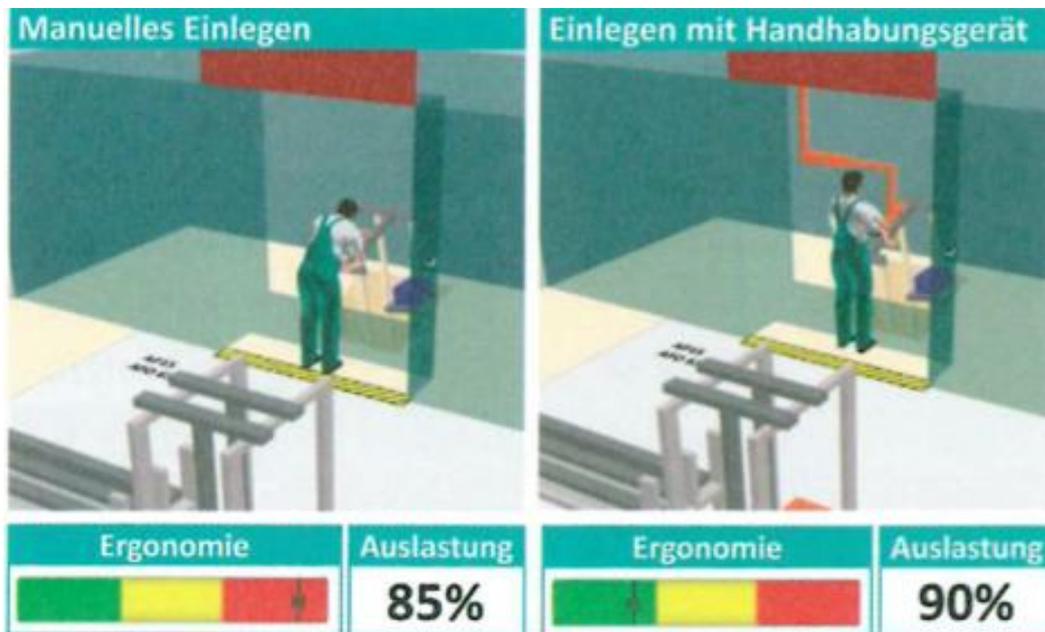


Abbildung 2-4 | Vergleich einer Tätigkeit hinsichtlich Ergonomie und Auslastung in ema (Ullmann, 2019a, S. 2)

Die digitale Simulation ist somit ein umfangreiches und hilfreiches Tool für die Planung und Analyse menschlicher Arbeit. Im nächsten Kapitel stehen Assistenzsysteme, die den Menschen bei der Arbeit unterstützen sollen, im Mittelpunkt.

## 2.3 Assistenzsysteme in der Produktion

Die Bedeutung von Assistenzsystemen ergibt sich aus dem demografischen Wandel, der Digitalisierung und den sich verändernden Wirtschaftsprozessen und sie sollen MitarbeiterInnen in deren Arbeit entweder körperlich oder kognitiv unterstützen und gelten als Fähigkeitsverstärker für das immer knapper werdende Gut, die menschliche Arbeitskraft (Apt, Bovenschulte, et al., 2018, S. 6). Unter Assistenzsystemen sind unter anderem Roboter, Tablets oder Exoskelette zu verstehen.

In diesem Kapitel werden diese Anwendungen und der Stand der Technik erklärt. Vor allem in der Logistik und der Instandhaltung ist die Assistenz im Einsatz, aber auch in der Produktion und vor allem in der Montage spielt sie eine Rolle. Die Einsatzszenarien sind dementsprechend vielfältig und werden zwischen tätigkeits- und organisationsbezogenen Strategien unterschieden. Unter der tätigkeitsbezogenen Sichtweise wird der absichtliche Einsatz von Assistenz, um die Sicherheit und Ergonomie zu fördern, verstanden. Es geht um die Rationalisierung der Arbeit oder eine Erleichterung. Bei der organisationsbezogenen Strategie ist zu erwähnen, dass durch die räumliche Entkopplung, die Visualisierungs- und Steuerungsfunktionen, die

Standardisierung und Verkürzung von Anlernphasen und die Flexibilisierung von Arbeitsort- und Zeit verkürzt wird (Niehaus, 2017).

Es werden zwei Gestaltungsperspektiven unterschieden: den Taylor- und den Autonomie-Agenten:

Als **Taylor-Agenten** werden Assistenzsysteme bezeichnet, die auf einer umfangreichen Automatisierung sämtlicher Unterstützungen basieren und auf restriktive Anweisungen hinauslaufen. Diese Form von Assistenz dient zur Realisierung tayloristischer Arbeits- und Organisationsprinzipien. Sie zielen auf eine engmaschige Prozesskontrolle, direkte Intervention bei Fehlern und der fremdbestimmten Arbeitsgeschwindigkeit ab (Niehaus, 2017, S. 33–35).

Der **Autonomie-Agent** fokussiert die Entlastung der Entscheidungssituation der MitarbeiterInnen. Damit bietet sich die Möglichkeit der qualitativen (Jobenrichment) und der quantitativen (Jobenlargement) Aufgabenerweiterung durch die Assistenz an. (Niehaus, 2017, S. 35–36).

Assistenzsysteme müssen bestimmte Anforderungen erfüllen, um eine reibungslose Implementierung in das Unternehmen zu gewährleisten. In Abbildung 2-5 sind die Anforderungen dargestellt.

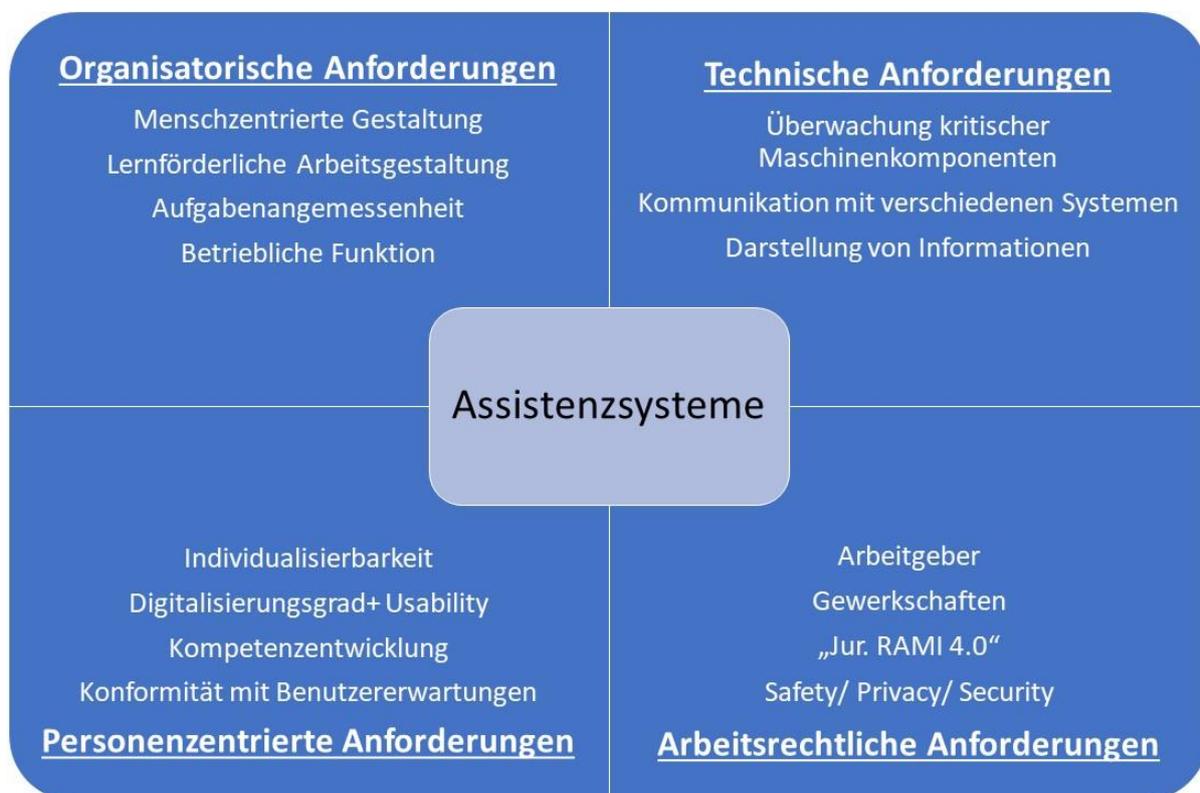


Abbildung 2-5 | Anforderungen Assistenzsysteme (vgl. Lemm et al., S. 4)

Wie in Abbildung 2-5 zu sehen, sind nicht nur die technischen Forderungen relevant.

Die organisatorische Anforderung, wie die menschenzentrierte Gestaltung, oder die lernförderliche Arbeitsgestaltung haben eine hohe Bedeutung. Der Faktor Mensch spielt weiter eine bedeutende Rolle. Die Sicherheit und die Privatsphäre müssen oberste Priorität haben. Die Individualisierbarkeit der Systeme ist genauso relevant wie der Grad der Digitalisierung (Lemm et al., S. 4–5).

Assistenzsysteme lassen sich grob in drei Gruppen einteilen:

**Physische Assistenzsysteme** (Apt, Schubert & Wischmann, 2018, S. 8–9): Sie leisten Hilfe bei körperlich anspruchsvollen Arbeiten. Sie reichen von mechanisch-motorischer Kraftunterstützung bis hin zu adaptiven, kollaborativen Robotersystemen. Endziel ist die Unterstützung des Muskel-Skelett-Systems und der Sinnesorgane.

**Kognitionsunterstützende Assistenzsysteme** (Apt, Schubert & Wischmann, 2018, S. 8–9): Sie dienen zur Informationsbereitstellung der Beschäftigten. Das kann in Form von Arbeitsanweisungen, Entscheidungshilfen oder Kontrollen realisiert werden. Diese Systeme sind in folgende Untergruppen eingeteilt:

- **Hilfssysteme:** Stellen Wissen digital bereit und geben Arbeitsanweisungen (z. B. Lernvideos oder digitale Handbücher).
- **Adaptive Assistenzsysteme:** Helfen den AnwenderInnen anhand einer sensorischen Erfassung von Arbeitsvorgängen und lassen sich vom Benutzer individuell anpassen (z. B. Pick-by-light).
- **Tutorielle Assistenzsysteme:** Sind eine Form der adaptiven Assistenz. Sie bilden eine lernförderliche Arbeitsumgebung und bieten eine individuelle Übermittlung von Wissen an die AnwenderInnen (z. B. Ausbildungssysteme oder Lernplattformen).

**Sensorische Assistenzsysteme** (Apt, Bovenschulte, et al., 2018, S. 20): Sie dienen zum Ausgleich von funktionellen oder altersbedingten Einschränkungen. Vor allem der Sinnes- und der Hörapparat der Menschen steht im Fokus. Die Lösung liegt in einer kognitiven-sensorischen Unterstützung.

Es gibt unterschiedliche Lösungen der digitalen Assistenz, die für unterschiedliche Gruppen von Assistenzsystemen verwendet werden können, die in Abbildung 2-6 grafisch aufbereitet sind.

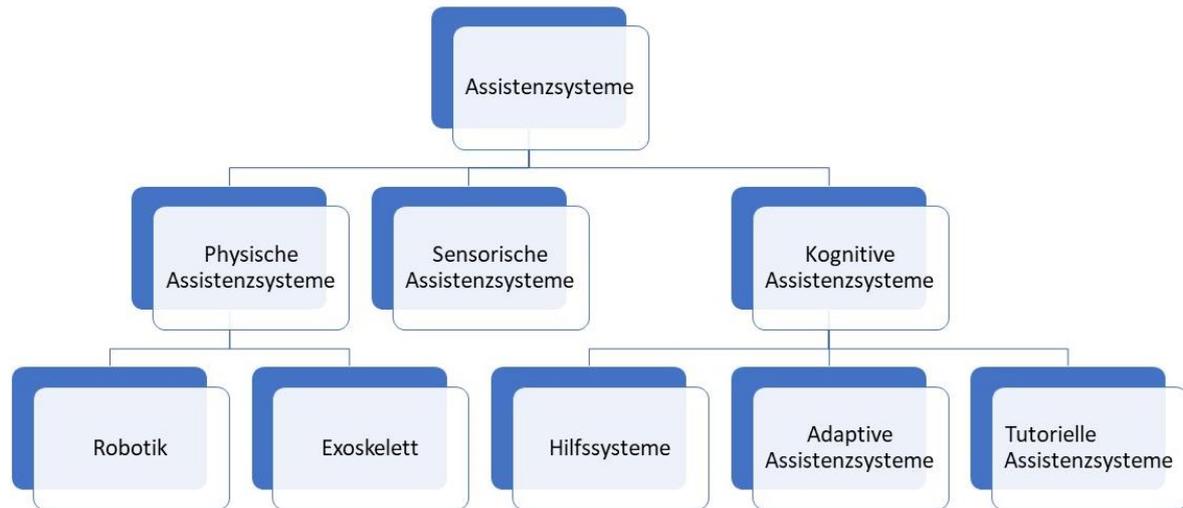


Abbildung 2-6 | Einteilung der Assistenzsysteme (Eigendarstellung)

Weiters können Systeme der Assistenz in stationäre und mobile Formen gegliedert werden, wobei Systeme in beiden Varianten zur Verfügung stehen.

Im folgenden Teil werden alle Systeme der Assistenz beschrieben.

### 2.3.1 Mobile und interaktive Assistenzsysteme

In diesem Kapitel werden die Assistenzsysteme mobiler Art präsentiert. Es wird auf die Anwendung in der Produktion eingegangen.

#### Mobile Assistenzsysteme

Es handelt sich bei mobilen Assistenzsystemen um einen Überbegriff für mobile oder körpernahe Endgeräte, die den MitarbeiterInnen Informationen bereitstellen, Entscheidungen der ArbeiterInnen unterstützen oder Arbeitsanweisungen erteilen. Hierfür gibt es einige Anwendungsfelder, die im nächsten Kapitel näher erklärt werden. Typischerweise sind sie in der Instandhaltung, Logistik und Produktion, aber vor allem in der Montage im Einsatz. Um die Anwendungsvielfalt von mobiler Assistenz zu verdeutlichen, wurde in Abbildung 2-7 ein morphologischer Kasten erstellt (Niehaus, 2017, S. 11–12).

Merkmal	Ausprägung			
Gerät	Tablet	Datenbrille	Smartwatch	Sonstige
Zielgruppe	Beschäftigte ohne Personalverantwortung		Teamleiter / Meister	Leitende Angestellte
Anwendungsgebiet	Instandhaltung	Montage	Logistik	Sonstige
Qualifikationsanforderungen	Keine	Einweisung (formell/ informell)		Zertifizierte Fortbildung Umschulung
Systemanbindung	Keine	Lokal	Datenbanken (z. B. ERP, WWS)	
Datenaufbereitung	Audiovisuell	Audio	Grafisch	Haptisch
Unterstützungsleistung	Information	Beratung	Anweisung	Eingriff Dokumentation
Interaktion	Monologisch	Dialogisch	Mit Externen (z. B. über Chatfunktionen)	
Adaptabilität	Ja (z. B. Sprache, Ansagegeschwindigkeit)			Nein
Nutzung	Einmalig (Anlernen)		Kontinuierlich	Selektiv Periodisch
Kontrollfunktion	Keine	Ergebnis	Ausführung / Prozess	
Leistungsdokumentation	Ja (z. B. Stückzahlen, Geschwindigkeit)			Nein
Lernunterstützung	Keine	Weiterführende Informationen		Wissensabfrage (Test)

Abbildung 2-7 | Morphologischer Kasten von Assistenzsysteme (Niehaus, 2017, S. 16)

Zur Nutzung von Assistenzsystemen sind unterschiedliche Varianten vorhanden. Es besteht die Notwendigkeit, eine Infrastruktur wie ein Wireless-Local-Area-Network (WLAN)-Netz bereitzustellen oder eine Datenbank aufzubauen.

Neben der Anschaffung der Systeme und der dazugehörigen Infrastruktur ist die Akzeptanz der MitarbeiterInnen von hoher Bedeutung (Niehaus, 2017, S. 20).

Eine weitere mobile Assistenz ist die **Augmented Reality (AR)** (Azuma, 1997). Darunter ist eine Anreicherung der Arbeitswelt mit digitalen Informationen zu verstehen. Die Realisierung findet mithilfe von Datenbrillen, Smartphones oder Tablets statt. Die reale Welt wird mit einer vom Computer erschaffenen Welt verbunden. Es werden relevante Informationen zu einer Anlage digital angezeigt oder Anlagen werden digital hinzugefügt. Durch die Anzeige relevanter Daten in Echtzeit am Tablet profitiert vor allem die Produktion, aber auch die Instandhaltung. Für Schulungszwecke wird diese Anwendung ebenfalls verwendet (Apt, Schubert & Wischmann, 2018, S. 40). In Abbildung 2-8 ist ein Beispielbild einer AR-Anwendung zu sehen. Durch das Tablet werden Informationen über das produzierte Teil direkt in der realen Welt angezeigt.



Abbildung 2-8 | Beispiel für AR in der Produktion (Akademie der Ruhr-Universität gGmbH, 2020)

### Interaktive Assistenzsysteme

Interaktive Assistenzsysteme finden vor allem in mobiler Form Anwendung. Es handelt sich um mobile Endgeräte, die mit einer Rückkopplungseinheit verbunden sind. Dieses Endgerät gibt eine akustische, haptische oder visuelle Rückmeldung an die AnwenderInnen. Die am Körper getragenen Computersysteme gelten somit als Fähigkeitsverstärker in Echtzeit für die ArbeiterInnen. Sie ermöglichen eine Effizienzsteigerung der MitarbeiterInnen in der Produktion, da z. B. Entscheidungen um Sekunden schneller getätigt werden können. Eine Kommunikation zwischen den interaktiven Assistenzsystemen in diesen cyberphysischen Systemen muss gegeben sein und wird durch Sensoren in den Schnittstellen zwischen der virtuellen und der realen Welt realisiert, die in Abbildung 2-9 dargestellt sind (Kasselmann & Willeke, S. 5).

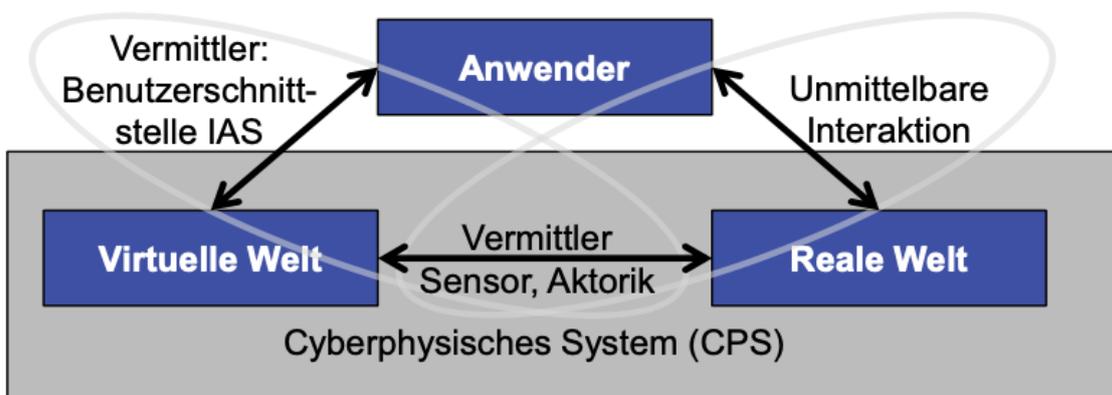
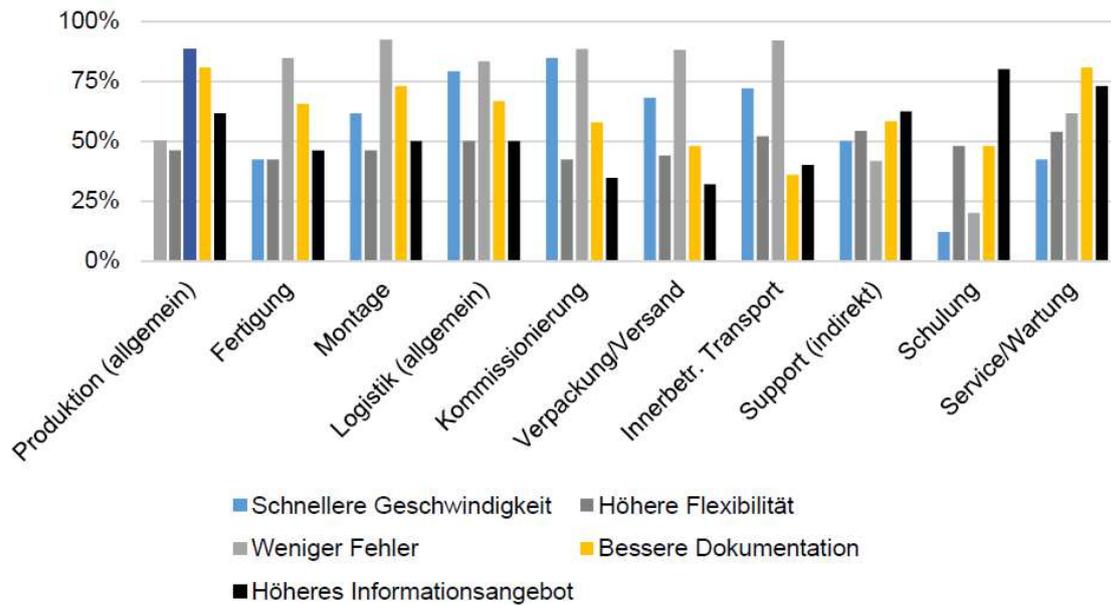


Abbildung 2-9 | Einordnung der interaktiven Assistenzsysteme (graue Ellipsen) (Kasselmann & Willeke, S. 5)

Beispiele sind Datenbrillen, Headsets oder Unterarmcomputer.



**Abbildung 2-10 | Auswertung zum Nutzen interaktiver Assistenzsysteme im jeweiligen Einsatzgebiet (Kasselmann & Willeke, S. 8)**

Die Auswertung einer Umfrage von ExpertInnen (HerstellerInnen und AnwenderInnen) hat die Abbildung 2-10 ergeben (Kasselmann & Willeke, S. 8). Es ist zu erkennen, dass vor allem die niedrigere Fehlerquote, höhere Arbeitsgeschwindigkeit und bessere Dokumentation in allen Bereichen als Vorteil gelten. Der höhere Informationsgehalt ist vor allem im Bereich der Schulung und im Service zu erkennen.

### 2.3.2 Gamifizierte Assistenzsysteme

Im Bereich der Weiterbildung oder im Training wird darauf geachtet, die Aktivitäten spielerisch umzusetzen. Es wird ein Vergleich von sich mit anderen oder einem Standard oder der vergangenen Leistung zum Beispiel in Form von Highscores erstellt. Vorteile sind die Steigerung der Motivation und der Leistungsbereitschaft (Apt, Schubert & Wischmann, 2018, S. 26–40). Im Praxisbeispiel ist diese Form von Assistenz vor allem vor der Inbetriebnahme der Anlage oder für neue MitarbeiterInnen von Interesse. Durch eine spielerische Anwendung ist ein besseres Verständnis von neuem Personal für den Abfüllprozess gegeben. Dasselbe gilt für Reparaturen und andere Instandhaltungstätigkeiten. In Abbildung 2-11 ist ein Beispiel für eine Arbeitsplattform zu sehen.

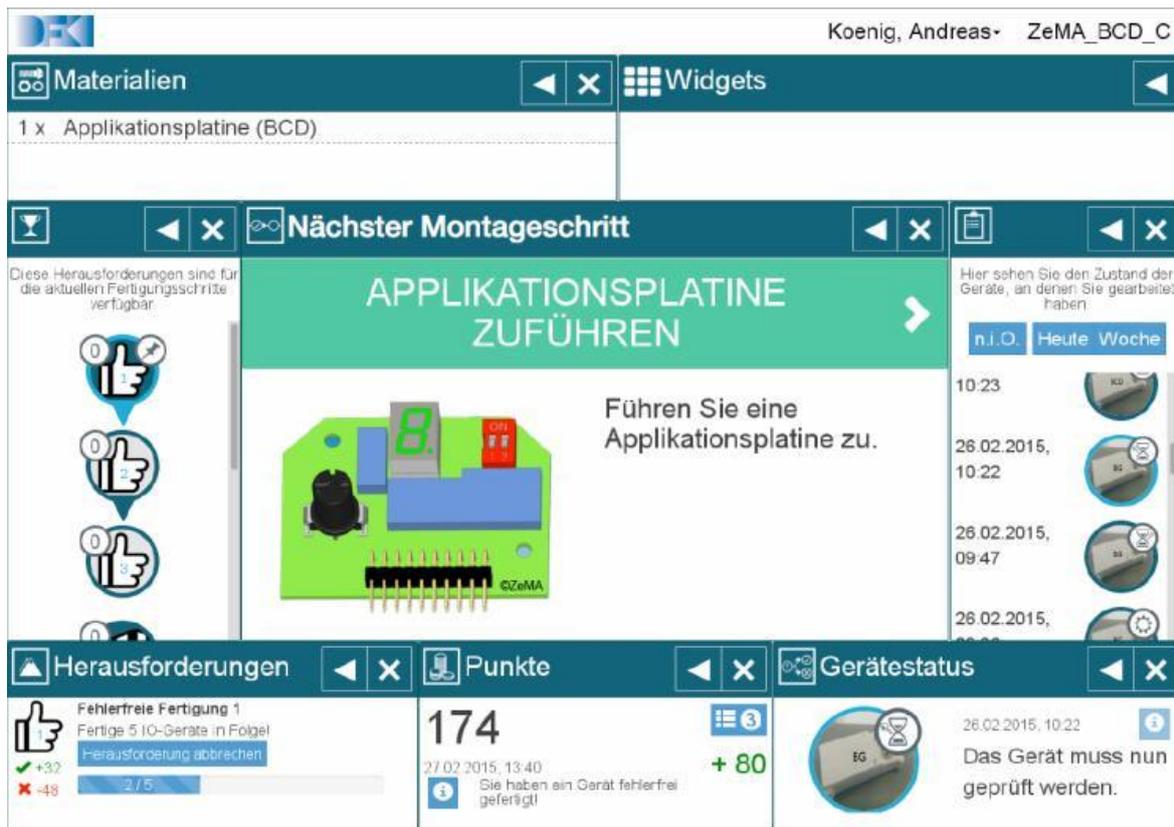


Abbildung 2-11 | Beispiel eines gamifizierten Assistenzsystems (Lessel & Kerber, 2015, S. 5)

Wie in Abbildung 2-11 zu erkennen, werden den MitarbeiterInnen unter anderem die nächsten Montageschritte oder die verwendeten Materialien angezeigt.

### 2.3.3 Kontextintensive Assistenzsysteme

Diese kontextintensiven Assistenzsysteme werden vor allem zur Überwachung von MitarbeiterInnen verwendet. Sensoren, Kameras und Telematik erfassen Daten, die analysiert werden müssen. Die Ziele dieser Systeme sind vor allem die Kontrolle und die Fürsorge. Unter Kontrolle kommt es zum Schutz von relevanten Daten der Firma, Aufnahme und Analyse von Leistungsdaten der MitarbeiterInnen und zur Überwachung der Computer bezüglich übermäßiger Privatnutzung. Es wird zwischen quantitativen (z. B. Tastenschläge pro Zeiteinheit) und qualitativen (Inhalt von Telefongesprächen) Formen der Leistungsarten unterschieden. Beim Thema Fürsorge stehen vor allem die Arbeitssicherheit und Gesundheit der MitarbeiterInnen im Vordergrund. Hierbei handelt es sich um die elektronische Überwachung von Bewegungsdaten, die Detektion von Stress oder ergonomische Fehlbelastungen. Die Sammlung von Daten ist mithilfe von Smartwatches, Smartphones oder intelligenter Schutzkleidung möglich. Anhand der gesammelten Daten kann auf gesundheitliche Belastungen reagiert werden. Unter Pervasivität ist der Grad der Überwachung zu verstehen. In Abbildung 2-12 wird auf diesen Faktor eingegangen (Backhaus, 2020).

	wenig pervasiv			sehr pervasiv
<b>1. Ebene (Objekt)</b>	Abteilung	Arbeitsgruppe		Beschäftigte
<b>2. Zeitliche Aspekte</b>	Regelmäßig seltener	Regelmäßig häufiger		Permanent
<b>3. Empfänger (Subjekt)</b>	Beschäftigte selbst	Vorgesetzte/ Überwachungsperson		Belegschaft
<b>4. Aufgabenaspekte</b>	Ergebnisse der Aufgaben	Aufgabenprozess		Zuweisung / Erledigung

Abbildung 2-12 | Dimensionen der Pervasivität elektronischer Überwachung (Backhaus, 2020, S. 4)

Unter wenig pervasiv ist die Überwachung einer Abteilung oder Organisationseinheit zu verstehen. Die Kontrolle einer einzelnen Person oder deren Arbeitsplatz ist hingegen sehr pervasiv. Die Häufigkeit der Überwachung und der Empfänger der Daten sind für die Einschätzung von Bedeutung (Backhaus, 2020, S. 3–4).

### Sensorarmband

Ein Sensorarmband ist eine Form der intelligenten Kleidung und soll zum Beispiel die Temperaturen am Arbeitsbereich messen (Kassermann & Willeke, S. 26). Für den Praxisteil wären solche Bänder zum Beispiel für das Personal der Instandhaltung relevant. Es kann abgewogen werden, ob die Reparatur an einer Anlage im eingeschalteten Zustand aufgrund der Wärmestrahlung zumutbar ist oder nicht. In Abbildung 2-13 ist ein Beispiel für ein Sensorarmband dargestellt.



Abbildung 2-13 | Sensorarmband (Kassermann & Willeke, S. 26)

### 2.3.4 Exoskelette

Exoskelette zählen zu den externen Assistenzsystemen und sind am Körper zu tragen. Sie gehören zu den physischen Systemen der Assistenz und werden bei körperlich belastenden Aufgaben eingesetzt. Es ist nicht nur eine Verbesserung der ergonomischen Verhältnisse der AnwenderInnen möglich, sondern auch eine Leistungssteigerung durch aktive Unterstützung. Typische Anwendungen sind Überkopf- oder Hebearbeiten (Schmalz et al., 2019, S. 2).

Durch den Einsatz von Exoskeletten können Beschwerden und körperliche Belastungen ausgeglichen werden. Die Verschleißerscheinungen werden auf ein Minimum herabgesetzt. Vor allem an Orten, die eine ergonomische Optimierung nicht erlauben, kann der Einsatz von solchen Assistenzsystemen von Interesse sein. Sie helfen vor allem bei der Stabilisierung und Reduzierung von Kraftanstrengungen in Körperregionen wie dem Rücken. Exoskelette bestehen hauptsächlich aus Gerüsten, Streben, Gelenken, Achsen und im Falle von aktiven Skeletten aus Achsantrieben. Sie ähneln dem menschlichen Körper und werden wie Anzüge oder Rucksäcke verwendet. Damit sie nicht so schwer sind, bestehen sie aus Aluminium und Kunststoffen.

Exoskelette lassen sich in der Art der Kraftunterstützung zwischen passiven und aktiven Typen unterscheiden. Passive Hilfsskelette unterstützen die ArbeiterInnen mithilfe von mechanischen Teilen wie einer Feder. Diese speichert potentielle Energie, die durch eine Körperbewegung erzeugt wird. Bei der Gegenbewegung hilft diese unterstützend. Aktive Skelette helfen den AnwenderInnen durch mechatronische Systeme. Diese Methoden arbeiten entweder pneumatisch oder mithilfe von Motoren und sind technisch anspruchsvoller und schwerer. Aktive Skelette können entweder elektrisch durch Akkus oder mit pneumatischen Antrieben angesteuert werden (Hold et al., 2020, S. 4–15).

In Abbildung 2-14 ist ein morphologischer Kasten abgebildet, um die unterschiedlichen Anwendungen darzustellen.

DIMENSION	AUSPRÄGUNG				
Grundprinzip					
	Aktiv		Passiv		
Antrieb					
	Elektrisch	Pneumatisch	Mechanisch		
Energieversorgung/ speicherung					
	Akku	Druckluft	Stromnetz	Feder	
Unterstützte Körperregion					
	Arme	Hände	Beine	Schultern	Rumpf
Unterstützungsart					
	Kraft		Ausdauer		Geschwindigkeit
Eigengewicht					
	< 2,5 kg		2,5–5 kg		> 5 kg
Einsatzbereich					
	Fertigung	Montage	Logistik	Versand	Schulung
Anwendungsgrund					
	Haltungskorrektur		Überkopfarbeit		Hebeunterstützung

Abbildung 2-14 | Morphologischer Kasten der Exoskelette (Hold et al., 2020, S. 15)

Am Markt gibt es innovative Produkte, die im folgenden Absatz vorgestellt werden.

In Abbildung 2-15 ist ein passives Oberkörper-Exoskelett zu sehen, das vor allem bei Überkopfarbeiten und Hebetätigkeiten unterstützen soll. Hierbei wird durch diese Assistenz die Kraft der MitarbeiterInnen gestützt (Schmalz et al., 2019, S. 3). Es kann im Praxisteil zum Beispiel zum Tragen von Paletten oder schweren Schläuchen verwendet werden.

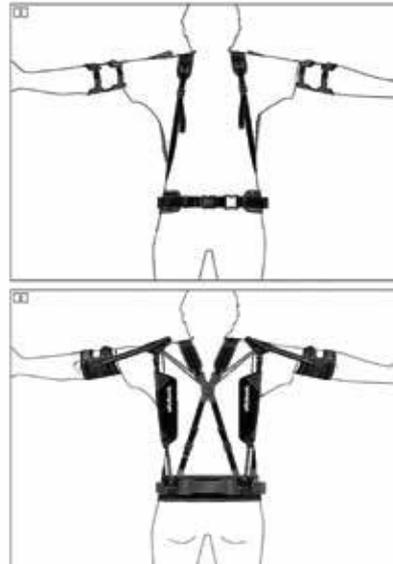


Abbildung 2-15 | Oberkörper-Exoskelett (Schmalz et al., 2019, S. 3)

In Abbildung 2-16 ist das Exoskelett der Firma German Bionic dargestellt. Es leistet vor allem Abhilfe beim Tragen von schweren Teilen, da die Belastung am Rücken verringert wird. Dies wird mithilfe von zwei Servomotoren, die durch einen Akku angetrieben sind, realisiert. Mit diesem aktiven Exoskelett werden Lasten bis zu 60 Pfund ausgeglichen (germanbionic, 2022).



Abbildung 2-16 | Beispielbild Bionic Cray X Exoskelett (germanbionic, 2022)

Ein weiteres aktives Exoskelett ist in Abbildung 2-17 zu sehen. Der abgebildete Paexo Back wurde zur Entlastung des Rückens entwickelt. Die Lasten werden wie bei einem Rucksack über die Schultern abgenommen und durch eine Stützstruktur in die Oberschenkel abgeleitet. Bei diesem rein mechanischen System wird der Energiespeicher beim Beugen aufgefüllt und gibt Kraft beim Heben ab. Diese Technologie führt zu einer Entlastung von ca. 25 Kilogramm (kg) (Ottobock SE & Co. KGaA, 2022).



Abbildung 2-17 | Beispielbild Paexo Back (Ottobock SE & Co. KGaA, 2022)

Es kann zusammengefasst werden, dass die genannten Assistenzsysteme für den Menschen hilfreich sind und die körperlichen Belastungen gesenkt werden können. Eine weitere Form der Unterstützung beziehungsweise Substitution von menschlicher Arbeit ist die Mensch-Roboter-Kollaboration, die im nächsten Kapitel erläutert wird.

## 2.4 Mensch-Roboter-Kollaboration

Ein Teil der digitalen Assistenz besteht im Einsatz von kollaborierenden Robotersystemen (kurz: Cobots), auch Mensch-Roboter-Kollaboration (MRK) genannt (Weber & Stowasser, 8.10, S. 2). Roboter sollen den Menschen vor allem bei monotonen und kräfteaubenden Arbeiten unterstützen oder entlasten.

Nachdem mehrere Anwendungen durch eine MRK ersetzt worden sind, kommen Anforderungen auf dieses System zu (Hans-Jörg Buxbaum & Bendel, 2020, S. 2):

- Eine für die AnwenderInnen einfache Programmierung und Bedienung
- Für die Sicherheit der AnwenderInnen ist die Nutzung von Leichtbaurobotern inklusive Kräfteerkennung und Sicherheitsabschaltung, um Kollisionen zu vermeiden, notwendig
- Einhaltung der Richtlinien und Normen
- Damit der Roboter in unterschiedlichen Anwendungen einsatzbereit ist, soll eine hohe Flexibilität und ein skalierbarer Aufbau gewährleistet sein
- Die Entlastung der ArbeiterInnen bei monotonen oder körperlichen Arbeiten

Durch den Einsatz von MRK ergeben sich folgende Vorteile (Hans-Jörg Buxbaum & Bendel, 2020, S. 2–3):

- **Flächennutzung:** Mit dem Wegfall der trennenden Schutzeinrichtungen ist ein höherer Flächennutzungsgrad möglich.
- **Ergonomie:** Mithilfe des Einsatzes von Robotern können die ergonomischen Voraussetzungen in der Produktion verbessert werden. Durch die Ausnutzung

der Stärken des Menschen (z. B. Sehen, Hören oder schnelles Erfassen) und des Roboters (z. B. Präzision und Wiederholgenauigkeit) ist eine höhere Qualität möglich.

- **Flexibilität:** Durch die Flexibilität von MRK gibt es die Möglichkeit, unterschiedlichste Produktvarianten in beliebiger Reihenfolge zu produzieren. Sie erlaubt eine wirtschaftliche Fertigung bei kleinen Losgrößen oder kann in verschiedenen Teilbereichen Engpässe vermeiden.

Im Folgenden werden der Begriff Kollaboration und der Unterschied zu anderen Robotikanwendungen beschrieben.

**Kollaboration:** Unter Kollaboration wird die Zusammenarbeit zwischen zwei oder mehreren Individuen an demselben Material verstanden. Diese Arbeit hat ein planvoll ausgerichtetes Gruppenziel, das gemeinsam erreicht werden soll. Wesentliche Aktionen sind die Kommunikation, Koordination und Kooperation beider Akteure (Weber & Stowasser, 8.10, S. 3).

**Vollautomatisierung:** Mensch und Maschine arbeiten in verschiedenen Räumen, die durch eine Barriere (z. B. Zaun) getrennt sind (Markis & Ranz, 10.10, S. 3).

**Mensch-Maschine-Kollaboration:** Hierbei handelt es sich um die Bündelung menschlicher und maschineller Stärken innerhalb einer kollaborativen Arbeit, um die Potenziale von Maschinen (z. B. höhere Produktivität oder genauere Arbeitsqualität) in Zusammenarbeit mit den Menschen zu nutzen. Des Weiteren können Mensch und Maschine ohne Vorhandensein von trennenden (z. B. Gitter, Zäune) und nichttrennenden (z. B. Lichtgitter, Laserscanner) Schutzeinrichtungen arbeiten (Weber & Stowasser, 8.10, S. 1–3).

**Mensch-Maschine-Koordination:** Mensch und Maschine arbeiten in einem gemeinsamen Wirk- und Arbeitsraum, jedoch mit wechselseitigen Aufgaben (Weber & Stowasser, 8.10, S. 3).

**Mensch-Maschine-Koexistenz:** In dem Fall können an einem Arbeitsplatz mehrere Arbeitsschritte auf einmal durchgeführt werden. Mensch und Roboter sind räumlich getrennt. Vorteil dieser Arbeitsform ist die erhöhte Effizienzsteigerung bei gleichbleibender kognitiver Belastung (Weber & Stowasser, 8.10, S. 3).

In Abbildung 2-18 sind diese Begriffe dargestellt.

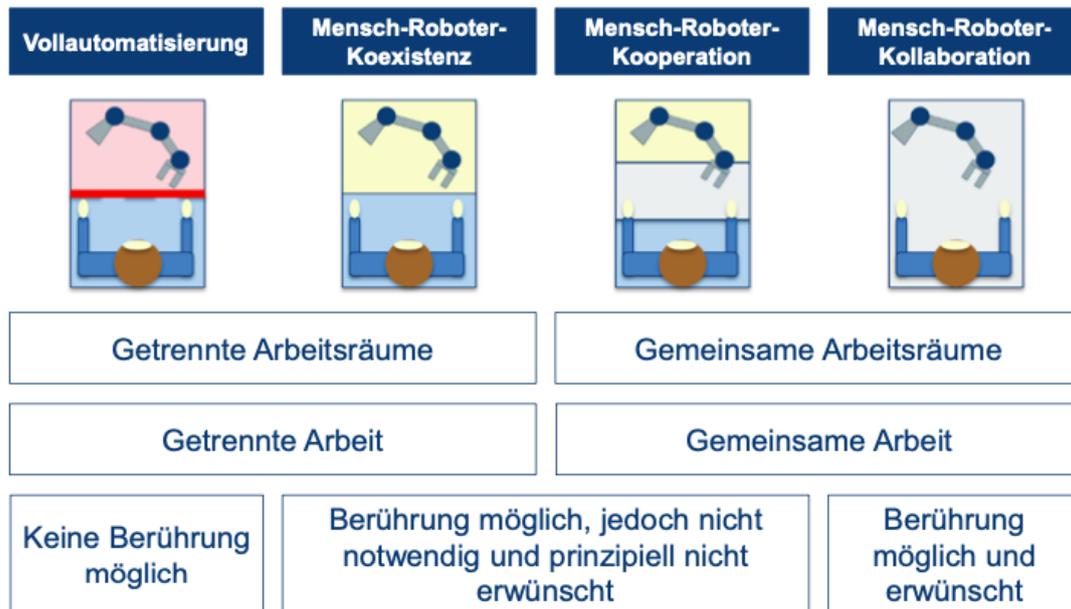


Abbildung 2-18 | Klassifizierung von Arbeitsplätzen mit Robotern (Weber & Stowasser, 8.10, S. 3)

Demzufolge werden sich die Arbeitsaufgaben des Menschen grundlegend verändern. In Abbildung 2-19 sind Arbeitsklassen und deren existierende beziehungsweise nichtexistierende Lösungsräume dargestellt. Hieraus lässt sich ein Klassifikationsschema ableiten. Es ist zu erkennen, dass der Einsatz von Mensch-Mensch-Kollaboration für Aufgaben geringer Komplexität eine Verschwendung von Potenzialen ist, wohingegen bei komplexen Aufgaben die Arbeit zwischen den Menschen bevorzugt wird (Bittner et al., 16.01, S. 8).

		Kollaborationsformen		
		Maschine-Maschine Kollaboration	Mensch-Maschine Kollaboration	Mensch-Mensch Kollaboration
Aufgabenklassen	Geringe Aufgabenkomplexität	Aufgaben zur Nutzung von Wissen	Bereich verschwendeter Potenziale	
	Mittlere Aufgabenkomplexität			
	Hohe Aufgabenkomplexität	Bereich aufkommender Fragen		Aufgaben zur Schaffung von Wissen

Abbildung 2-19 | Kollaborationsformen und Aufgabenklassen (Bittner et al., 16.01, S. 8)

Durch Mensch-Maschine-Kollaboration entstehen Möglichkeiten der Automatisierung bei kleinen Losgrößen (Markis & Ranz, 10.10, S. 5).

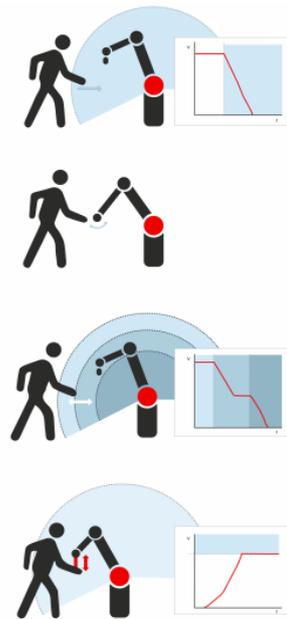
Derzeit sind sogenannte kraft- und leistungsreduzierte Leichtbauroboter, auch kollaborative Roboter genannt, im Einsatz. Sie zeichnen sich durch inhärente

Sicherheitsfunktionen wie taktile oder kapazitive Sensorik aus. Durch diese Kollisionserkennung ist die direkte Zusammenarbeit zwischen Mensch und Maschine möglich (Rusch et al., 30.10, S. 3).

Physischer Kontakt zwischen Mensch und Maschine kann bei Cobots nicht vermieden werden. Abhilfe schafft ein Arbeitsraum mit geringem Unfallrisiko. Erste Voraussetzung ist die Wahl des richtigen Roboters, d. h. von jenem mit einem Performance-Level d. Die Position der Cobots sollte an einer möglichst zentralen Stelle des Arbeitsplatzes sein (Rusch et al., 30.10, S. 9).

Die ISO/TS 15066 ist eine Norm, die sich mit dem Thema Mensch-Maschine-Interaktion befasst. Wie in Abbildung 2-20 zu sehen, listet sie vier mögliche Kollaborationsformen zwischen Mensch und Roboter auf (Markis & Ranz, 10.10, S. 6):

- **Sicherheitsüberwacher Halt:** Sobald ein Mensch den Arbeitsraum des Roboters betritt, stoppt dieser. Erst beim Verlassen des Arbeitsraumes fährt der Roboter wieder hoch.
- **Handführung:** Der Roboter stellt seine Kraft passiv bei und wird durch den Bediener per Hand bewegt.
- **Geschwindigkeits- und Abstandsüberwachung:** Bei sinkender Distanz zwischen Menschen und Maschine sinkt die Arbeitsgeschwindigkeit des Roboters. Beim Erreichen eines kritischen Abstandes kommt es zum Stillstand.
- **Leistungs- und Kraftbegrenzung:** Die definierten Kräfte und Leistungen des Roboters sind auf ein Maß reduziert, mit dem es bei einer Kollision nicht zu größeren Verletzungen kommt. Dies wird durch eine Reduzierung der Leistungen und der Verfahrensgeschwindigkeit auf ein akzeptables Maß realisiert.



**Abbildung 2-20 | Kollaborationsformen zwischen Mensch und Roboter (Markis & Ranz, 10.10, S. 6)**

Im letztgenannten Punkt ist das Arbeiten von Menschen und Roboter in einem Arbeitsbereich uneingeschränkt möglich. Dies wird vor allem durch die Sensorik gewährleistet. Für die Umsetzung dieser Begrenzungen werden Grenzwerte definiert (Weber & Stowasser, 8.10, S. 6):

- Bewegungsgeschwindigkeit der kollaborierenden Roboter soll den Wert von 1,5 m/s nicht überschreiten,
- die Reichweite für die räumlichen Abmessungen liegen bei ca. 600 mm Länge, Breite und Höhe, was mit dem Bewegungsradius eines Menschen vergleichbar ist,
- das Gewicht der beweglichen Teile darf 15 kg nicht überschreiten.

In Abbildung 2-21 sind die Faktoren für eine erfolgreiche MRK-Applikation zu sehen, sie fasst das Kapitel Mensch-Maschine-Interaktion zusammen.

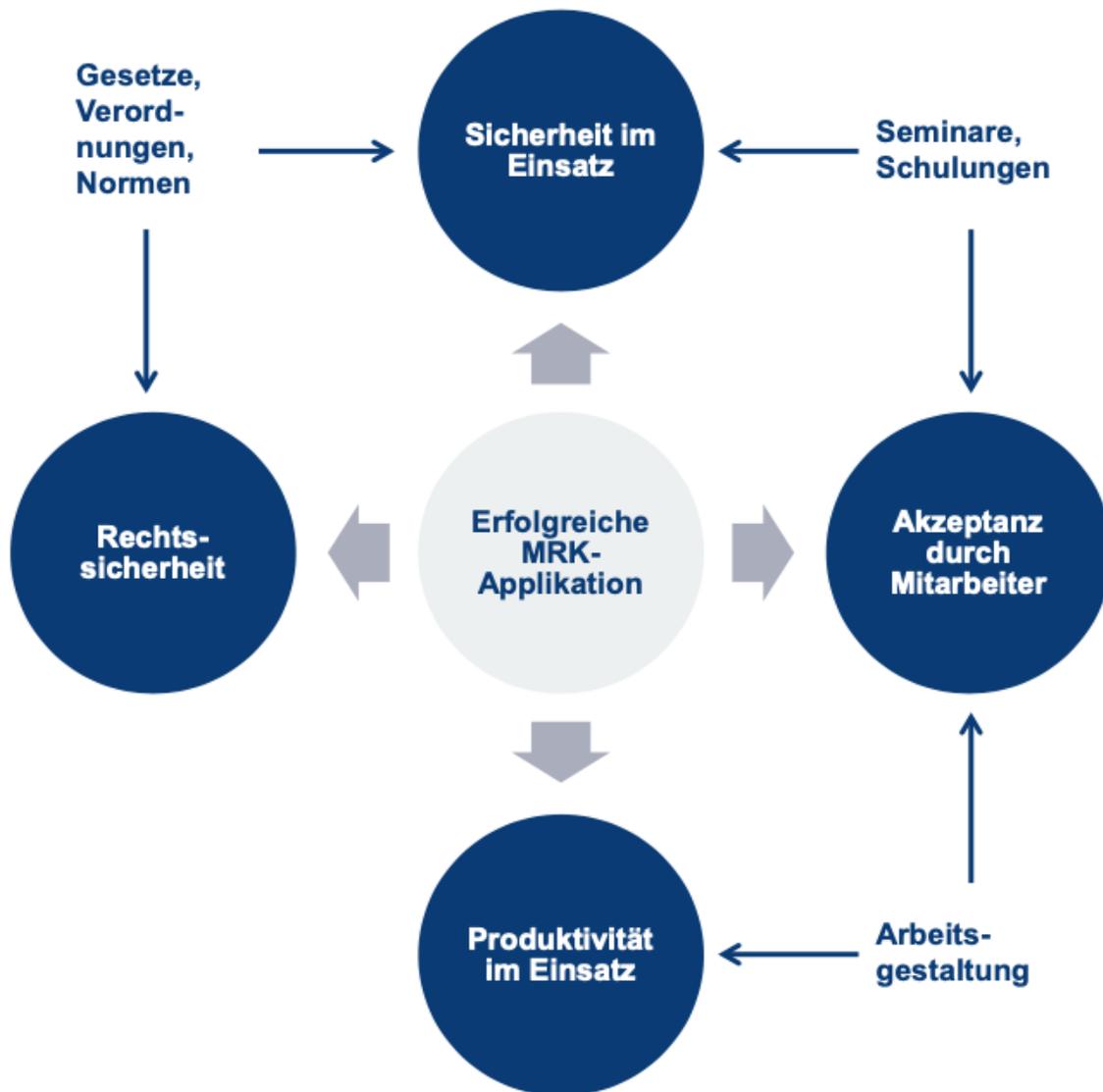


Abbildung 2-21 | Faktoren für eine erfolgreiche MRK-Applikation (Weber & Stowasser, 8.10, S. 8)

Für eine reibungsfreie Einführung von MRK-Systemen müssen, wie in Abbildung 2-21 dargestellt, bestimmte Faktoren zusammenspielen. Am Anfang muss geklärt werden, ob sich der Einsatz von Robotern auszahlt. Hier ist die Stückzahl ein bedeutender Parameter. Bei kleinen Stückzahlen ist die Einführung von MRK-Systemen eher nicht rentabel. Sofern der Einsatz lohnenswert ist, ist die Gestaltung der nächste Schritt. Neben der Akzeptanz durch die MitarbeiterInnen ist die Sicherheit der AnwenderInnen notwendig. Die Einhaltung von Normen und Richtlinien ist essenziell. Neben Sicherheitsanforderungen der Roboter haben die Richtlinien zum Arbeitsschutz eine hohe Bedeutung. Erwähnenswert sind die sensorische Hinderniserkennung und eine Notabschaltung. Sollten alle Vorschriften eingehalten sein, gilt es, das Personal, das mit den Robotern arbeiten wird, zu schulen. Werden all jene Faktoren berücksichtigt, ist eine erfolgreiche MRK-Applikation möglich (Weber & Stowasser, 8.10, S. 4–8). Im nächsten Kapitel wird auf das Thema Human in The Loop Method näher eingegangen.

## Human In The Loop Method (Human Lambdas Ltd, 2020)

Diese Methode vereint die Stärken des Menschen und jene der Maschine miteinander. Human In The Loop (HITL) wird als ein Modell mit menschlicher Interaktion bezeichnet. Dies bedeutet, dass der Mensch bei Entscheidungen der Maschine eingreifen kann, wenn diese mit geringerer Wahrscheinlichkeit richtig sind. Vorteil dieser Methode ist vor allem die Kostensenkung durch anfallende Fehler der Maschine. Es sollen die Vorteile der Automatisierung wie Algorithmen, statistische Modelle oder künstliche Intelligenz genutzt werden. Im selben Moment soll der Mensch in schwierigen Situationen eingreifen und somit Fehler vermeiden. Je höher die Kosten der Fehler sind, desto mehr zahlt sich dieses Modell aus. Das Ausmaß der HITL-Systeme hängt vom Vertrauen in die Maschine ab. Eine Abwägung dieses Vertrauens ist entscheidend. Es gibt zwei bekannte Gründe für die Einführung eines HITL-Systems:

- Durch den Einsatz des Menschen soll eine Reduktion der Fehlerquote erfolgen.
- Der Mensch hat über den gesamten Prozess die algorithmische Entscheidung, somit ist es möglich, die Leistung der Gesamtfehlerquote des Systems zu messen.

Für die Einführung solcher Systeme müssen Schwellwerte definiert werden, wann der Mensch eingreifen muss. Es wird zwischen einer Konfidenz oder einem Wahrscheinlichkeitsindikator unterschieden:

- Konfidenz: Ein Schwellwert der zwischen Automatisierung und menschlicher Interaktion unterscheidet.
- Wahrscheinlichkeiten: Hier sind es zwei Schwellwerte, die Vorhersagen von mittlerer Wahrscheinlichkeit von Vorhersagen mit hoher oder niedriger Wahrscheinlichkeit zu differenzieren vermögen.

In Abbildung 2-22 sind diese Indikatoren grafisch dargestellt.



Abbildung 2-22 | Darstellung der Konfidenz- und Wahrscheinlichkeitsindikatoren (Human Lambdas Ltd, 2020)

Neben dieser technischen Ansicht kann der anfallende menschliche Aufwand gewichtig sein. Die Kosten pro Fehler und pro Überprüfung je MitarbeiterIn ist entscheidend. Es gibt kostspieligere Aufgaben für den Menschen, bei denen abgewogen werden muss, ob sich diese bei der anfallenden Fehlerwahrscheinlichkeit auszahlen. Ein Problem dieses Modelles ist die Abnahme der Leistung mit der Zeit. Hier sind vor allem die Genauigkeit und die damit einhergehende Steigerung der Fehlerquote zu nennen. Die Aufrechterhaltung der Leistung wird in den meisten Fällen durch eine Stichprobe von Entscheidungen kontrolliert. Folgende Stichprobenverfahren werden derzeit angewandt:

- Zufallsstichproben: Dies ist die einfachste Methode. Sie ist aber bei einer unausgewogenen Verteilung über das gesamte Spektrum ineffizient.
- Geschichtete Stichproben: Im Falle einer unausgewogenen Wahrscheinlichkeitsverteilung verhilft dieses Modell zu einer ausgewogenen Verteilung. Eine Variante ist das Probability Proportional to Size Sampling.
- Modellgestütztes Sampling: Es wird ein separates Modell erstellt, das entscheidet, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Mensch in einer Schleifenaufgabe ausgewählt wird.

Um eine Messung mit ausreichender Signifikanz zu erhalten, müssen Hunderte Stichproben durchgeführt werden. Diese systematische Messung hat die Zählung der Wirksamkeit neuer Modelle, Regeln oder Algorithmen als Vorteil.

### 2.4.1 Industrieroboter

Diese Form der Robotik zeichnet sich dadurch aus, dass Mensch und Maschine nicht im selben Arbeitsbereich arbeiten. Es gibt zwei unterschiedliche Stufen dieser Interaktion (Botthof & Hartmann, 2015, S. 60–61):

#### Vollautomatisierte Roboterzelle

Hier ist der Mensch von der Maschine während der Interaktion dauerhaft durch eine Schutzzelle getrennt. Der Mensch befindet sich in dieser Zelle und bedient von dort den Roboter. Eine direkte Zusammenarbeit findet nicht statt.

#### Zutrittsbeschränkung

Hier ist die Abgrenzung nicht mithilfe eines Zaunes, sondern durch eine Lichtschranke oder Trittmatten gegeben. Die MitarbeiterInnen können zum Roboter gelangen, dieser beendet aber nach Eintritt seine Tätigkeit.

In Abbildung 2-23 sind diese Interaktionen grafisch dargestellt.

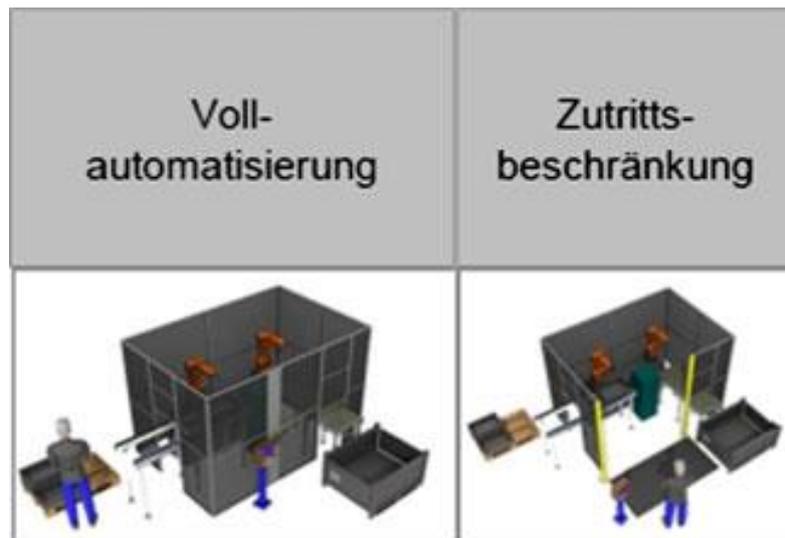


Abbildung 2-23 | Beispielbild für die Anwendung von Industrierobotern (Botthof & Hartmann, 2015, S. 60)

## 2.4.2 Leichtbaurobots

Der Vorteil der Leichtbauroboter ist der Wegfall von trennenden Schutzgittern. Somit können Mensch und Roboter in einem Arbeitsraum arbeiten (Hans-Jürgen Buxbaum, 2020, S. 99–101). Diese Form der Mensch-Roboter-Interaktion ist am Markt etabliert und es gibt repräsentative Anwendungsbeispiele von HerstellerInnen (Hans-Jürgen Buxbaum, 2020, S. 70–71). In Abbildung 2-24 ist eine Übersicht von MRK-Robotern dargestellt.

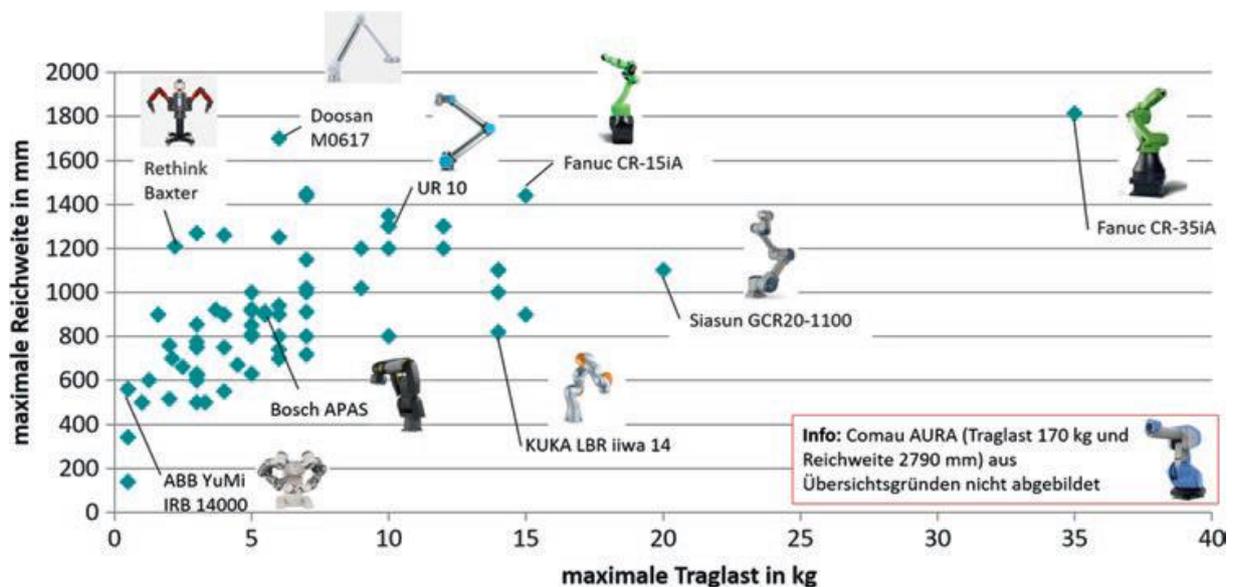


Abbildung 2-24 | Übersicht von MRK-Robotern (Hans-Jürgen Buxbaum, 2020, S. 71)

## 2.4.3 Schwerlastcobots

Die Leichtbauroboter haben sich mittlerweile am Markt etabliert, aber sind nur für begrenzte Anwendungen nutzbar. Neben der maximalen Nutzlast ist die limitierte Reichweite ein Problem. Aus diesem Grund gibt es laufende Forschungsprojekte, um

diese Herausforderungen zu lösen. Wirtschaftliche Hindernisse sind ebenfalls vorhanden. Die Skalierbarkeit der Interaktionssteuerung (z. B. die exakte Kraftsteuerung) und der Sicherheitslösungen (z. B. seriell-elastische Antriebe) zählt zu einem zu lösenden Problem. Die Risikobewertung und Zertifizierung sind mit hohem monetärem Aufwand verbunden. Es gibt mit den Comau-Systemen bereits Cobots mit einer Nutzlast von 110 kg. Sie verbinden die Funktionen von Industrierobotern und kollaborativen Robotern. Das einzige Hindernis, das noch nicht gelöst wurde, ist die limitierte Reichweite. Hierfür könnte ein Schwerlastroboter auf einer mobilen Plattform montiert werden. Diese Lösung wird in der Zukunft eine vernünftige Umsetzung erfahren (Hans-Jürgen Buxbaum, 2020, S. 92–93).

#### 2.4.4 Transportroboter

Neben Robotern, die auf derselben Stelle stehen, gibt es jene, die für den Transport von Gütern angewendet werden. Folgende Anforderungen sind an solche Systeme gebunden (Botthof & Hartmann, 2015, S. 70):

- Es muss eine deutliche Vereinfachung der Nutzung gegeben sein.
- Reduktion des Konfigurationsaufwandes und der Komplexität.
- Erhöhung der Eigenintelligenz der Transportsysteme.
- Die Steigerung des Automatisierungsgrades der Fahrzeuge muss für die Anpassung der äußeren Umgebungsveränderungen gegeben sein.

In Abbildung 2-25 ist eine Lösung zum Transport von Paletten zu sehen. Das System beinhaltet ein Schleppfahrzeug und einen autonomen Schubmaststapler. Diese Fahrzeuge kommunizieren auf direktem Weg miteinander und tauschen nötige Informationen aus. Platzverhältnisse und Einflüsse der Umgebung können optimiert und Fahrwege automatisch bestimmt werden. Eine vollkommene Automatisierung der Be- und Entladung von Routinezügen ist möglich (Botthof & Hartmann, 2015, S. 71).



Abbildung 2-25 | Beispielbild für das automatisierte Be- und Entladen von Routinezügen (Botthof & Hartmann, 2015, S. 71)

In der Zukunft wird es eine neue Form von Mensch-Maschine-Interaktionen geben, das Arbeiten auf ‚Augenhöhe‘. In dieser geht es nicht nur um die Sicherheitseinrichtungen mithilfe von Sensorik, sondern um eine Autonomie der Roboter. Er sollte über eine Intelligenz verfügen und seine Umgebung und das Fertigungsverfahren besser wahrnehmen. Die Maschine muss auf äußere Umstände selbstständig reagieren und neues Wissen erlangen. Des Weiteren soll er autonom seinen Ort ändern können (Botthof & Hartmann, 2015, S. 67). In Abbildung 2-26 ist der Wandel der MRK dargestellt.

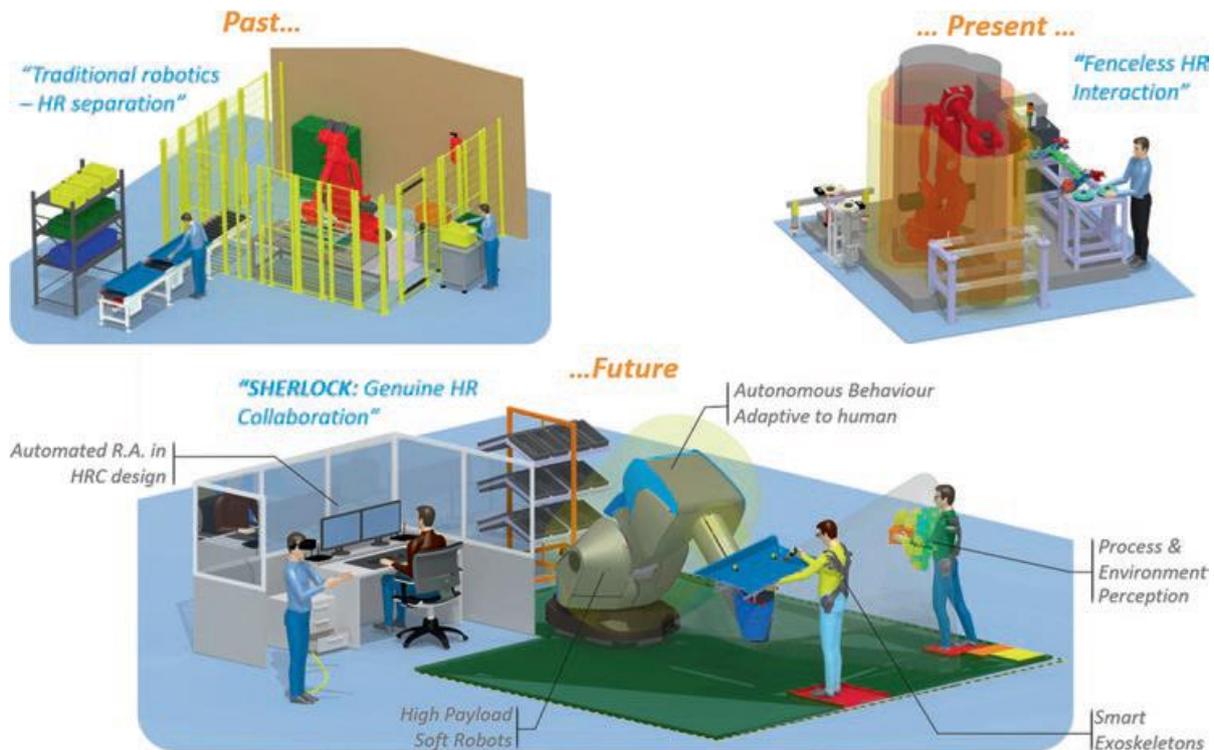


Abbildung 2-26 | Der Wandel der Mensch-Maschine-Interaktion (Hans-Jürgen Buxbaum, 2020, S. 102)

Somit kann zusammengefasst werden, dass die MRK ein zentraler Faktor für die körperliche Entlastung des Menschen ist. Im nächsten Kapitel wird auf den Stand der Technik in der Chemieindustrie in Bezug auf Robotik und Assistenzsysteme eingegangen.

## 2.5 Stand der Technik in der Chemieindustrie

Auch in der Chemieindustrie ist die Digitalisierung angekommen. Diese Branche zeichnet sich schon länger durch einen hohen Grad von Automatisierung, Vernetzung und eine umfassende Anwendung von computergestützten Systemen aus. Vor allem im Produktionsbereich sind der Einsatz von Assistenzsystemen und Robotik und die Vernetzung diverser Anlagen ein zentrales Thema. Ziel dieser Branche ist es, durch gezielten Einsatz von Assistenzsystemen eine ressourceneffiziente und nachhaltige Produktion aufzubauen (Baumhauer et al., 2019).

Eine Anwendung von Assistenzsystemen wird in dem Modell der digitalen Anlage realisiert. Hierbei handelt es sich um einen vollständig digital gesteuerten und integrierten Chemiestandort. Grundlage ist die Erstellung eines 3-D-Modells der kompletten Produktionshalle. Dieses kann bei der Inbetriebnahme helfen, indem die Prozesse virtuell simuliert werden. Sobald die Anlage in Betrieb ist, herrscht eine komplette Vernetzung der Anlagen und ein Datenaustausch zwischen den Komponenten mit einer eigenständigen Sensorik (z. B. Pumpen) findet statt. Die AnwenderInnen werden durch das System auf einen drohenden Ausfall hingewiesen, bevor es so weit ist. Diese Informationen erhalten sie auf ihre Tablets oder Smartwatches. Mithilfe von AR ist die reale Welt mit der digitalen verbunden, wodurch Live-Daten den AnwenderInnen zur Verfügung stehen. Dies ist ein kleiner Teil der Anwendungen von digitalen Assistenzsystemen in einer chemischen Produktion (Förster et al., 2016, S. 3–4).

Es gibt weiterhin Betriebe, die zögerlich mit dem Thema Digitalisierung in der Produktion umgehen. Hier sind vor allem die Explosionsschutzproblematik und Datensicherheit Gründe. Die Datenübertragung vom ‚Feld‘ zum Rechner ist die größte Herausforderung. Hier ist die Übertragung von z. B. Ein- und Ausbefehlen vom Schaltschrank zu den Pumpen gemeint. Der Einsatz von Assistenzsystemen beschränkt sich auf mobile Wearables wie Tablets. Es wird noch Überzeugungsarbeit nötig sein, dass die Philosophie der Industrie 4.0 flächendeckend in der chemischen Industrie angekommen ist (Schenk, 2016, S. 33–34). Diese Arbeit soll dazu beitragen, den Einsatz von Assistenzsystemen in der Chemieindustrie auszubauen.

Wie beschrieben gibt es neben der Problematik der Datensicherheit das Thema Explosionsschutz, auf den im Folgenden eingegangen wird (Firma Stahl):

Für die Erzeugung einer Explosion sind, wie in Abbildung 2-27 zu sehen, drei Faktoren verantwortlich:

1. Brennbarer Stoff
2. Sauerstoff (Luft)
3. Zündquelle

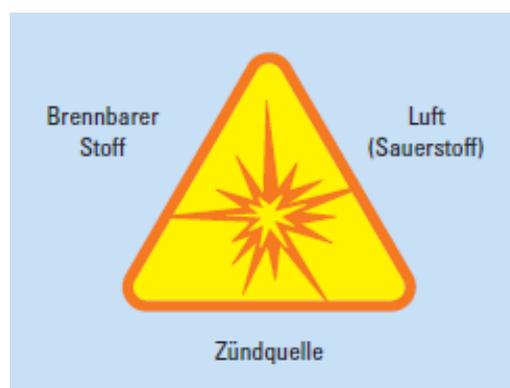


Abbildung 2-27 | Faktoren für eine Explosion (Firma Stahl, S. 6)

**Brennbare Stoffe** liegen in Form von Gasen, Nebeln, Dämpfen oder Stäuben vor. Diese Stoffe können mit der Luft eine **explosionsfähige Atmosphäre (Ex-Bereich)** bilden. Dies ist bei einer atmosphärischen Bedingung der Fall, d. h. einer Temperatur zwischen  $-20^{\circ}\text{C}$  bis  $60^{\circ}\text{C}$  und einem Druckbereich von 0,8 bar bis 1,1 bar, sowie einem Sauerstoffgehalt von 21 %.

Ex-Bereiche sind nicht gleichermaßen gefährdet und können in drei Zonen eingeteilt werden:

- Zone 0: In diesem Bereich ist über längere Zeit oder häufig eine Ex-Atmosphäre vorhanden.
- Zone 1: In diesem Bereich ist im Normalbetrieb gelegentlich eine Ex-Atmosphäre vorhanden.
- Zone 2: In diesem Bereich ist im Normalbetrieb selten oder für kurze Zeit eine Ex-Atmosphäre vorhanden.

In Abbildung 2-28 ist diese Zoneneinteilung dargestellt.

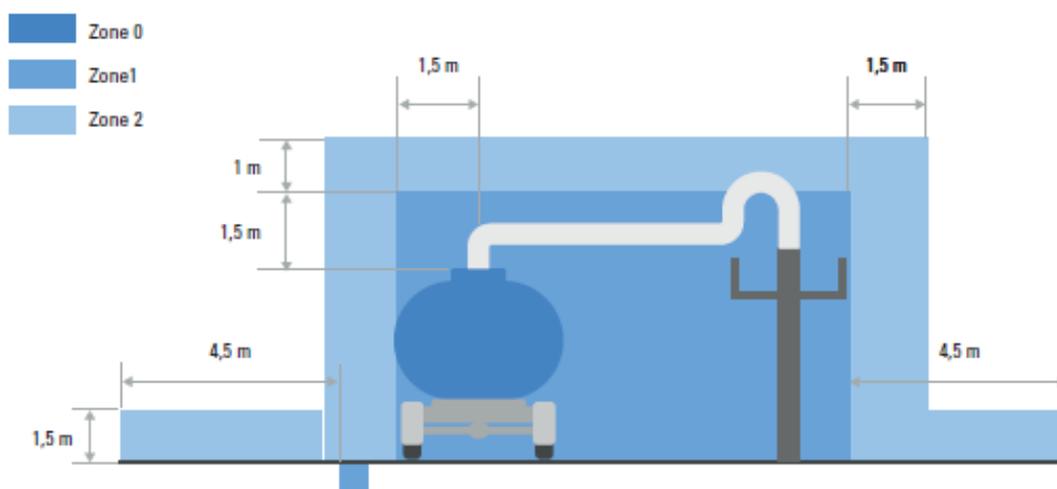


Abbildung 2-28 | Einteilung von Ex-Bereichen (Firma Stahl, S. 22)

Es gilt, in diesen Bereichen eine Explosion zu verhindern. Da in einer Produktion mit zum Beispiel Lösungsmitteln ein brennbarer Stoff vorhanden ist, muss die Vermeidung einer Zündquelle das oberste Ziel sein.

Zu Zündquellen zählen unter anderem:

- Heiße Oberflächen
- Elektrische Anlagen
- Elektromagnetische Wellen
- Mechanisch erzeugte Funken

Für das Thema Assistenzsysteme sind Vorgaben in einem Ex-Bereich zu berücksichtigen. Folgende Möglichkeiten zur Umsetzung sind vorhanden:

- Alle möglichen Zündquellen außerhalb dieser Zone positionieren
- Der Einsatz von zulässigen Geräten für die jeweilige Ex-Zone

Geräte zur Verwendung in explosionsgefährdeten Bereichen werden in Kategorien für die jeweiligen Ex-Zonen eingeteilt. Es ist zu erwähnen, dass es zu keiner Verhinderung der Explosion kommen kann, sondern zur Eindämmung der Wahrscheinlichkeit einer Explosion.

Geräte für Ex-Bereiche sind teilweise nicht am Markt vorhanden oder teuer. Somit kann die explosionsfähige Atmosphäre ein Hindernis für den Einsatz von Assistenzsystemen darstellen. Nachdem die theoretischen Grundlagen geklärt sind, folgt im anschließenden Kapitel eine Zusammenfassung der Assistenzsysteme.

## 2.6 Übersicht und Zusammenfassung der recherchierten Assistenzsysteme

Nach der Suche und Recherche der Assistenzsysteme findet in Tabelle 3 deren Vergleich statt. Es wird auf die Vor- und Nachteile eingegangen und Bezug auf die chemische Industrie genommen.

Tabelle 3 | Zusammenfassung der Assistenzsysteme (Eigendarstellung)

Assistenzsystem	Beispiel	Vorteil	Nachteil	Anmerkung bezüglich chemischer Industrie
<u>Mobile Assistenzsysteme</u>	Tablet	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steuerung der Maschinen möglich</li> <li>• Leichte Kommunikation möglich</li> <li>• Augmented Reality möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mindestens eine Hand wird für die Bedienung benötigt</li> </ul>	Ist in einer Ex-Ausführung am Markt vorhanden, somit problemlos anwendbar
	Datenbrille	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hände sind für die Arbeit frei</li> <li>• Leichte Kommunikation möglich</li> <li>• Augmented Reality möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akzeptanz der MitarbeiterInnen notwendig</li> <li>• Steuerung der Maschinen nicht möglich</li> </ul>	Ist in einer Ex-Ausführung am Markt vorhanden, somit problemlos anwendbar
	Smartwatch	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steuerung der Maschinen möglich</li> <li>• Leichte Kommunikation möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Augmented Reality nicht möglich</li> <li>• Akzeptanz der MitarbeiterInnen notwendig</li> </ul>	Ist in einer Ex-Ausführung am Markt vorhanden, somit problemlos anwendbar
<u>Interaktive Assistenzsysteme</u>	Unterarmcomputer	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Endgerät gibt eine akustische, haptische oder visuelle Rückmeldung an die AnwenderInnen</li> <li>• Effizienzsteigerung der MitarbeiterInnen in der Produktion</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akzeptanz der MitarbeiterInnen notwendig</li> </ul>	Anwendung in Ex-Zonen noch nicht möglich
<u>Gamifizierte Assistenzsysteme</u>	Trainingsspiele	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weiterbildung oder Training bei neuen MitarbeiterInnen und neuen Anlagen</li> <li>• Steigerung der Motivation und der Leistungsbereitschaft</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akzeptanz der MitarbeiterInnen notwendig</li> <li>• Einführung von Plattformen muss von der Geschäftsführung akzeptiert werden</li> </ul>	Ist in Kombination mit mobilen Assistenzsystemen vor allem zur Schulung und für die Instandhaltung bedeutend
<u>Kontextintensive Assistenzsysteme</u>	Sensorarmband	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Temperaturen am Arbeitsbereich messen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akzeptanz der MitarbeiterInnen notwendig</li> </ul>	Anwendung in Ex-Zonen möglich
<u>Exoskelette</u>	Exoskelett der Firma German Bionic <sup>1</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entlastung von bis zu 60 Pfund</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohes Eigengewicht</li> <li>• Hohe Investitionskosten</li> <li>• Akzeptanz der MitarbeiterInnen notwendig</li> </ul>	Ist begrenzt anwendbar, da es dieses Exoskelett nicht in Ex-Ausführung gibt

<sup>1</sup> <https://www.germanbionic.com>

	Paexo Back <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entlastung von ca. 25°kg</li> <li>• Rein mechanisches System</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Akzeptanz der MitarbeiterInnen notwendig</li> </ul>	Da keine elektrischen Komponenten vorhanden sind, ist dieses System problemlos in einer Ex-Zone anwendbar
<u>Robotik</u>	Industrieroboter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Lasten und Reichweiten sind möglich</li> <li>• Schon am Markt etabliert und es gibt Anwendungsbeispiele</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mensch-Roboter-Interaktion nicht möglich</li> </ul>	Außerhalb einer Ex-Zone vorteilhaft zur Substitution von Arbeiten mit schweren Lasten
	Leichtbaucobots	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wegfall von trennenden Schutzzäunen</li> <li>• Mensch-Roboter-Interaktion möglich</li> <li>• Schon am Markt etabliert und es gibt Anwendungsbeispiele</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nur Transport von kleinen Lasten möglich</li> </ul>	Anwendung nicht in Ex-Zonen möglich
	Schwerlastcobots	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sie verbinden die Funktionen von Industrierobotern und kollaborativen Robotern</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Neben der maximalen Nutzlast ist die limitierte Reichweite ein Problem</li> <li>• Die Skalierbarkeit der Interaktionssteuerung (z. °B. die exakte Kraftsteuerung) und der Sicherheitslösungen (z. °B. seriell-elastische Antriebe) zählt zu einem zu lösenden Problem</li> </ul>	Außerhalb einer Ex-Zone vorteilhaft zur Substitution von Arbeiten mit schweren Lasten
	Transportroboter	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Platzverhältnisse und Einflüsse der Umgebung können optimiert und Fahrwege automatisch bestimmt werden.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es muss eine deutliche Vereinfachung der Nutzung gegeben sein</li> <li>• Erhöhung der Eigenintelligenz der Transportsysteme notwendig</li> <li>• Die Steigerung des Automatisierungsgrades der Fahrzeuge muss für die Anpassung der äußeren Umgebungsveränderungen gegeben sein</li> </ul>	Außerhalb einer Ex-Zone vorteilhaft zur Substitution von Transport mit schweren Lasten. Die Infrastruktur in der chemischen Industrie ist aber noch nicht ausreichend ausgereift.

<sup>2</sup> <https://paexo.com/>

Wie Tabelle 3 zu entnehmen ist, haben Assistenzsysteme Vor- und Nachteile und für die chemische Industrie sind diese unterschiedlich geeignet. Vor allem von Exoskeletten und Robotern ist eine hohe ergonomische Entlastung zu erwarten. Kognitiv sind vor allem Tablets, Smartwatches und Datenbrillen relevant. Die Verwendung von Transportrobotern kommt in der chemischen Industrie selten vor, da die Anwendung in einer Ex-Zone noch nicht möglich ist. Darüber hinaus ist der Aufbau einer digitalen Infrastruktur notwendig. Hier haben chemische Unternehmen noch Aufholbedarf. Kontextintensive Assistenzsysteme wie Sensorarmbänder sind für die ArbeiterInnen und deren Vorgesetzten wertvoll. Ein Überblick der körperlichen Belastung der ArbeiterInnen ist die Folge.

Es wird im Folgenden eruiert, welche dieser Systeme für das Anwendungsbeispiel einsetzbar sind. Die nächsten Schritte sind die Prüfung der Systeme und die Testung der Effizienz. Der Markt wird durchsucht und relevante Produkte mit Preisen herangezogen, da die wirtschaftliche Komponente von hoher Bedeutung ist. Die Software *ema Work Designer* ermöglicht die Modellierung, Simulation und ergonomische Bewertung dieser Assistenzsysteme. Nachdem die theoretischen Grundlagen geklärt und zusammengefasst worden sind, folgt nun die Anwendung an einem Praxisbeispiel.

## 3 Simulationsbasierte Gestaltung und Modellierung der Abfüllstation

### 3.1 Use-Case Abfüllstation

Der Use-Case wird von der Firma DIC Performance Resins zur Verfügung gestellt. Es handelt sich um den Abfüllprozess der zu verkaufenden Produkte in Fässern.

„DIC Performance Resins ist eine 100 % Tochter der DIC Corporation. Am Standort in Wien produzieren sie seit mehr als 100 Jahren hochwertige synthetische Harze, die in der Farben-, Druck-, Automobil- und Haftklebstoffindustrie zum Einsatz kommen.

Ein zentraler Schwerpunkt ihrer Forschung und Entwicklung liegt im Bereich der Oberflächentechnologie. Neben traditionellen lösemittelhaltigen Systemen entwickeln sie in enger Zusammenarbeit mit ihrem Mutterhaus innovative Produkte für wässrige, lösemittelfreie und UV –vernetzende Beschichtungen. Diese breite Produktpalette qualifiziert sie als Ihr Partner in allen Bereichen der Oberflächenbeschichtungen“ (*DIC Performance Resins GmbH, 2022*).

Zu ihren Produkten zählen (*DIC Performance Resins GmbH, 2022*):

- Acrylate
- Epoxide
- Phenole
- Polyester
- Polyurethane

Die ausgewählte Anlage ist zur Abfüllung von Polyurethanen, Polyurethandispersionen und Polyacrylatharze in 200 Liter fassenden Spannringfässern, 60 Liter Spannringfässern und 1000 Liter Kunststoff IBC geplant. Bei diesen Produkten handelt es sich um Rohstoffe für Farben, Lacke und Beschichtungen (*DIC Performance Resins GmbH, 2022*). In Abbildung 3-1 ist ein Überblick der weiteren Vorgehensweise zu sehen.

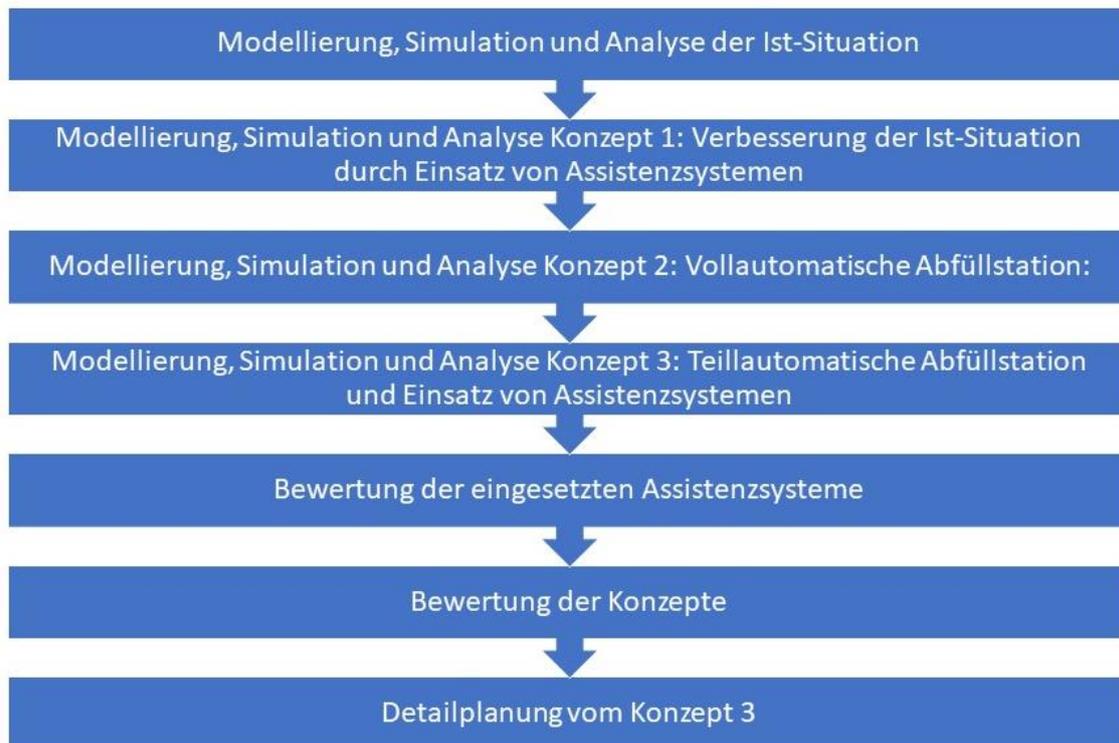


Abbildung 3-1 | Vorgehensweise im Praxisteil (Eigendarstellung)

Anfangs wird die Ist-Situation modelliert, simuliert und analysiert. Dieselbe Vorgehensweise erfolgt für drei Verbesserungskonzepte. Anschließend werden die eingesetzten Assistenzsysteme bewertet und die Konzepte gegenübergestellt und beurteilt. Abschließend wird in diesem Kapitel eine Detailplanung von Konzept 3 durchgeführt.

## 3.2 Simulationsbasierte Modellierung verschiedener Arbeitsplatzkonzepte

In diesem Kapitel steht die Simulation des Abfüllprozesses im Vordergrund. Am Anfang wird die Ist-Situation herangezogen und die Schwachstellen des Systems werden deklariert. Anschließend werden die Assistenzsysteme, die kostengünstige Abhilfe schaffen sollen, angewendet. Anschließend folgen die Simulation und Bewertung einer vollautomatischen Abfüllanlage. Abschließend wird eine halbautomatische Variante der Abfüllstation erstellt.

### 3.2.1 Ist-Analyse bestehender Abfüllung

In diesem Kapitel wird die Ist-Situation beschrieben, modelliert, simuliert und analysiert.

## Beschreibung der Simulation

Im ersten Schritt wird der Ist-Zustand modelliert. Die Ausgangssituation wird in Abbildung 3-2 dargestellt. Hierzu werden CAD-Files von der Internetseite [www.grabcad.at](http://www.grabcad.at) genutzt und teilweise mit Autocad angepasst. Unter anderem sind der Reaktor, die Pumpe und der Filter von dieser Internetseite. Anschließend wird die Simulation des Arbeitsprozesses aufgebaut. Die Durchführung der Arbeitsschritte erfolgt laut Flow-Chart. Die Simulation eines biegeschlaffen Schlauches und Papiers ist derzeit in ema nicht möglich. Daher muss auf eine starre Lösung zurückgegriffen werden.

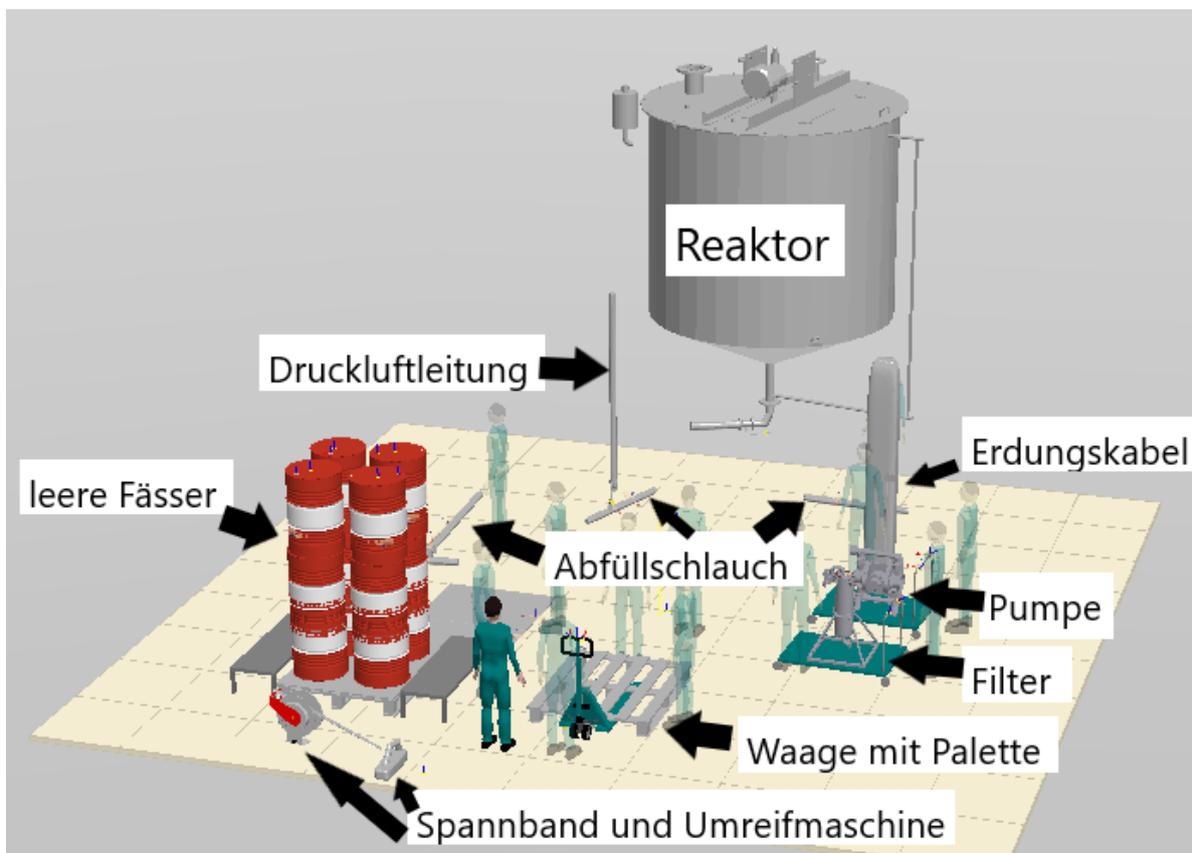


Abbildung 3-2 | Modellierung des Ist-Zustandes (Eigendarstellung)

In der Abfüllhalle sind vier Kessel unterschiedlicher Größe vorhanden. Es gibt derzeit keinen fixen Abfüllpunkt, sondern unter jedem Kessel wird separat abgefüllt. Daher sind die Pumpen, Filter und Waagen alle samt in mobiler Ausführung vorhanden. Die Abfüllung der Produkte erfolgt in Fässer und IBC. Bei einem IBC handelt es sich um einen quadratförmigen Behälter für flüssige Stoffe, in Abbildung 3-3 ist dieser zu sehen.



**Abbildung 3-3 | Beispiel für einen IBC (Eigendarstellung)**

Da die Fassabfüllung ergonomisch ungünstiger ist, wird diese in dieser Arbeit simuliert und optimiert. In der Halle ist ein Reaktor neben den anderen situiert. Zwei Meter um diese Kessel sind jeweils Ex-Zonen. Daher herrscht in der kompletten Halle eine explosionsfähige Atmosphäre, die Gerätschaften der Abfüllung müssen dementsprechend ausgelegt sein. Die Bewertung der Ex-Zone erfolgt durch die Sicherheitsfachkraft der Firma DIC.

Derzeit gibt es keine detaillierte Arbeitsanweisung der zu tätigen Schritte, somit kann es in der Praxis zu unterschiedlichen Arbeitsweisen kommen. Idealerweise ist der Arbeitsprozess wie in Abbildung 3-4 aufgebaut.

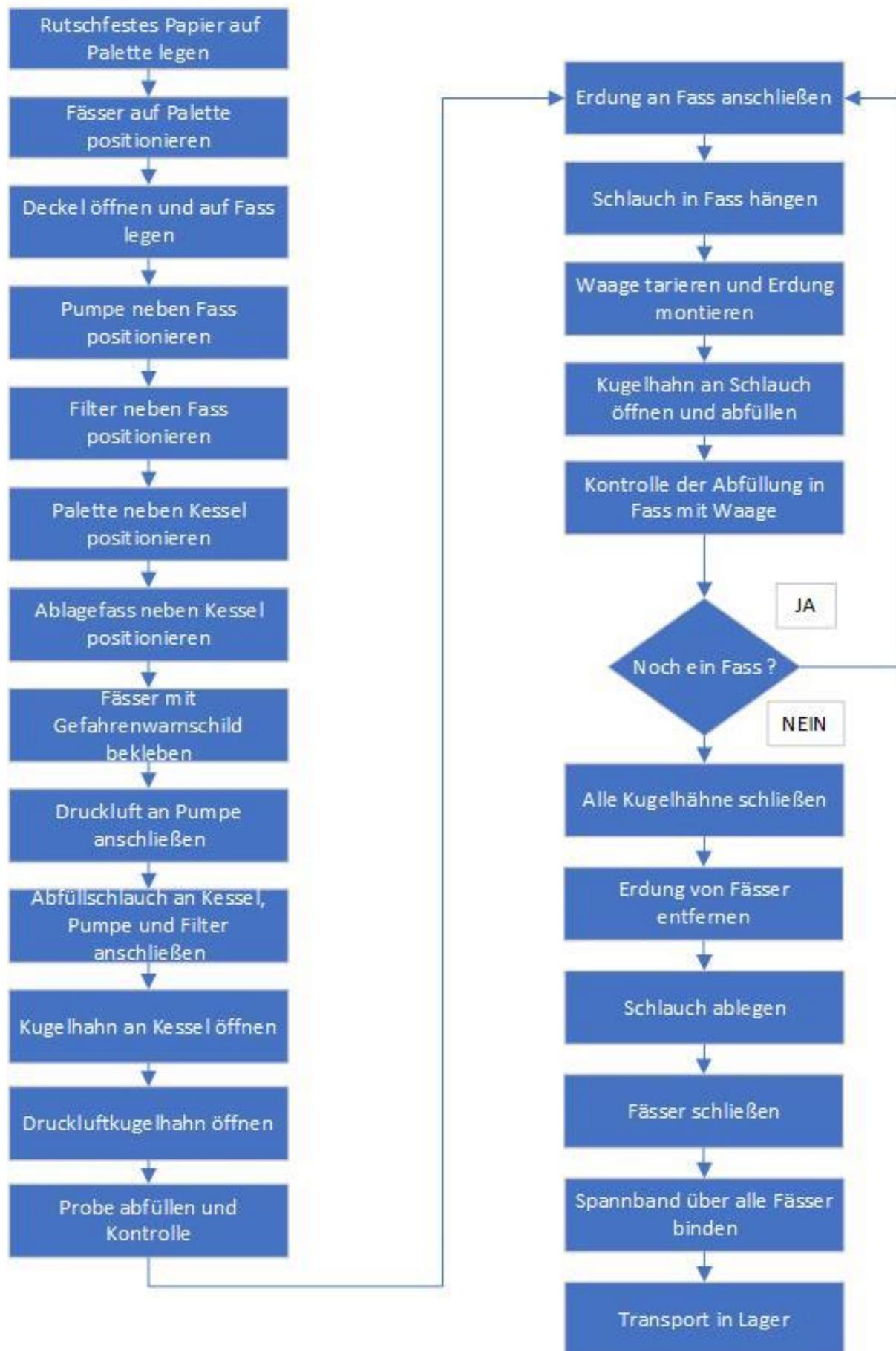


Abbildung 3-4 | Flow-Chart Ist-Situation (Eigendarstellung)

Anfangs ist ein Papier auf einer CP2-Palette zu platzieren. Dies soll die Fässer am Rutschen hindern. Eine CP-Palette ist eine Holzpalette, die nach Vorschriften der chemischen Industrie gefertigt wird. Es gibt neun unterschiedliche Größen, die sich durch ihre Abmessungen und Ausführungen unterscheiden (Voges). Anschließend positionieren die ArbeiterInnen vier Fässer auf der Palette. Die Lieferung der Behälter erfolgt, wie in Abbildung 3-5 zu sehen, dreilagig. Die Fässer sind leer und haben ein Gewicht von je 12 kg. Von einem Kessel werden 52 Behälter pro Charge abgefüllt. Im letzten Jahr wurden ca. 22.000 dieser Fässer mit Material befüllt.



Abbildung 3-5 | Lieferung der Fässer (Eigendarstellung)

Aufgrund der Höhe der ersten Schicht müssen die MitarbeiterInnen eine kleine Aufstiegshilfe verwenden, um zu den Fässern zu gelangen. Dazu wird eine leere Palette verwendet oder eine andere Aufstiegshilfe. Die Arbeitsfolge ist in Abbildung 3-6 skizziert.

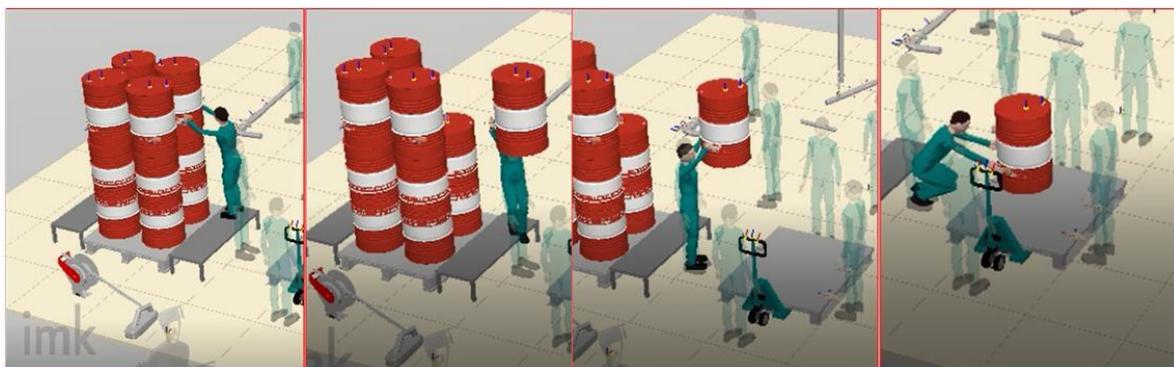


Abbildung 3-6 | Arbeitsfolge Fasspositionierung (Eigendarstellung)

Es folgt die Öffnung des Deckels der Fässer. Die Beistellung eines mobilen Filters und einer Membranpumpe neben dem Kessel ist Teil der Arbeitsvorbereitung. Der Filter ist zur Filtrierung des Endproduktes notwendig. Durch das Filtern wird die Qualität der Produkte gesteigert, da kleine Verschmutzungen herausgefiltert werden. Die Pumpe

ist notwendig, damit das Produkt vom Reaktor über den Filter in das Fass gelangt. Danach wird die Palette mit einer mobilen Waage, die in der Simulation mithilfe eines Hubwagens dargestellt ist, zum Kessel gebracht. In Abbildung 3-7 ist eine mobile Waage zu sehen.

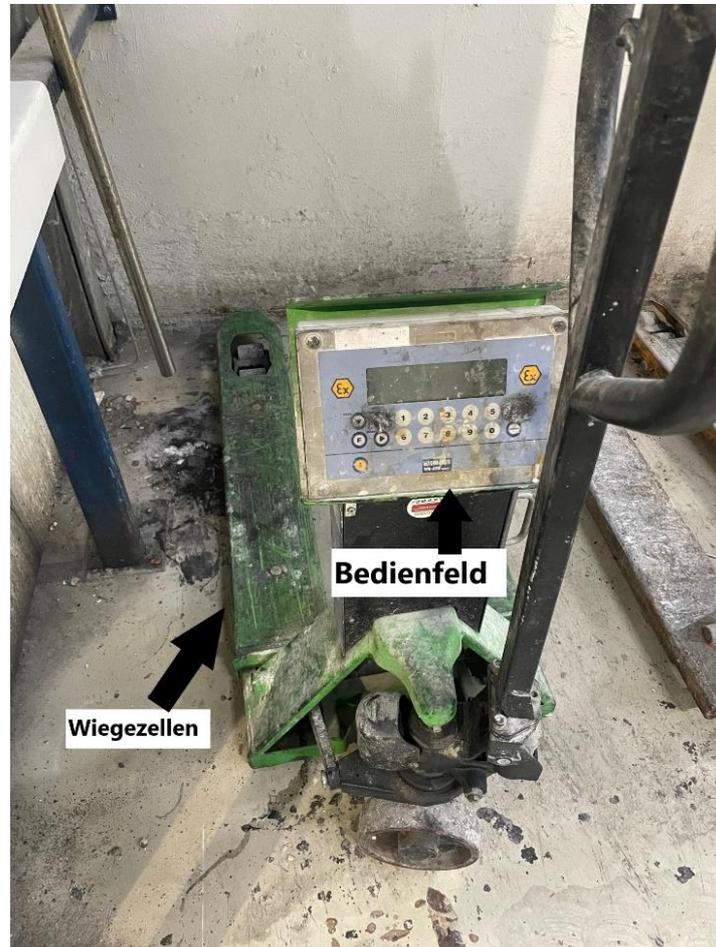


Abbildung 3-7 | Mobile Waage (Eigendarstellung)

Ein weiteres Fass wird beigestellt, das als Ablagefläche für den Prüfbehälter, die Aufkleber und als Ablage des Schlauches gilt. Anschließend wird der Behälter beklebt. Im Normalfall werden diese mit Gefahrenhinweisschildern und Produktbezeichnungen versehen. In der Simulation ist eine einzelne Beklebung vorgesehen. Nach diesem Arbeitsschritt folgt die Montage der Schläuche. Es werden folgende Verbindungen montiert: Kessel zu Pumpe, Pumpe zu Filter, Druckluft zu Pumpe und am Filter wird der Abfüllschlauch angebracht. Aus Sicherheitsgründen sind anfangs geschlossene Kugelhähne verbaut. Damit die Membranpumpe arbeiten kann, ist ein Druckluftschlauch angeschlossen. In Abbildung 3-8 ist die Arbeitsfolge vom Aufbau des Arbeitsplatzes dargestellt und in Abbildung 3-9 ist der fertig aufgebaute Arbeitsplatz zu sehen.

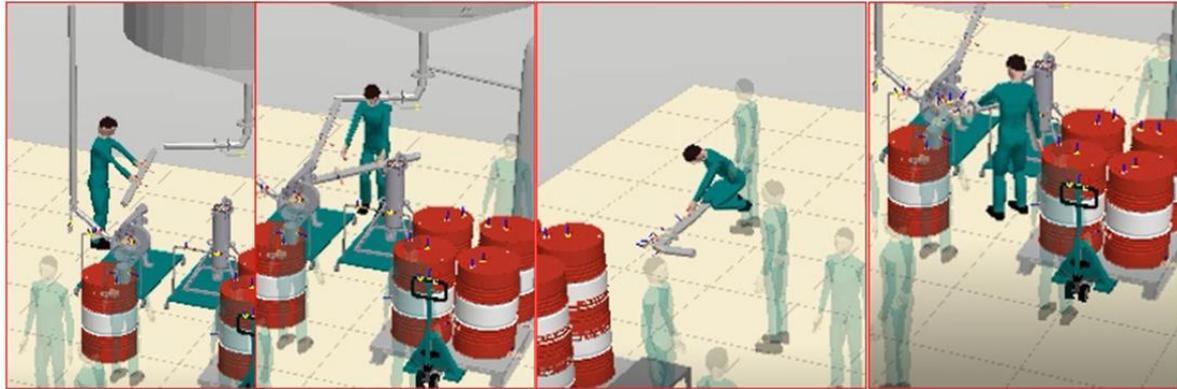


Abbildung 3-8 | Arbeitsabfolge Arbeitsplatzaufbau (Eigendarstellung)



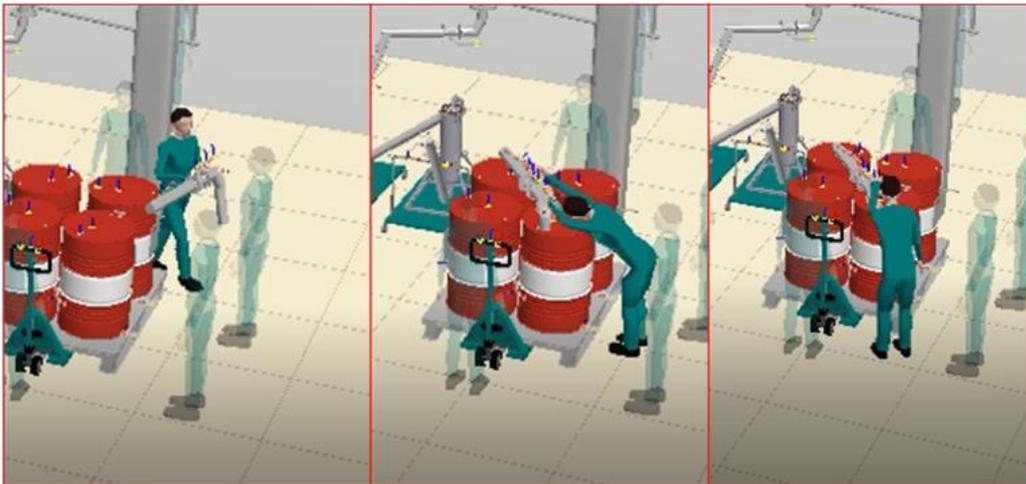
Abbildung 3-9 | Fertige Abfüllarbeitsplatz (Eigendarstellung)

In der Simulation sind die Schläuche als starre Verbindungen dargestellt. Die Befüllung kann gestartet werden. Nun folgt die Öffnung der Kugelhähne in folgender Reihenfolge:

Der Kugelhahn am Kessel und das Absperrorgan der Druckluft für die Pumpe werden geöffnet. Der nächste Schritt ist die Entriegelung des Kugelhahns am Abfüllschlauch. Bevor das Produkt in die Fässer gelangt, wird eine Probe in einen kleinen Behälter eingelassen. Nach kurzer Qualitätskontrolle kommt der Schlauch in das erste Fass. Vorher wurde die Erdung an das erste Fass angebracht. Dies ist notwendig, um eine statische Aufladung zu verhindern. Es folgt die Öffnung des Kugelhahns am Schlauch und die Befüllung des Fasses startet. Die AbfüllerInnen müssen stets vor Ort bleiben und die Waage beobachten. Sobald diese das gewünschte Gewicht anzeigt, wird der

Kugelhahn am Abfüllschlauch geschlossen. Erfahrungsgemäß kommt es zum wechselwirkenden Schließen und Öffnen der Absperrarmatur, bis das gewünschte Gewicht erreicht ist.

Dieser Abfüllprozess kann je nach Produkt unterschiedlich lange dauern durch die unterschiedlichen Viskositäten der abzufüllenden Produkte und den unterschiedlich benötigten Druck beim Abfüllen. In dieser Arbeit wird von einem zähen Produkt (Viskosität = 3.000 Millipascal (mPas)) und einem eher flüssigen Produkt (Viskosität = 200 mPas) ausgegangen. In der Simulation ist die Abfüllzeit mit 60 Sekunden pro Fass definiert, da die Simulationszeit bei realen Abfüllzeiten zu lange wäre. Die tatsächliche Abfüllzeit wird anschließend in eine Berechnung eingepflegt. Vor dem Umschluss des Schlauches sind das Trieren der Waage und der Anschluss der Erdung auf das andere Fass notwendig. Der Kugelhahn am Abfüllschlauch muss geschlossen werden, alle anderen Hähne bleiben offen. Der Schlauch wird in das nächste Fass gehängt. Der Vorgang wiederholt sich bis zum letzten Fass der Palette. Dieser Ablauf ist in Abbildung 3-10 dargestellt.



**Abbildung 3-10 | Arbeitsabfolge Fassbefüllung (Eigendarstellung)**

Ist die Palette erfolgreich befüllt, wird der Schlauch in das beige stellte Fass gehängt und die Kugelhähne werden in umgekehrter Reihenfolge geschlossen. Anschließend folgen die Demontage der Erdung und die Schließung der Fässer mit dem Deckel. Abschließend kommt ein Spannband über die Fässer, damit diese nicht verrutschen können. Somit kann die Palette in das Fertigwarenlager gebracht werden und die Befüllung weiterer Behälter startet. Dieser Vorgang wird pro Reaktor 13-mal wiederholt. In Abbildung 3-11 ist die finale Palette dargestellt.



Abbildung 3-11 | Fertige Palette mit befüllten Fässern und Spannband (Eigendarstellung)

### Analyse der Simulation

Nach der Simulation folgt die Analyse der gesammelten Daten. Hierbei stehen folgende Informationen im Vordergrund:

- Ergonomie
- Körperhaltung
- Lastanalyse
- Prozesszeit

In dieser Simulation wird von zwei unterschiedlichen Produktabfüllungen ausgegangen, zu einen von einem zähen Produkt, d. h. einem mit einer hohen Viskosität, und zum anderen von einem mit einer niedrigen Viskosität. Dies hat den Grund, dass sich bei steigender Viskosität die Abfüllzeit erhöht. Wie am Flow-Chart zu erkennen ist, sind Arbeitsschritte zu tätigen, die aus Sicherheitsgründen notwendig sind. Für neue MitarbeiterInnen kann dies am Anfang fordernd sein. Da keine gleichzeitige Befüllung der Fässer möglich ist, dauert dies am längsten. Die Arbeitsvorbereitung ist langwierig und körperlich fordernd. Dieser Vorgang wird einmal pro Charge vollzogen. Der Aufbau der Paletten erfolgt 13-mal pro Charge. In der Simulation wird eine Palette simuliert, wie an den Gesamtkörperpunkten in Abbildung 3-12 dargestellt wird. Die ergonomische Belastung wird nach jedem Arbeitsschritt eruiert. An der Farbskala ist zu erkennen, dass auf den Körper hohe Belastungen wirken.



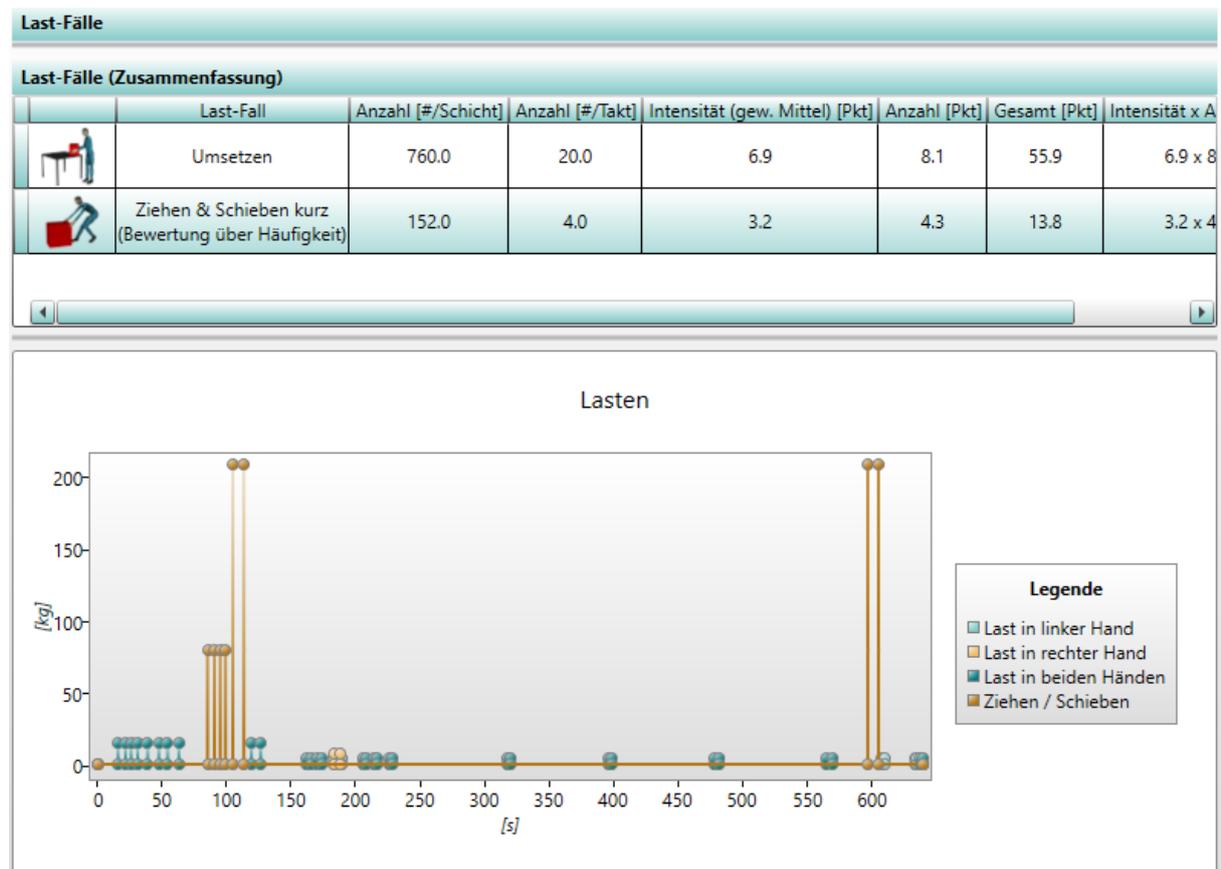
Abbildung 3-12 | Gesamtkörperpunkte (Eigendarstellung)

Vor allem das Heben und Ziehen der Fässer und der Paletten sind ergonomisch fordernd. Die Körperhaltung ist bei den getätigten Arbeiten ausbaufähig. Die Verteilung der Körperpunkte auf die jeweiligen Arbeitsschritte ist in Tabelle 4 erfasst.

**Tabelle 4 | Auflistung Körperpunkte vom Ist-Zustand (Eigendarstellung)**

	Punkte Bestückung der Palette	Punkte Aufbau	Punkte Abfüllung	Punkte Etikettieren	Punkte Umreifen	Punkte Gesamt	Punkte pro Charge
Ist- Zustand	41,5	20,5	45	0	3	110	1184

Es ist zu erkennen, dass vor allem das Bestücken der Palette, das Aufbauen des Arbeitsplatzes und die Abfüllung ergonomisch anspruchsvoll sind. Bei der Berechnung der Punkte pro Charge ist zu beachten, dass die Punkte für den Aufbau des Arbeitsplatzes nur einmal anfallen. In Abbildung 3-13 ist dargestellt, welche Tätigkeiten zu hohen Lastfällen führen.



**Abbildung 3-13 | Lastfälle (Eigendarstellung)**

Die höchsten Lasten entstehen beim Ziehen der mobilen Waage, da diese ein hohes Gewicht hat. Das Umsetzen der Fässer bewirkt eine hohe Beanspruchung des menschlichen Körpers. Neben den ergonomischen Kennzahlen ist jene der Prozesseffizienz zu beachten. In Abbildung 3-14 ist zu erkennen, dass der Großteil der getätigten Arbeiten nicht wertschöpfend ist. Hier schlägt sich vor allem die langwierige Abfüllprozedur nieder. Da die Befüllungen der Fässer einzeln und

nacheinander stattfinden, nimmt dies je nach Viskosität zwischen 80–90 % der Gesamtzeit in Anspruch. Der Hauptteil der Körperbewegungen besteht aus Stehen und Laufen.

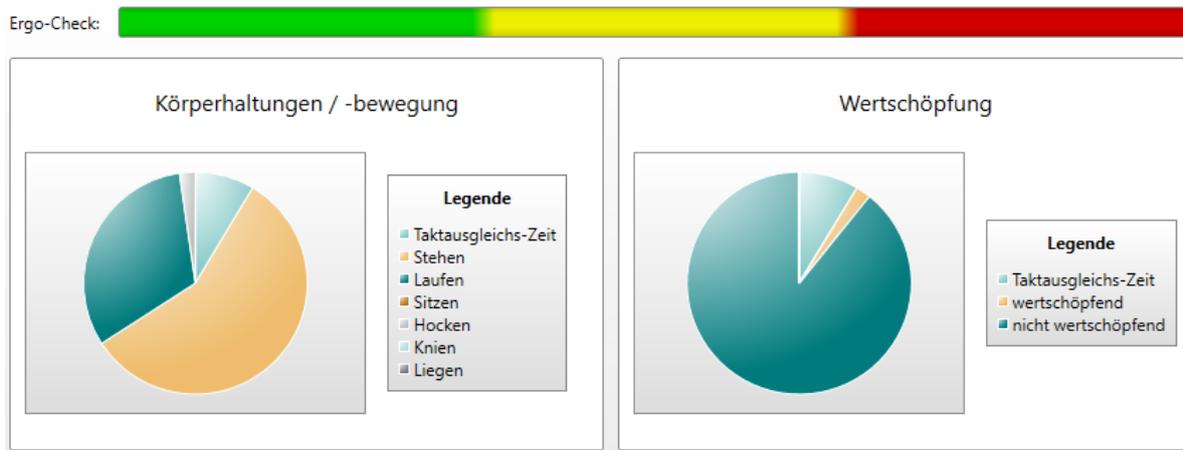


Abbildung 3-14 | Analyse Körperhaltung und Wertschöpfung (Eigendarstellung)

In Abbildung 3-15 sind die Prozesszeiten dargestellt. An erster Stelle stehen die Abfüllzeiten, die den Hauptanteil der Abfüllung bilden.

Allgemein		Verrichtungen						
		ID	Dauer [s]	anteil. Faktor	t $\bar{\sigma}$	Dauer [s]	ID	Bezeichnung
Taktzeit	700	67	60.000	1.00	60.000	60.000	80	Abfüllung kontrollieren
Simulationszeit [s]	640.12	74	60.000	1.00	60.000	60.000	82	Abfüllung kontrollieren
Takte pro Schicht [#]	38	82	60.000	1.00	60.000	60.000	87	Abfüllung kontrollieren
Nettoarbeitszeit [min/Schicht]	440	90	60.000	1.00	60.000	60.000	107	Abfüllung kontrollieren
beengter Arbeitsplatz (Bewegungsbereich < 2m)	<input type="checkbox"/>	9	9.610	1.00	9.610	9.610	7	Fass 3 aufnehmen
Extra 0a: Arbeit an sich bewegenden Te		5	8.721	1.00	8.721	8.721	3	Fass 1 aufnehmen
Extra 0b: Zugänglichkeit		29	8.690	1.00	8.690	8.690	21	Hubwagen Schieben
Extra 0c: Schwingungen, Impulse, Rücks		107	8.295	1.00	8.295	8.295	113	Hubwagen Schieben
Extra 0d: Gelenkstellungen		11	8.174	1.00	8.174	8.174	9	Fass 4 aufnehmen
Extra 0e: Andere körperliche Belastung		30	7.755	1.00	7.755	7.755	23	Ablagefass aufnehmen
Extra 0f: Benutzerdefinierter Wert 1		51	7.631	1.00	7.631	7.631	56	Kugelhahn Betätigen
Extra 0g: Benutzerdefinierter Wert 2		64	7.467	1.00	7.467	7.467	162	Erdung aufnehmen
Extra 0h: Benutzerdefinierter Wert 3		12	7.385	1.00	7.385	7.385	10	Fass 4 platzieren
		40	6.843	1.00	6.843	6.843	25	Druckluftschlauch aufnehmen
		15	2.821	1.00	2.821	2.821	158	Deckel 3 aufnehmen
		16	1.800	1.00	1.800	1.800	159	Deckel 3 platzieren
		17	1.800	1.00	1.800	1.800	160	Deckel 1 aufnehmen
		18	2.152	1.00	2.152	2.152	161	Deckel 1 platzieren
		19	1.631	1.00	1.631	1.631	154	Deckel 2 aufnehmen
		20	1.800	1.00	1.800	1.800	155	Deckel 2 platzieren
		21	6.265	1.00	6.265	6.265	11	zu Pumpe gehen
		22	0.568	1.00	0.568	0.568	15	Hand zu Pumpenwagen
		23	5.494	1.00	5.494	5.494	16	Pumpe Schieben
		24	3.816	1.00	3.816	3.816	17	Zu Filter gehen
		25	0.533	1.00	0.533	0.533	19	Hand zu Filterwagen

Abbildung 3-15 | Zeitanalyse Ist-Zustand (Eigendarstellung)

Diese Zeiten spiegeln die Abfüllzeiten einer Palette wider. In Tabelle 5 wird die Gesamtabfüllzeit der kompletten Charge berechnet. Es werden zwei Berechnungen in

Abhängigkeit der Viskosität getätigt. Für die Befüllung werden 720 Sekunden beziehungsweise 211 Sekunden pro Fass angenommen. Diese Werte stammen aus den Daten der Firma DIC. Sie wurden anhand von Beobachtungen und Pumpenleistungsdaten erstellt. Diese Zeiten gelten einerseits für die Abfüllung des zähesten Produktes und andererseits für jene des flüssigsten Produktes.

**Tabelle 5 | Abfüllzeit einer gesamten Charge im Ist-Zustand (Eigendarstellung)**

Produkt mit hoher Viskosität			Produkt mit niedriger Viskosität		
Fässer	Tätigkeit	Zeit	Fässer	Tätigkeit	Zeit
4	Palette bestücken	100 s	4	Palette bestücken	100 s
	Aufbau	109 s		Aufbau	109 s
	Befüllen	3012 s		Befüllen	978,8 s
	Etikettieren	24 s		Etikettieren	24 s
	Umreifen	35 s		Umreifen	35 s
8	Palette bestücken	100 s	8	Palette bestücken	100 s
	Befüllen	3012 s		Befüllen	978,8 s
	Etikettieren	24 s		Etikettieren	24 s
	Umreifen	35 s		Umreifen	35 s
12	Palette bestücken	100 s	12	Palette bestücken	100 s
	Befüllen	3012 s		Befüllen	978,8 s
	Etikettieren	24 s		Etikettieren	24 s
	Umreifen	35 s		Umreifen	35 s
⋮			⋮		
44	Palette bestücken	100 s	44	Palette bestücken	100 s
	Befüllen	3012 s		Befüllen	978,8 s
	Etikettieren	24 s		Etikettieren	24 s
	Umreifen	35 s		Umreifen	35 s
48	Palette bestücken	100 s	48	Palette bestücken	100 s
	Befüllen	3012 s		Befüllen	978,8 s
	Etikettieren	24 s		Etikettieren	24 s
	Umreifen	35 s		Umreifen	35 s
52	Palette bestücken	100 s	52	Palette bestücken	100 s
	Befüllen	3012 s		Befüllen	978,8 s
	Etikettieren	24 s		Etikettieren	24 s
	Umreifen	35 s		Umreifen	35 s
Gesamtzeit [s]		41332 s	Gesamtzeit [s]		14900,4 s
Gesamtzeit [min]		688,87 min	Gesamtzeit [min]		248,34 min
Gesamtzeit [h]		11,48 h	Gesamtzeit [h]		4,14 h

Tabelle 5 ist zu entnehmen, dass die Viskosität des abzufüllenden Produktes einen Einfluss auf die Gesamtzeit hat. Diese Werte sind als kürzeste und längste Zeit einer Abfüllung zu verstehen. Des Weiteren ist zu erwähnen, dass der Aufbau des Arbeitsplatzes pro Charge einmal durchzuführen ist. In Abbildung 3-16 ist die Aneinanderreihung der Arbeiten für die ersten zwei Paletten grafisch dargestellt.

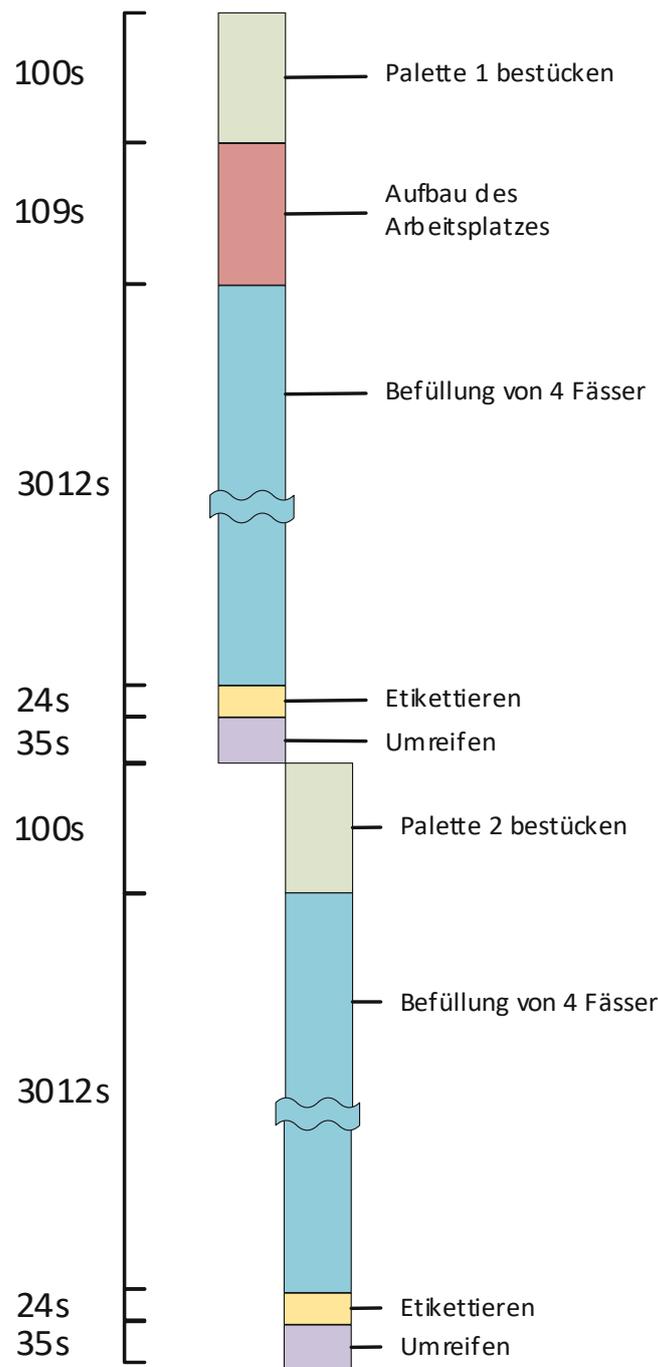


Abbildung 3-16 | Reihenfolge der Abfüllung im Ist-Zustand (Eigendarstellung)

In Abbildung 3-16 ist zu erkennen, dass die Arbeiten nicht parallel verrichtet werden können. Im Kapitel 3.4.3 wird auf die aktuellen Produktionsdaten eingegangen.

Neben der Analyse mit ema wurde eine Dezibel(dB)-Messung während des Abfüllprozesses durchgeführt. Überschreitungen eines Wertes von 80 dB über acht Stunden sowie Spitzen bis 137 dB sind zu vermeiden. Sollte eine Überschreitung nicht vermeidbar sein, müssen unverzüglich Schutz- und Vorbeugemaßnahmen angepasst werden, um die Überschreitung zu verhindern (Arbeitsinspektion, 2021). Folgende Maßnahmen sind festzulegen(Arbeitsinspektion, 2021):

- Bauliche und raumakustische Änderungen durchführen
- Verbesserungen an der Lärmquelle
- Arbeitsmittel und -vorgänge umgestalten
- Technische und organisatorische Maßnahmen durchführen



Abbildung 3-17 | links: Messung am Abfüllpunkt, rechts: Messung neben der Pumpe (Eigendarstellung)

In Abbildung 3-17 sind die Ergebnisse der Messung zu sehen. Für diese Bestimmung wurde das Messgerät Roline RO 1350A Sound Level Meter 12 kHz 35 verwendet. Die Messungen fanden jeweils neben der Abfüllpumpe und dem Abfüllpunkt statt. Es ist zu erkennen, dass der Lärm am Abfüllpunkt den Grenzwert nicht überschreitet. Aus dieser Zählung ist abzuleiten, dass die Abfüllung nicht zu nahe neben der Pumpe stattfinden sollte, um die Arbeitsbedingungen durch übermäßigen Lärm nicht zu stören.

### Resümee der Ist-Situation

Es konnten Herausforderungen in Bezug auf Ergonomie und Zeit ermittelt werden, somit ist ein Verbesserungspotenzial vorhanden. In Tabelle 6 sind die Herausforderungen zusammengefasst.

Tabelle 6 | Herausforderungen der Ist Situation (Eigendarstellung)

Herausforderung	Beschreibung
Positionieren der Fässer	Körperliche Belastung ist hoch und auch die zeitliche Komponente sollte verbessert werden.
Arbeitsplatzvorbereitung	Das Schieben der Wägen ist körperlich fordernd und auch das Anschließen der Schläuche belastet den Körper. Zeitlich kann der Prozess optimiert werden.
Abfüllen	Das Tragen des Schlauches ist ergonomisch bedenklich und die Nähe zur Abfüllung ist aufgrund der lösungsmittelhaltigen Dämpfe zu überdenken. Zeitlich kann hier auch noch optimiert werden.
Fässer bekleben	Hier ist die Herausforderung eine schnellere Arbeitsweise.
Spannband auf Fässer	Ergonomisch nicht bedenklich, zeitlich kann hier optimiert werden.
Kommunikation und Informationsaustausch	Findet derzeit nur in verbaler Form statt.
Einschulung der MitarbeiterInnen	Findet derzeit nur in verbaler Form statt, daher kommt es zu Bedienfehlern.

Eine Lösung dieser Herausforderungen wird in den folgenden Kapiteln angestrebt. Durch die Ausarbeitung von drei Konzepten wird versucht, eine Verbesserung zu erzielen. Eine Überprüfung der Wirksamkeit folgt nach den Varianten. Hierbei stehen vor allem die ergonomische Belastung und die zeitliche Komponente im Vordergrund.

### 3.2.2 Modellierung und Simulation von Verbesserungskonzepten

Der Ist-Zustand wird mithilfe von Assistenzsystemen gezielt verbessert. Der ergonomisch ungünstigste Arbeitsgang ist das Positionieren der Fässer. Dazu werden folgende Systeme getestet:

- Exoskelett zur Entlastung der ausführenden Person
- Roboter zur Substitution der ausführenden Person
- Drehteller zur Zeiteinsparung beim Positionieren der Fässer

Die Analyse ergibt, dass der Transport per mobiler Waage und der Aufbau des Abfüllplatzes ergonomisch bedenklich und zeitintensiv sind. Es wird der Einsatz von Rollbändern geprüft und Arbeitsabfolgen werden vorzeitig zusammengefasst. Anschließend wird eruiert, ob eine Substitution des Umreifens und das Bekleben der Fässer durch ein Assistenzsystem möglich sind und ob diese Maßnahmen ergonomisch und preislich vertretbar sind. Da der Abfüllvorgang laut und aufgrund von lösungsmittelhaltigen Dämpfen ungesund ist, ist es notwendig, die ArbeiterInnen vom Abfüllprozess zu entfernen. Eine Realisierung erfolgt durch automatisch geschaltete Ventile und eine automatische Abfüllstation. Neben den physischen Verbesserungen sollen die Herausforderungen der kognitiven Belastungen verbessert werden.

Abgesehen vom Einsatz einer Smartwatch und eines Tablets wird eine Datenbrille simuliert. Die Kommunikation findet derzeit in verbaler Form statt. Aufgrund der erhöhten Geräuschkulisse wird diese Verständigung erschwert. Die gewählten Systeme sollen zu einer Kommunikationsverbesserung durch Nachrichten entweder auf der digitalen Uhr oder der Anzeige auf der Datenbrille führen. Mithilfe dieser Informationen kann auch eine Einschulung erfolgen. Derzeit findet diese anhand einer kurzen Erklärung der Arbeitsschritte statt. Durch gezieltes Anzeigen von Anweisungen können Arbeitsschritte dem Anwender angezeigt werden, bis diese Arbeitsweise zur Routine wird. Eine Senkung der Fehlerhäufigkeit und der Personenstunden für die Einschulung ist die Folge. Die Darstellung dieser Assistenzsysteme ist im Programm *ema* möglich. Eine Analyse der kognitiven Verbesserung ist derzeit nicht vorhanden. Folgende Varianten werden in den Unterkapiteln konzipiert und simuliert:

- Variante 1: Die Ist-Situation wird mit Assistenzsystemen optimiert
  - Einsatz von Exoskeletten
  - Zusammenfassung von Arbeitsschritten
  - Einsatz eines Drehtellers
  - Einsatz einer Datenbrille und einer Smartwatch
- Variante 2: Vollautomatische Abfüllstation
  - Einsatz eines Palettierroboters
  - Abfüllen, Umreifen und Bekleben der Fässer mithilfe von Maschinen
  - Transport der Palette durch Rollbahnen
  - Einsatz eines Tablets
- Variante 3: Halbautomatische Abfüllstation und Einsatz von Assistenzsystemen
  - Einsatz eines Palettierroboters
  - Transport der Palette durch Rollbahnen
  - Abfüllen der Fässer mithilfe einer Maschine
  - Einsatz eines Drehtellers
  - Einsatz eines Tablets

### ***3.2.2.1 Variante 1: Verbesserung der Ist-Situation durch Einsatz von Assistenzsystemen***

In diesem Kapitel wird die Variante 1 beschrieben, modelliert, simuliert und analysiert.

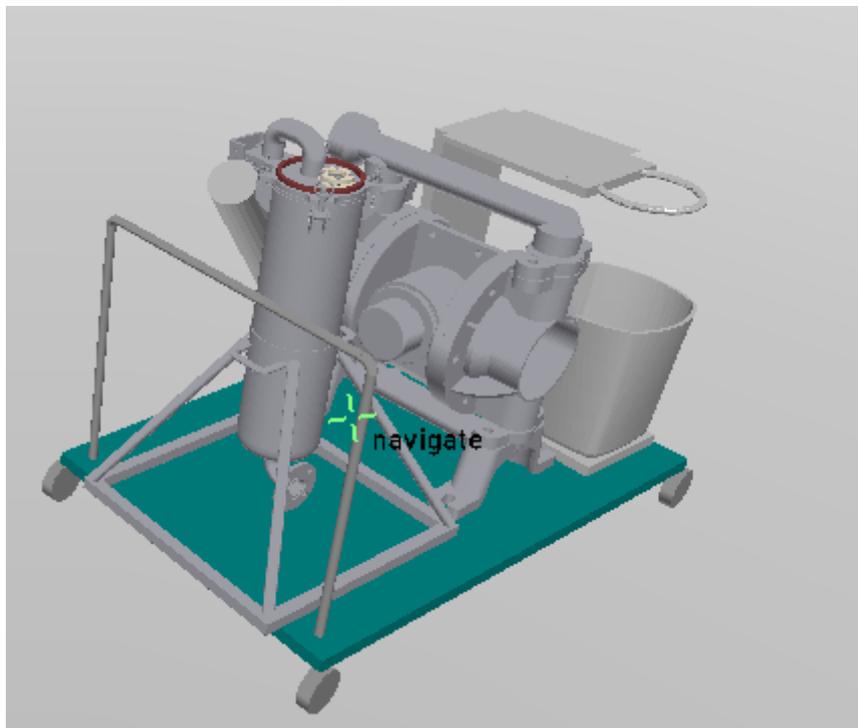
#### **Beschreibung der Simulation**

Aus der Ist-Analyse geht hervor, dass Arbeiten im derzeitigen Prozess ergonomisch ungünstig gestaltet sind und Arbeitsschritte zusammengefasst werden können. Um kostengünstige Abhilfe zu schaffen, werden Assistenzsysteme zu Hilfe genommen. Bei der Analyse der Ist-Situation ist aufgefallen, dass vor allem der Aufbau des Arbeitsplatzes zeitlich optimiert werden kann. Speziell das Schieben der einzelnen Wägen und das Tragen des extra Fasses sind zeitintensiv und ergonomisch belastend. Somit wird versucht, diese Arbeitsschritte zusammenzufassen, um eine Optimierung

zu erzielen. Die Erstellung eines neuen mobilen Wagens steht im Fokus, dieser beinhaltet folgende Gerätschaften:

- Pumpe
- Filter
- Abstellfläche für Zettel und Schlauch
- Abtropfkanister für Produktreste im Schlauch und als Probebehälter

Es kommt nicht zur gesonderten Platzierung der einzelnen Gerätschaften unter dem Kessel. Ein 3-D-Modell dieses Wagens ist in Abbildung 3-18 zu sehen. Der Kanister kann als Probebehälter oder als Abtropfbehälter für die Produktreste des Schlauches verwendet werden. Somit sind vor allem in der Arbeitsvorbereitung Zeiteinsparungen möglich und anstrengende Arbeitsschritte entfallen.



**Abbildung 3-18 | 3-D-Modell des neuen Wagens zur Abfüllung der Produkte (Eigendarstellung)**

Zur körperlichen Entlastung soll ein Exoskelett Abhilfe schaffen. Dieses hilft den MitarbeiterInnen vor allem beim Heben von Fässern und Schläuchen. Simuliert wird der Paexo Back, dessen Vorstellung im Kapitel 2.2.6 erfolgte. Da dieser, anders als der Cray X (vgl. Kapitel 2.3.5), ohne elektrische Bauteile fungiert, kann er problemlos in einer Ex-Zone in Verwendung sein. Laut Hersteller führt dieses Exoskelett zu einer Entlastung des Rückens bei Lasten bis zu 25 kg. Aufgrund des Eigengewichts von 4 kg kann der Paexo den kompletten Arbeitsablauf getragen werden. Sollte jemand die Vorteile dieses Systems ausschließlich beim Tragen von Schläuchen und Fässern benötigen, ist der Paexo mit Übung nach 20 Sekunden abgelegt (Paexo). Derzeit ist eine Simulation dieses Systems der Assistenz in ema noch nicht möglich, ein

Forschungsprojekt wurde laut ema Work Designer gestartet. Laut Herstellerangaben kommt es bei dieser Simulation zu einer Gewichtsreduktion der Lasten von 10 kg.

Zur automatischen Bedienung von Kugelhähnen ist eine Smartwatch vorgesehen. Auf den Kugelhähnen soll ein Antrieb verbaut werden, der mit dem Netzwerk der Firma DIC verbunden ist. Dieser Antrieb kann den Kugelhahn öffnen und schließen. Es wird die ecom Smart-Ex Watch herangezogen, da ihr Einsatz in einer explosionsfähigen Atmosphäre problemlos möglich ist. Durch Knopfdruck soll dieses Ventil geöffnet und geschlossen werden. Eine Anzeige des aktuellen Füllstandes ist möglich. In Abbildung 3-19 ist diese Uhr abgebildet. Eine Verbesserung der Kommunikation ist die Folge, denn die AbfüllerInnen können von Personen im Büro oder der Messwarte Informationen erhalten. Des Weiteren soll eine Senkung der Fehlerhäufigkeit mithilfe dieses Assistenzsystems erreicht werden. Durch eine schrittweise Anzeige der Arbeitsanweisung ist eine Minderung von Fehlern der AbfüllerInnen zu erwarten.



Abbildung 3-19 | Smartwatch für den Ex-Bereich (pepperl- fuchs)

Es entfallen Arbeitsschritte, wobei aus Sicherheitsgründen die Automatisierung aller Kugelhähne nicht möglich ist. Die Messung der Herzfrequenz ist mithilfe dieser Uhr möglich, wodurch sie als Sensorarmband in Verwendung ist. Dadurch können die Arbeitsbedingungen des Personals analysiert werden. Ein weiterer Vorteil ist, dass die MitarbeiterInnen bei der Abfüllung nicht direkt beim Fass stehen müssen. Somit sind sie einer geringeren Hitzebelastung, Lärmbelastung und Geruchsbelastung ausgesetzt. Das Risiko eines Arbeitsunfalls z. B. durch einen Schlauchplatzer sinkt. Ein Einsatz einer Datenbrille soll parallel dazu den MitarbeiterInnen einen Einblick in den Prozess geben. Es werden Daten wie der Produktname, die Chargennummer und der Füllstand ausgegeben. Des Weiteren können entweder auf der Brille oder der Smartwatch Anweisungen an die MitarbeiterInnen weitergegeben werden, wobei die Brille dazu deutlich besser geeignet ist. Vor allem für neue ArbeiterInnen kann dies eine Unterstützung darstellen. Sollte keine Hand zur Verfügung stehen, sind die Daten

auf der Brille von Relevanz. Es wird die i.Safe Mobile HMT-1Z1 Datenbrille ausgewählt. Diese ist ATEX zertifiziert und somit für die Verwendung in der Produktionshalle geeignet. In Abbildung 3-20 ist diese dargestellt.



Abbildung 3-20 | Datenbrille für den Ex-Bereich (isafe-mobile)

Somit ist die Kombination von Smartwatch und Datenbrille wertvoll. Beide Geräte haben Vorteile und können in Kombination zu einer Verbesserung der Ergonomie führen. Ein zentraler Punkt der ergonomischen und zeitlichen Verbesserung stellt die Anschaffung eines Drehtellers dar, der in Abbildung 3-21 zu sehen ist. Er ist am Anfang des Prozesses zum Bestücken der Palette in Verwendung, wodurch Wege eingespart werden. Des Weiteren wird dieses Gerät während des Umreifprozesses verwendet und beim Öffnen und Schließen der Fässer. Da dieser Drehteller keinen Ex-Schutz hat, ist die Position außerhalb der Ex-Zone zu wählen.



Abbildung 3-21 | Drehteller zum Umreifem (jh-profishop)

In Abbildung 3-22 ist ein Flow-Chart mit den Arbeitsschritten und den verwendeten Assistenzsystemen dargestellt.

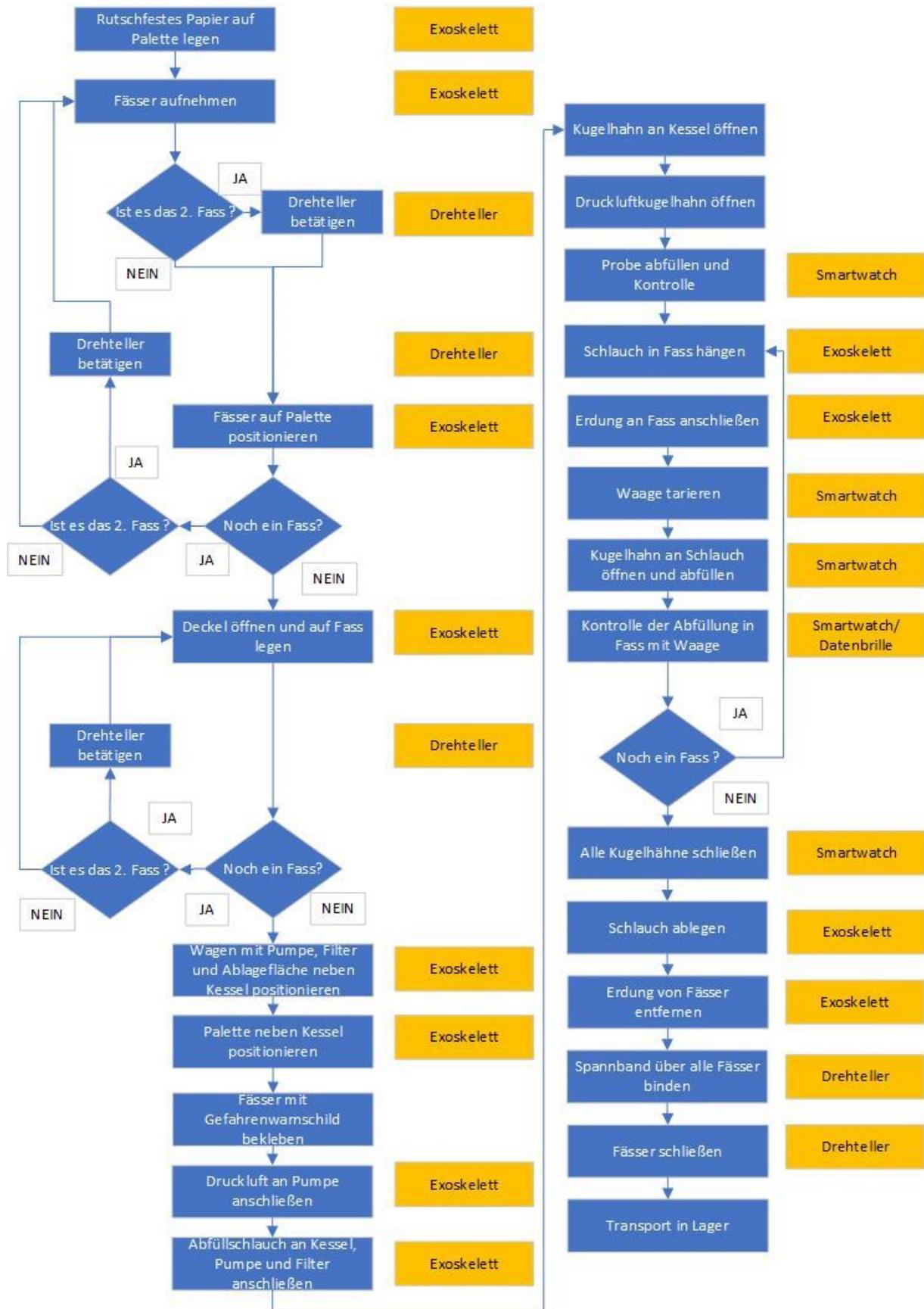


Abbildung 3-22 | Einsatz von Assistenzsystemen in Ist-Situation (Eigendarstellung)

In dieser Abbildung ist zu erkennen, dass für das Bestücken der Palette vor allem das Exoskelett und der Drehteller zu Hilfe genommen werden. Auch für den Aufbau des Arbeitsplatzes wird das Exoskelett verwendet. Bei Hebearbeiten ist dieses Assistenzsystem hilfreich. Für das Abfüllen sind die Smartwatch und die Datenbrille in Verwendung. Die abschließenden Arbeiten werden ebenfalls mithilfe des Drehtellers und des Exoskeletts durchgeführt.

In Tabelle 7 ist eine Kostenaufstellung für dieses Konzept aufgelistet.

**Tabelle 7 | Kostenplan erste Ausbaustufe (Eigendarstellung)**

Firma	Beschreibung	A/S	Einzelpreis	Stk.	Pos.-Preis	Summe
<b>Assistenzsysteme</b>						<b>€ 34 577</b>
Conrad.at	i.Safe Mobile HMT-1Z1 Datenbrille	A	€ 5 479	3	€ 16 437	
Atex-shop.de	ecom Smart-Ex Watch	A	€ 695	3	€ 2 085	
jh-profishop	Drehteller	A	€ 7 120	1	€ 7 120	
Eigenleistung DIC	Erstellen von mobilen Wagen für Pumpe	S	€ 1 345	3	€ 4 035	
Paexo	Paexo Back	A	€ 1 633	3	€ 4 900	
	<b>Zwischensumme</b>					<b>€ 34 577</b>
	Unvorhergesehenes		7%			€ 2 420
	<b>Gesamtsumme</b>					<b>€ 36 997</b>

Die in Tabelle 7 angeführten Preise wurden im August 2021 eingeholt. Sie stammen von den jeweiligen Homepages. Es ist zu erkennen, dass vor allem die Datenbrille und der Drehteller hohe Anschaffungskosten verursachen. Um ein gleichzeitiges Abfüllen von unterschiedlichen Kesseln zu gewährleisten, ist es notwendig, drei neue mobile Pumpengestelle zu erstellen. Dies wird in Eigenleistung der Firma DIC geschehen. Eine Kostenaufstellung dieser Arbeiten ist in Tabelle 8 zu sehen.

**Tabelle 8 | Kostenaufstellung für die Errichtung des neuen mobilen Wagens (Eigendarstellung)<sup>3</sup>**

Firma	Beschreibung	A/S	Einzelpreis	Stk.	Pos.-Preis	Summe
<b>neue mobiler Wagen für Pumpen</b>						<b>€ 1 345</b>
DIC	Arbeitszeit in Stunden (Durchschnittsbruttolohn inkl. Nebenkosten)	S	€ 42	20	€ 845	
Frankstahl/ Haberhorn	Material (Verschraubung, Verrohrung, Flachstahl)	S	€ 500	1	€ 500	
	<b>Gesamtsumme</b>					<b>€ 1 345</b>

Die Kosten für eine Arbeitsstunde ergeben sich aus einem Mittelwert vom Februar 2022 der Lohnkosten inklusive Nebenkosten für einen Instandhaltungsmitarbeiter. Damit mehrere Personen parallel arbeiten können, werden drei Exoskelette und

<sup>3</sup> Der Durchschnittsbruttolohn inkl. Nebenkosten geht aus den Personalabrechnungsdaten der Firma DIC hervor, Stand Februar 2022

mobile Wagen angeschafft. So ergibt sich eine Nettoendsumme von 36.997 €, wobei ein Unsicherheitsfaktor von 7 % einberechnet ist. Dieser Faktor wird üblicherweise bei Projekten der Firma DIC verwendet. Die Kosten basieren auf Angeboten bzw. Preisen von Internetseiten (Dritte Spalte ‚A‘) und Schätzungen bzw. Richtpreisangeboten (Dritte Spalte ‚S‘) In dieser Tabelle wurden nicht die Kosten für die Änderung der Infrastruktur der Firma DIC einbezogen. Unter anderen geht es um den Aufbau eines WLAN und die Anschaffung von Antrieben zum Öffnen und Schließen der Kugelhähne. Des Weiteren ist der Aufwand zur Anpassung und Aufbereitung der Arbeitsinformationen für die Vernetzung der Smartwatch und der Datenbrille nicht enthalten. Die dafür anstehenden Kosten und Arbeitszeiten sollten nicht unterschätzt werden.

### Analyse der Simulation

Wie bei der Simulation des Ist-Zustandes wird nach einem Flow-Chart gearbeitet. Der Einsatz der Assistenzsysteme findet visuell statt, jedoch gibt es für das Exoskelett keine CAD-Datei, daher ist eine Darstellung nicht möglich. Durch die Reduktion der Lasten kann die Verwendung des Exoskeletts simuliert werden. Der Einsatz der Datenbrille und der Smartwatch ist vor allem eine kognitive Entlastung, deren Analyse in ema derzeit nicht durchführbar ist. Es werden die Datenbrille und die Smartwatch in ema dargestellt. Es gilt, in einer weiterfolgenden Forschung auf dieses Thema einzugehen. Daher werden in dieser Arbeit nur Assistenzsysteme dargestellt und nicht analysiert. In Abbildung 3-23 ist die fertige Modellierung zu sehen.

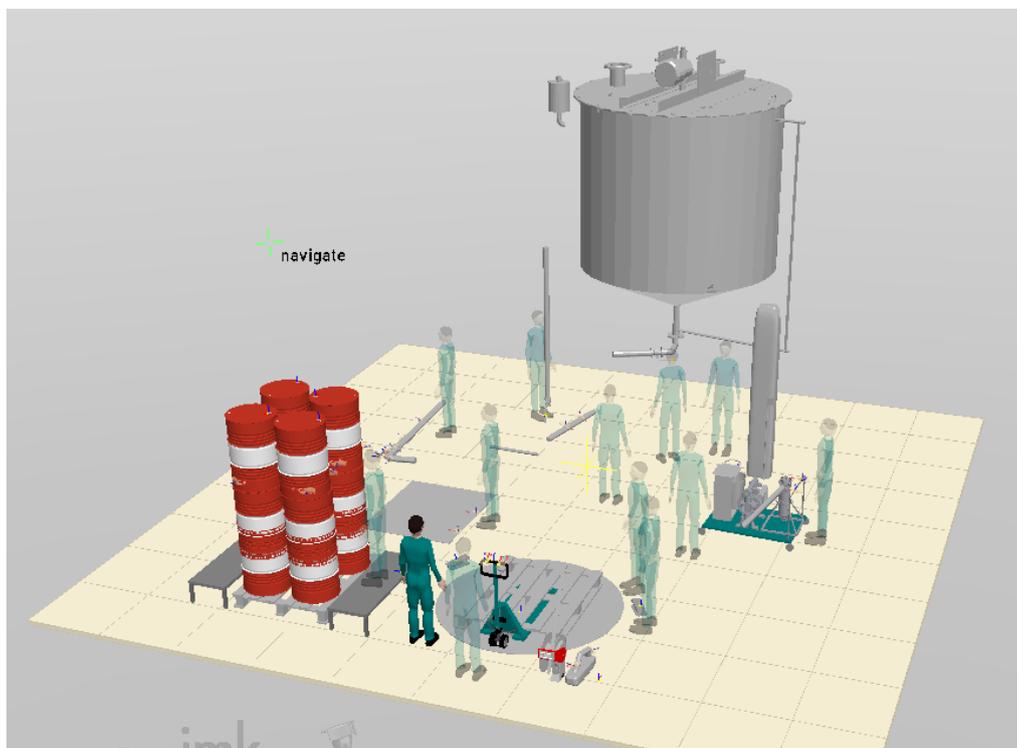


Abbildung 3-23 | Modellierung des Arbeitsplatzes mithilfe von Assistenzsystemen (Eigendarstellung)

Wie in den Abbildungen 3-24 und 3-25 zu erkennen, wird der Drehteller unter anderem für die Positionierung der Fässer und das Umreifen genutzt.

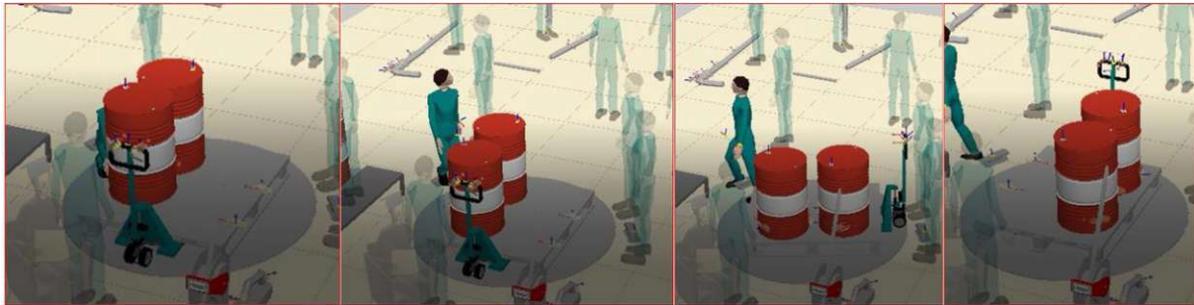


Abbildung 3-24 | Arbeitsfolge Fasspositionierung mit Drehteller (Eigendarstellung)

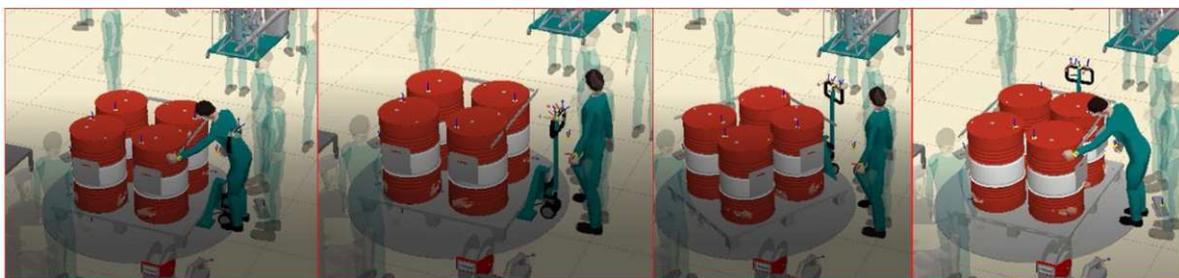


Abbildung 3-25 | Arbeitsabfolge Umreifung mit Drehteller (Eigendarstellung)

Die Handhabung der Smartwatch zum Befüllen der Fässer ist in Abbildung 3-26 zu sehen. Es ist erkennbar, dass die ArbeiterInnen nicht unmittelbar bei der Befüllung stehen müssen. Die Erdung muss wie im Ist-Zustand an jedem Fass angebracht werden.



Abbildung 3-26 | Fassbefüllung mit der Smartwatch (Eigendarstellung)

In Abbildung 3-27 sind die Gesamtkörperpunkte für den Aufbau des Arbeitsplatzes und die Abfüllung einer Palette ablesbar. Es ist an der Farbskala zu erkennen, dass eine Entlastung des Körpers die Folge ist. Die getätigten Verbesserungen führen zu einer deutlichen Herabsetzung der Werte gegenüber der Ist-Situation.



Abbildung 3-27 | Gesamtkörperpunkte beim Einsatz von Assistenzsystemen (Eigendarstellung)

In Tabelle 9 sind die Körperpunkte nach den Tätigkeiten erfasst. Es wird eine Hochrechnung der Körperpunkte für eine komplette Charge erstellt.

**Tabelle 9 | Auflistung Körperpunkte durch den Einsatz von Assistenzsystemen (Eigendarstellung)**

	Punkte Bestückung der Palette	Punkte Aufbau	Punkte Abfüllung	Punkte Etikettieren	Punkte Umreifen	Punkte Gesamt	Punkte pro Charge
Konzept 1- Assistenzsysteme	38	12,5	3,5	0	1	55	565

In Tabelle 9 ist zu erkennen, dass vor allem der Einsatz des Exoskeletts eine Herabsetzung gegenüber dem Ist-Zustand beim Bestücken der Palette von 9 % und beim Aufbau des Arbeitsplatzes von 40 % zur Folge hat. Der Einsatz des Drehtellers und des neuen Pumpenwagens spielt eine wesentliche Rolle. Der Ergonomiewert bei der Befüllung kann um 93 % gesenkt werden. Das Exoskelett und die Smartwatch haben eine hohe Bedeutung. Durch die Verwendung der intelligenten Uhr müssen die MitarbeiterInnen nicht beim Fass stehen. Die Werte für das Etikettieren und Umreifen waren bereits niedrig, aber der Wert für das Umreifen kann um zwei Drittel gesenkt werden. Bei der Berechnung der Punkte pro Charge ist zu beachten, dass die Punkte für den Aufbau des Arbeitsplatzes einmal anfallen. Die Summe der Lastenpunkte für die Arbeitsschritte ‚Fass heben‘ und ‚Hubwagen schieben‘ verbessern sich, da die Gewichte der Gerätschaften gesunken sind. Dieser Umstand spiegelt sich in Abbildung 3-28 wider. Die Punkte beim Lastfall ‚Umsetzen‘ können um 35 % gesenkt werden und jene vom ‚Ziehen und Schieben‘ um 3 %. Der Einsatz der Smartwatch ist im Punkt Haltungspunkte ersichtlich. Da nicht der Kugelhahn am Schlauch händisch geöffnet wird, sondern durch einen automatischen Antrieb, ist eine körperliche Entlastung zu konstatieren.

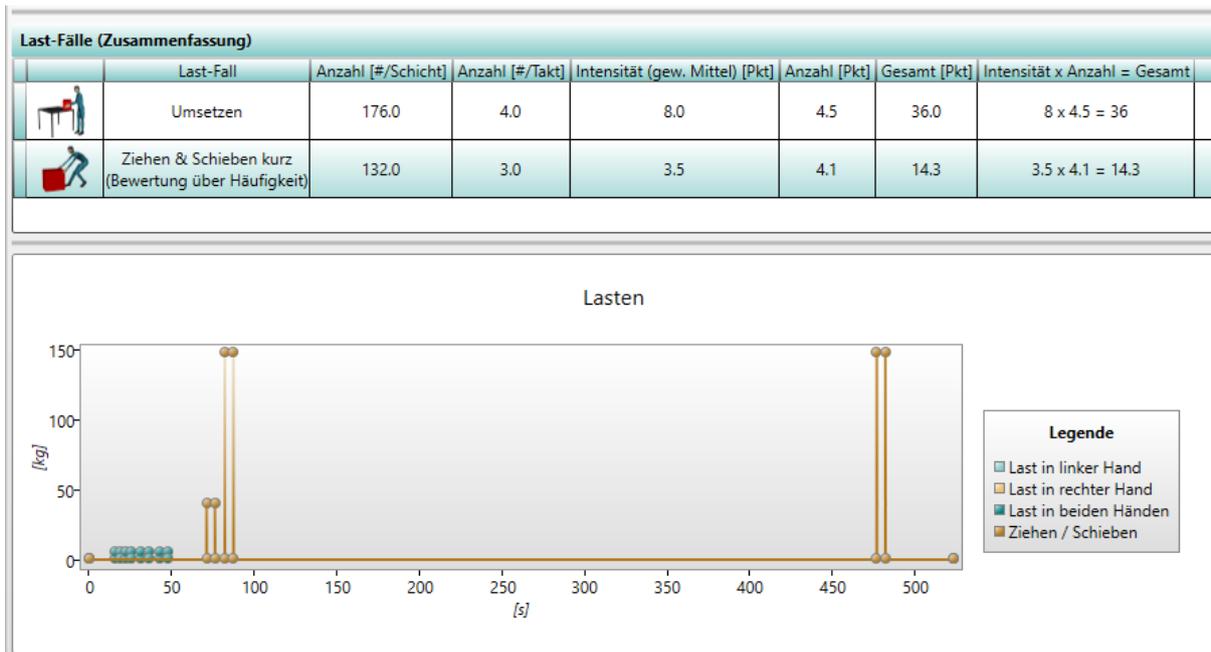


Abbildung 3-28 | Lastfälle beim Einsatz von Assistenzsystemen (Eigendarstellung)

Einzig das Schieben der mobilen Waage und der Plattform der Pumpe weisen noch erhöhte Lasten auf. Da sich an der Arbeitsweise nichts geändert hat, sind die Haupttätigkeiten Stehen und Laufen. Diese Analyse ist in Abbildung 3-29 zu sehen.

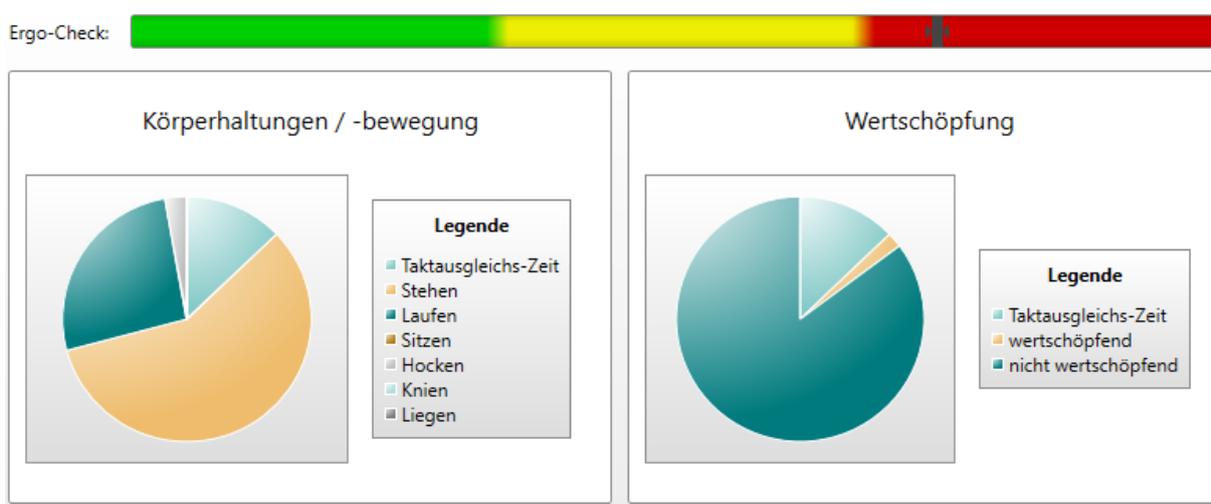


Abbildung 3-29 | Analyse Körperhaltung und Wertschöpfung mit Assistenzsystemen (Eigendarstellung)

Die Zeiten von Abbildung 3-30 spiegeln die Abfüllzeiten einer Palette bei einer Abfüllzeit von 60 Sekunden pro Fass wider.

Allgemein		Verrichtungen					
Taktzeit	600 s	ID	Dauer [s]	anteil. Faktor	t $\varnothing$ Dauer [s]	ID	Bezeichnung
Simulationszeit [s]	523.19	61	60.000	1.00	60.000	64	Befüllung kontrollieren
Takte pro Schicht [#]	44	69	60.000	1.00	60.000	70	Befüllung kontrollieren
Nettoarbeitszeit [min/Schicht]	440	77	60.000	1.00	60.000	77	Befüllung kontrollieren
beengter Arbeitsplatz (Bewegungsbereich < 2m)	<input type="checkbox"/>	85	60.000	1.00	60.000	83	Befüllung kontrollieren
Extra 0a: Arbeit an sich bewegenden Teilen		12	7.139	1.00	7.139	9	Fass 4 aufnehmen
Extra 0b: Zugänglichkeit		5	6.746	1.00	6.746	3	Fass 1 aufnehmen
Extra 0c: Schwingungen, Impulse, Rückschlagkräfte		88	6.498	1.00	6.498	84	Befüllschlauch aufnehmen
Extra 0d: Gelenkstellungen		37	5.494	1.00	5.494	27	Druckluftschlauch aufnehmen
Extra 0e: Andere körperliche Belastungen		10	5.411	1.00	5.411	7	Fass 3 aufnehmen
Extra 0f: Benutzerdefinierter Wert 1		23	5.313	1.00	5.313	11	Zu Wagen gehen
Extra 0g: Benutzerdefinierter Wert 2		35	5.279	1.00	5.279	43	Beschriftung 1 aufnehmen
Extra 0h: Benutzerdefinierter Wert 3		26	5.192	1.00	5.192	15	zu Hubwagen gehen
		94	5.183	1.00	5.183	88	Hubwagen Schieben
		28	5.171	1.00	5.171	16	Hubwagen Schieben
		29	5.089	1.00	5.089	37	Beschriftung 4 aufnehmen
		25	5.004	1.00	5.004	13	Wagen Schieben
		53	5.000	1.00	5.000	58	Kübel Anschauen
		11	4.967	1.00	4.967	8	Fass 3 platzieren
		4	4.818	1.00	4.818	1	Blatt platzieren
		90	4.486	1.00	4.486	137	Erdung aufnehmen
		47	4.441	1.00	4.441	50	Druckluftkugelhahn Betätigen
		87	4.429	1.00	4.429	140	Kugelhahn Betätigen
		34	4.403	1.00	4.403	42	Beschriftung 2 platzieren
		81	4.333	1.00	4.333	128	Erdung platzieren
		13	4.287	1.00	4.287	10	Fass 4 platzieren
		44	4.201	1.00	4.201	47	Befüllschlauch platzieren
		72	4.192	1.00	4.192	125	Erdung aufnehmen

Abbildung 3-30 | Arbeitszeit beim Einsatz von Assistenzsystemen (Eigendarstellung)

In Tabelle 10 wird die Gesamtabfüllzeit der kompletten Charge berechnet. Es werden zwei Berechnungen in Abhängigkeit der Viskosität getätigt. Für die Befüllung werden wie bei der Ist-Analyse 720 Sekunden beziehungsweise 211 Sekunden pro Fass angenommen.

**Tabelle 10 | Abfüllzeit einer gesamten Charge mithilfe von Assistenzsystemen (Eigendarstellung)**

Produkt mit hoher Viskosität			Produkt mit niedriger Viskosität		
Fässer	Tätigkeit	Zeit	Fässer	Tätigkeit	Zeit
4	Palette bestücken	64 s	4	Palette bestücken	64 s
	Aufbau	52 s		Aufbau	52 s
	Befüllen	2976 s		Befüllen	942,8 s
	Etikettieren	24 s		Etikettieren	28 s
	Umreifen	35 s		Umreifen	40 s
8	Palette bestücken	64 s	8	Palette bestücken	64 s
	Befüllen	2976 s		Befüllen	942,8 s
	Etikettieren	28 s		Etikettieren	28 s
	Umreifen	40 s		Umreifen	40 s
12	Palette bestücken	64 s	12	Palette bestücken	64 s
	Befüllen	2976 s		Befüllen	942,8 s
	Etikettieren	28 s		Etikettieren	28 s
	Umreifen	40 s		Umreifen	40 s
⋮			⋮		
44	Palette bestücken	64 s	44	Palette bestücken	64 s
	Befüllen	2976 s		Befüllen	942,8 s
	Etikettieren	28 s		Etikettieren	28 s
	Umreifen	40 s		Umreifen	40 s
48	Palette bestücken	64 s	48	Palette bestücken	64 s
	Befüllen	2976 s		Befüllen	942,8 s
	Etikettieren	28 s		Etikettieren	28 s
	Umreifen	40 s		Umreifen	40 s
52	Palette bestücken	64 s	52	Palette bestücken	64 s
	Befüllen	2976 s		Befüllen	942,8 s
	Etikettieren	28 s		Etikettieren	28 s
	Umreifen	40 s		Umreifen	40 s
Gesamtzeit [s]		40438 s	Gesamtzeit [s]		14024,4 s
Gesamtzeit [min]		673,97 min	Gesamtzeit [min]		233,74 min
Gesamtzeit [h]		11,23 h	Gesamtzeit [h]		3,90 h

In Tabelle 10 ist zu erkennen, dass sich die Prozesszeiten beim Umreifen, Palette bestücken und beim Aufbau des Arbeitsplatzes reduziert haben. Die Zeiten für die Befüllung und das Etikettieren sind nahezu ident zum Ist-Zustand. In Abbildung 3-31 ist die Aneinanderreihung der Arbeiten für die ersten zwei Paletten grafisch dargestellt.

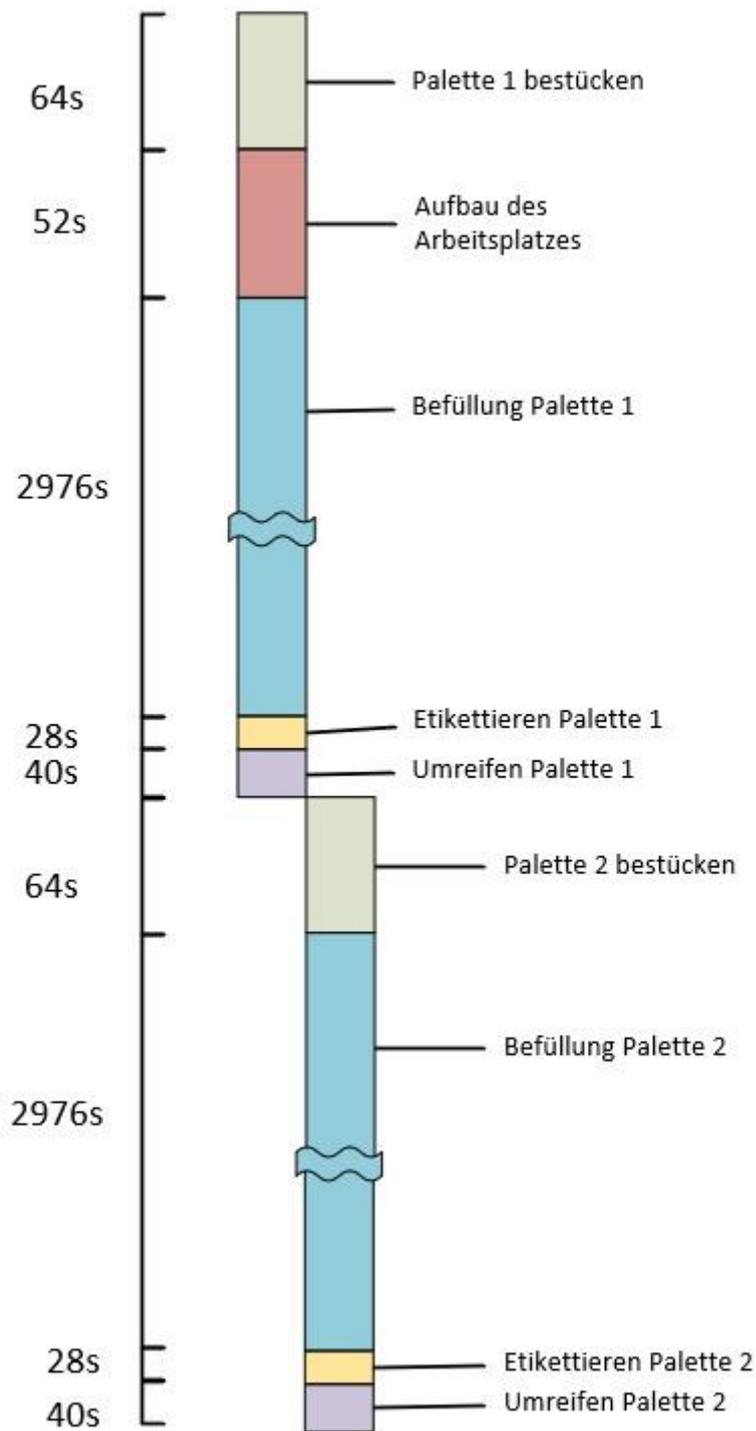


Abbildung 3-31 | Reihenfolge der Abfüllung des ersten Konzepts (Eigendarstellung)

Wie in Abbildung 3-31 zu erkennen, ist ein paralleles Arbeiten nicht möglich. Die Schritte müssen hintereinander erfolgen.

### Resümee der Variante 1

Nach der Analyse der ersten Variante werden in Tabelle 11 die Herausforderungen der Ist-Situation mit den getätigten Maßnahmen verglichen.

Tabelle 11 | Zwischenfazit Variante 1 (Eigendarstellung)

Herausforderung	Maßnahme	Fazit
Positionieren der Fässer	Exoskelett & Drehteller	Die körperliche Belastung kann durch den Einsatz des Exoskeletts und dem Drehteller um 9% gesenkt werden. Durch den Drehteller ist eine Senkung der Prozesszeit um 36% möglich.
Arbeitsplatzvorbereitung	Exoskelett & Arbeitszusammenfassung	Das Exoskelett hilft den MitarbeiterInnen beim Heben und Tragen der Schläuche. Die Erstellung des neuen Wagens ist sowohl für die Ergonomie als auch für die Prozesszeit hilfreich. Durch diese Maßnahmen ist eine ergonomische Verbesserung von 39% möglich, die Prozesszeit kann um 52% gesenkt werden.
Abfüllen	Exoskelett und Smartwatch	Durch das Exoskelett kann die ergonomische Belastung beim Tragen der Schläuche gesenkt werden. Durch den Einsatz der Smartwatch müssen die AnwenderInnen nicht mehr unmittelbar bei der Abfüllung stehen. Durch diese Assistenzsysteme kann die Ergonomie um 92% gesenkt werden. Die Auswirkung bei der Prozesszeit beträgt eine Reduktion bis zu 3% gegenüber dem Ist-Zustand.
Fässer bekleben	Keine Maßnahmen	Keine der getätigten Maßnahmen führt bei dieser Herausforderung zu einer Verbesserung.
Spannband auf Fässer	Drehteller	Durch den Einsatz des Drehtellers, kann die Prozesszeit beim Umreifen um 12% gesenkt werden. Aber auch die ergonomische Belastung kann von 3 Punkten auf 1 gesenkt werden.
Kommunikation und Informationsaustausch	Smartwatch & Datenbrille	Durch den Einsatz der Datenbrille und der Smartwatch, können Informationen schnell zu den AnwenderInnen gebracht werden und auch die Kommunikation der ArbeiterInnen untereinander wird verbessert.
Einschulung der MitarbeiterInnen	Smartwatch & Datenbrille	Durch den Einsatz der Datenbrille und der Smartwatch, kann die Einschulung der MitarbeiterInnen vereinfacht werden.

Wie Tabelle 11 zu entnehmen, haben die Maßnahmen eine Verbesserung der Herausforderungen zur Folge. Die Prozesszeit und die ergonomische Belastung sinken. Vor allem der Einsatz des Exoskeletts und des Drehtellers hat einen großen Einfluss, aber auch die Datenbrille und die Smartwatch können vor allem kognitive Belastungen reduzieren. Da in dieser Arbeit die kognitive Entlastung nicht simuliert wird, muss die tatsächliche Verbesserung in weiteren Arbeiten evaluiert werden. Die Werte der ergonomischen Belastung sind noch zu hoch, weswegen weitere Varianten ausgearbeitet werden.

### 3.2.2.2 Variante 2: Vollautomatische Abfüllstation

In diesem Kapitel wird die Variante 2 beschrieben, modelliert, simuliert und analysiert.

#### Beschreibung der Simulation

In dieser Variante werden Arbeitsschritte mithilfe eines Roboters und anderer Gerätschaften durchgeführt. Die Substitutionen sind auf deren Effizienz zu prüfen. Im Falle der vollautomatisierten Abfüllstation hat der Mensch nur noch eine Kontrolltätigkeit (vgl. Kapitel 2.4 Human In The Loop Method). Diese Verrichtung erfolgt mithilfe von Tablets. Auf unerwünschte Unregelmäßigkeiten wird vom System rechtzeitig hingewiesen, sodass die MitarbeiterInnen eingreifen können. Der Raum des Roboters ist mit Schutzgittern begrenzt, sodass der Roboter beim Öffnen der Türe

stoppt. Die Einsatzmöglichkeit eines Cobots ist in der Detailplanungsphase zu eruieren. Da ein Roboter präziser arbeitet, können Standards wie die Position des Gefahrenhinweisschildes exakt definiert werden. All diese Maßnahmen haben ergonomische Vorteile und prozesszeitliche Optimierungen zur Folge.

Für diese Variante wurden die ExpertInnen für Robotik der Firma ABB und jene für automatische Abfüllungen, Greif Velox, einbezogen. Nach den ersten Gesprächen ergab sich eine Arbeitsabfolge, die in den Abbildungen 3-32 und 3-33 zu erkennen ist.

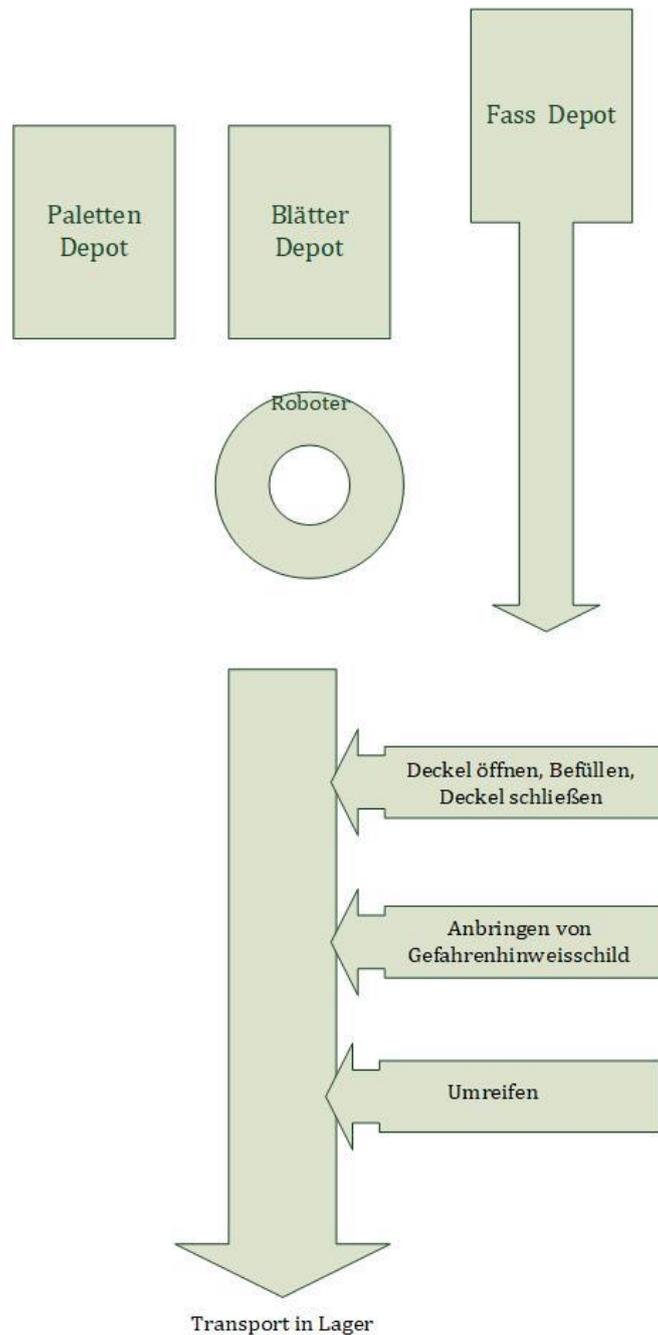


Abbildung 3-32 | Schema des Abfüllprozesses mithilfe eines Roboters und anderer technischer Hilfsmittel (Eigendarstellung)

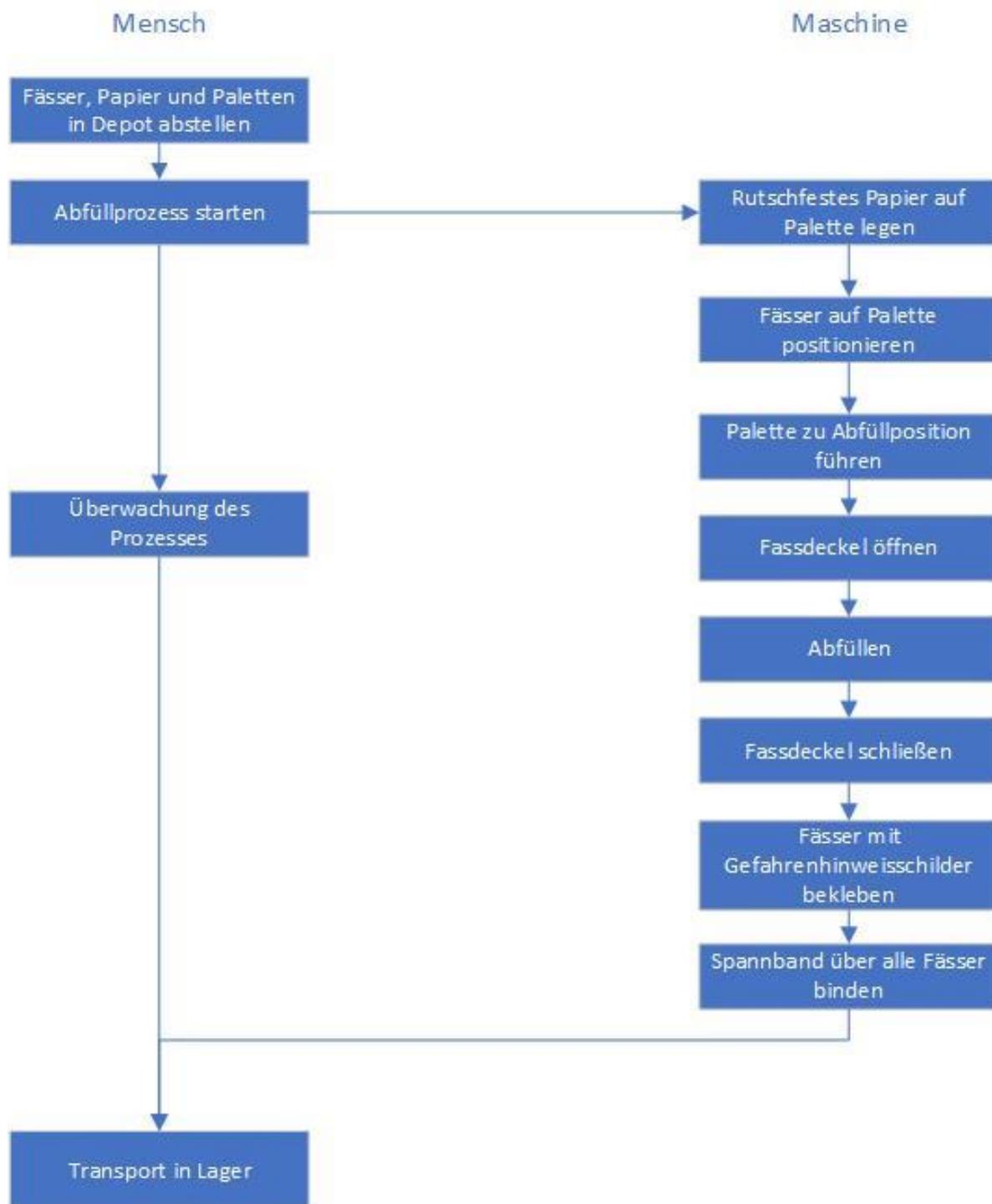
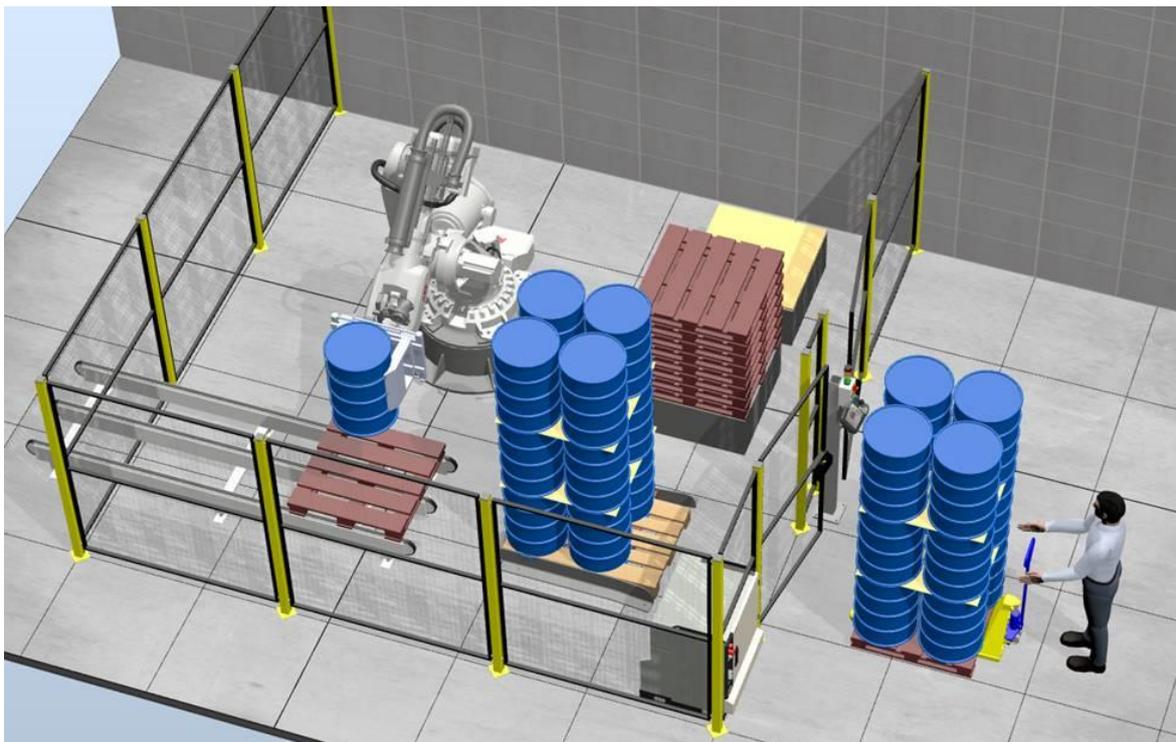


Abbildung 3-33 | Flow-Chart vollautomatische Abfüllung (Eigendarstellung)

In Abbildung 3-32 ist das Schema der neuen Abfüllung zu sehen und in Abbildung 3-33 ist das Flow-Chart des Konzepts dargestellt. In dieser Variante werden alle Arbeiten an die Maschinen und den Roboter übergeben. Daraus folgt eine Herabsetzung der ergonomischen Belastung. Diese Maßnahme ist mit hohen Investitionskosten verbunden.

Der erste Schritt der ergonomischen Verbesserung ist das automatische Bestücken der Paletten. Dazu wird ein Roboter der Firma ABB verwendet. Die Einsparung von

Arbeitsschritten vor dem simulierten Abfüllprozess ist die Folge. Durch den Einsatz des Roboters können die Paletten noch im gestapelten Zustand im Depot positioniert werden. Somit entfällt die händische Entnahme des Fassstapels. Der Roboter kann die Palette, die Fässer und die Zwischenlagen zum Verhindern des Rutschens an der Rollbahn positionieren. Die Programmierung des Roboters ist variabel, sodass bei Anforderungsänderungen eine schnelle Reaktion möglich ist. Die ArbeiterInnen müssen die jeweiligen Depots im Vorhinein bestücken. Als Sicherheitseinrichtung ist ein Schutzzaun notwendig. Der Roboter stoppt, wenn die Türe des Zauns geöffnet wird. Eine grafische Darstellung der Firma ABB ist in Abbildung 3-34 zu sehen.



**Abbildung 3-34 | Aufstellung des Roboters der Firma ABB (Eigendarstellung Fa. ABB)**

Durch die Installation des Roboters wird die ergonomische Beanspruchung gesenkt. Mithilfe dieses Assistenzsystems ist ein effektiveres Arbeiten möglich. In der Detailplanungsphase soll die Nutzung eines Cobots geprüft werden.

Nachdem die Palette vollständig auf der Rollbahn positioniert ist, wird sie zur Befüllstation befördert. Die AnwenderInnen müssen im Vorhinein die richtigen Parameter im Operatorpanel eingeben. In dem Zusammenhang sind die Produkt-Gebinde-Kombination und die Waagendaten relevant. Sobald die Palette bei der Abfüllstation angekommen ist, kommt es zur automatischen Spundlochsuche durch Kamerasysteme und die Erdungseinrichtung wird an den Fässern angebracht. Mithilfe der automatischen Spundlochsuche kann auf Anforderungsänderungen wie den Fasstyp schnell reagiert werden. Danach fährt ein Schrauber in die Arbeitsposition und öffnet das Gebinde. Anschließend fährt die Fülleinheit in die Öffnung. Das Abfüllventil fährt in Abhängigkeit des steigenden Füllstandes weiter nach oben. So ist eine

statische Entladung zu verhindern. Die Abfüllung erfolgt zuerst im Grobstrom, anschließend in Feinfüllstellung. So kann eine exakte Befüllung vonstattengehen.

Durch diese Vorgehensweise können die Abfüllzeiten gegenüber dem händischen Abfüllen gesenkt werden. Laut dem Hersteller ist es beim hochviskosen Produkt möglich 27 Fässer pro Stunde abzufüllen, beim Ist-Zustand waren fünf Fässer realisierbar. Beim niedrig viskosen Produkt waren es 17 Fässer pro Stunde, mit dieser Anlage sind 39 Fässer die Stunde möglich. Eine Absaughaube sorgt für die Absaugung der auftretenden Dämpfe, wodurch sich die anfallende Ex-Zone verringert. Der Bereich der Ex-Zone erstreckt sich nach Bewertung der Sicherheitsfachkraft der Firma DIC zwei Meter um die Abfüllung. Nach der Befüllung des Fasses wird der Behälter geschlossen und der Vorgang wiederholt sich beim nächsten Behälter. Abschließend werden die Erdungsvorrichtungen an den Fässern weggeschwenkt. In dieser Variante ist ein gleichzeitiges Befüllen nicht möglich. Die gesamte Abfüllanlage ist für eine Ex-Zone ausgelegt. In Abbildung 3-35 ist ein Bild dieser Anlage zu sehen, sie kann Fässer und IBC befüllen.



**Abbildung 3-35 | Automatische Abfüllanlage der Firma Greif Velox (Eigendarstellung Fa. Greif Velox)**

Nach der Abfüllung folgt die Etikettierung. Es wird der in Abbildung 3-36 gezeigte Etikettendruckspender verwendet. Da dieser nicht in Ex-Ausführung ist, ist seine Position zwei Meter vom Abfüllstutzen entfernt zu wählen. Durch das Herausfahren eines Stempels werden die Etiketten an den Fässern angebracht. Um alle Fässer zu etikettieren, ist ein Drehteller notwendig.



Abbildung 3-36 | Etikettendruckspender Legi-Air 4050 E der Firma Bluhmsysteme (bluhmsysteme)

Anschließend wird die Palette zum automatischen Umreifer befördert, der in Abbildung 3-37 zu sehen ist.



Abbildung 3-37 | Vollautomatischer Umreifer der Firma Greif Velox (Greif Velox)

Sind die Fässer umreift, ist der Abfüllprozess beendet und die Palette kann in das Lager transportiert werden. Der Einsatz eines Transportroboters wurde geprüft. Da der derzeitige Grad der Digitalisierung ausbaufähig ist und die Wege von der Produktion zum Lager lang sind, wird von einem Einsatz eines solchen Roboters abgeraten. Das Risiko von Kollisionen und fehlerhaftem Arbeiten ist hoch.

Zusammenfassend ist diese Variante mit folgenden Komponenten ausgestattet:

- Roboter
  - Positioniert die Palette auf dem Förderband und darauf das Papier und die Fässer.
- Förderband
  - Befördert die Palette zu den einzelnen Stationen.
- Abfüllanlage
  - Öffnet, befüllt und schließt die Fässer.
- Etikettendruckspender
  - Beklebt die Fässer mit den Gefahrenhinweisschildern und Produktetiketten.
- Drehteller
  - Dreht die Palette beim Etikettieren.
- Umreifer
  - Umreift die Fässer mit einem Spannband.
- Tablet
  - Dient der Steuerung der Anlage und gibt den MitarbeiterInnen alle notwendigen Informationen.

In Tabelle 12 sind die Kosten für diese Variante angeführt.

**Tabelle 12 | Kostenplan Abfüllanlage (Eigendarstellung)**

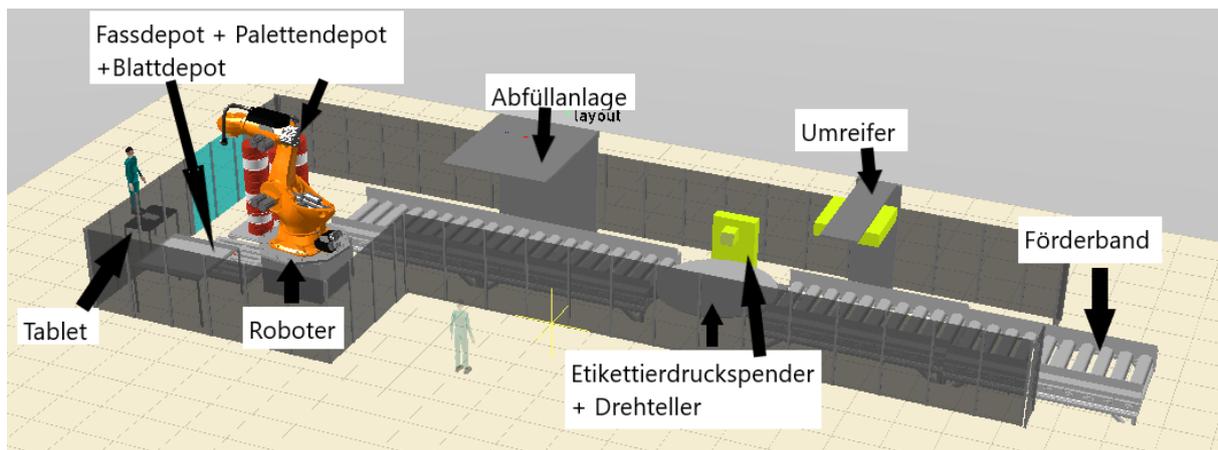
Firma	Beschreibung	A/S	Einzelpreis	Stk.	Pos.-Preis	Summe
<b>Abfüllanlage</b>						<b>€ 601 776</b>
ABB	Roboter inkl. Sicherheitseinrichtung	S	€ 125 800	1	€ 125 800	
Greif- Velox	Abfülleinheit A-DOS-P1 mit 3 Arbeitsstationen					
	Absaughaube mit Balgabsenkung für Spundlochgebinde					
	Erdungsvorrichtung					
	Schraub- und Clinchstation für Fässer und IBC, in ATEX-Ausführung					
	Schutzgitter					
	Leergebinde – Rollenbahnen,					
	Etikettierer für Leerfässer und IBC, Fabrikat Bluhm, LA4050E-WX,					
	Drehtisch für Etikettierer					
	Umreifer inkl. Rollenbahn	A	€ 428 540	1	€ 428 540	
	Montage	A	€ 46 936	1	€ 46 936	
Ecom	Tablet	S	€ 500	1	€ 500	
<b>Zwischensumme</b>						<b>€ 601 776</b>
	Unvorhergesehenes		7%			€ 42 124
<b>Gesamtsumme</b>						<b>€ 643 900</b>

Die in Tabelle 12 angeführten Preise wurden im August 2021 eingeholt. In dieser Kostenaufstellung sind der Roboter, die Abfüllanlage inklusive Etikettendruckspender und Umreifer enthalten. Die Montage der Gerätschaften ist ebenfalls inkludiert. So ergibt sich eine Nettoendsumme von 643.900 €, wobei ein Unsicherheitsfaktor von 7 % einberechnet ist. Die Kosten basieren auf dem Angebot der Firma Greif Velox (Anhang A1) und Preisschätzungen der Firma ABB und der Firma Ecom. In dieser Tabelle

werden die Kosten für die Änderung der Infrastruktur der Firma DIC nicht berücksichtigt.

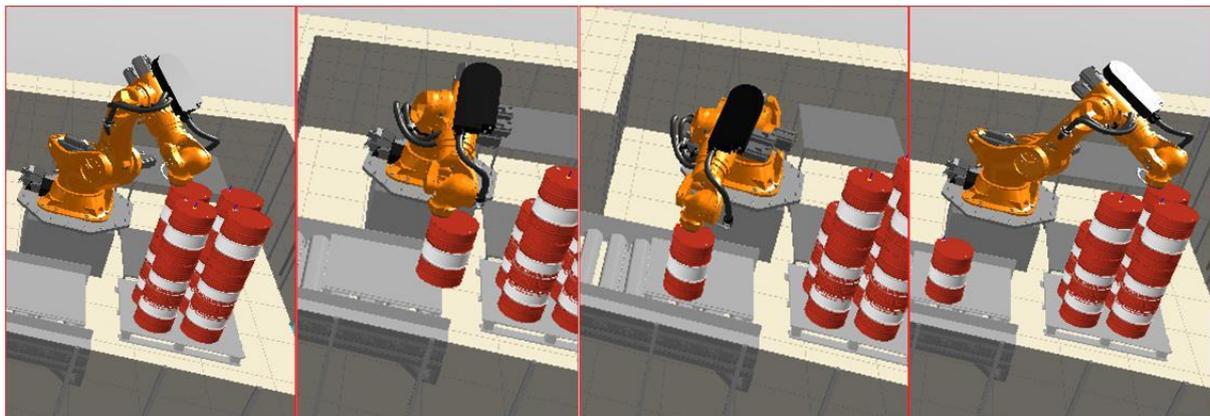
### Analyse der Simulation

Wie in den letzten Kapiteln erfolgt die Simulation mit dem Programm ema. In Abbildung 3-38 ist die Abfüllstation abgebildet. Es werden alle Gerätschaften schematisch dargestellt und die Funktion simuliert.



**Abbildung 3-38 | Modellierung des Arbeitsplatzes mithilfe der Abfüllanlage (Eigendarstellung)**

Am Anfang werden die Palette und das Antirutschblatt mit dem Roboter auf der Rollbahn positioniert. Anschließend folgt die Positionierung der Fässer, wie in Abbildung 3-39 zu sehen ist.



**Abbildung 3-39 | Arbeitsfolge Fasspositionierung mit dem Roboter (Eigendarstellung)**

Sind alle Fässer auf der Palette positioniert, wird sie durch die Rollbahn zur Abfüllstation befördert. Der Abfüllprozess ist in Abbildung 3-40 dargestellt. Anfangs kommt es zur Öffnung des Fassdeckels (blauer Stutzen). Anschließend folgen die Befüllung (roter Stutzen) und die Schließung des Fasses.

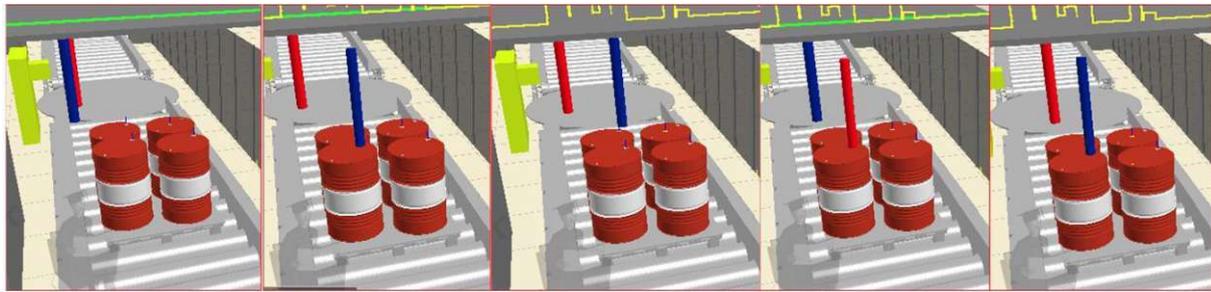


Abbildung 3-40 | Arbeitsreihenfolge Fassbefüllung (Eigendarstellung)

Nach der Befüllung folgt das Bekleben der Fässer mit den Gefahrenhinweisschildern. Dieser Vorgang ist in Abbildung 3-41 zu sehen. Er wird durch eine Maschine ausgeführt und ein Drehteller ist verbaut.

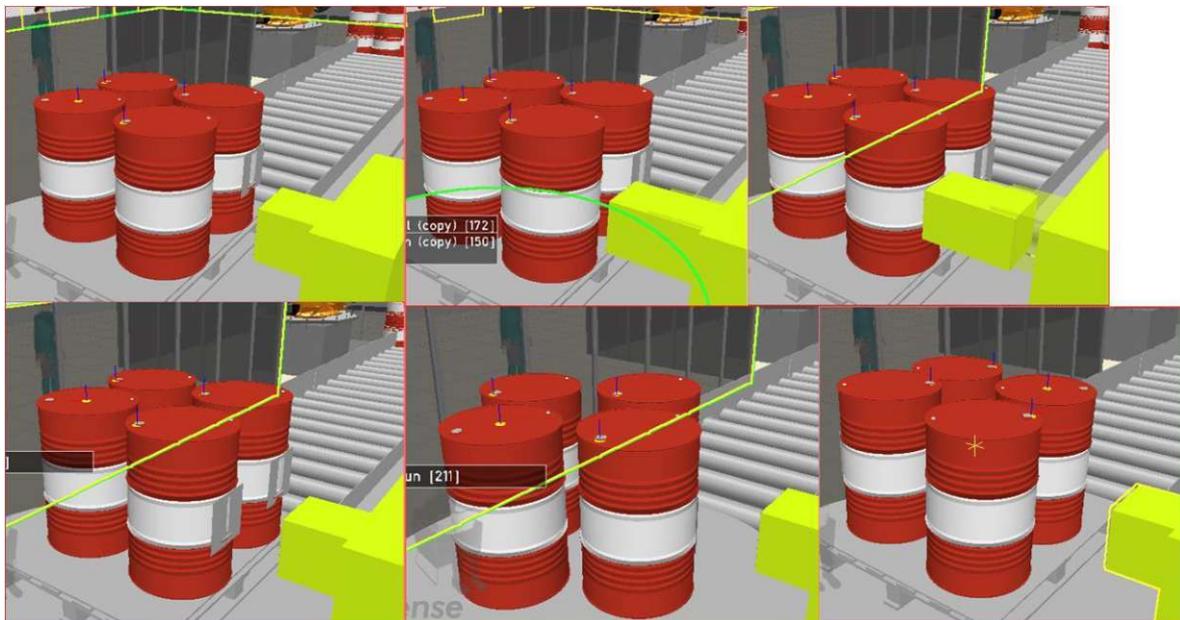


Abbildung 3-41 | Arbeitsreihenfolge Fassbeklebung (Eigendarstellung)

Am Schluss werden die Fässer zum automatischen Umreifer befördert. Dieser Vorgang ist in Abbildung 3-42 abgebildet.

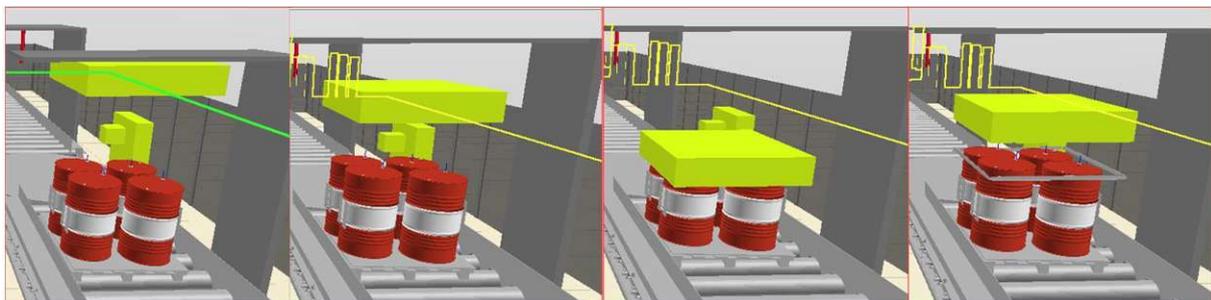


Abbildung 3-42 | Arbeitsreihenfolge Umreifen (Eigendarstellung)

Die MitarbeiterInnen haben in dieser Simulation keine ergonomische Belastung. Ihre Haupttätigkeit ist die Aufnahme des Tablets und der Start der Anlage durch Knopfdruck. Die ergonomische Belastung über die gesamte Prozesszeit ist in Abbildung 3-43 ersichtlich.

<b>Summe Gesamtkörper Punkte:</b>	<b>2</b>
<b>Summe Haltungspunkte:</b>	<b>2</b>
Körperhaltungen	2
Rumpfdrehung	0
Rumpfneigung	0
Reichweite	0
<b>Summe Kräfte-Punkte:</b>	<b>0</b>
Fingerkräfte	0
Arm-/Ganzkörperkräfte	0
<b>Summe Lasten-Punkte:</b>	<b>0</b>
Umsetzen	0
Halten	0
Tragen	0
Ziehen & Schieben	0
<b>Summe Extra-Punkte:</b>	<b>0</b>
Arbeit an sich bewegenden Teilen	0
Zugänglichkeit	0
Schwingungen, Impulse, Rückschlagkräfte	0
Gelenkstellungen	0
Andere körperliche Belastungen	0
Extra Of	0

Abbildung 3-43 | Gesamtkörperpunkte mit der Abfüllanlage (Eigendarstellung)

Da die MitarbeiterInnen während der Abfüllung keine weiteren ergonomisch belastenden Arbeiten durchführen müssen, ist der Wert in Abbildung 3-43 die Gesamtkörperpunkteanzahl für die komplette Charge. Dies wird in Tabelle 13 dargestellt.

**Tabelle 13 | Auflistung Körperpunkte mit der halbautomatischen Anlage (Eigendarstellung)**

	Punkte Bestückung der Palette	Punkte Aufbau	Punkte Abfüllung	Punkte Etikettieren	Punkte Umreifen	Punkte Gesamt	Punkte pro Charge
Konzept 2-Vollautomatische Abfüllstation	0	2	0	0	0	2	2

Neben der ergonomischen Entlastung kann eine Reduktion der Prozesszeit erzielt werden. Wie in Abbildung 3-44 zu sehen, wurde die Simulationszeit gegenüber dem Ist-Zustand um 60–80 % reduziert.

**▼ Allgemein**

Taktzeit  s

Simulationszeit [s]

Takte pro Schicht [#]

Nettoarbeitszeit [min/Schicht]

beengter Arbeitsplatz   
(Bewegungsbereich < 2m)

- ▶ Extra 0a: Arbeit an sich bewegenden Teilen
- ▶ Extra 0b: Zugänglichkeit
- ▶ Extra 0c: Schwingungen, Impulse, Rückschlagkräfte
- ▶ Extra 0d: Gelenkstellungen
- ▶ Extra 0e: Andere körperliche Belastungen
- ▶ Extra 0f: Benutzerdefinierter Wert 1
- ▶ Extra 0g: Benutzerdefinierter Wert 2
- ▶ Extra 0h: Benutzerdefinierter Wert 3

**Verrichtungen**

	ID	Dauer [s]	anteil. Faktor	tØ Dauer [s]	ID	Bezeichnung
	5	320.221	1.00	320.221	172	Warten
	4	11.398	1.00	11.398	164	Laufen
	2	2.714	1.00	2.714	162	Betätigen
	6	0.988	1.00	0.988	173	Betätigen
	3	0.900	1.00	0.900	144	Objekt(e) aufnehmen
	1	0.000	1.00	0.000	-1	Initialzustand

**Abbildung 3-44 | Arbeitszeit mit der Abfüllanlage (Eigendarstellung)**

Die Zeiten in Abbildung 3-44 sind auf die Abfüllung von einer Palette und einer Abfüllzeit von 60 Sekunden pro Fass bezogen. Laut den Angaben des Herstellers der Abfüllanlage kann eine Abfüllung zähflüssiger Produkte in 133 Sekunden pro Fass erfolgen, flüssigere Produkte in 92,3 Sekunden. Diese Zeit wird auf eine komplette Charge hochgerechnet, wie in Tabelle 14 zu sehen ist.

Tabelle 14 | Prozesszeit einer kompletten Charge der Variante 2 (Eigendarstellung)

Produkt mit hoher Viskosität			Produkt mit niedriger Viskosität		
Fässer	Tätigkeit	Zeit	Fässer	Tätigkeit	Zeit
4	Start	4 s	4	Start	4 s
	Palette bestücken	33 s		Palette bestücken	33 s
	Befüllen	568 s		Befüllen	405,2 s
	Etikettieren	8 s		Etikettieren	8 s
	Umreifen	15 s		Umreifen	15 s
8	Befüllen	568 s	8	Befüllen	405,2 s
12	Befüllen	568 s	12	Befüllen	405,2 s
16	Befüllen	568 s	16	Befüllen	405,2 s
20	Befüllen	568 s	20	Befüllen	405,2 s
24	Befüllen	568 s	24	Befüllen	405,2 s
28	Befüllen	568 s	28	Befüllen	405,2 s
32	Befüllen	568 s	32	Befüllen	405,2 s
36	Befüllen	568 s	36	Befüllen	405,2 s
40	Befüllen	568 s	40	Befüllen	405,2 s
44	Befüllen	568 s	44	Befüllen	405,2 s
48	Befüllen	568 s	48	Befüllen	405,2 s
52	Befüllen	568 s	52	Befüllen	405,2 s
	Etikettieren	8 s		Etikettieren	8 s
	Umreifen	15 s		Umreifen	15 s
	Gesamtzeit [s]	7467 s		Gesamtzeit [s]	5350,6 s
	Gesamtzeit [min]	124,45 min		Gesamtzeit [min]	89,18 min
	Gesamtzeit [h]	2,07 h		Gesamtzeit [h]	1,49 h

Da das Bestücken der Palette, das Etikettieren und das Umreifen parallel zum Befüllen der Fässer geschehen, ist zur Zeitberechnung ausschließlich die Befüllzeit nötig. Am Anfang und am Ende der Charge fließen diese Zeiten in die Berechnung ein. Der Vorteil bei dieser Variante ist, dass während der Befüllung eine weitere Palette bestückt werden kann und das Etikettieren und Umreifen parallel erfolgen. In Abbildung 3-45 ist diese Arbeitsabfolge dargestellt.

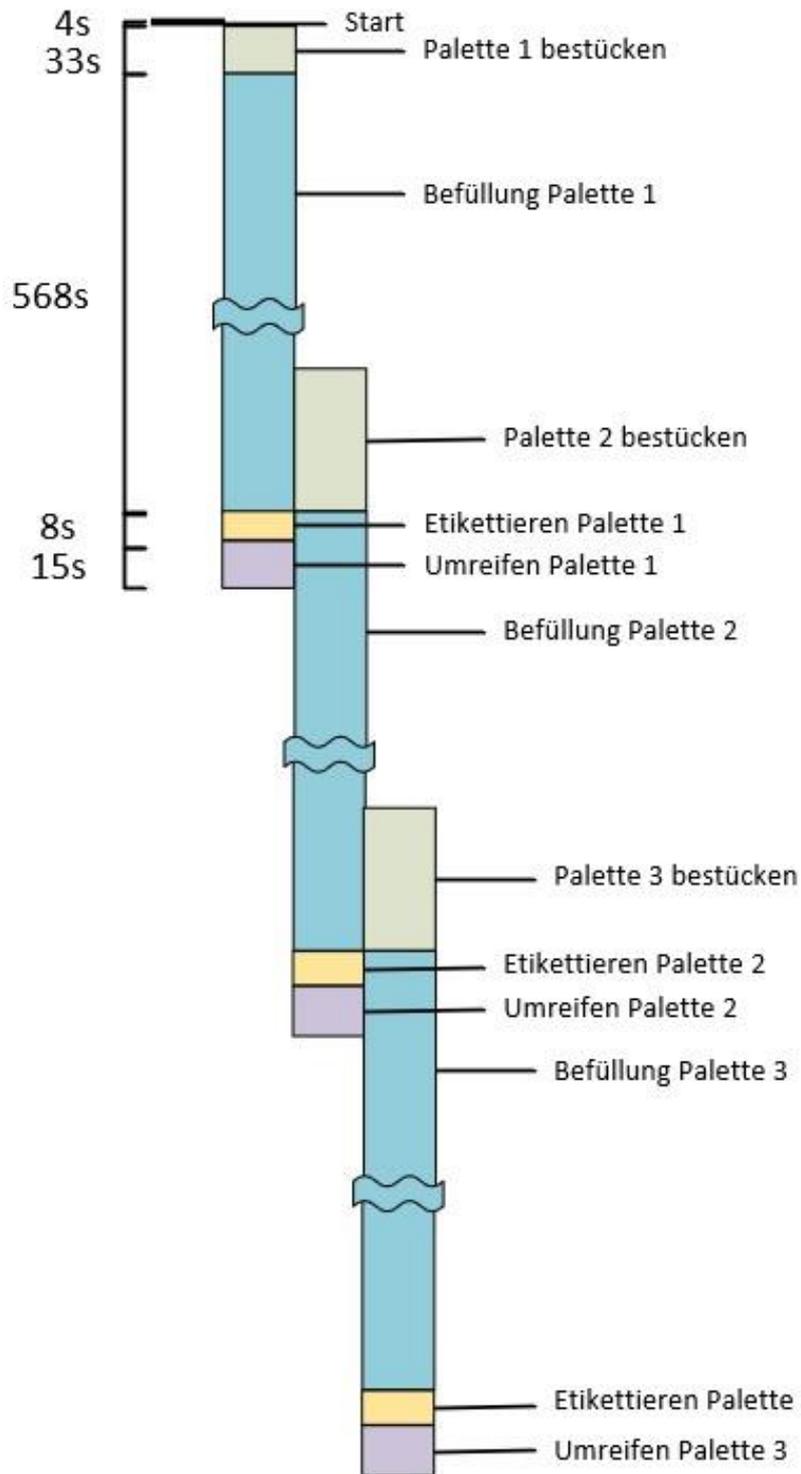


Abbildung 3-45 | Arbeitsreihenfolge der Variante 2 (Eigendarstellung)

In Abbildung 3-45 ist zu erkennen, dass die Abfüllung einen Großteil der Prozesszeit einnimmt, wobei der Balken der Abfüllung aus Gründen der Darstellung gekürzt wurde.

### Resümee der Variante 2

Die Variante 2 ist durch die vollständige Substitution der menschlichen Arbeit mithilfe diverser Maschinen geprägt. Die MitarbeiterInnen haben nur noch eine kontrollierende

Aufgabe und müssen im Falle eines technischen Gebrechens eingreifen. Ein Fazit der getätigten Maßnahmen ist in Tabelle 15 zu sehen.

**Tabelle 15 | Zwischenfazit Variante 2 (Eigendarstellung)**

Herausforderung	Maßnahme	Fazit
Positionieren der Fässer	Roboter	Durch den Einsatz des Roboters kommt es zu keiner körperlichen Belastung. Des Weiteren wird die Prozesszeit um 67% gesenkt und der Roboter arbeitet genauer als der Mensch.
Arbeitsplatzvorbereitung	Förderbahn	Durch die Förderbahn müssen die ArbeiterInnen die Fässer nicht mehr zu den einzelnen Positionen befördern und der Arbeitsplatz ist auch bereits vollständig aufgebaut.
Abfüllen	Automatische Abfüllanlage	Die Abfüllanlage öffnet, befüllt und schließt die Fässer automatisch. Die AnwenderInnen haben hier nur noch eine kontrollierende Funktion und werden somit ergonomisch nicht belastet. Des Weiteren ist auch hier eine Absenkung der Prozesszeit je nach Viskosität des Produktes von 60-80% möglich.
Fässer bekleben	Etikettendruckspender und Drehteller	Der Etikettendruckspender beklebt die Fässer automatisch und mit Hilfe eines Drehtellers findet dies in einer effizienten Form statt. Eine Reduktion der Prozesszeit von 66% ist möglich.
Spannband auf Fässer	Automatischer Umreifer	Die Fässer werden automatisch Umreift. Es ist keine ergonomische Belastung vorhanden. Das Umreifen wird durch die Maschine 57% schneller durchgeführt als beim Ist- Zustand.
Kommunikation und Informationsaustausch	Tablet	Alle notwendigen Informationen werden auf dem Tablet bereitgestellt.
Einschulung der MitarbeiterInnen	Tablet	Die Einschulung der MitarbeiterInnen kann mit Hilfe des Tablets vereinfacht werden.

Der Einsatz der Maschinen führt zu einer Reduktion der ergonomischen Belastung und zu einer Minimierung der Prozesszeit um 60–80 %. Die Prozesszeit ist abhängig von der Viskosität des Produktes. Die AnwenderInnen bekommen alle notwendigen Informationen auf ihr Tablet und können den Prozess durch Knopfdruck jederzeit stoppen und starten. Nachteil dieses hohen Automatisierungsgrades der Anlage ist die fehlende Flexibilität. Vor allem beim Bekleben der Fässer und beim Umreifen kann nicht so einfach auf geänderte Anforderungen reagiert werden.

**3.2.2.3 Variante 3: Teillautomatische Abfüllstation und Einsatz von Assistenzsystemen**

In diesem Kapitel wird die Variante 3 beschrieben, modelliert, simuliert und analysiert.

**Beschreibung der Simulation**

Da der Aufbau einer vollautomatisierten Anlage kostenintensiv ist, soll eine weitere Variante modelliert, simuliert und bewertet werden. Nachdem das Etikettieren und das Umreifen der Fässer keine hohe ergonomische Belastung erzeugen, wird in dieser Variante von einer maschinellen Lösung abgesehen. In Abbildung 3-46 ist die Arbeitsaufteilung zwischen Menschen und Maschine in einem Flow-Chart dargestellt.

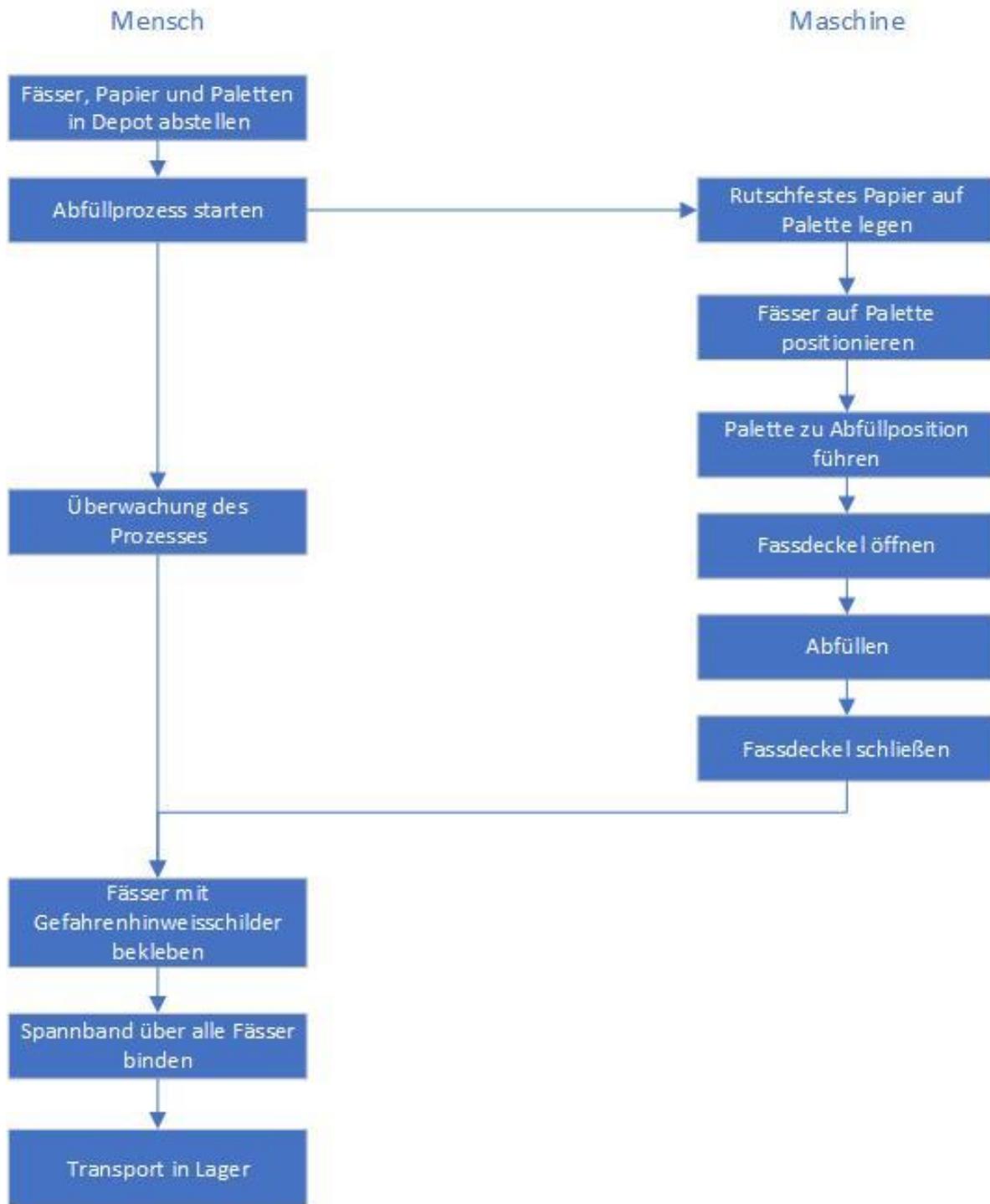


Abbildung 3-46 | Flow-Chart teildautomatische Abfüllung (Eigendarstellung)

In diesem Flow-Chart ist zu erkennen, dass nun der Mensch sowohl die Etiketten auf die Fässer klebt als auch das Spannband über die Fässer bindet. Ansonsten ist die Arbeitsweise dieselbe wie beim vorherigen Konzept.

### Analyse der Simulation

In Abbildung 3-47 ist die Modellierung dieses Arbeitsplatzes dargestellt. Das Positionieren und Befüllen der Fässer erfolgt analog zu der vollautomatischen Anlage. Der Roboter schichtet zuerst die Palette auf die Rollbahn, anschließend das Papier

und am Ende die Fässer. Mithilfe der Rollbahn fährt die Palette zur automatischen Abfüllung. Die nächsten Schritte sind die Öffnung, Füllung und Schließung weiterer Fässer, die Erdungseinrichtung wird jeweils an den Fässern angebracht. Anschließend folgt der Transport der Palette zum Drehteller. Die ArbeiterInnen arbeiten aus ergonomischen Gründen auf einem Podest. Anfangs kleben sie die Schilder auf die Fässer und abschließend umreifen sie die Behälter. Es wird der Drehteller verwendet, um Wege zu sparen. Dieser Vorgang ist in Abbildung 3-48 zu sehen. Der Transport der Palette zum Ende der Rollbahn ist der letzte Schritt. Um die Anlage zu bedienen, soll ein Tablet verwendet werden. Diese zeigt alle relevanten Daten an.

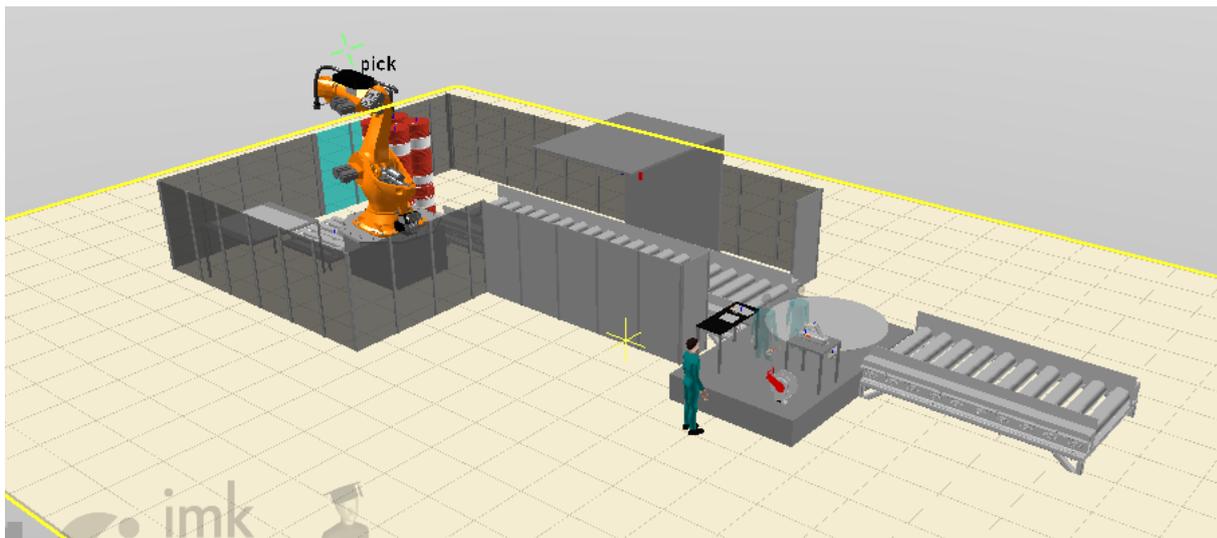


Abbildung 3-47 | Modellierung des Arbeitsplatzes mithilfe einer Abfüllanlage und Assistenzsystemen (Eigendarstellung)

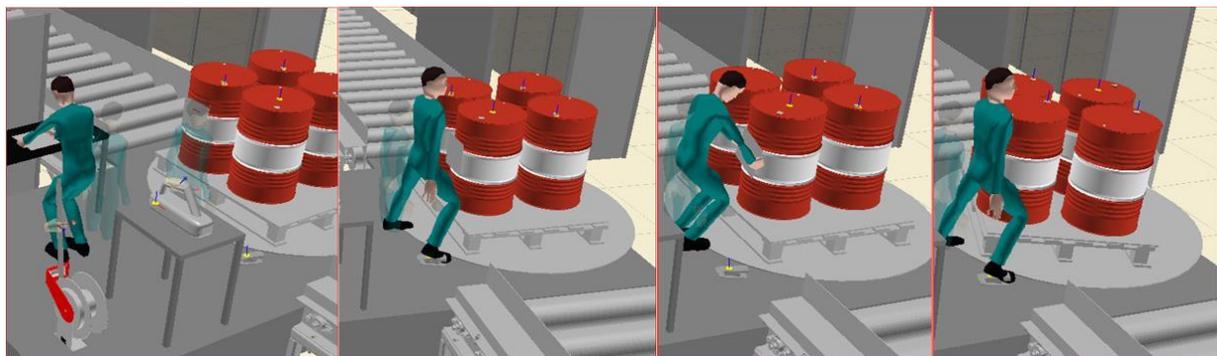


Abbildung 3-48 | Arbeitsreihenfolge manuelle Fassbekleidung (Eigendarstellung)

In Abbildung 3-49 ist zu sehen, dass sich die manuellen Tätigkeiten ergonomisch gering auswirken.



Abbildung 3-49 | Gesamtkörperpunkte mit der halbautomatischen Anlage (Eigendarstellung)

In Abbildung 3-49 ist die ergonomische Belastung für eine Palette zu sehen. In der Tabelle 16 ist dieser Wert auf die gesamte Charge hochgerechnet.

Tabelle 16 | Auflistung Körperpunkte mit der halbautomatischen Anlage (Eigendarstellung)

	Punkte Bestückung der Palette	Punkte Aufbau	Punkte Abfüllung	Punkte Etikettieren	Punkte Umreifen	Punkte Gesamt	Punkte pro Charge
Konzept 3-Halbautomatische Abfüllstation	0	2	0	0	19	21	273

Es ist zu erkennen, dass sich die Ergonomiepunkte beim Umreifen gegenüber dem Ist-Zustand um 16 Punkte verschlechtert haben. Dieser Wert ist aber nach Sichtung der Simulation nicht plausibel und sollte kritisch betrachtet werden. Neben den ergonomischen Kennzahlen ist die Prozesszeit von hoher Bedeutung. Wie in Abbildung 3-50 zu sehen, wirken sich die manuellen Tätigkeiten gering auf die Gesamtzeit aus. Über 98 % der Gesamtzeit nimmt das Abfüllen in Anspruch, wobei diese Zeit durch die Optimierung der Taktung von den MitarbeiterInnen genutzt werden kann.

▼ Allgemein		Verrichtungen					
Taktzeit	60 s	ID	Dauer [s]	anteil. Faktor	t <sub>0</sub> Dauer [s]	ID	Bezeichnung
Simulationszeit [s]	366.02	1	0.000	1.00	0.000	-1	Initialzustand
Takte pro Schicht [#]	440	2	4.408	1.00	4.408	162	Anlage Starten
Nettoarbeitszeit [min/Schicht]	440	3	0.117	1.00	0.117	201	Laufen
beengter Arbeitsplatz <input type="checkbox"/> (Bewegungsbereich < 2m)		4	308.879	1.00	308.879	172	Warten
▶ Extra 0a: Arbeit an sich bewegenden Teilen		5	2.290	1.00	2.290	173	Blatt 1 aufnehmen
▶ Extra 0b: Zugänglichkeit		6	1.620	1.00	1.620	174	Blatt 1 platzieren
▶ Extra 0c: Schwingungen, Impulse, Rückschlagkräfte		7	2.757	1.00	2.757	175	Blatt 2 aufnehmen
▶ Extra 0d: Gelenkstellungen		8	1.781	1.00	1.781	176	Blatt 2 platzieren
▶ Extra 0e: Andere körperliche Belastungen		9	0.734	1.00	0.734	177	Palette drehen
▶ Extra 0f: Benutzerdefinierter Wert 1		10	0.500	1.00	0.500	181	Warten
▶ Extra 0g: Benutzerdefinierter Wert 2		11	2.821	1.00	2.821	182	Blatt 3 aufnehmen
▶ Extra 0h: Benutzerdefinierter Wert 3		12	1.744	1.00	1.744	183	Blatt 3 platzieren
		13	3.038	1.00	3.038	184	Blatt 4 aufnehmen
		14	1.752	1.00	1.752	185	Blatt 4 platzieren
		15	2.069	1.00	2.069	186	Band aufnehmen
		16	1.685	1.00	1.685	204	Laufen
		17	1.570	1.00	1.570	187	Band 1 aufnehmen
		18	1.235	1.00	1.235	188	Band 1 platzieren
		19	0.540	1.00	0.540	189	Palette drehen
		20	0.250	1.00	0.250	192	Warten
		21	0.269	1.00	0.269	202	Laufen
		22	1.570	1.00	1.570	205	Band 2 aufnehmen
		23	1.631	1.00	1.631	206	Band 2 platzieren
		24	0.540	1.00	0.540	207	Palette drehen
		25	0.250	1.00	0.250	210	Warten

Abbildung 3-50 | Arbeitszeit mit der halbautomatischen Anlage (Eigendarstellung)

Diese Zeiten sind auf die Abfüllung einer Palette bezogen. Es wird diese Zeit auf eine komplette Charge hochgerechnet, wie in Tabelle 17 ersichtlich wird.

Tabelle 17 | Prozesszeit einer kompletten Charge der Variante 3 (Eigendarstellung)

Produkt mit hoher Viskosität			Produkt mit niedriger Viskosität		
Fässer	Tätigkeit	Zeit	Fässer	Tätigkeit	Zeit
4	Start	4 s	4	Start	4 s
	Palette bestücken	33 s		Palette bestücken	33 s
	Befüllen	568 s		Befüllen	405,2 s
	Etikettieren	20 s		Etikettieren	20 s
	Umreifen	33 s		Umreifen	33 s
8	Befüllen	568 s	8	Befüllen	405,2 s
12	Befüllen	568 s	12	Befüllen	405,2 s
16	Befüllen	568 s	16	Befüllen	405,2 s
20	Befüllen	568 s	20	Befüllen	405,2 s
24	Befüllen	568 s	24	Befüllen	405,2 s
28	Befüllen	568 s	28	Befüllen	405,2 s
32	Befüllen	568 s	32	Befüllen	405,2 s
36	Befüllen	568 s	36	Befüllen	405,2 s
40	Befüllen	568 s	40	Befüllen	405,2 s
44	Befüllen	568 s	44	Befüllen	405,2 s
48	Befüllen	568 s	48	Befüllen	405,2 s
52	Befüllen	568 s	52	Befüllen	405,2 s
	Etikettieren	20 s		Etikettieren	20 s
	Umreifen	33 s		Umreifen	33 s
Gesamtzeit [s]		7527 s	Gesamtzeit [s]		5410,6 s
Gesamtzeit [min]		125,45 min	Gesamtzeit [min]		90,18 min
Gesamtzeit [h]		2,09 h	Gesamtzeit [h]		1,50 h

Da das Bestücken der Palette, das Etikettieren und das Umreifen parallel zum Befüllen der Fässer, ablaufen, ist zur Zeitberechnung nur die Befüllzeit relevant. Der Vorteil bei dieser Variante ist, dass während der Befüllung eine weitere Palette bestückt werden kann und das Etikettieren und Umreifen parallel erfolgen. In Abbildung 3-51 ist diese Arbeitsabfolge für die ersten drei Paletten dargestellt.

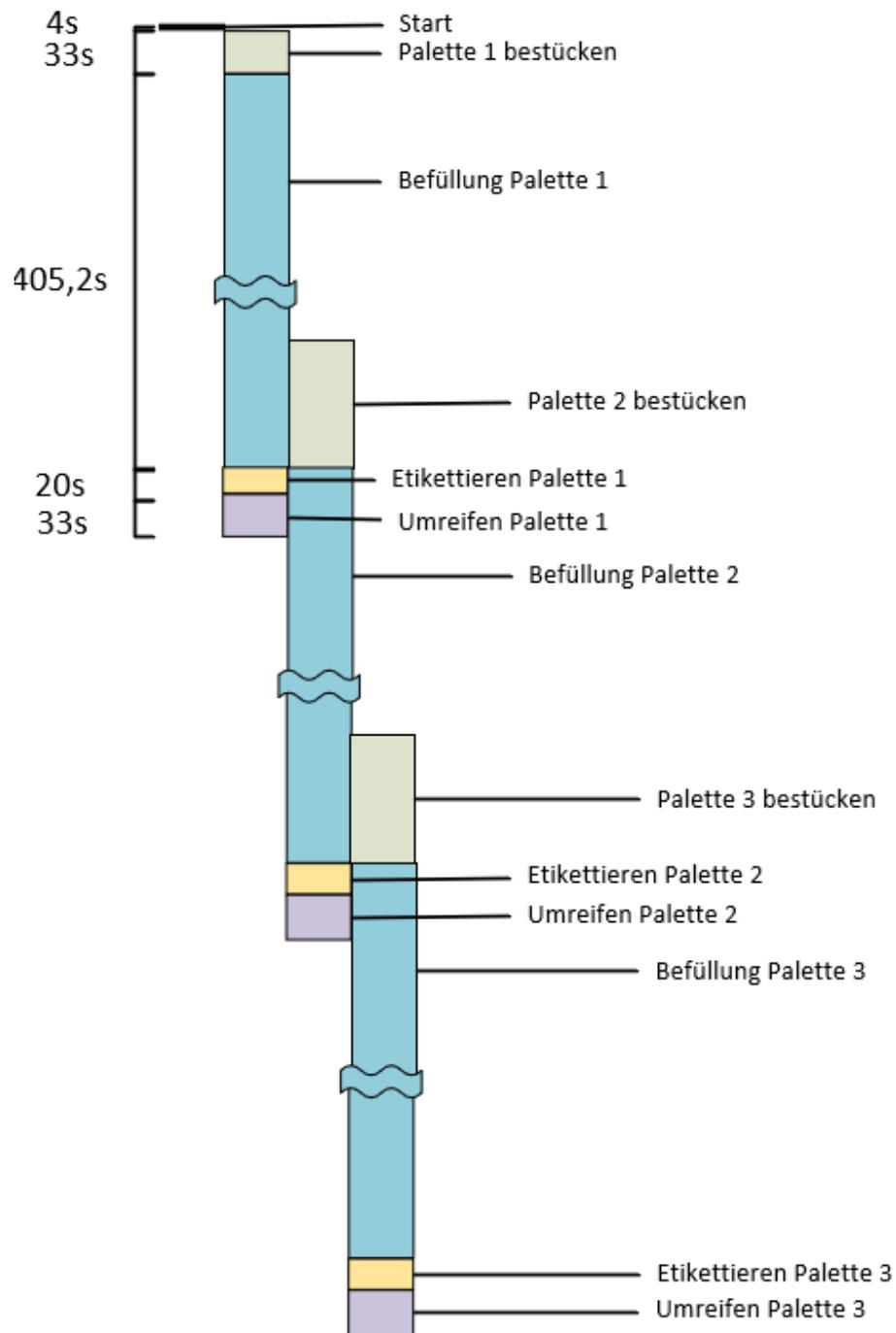


Abbildung 3-51 | Arbeitsreihenfolge der Variante 3 (Eigendarstellung)

In Abbildung 3-51 ist zu erkennen, dass die Abfüllung einen Großteil der Prozesszeit einnimmt, wobei der Balken der Abfüllung aus Gründen der Darstellung gekürzt wurde. Eine alternative Reihenfolge ist möglich. Durch die Errichtung von Stellplätzen zwischen den einzelnen Stationen können zum Beispiel zwei Paletten fertig abgefüllt werden und erst bei der Abfüllung der dritten Palette kann das Etikettieren und Umreifen erfolgen. Dies hat den Vorteil, dass die MitarbeiterInnen während der Abfüllung andere Tätigkeiten durchführen können. Diese alternative Reihenfolge ist in Abbildung 3-52 für die ersten drei Paletten zu sehen.

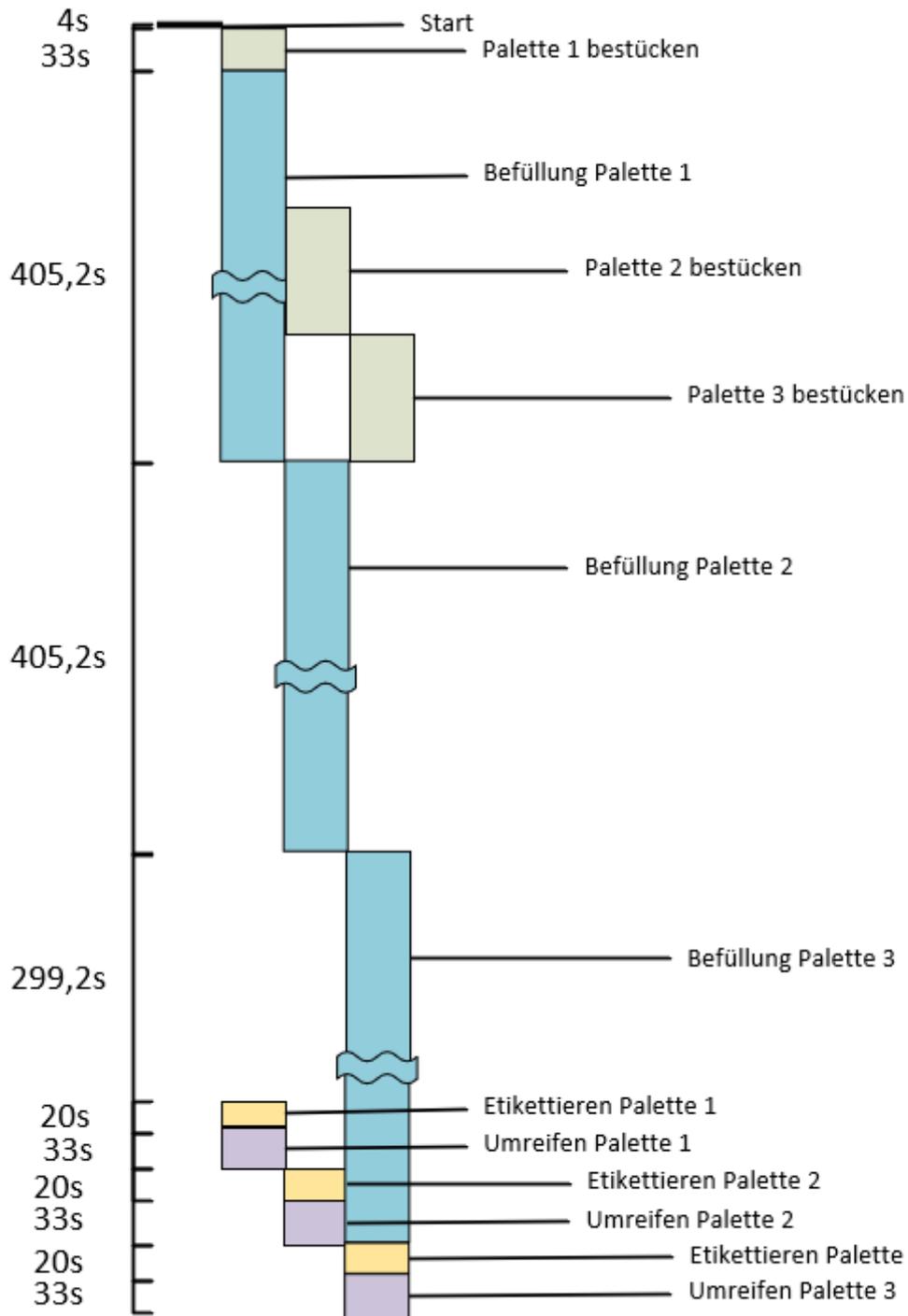


Abbildung 3-52 | Alternative Arbeitsreihenfolge der Variante 3 (Eigendarstellung)

Wie Abbildung 3-52 zu entnehmen, ist durch diese Arbeitsumstellung eine Zeitreduktion von 19 Minuten möglich. Dieser Zeitraum kann zum Befüllen des Depots oder zum Transport der fertigen Paletten in das Lager genutzt werden. Da die kritische Zeit die Befüllung ist, hat diese Änderung der Reihenfolge keine Auswirkung auf die gesamte Prozesszeit.

In Tabelle 18 sind die Kosten für diese Variante erfasst.

**Tabelle 18 | Kostenplan der Variante 3 (Eigendarstellung)**

Firma	Beschreibung	A/S	Einzelpreis	Stk.	Pos.-Preis	Summe
<b>Abfüllanlage</b>						<b>€ 491 776</b>
ABB	Roboter inkl. Sicherheitseinrichtung	S	€ 125 800	1	€ 125 800	
Greif- Velox	Abfülleinheit A-DOS-P1 mit 3 Arbeitsstationen					
	Absaughaube mit Balgabsenkung für Spundlochgebinde					
	Erdungsvorrichtung					
	Schraub- und Clinchstation für Fässer und IBC, in ATEX-Ausführung					
	Schutzgitter					
	Leergebinde – Rollenbahnen,					
	Drehtisch für Etikettierer	A	€ 318 540,00	1	€ 318 540	
	Montage	A	€ 46 936	1	€ 46 936	
Ecom	Tablet	S	€ 500	1	€ 500	
<b>Zwischensumme</b>						<b>€ 491 776</b>
	Unvorhergesehenes		7%			€ 34 424
<b>Gesamtsumme</b>						<b>€ 526 200</b>

Die in Tabelle 18 angeführten Preise wurden im August 2021 eingeholt. In dieser Kostenaufstellung sind der Roboter und die Abfüllanlage ohne Etikettendruckspender und Umreifer enthalten. Die Montage der Gerätschaften ist inkludiert. So ergibt sich eine Nettoendsumme von 526.200 €, wobei ein Unsicherheitsfaktor von 7 % einberechnet ist. Die Kosten basieren auf dem Angebot der Firma Greif Velox (Anhang A1) und Kostenschätzungen der Firmen ABB und Ecom. In dieser Tabelle wurden nicht die Kosten für die Änderung der Infrastruktur der Firma DIC einbezogen. Aufgrund des Wegfalls des Etikettendruckspenders und des Umreifers ist eine Kostenreduktion von 20 % gegenüber der vollautomatischen Abfüllanlage möglich.

### Resümee der Variante 3

Diese Variante beinhaltet das Beste aus den ersten zwei Versionen. Alle ergonomisch anspruchsvollen Arbeiten wie das Bestücken der Palette und der Abfüllprozess werden mithilfe von Maschinen durchgeführt. Die ArbeiterInnen umreifen und bekleben die Fässer. Durch diese Änderungen kommt es bei der Prozesszeit zu einer Reduktion von 60–80 %. Mit dieser Umgestaltung kann auf Anforderungsänderungen reagiert werden. Eine dieser Änderungen kann zum Beispiel die Position oder Anzahl der Hinweisschilder sein oder die Umrüstung von Spannband auf Spannfolie beim Umreifen. Der Einsatz des Drehtellers hat sich in Variante 1 bewährt, somit wird er in dieser Version eingesetzt und spart somit Prozesszeit. Die Auswirkungen der getätigten Maßnahmen sind in Tabelle 19 zusammengefasst.

Tabelle 19 | Zwischenfazit Variante 3 (Eigendarstellung)

Herausforderung	Maßnahme	Fazit
Positionieren der Fässer	Roboter	Durch den Einsatz des Roboters, kommt es zu keiner körperlichen Belastung. Des Weiteren wird die Prozesszeit um 67% gesenkt und der Roboter arbeitet genauer als der Mensch.
Arbeitsplatzvorbereitung	Förderbahn	Durch die Förderbahn müssen die ArbeiterInnen die Fässer nicht mehr zu den einzelnen Positionen befördern und der Arbeitsplatz ist auch bereits vollständig aufgebaut.
Abfüllen	Automatische Abfüllanlage	Die Abfüllanlage öffnet, befüllt und schließt die Fässer automatisch. Die AnwenderInnen haben hier nur noch eine kontrollierende Funktion und werden somit ergonomisch nicht belastet. Des Weiteren ist auch hier eine Absenkung der Prozesszeit je nach Viskosität des Produktes von 60-80% möglich.
Fässer bekleben	Drehteller	Das Bekleben der Fässer wird durch die ArbeiterInnen durchgeführt, da diese Arbeiten keine ergonomische Belastung mit sich tragen. Durch den Einsatz eines Drehtellers, kann die Prozesszeit um 16% gesenkt werden.
Spannband auf Fässer	Drehteller	Das Umreifen der Behälter wird durch die AnwenderInnen durchgeführt, da diese Arbeiten nur gering ergonomisch belastend sind. Die Simulation ergibt zwar, dass die ergonomische Belastung gegenüber der Ist- Situation um 85% gestiegen ist. Der Wert von 19 ist zwar nicht bedenklich, aber die Erhöhung gegenüber den Ist-Zustand, sollte kritisch betrachtet werden. Durch den Einsatz eines Drehtellers, kann die Prozesszeit gesenkt werden.
Kommunikation und Informationsaustausch	Tablet	Alle notwendigen Informationen werden auf dem Tablet bereitgestellt.
Einschulung der MitarbeiterInnen	Tablet	Die Einschulung der MitarbeiterInnen kann mit Hilfe des Tablets vereinfacht werden.

Nachdem alle Varianten modelliert und simuliert worden sind, wird im nächsten Schritt die Analyse der Einsatz von Assistenzsystemen analysiert.

### 3.2.3 Analyse des Einsatzes von Assistenzsystemen

In Tabelle 20 sind die angewendeten Assistenzsysteme aller Varianten und deren Vor- und Nachteile aufgelistet.

Tabelle 20 | Vor- und Nachteile der Assistenzsysteme (Eigendarstellung)

Variante	Assistenzsystem	Vorteil	Nachteil
1	Tablet	Eine gute Darstellung der Informationen ist möglich. Hohe Akzeptanz bei den MitarbeiterInnen, da sich das Tablet im Alltag schon bewährt hat.	Mindestens eine Hand ist bei der Handhabung immer belegt.
1	Datenbrille	Schneller Informationsaustausch möglich, ergonomisch wirkt sich dieses System nur kognitiv aus	Aufgrund des notwendigen Ex-Schutzes sehr hohe Investitionskosten
1	Smartwatch	Schneller Informationsaustausch möglich. Das Schalten von Ventilen kann außerhalb des Gefahrenbereichs durchgeführt werden	Zum Aufbau vieler Funktionen ist die Errichtung eines WLAN-Netzes und ein hohes Maß an Programmierung notwendig
1+3	Drehteller	Trägt zu einer Erleichterung der Vorbereitungsarbeiten und der Umreifung bei. Ist sowohl ergonomisch als auch zeitlich eine Verbesserung	Hohe Investitionskosten
1	Exoskelett	Erhebliche Erleichterung der Arbeiten möglich, vor allem bei den Hebearbeiten	Hohe Investitionskosten, möglicherweise fehlende Akzeptanz der MitarbeiterInnen
1	Neues Pumpengestell	Zusammenfassung einiger Arbeitsschritte möglich	Keine Nachteile
2+ 3	Roboter von ABB	Hebearbeiten werden komplett vom Roboter übernommen, schnelleres und genaueres Arbeiten ist möglich	Hohe Investitionskosten
2+ 3	Abfüllanlage	Abfüllung erfolgt komplett ohne ArbeiterInnen. Keine Belastung von Dämpfen, Die Befüllung erfolgt sehr exakt	Hohe Investitionskosten und keine gleichzeitige Abfüllung von mehreren Fässern möglich
2	Vollautomatischer Umreifer	Sehr genaue Umreifung möglich, ohne körperliche Belastung der AnwenderInnen	Hohe Investitionskosten
2	Etikettierdruckspender	Schnelles und genaues Etikettieren möglich	Drehteller ist notwendig, damit das System funktioniert.
2+ 3	Förderband	Transport der Palette ohne Körpereinsatz möglich	Keine Nachteile

Diese Vor- und Nachteile stammen aus der Analyse der jeweiligen Systeme. Basierend auf den gesammelten Daten wird eine Nutzwertanalyse der Assistenzsysteme erstellt.

### Ergebnis der Nutzwertanalyse

Anfangs wurden den internen ExpertInnen der Firma DIC die Assistenzsysteme und deren Analyse präsentiert und erläutert. Anschließend fand ein Interview statt, in dem die Punktevergabe der jeweiligen Systeme erfolgte. Es wurde auf die Faktoren Prozesszeit (33 %), Ergonomie (33 %) und Kosten (33 %) eingegangen, die mit einer notwendigen Gewichtung versehen wurden. Da all diese Faktoren relevant sind, werden sie mit einer ausgeglichenen Gewichtung versehen. Die Bewertung der

Assistenzsysteme erfolgt mit den Punkten 1 bis 10. In Tabelle 21 sind die Mittelwerte der im Interview ermittelten Punkte enthalten. Am Schluss ist jenes System mit der höchsten Punktzahl das Beste. In Abbildung 3-53 ist das Ergebnis grafisch dargestellt.

Tabelle 21 | Nutzwertanalyse der Assistenzsysteme (Eigendarstellung)

Variante	Assistenzsystem	Kosten (33 %)	Prozesszeit (33 %)	Ergonomie (33 %)	Ergebnis
2+3	Tablet	8	4	8	6,6
1	Datenbrille	5	2	10	5,61
1	Smartwatch	9	5	6	6,6
1+3	Drehsteller	4	8	6	5,94
1	Exoskelett	6	3	10	6,27
1	neues Pumpengestell	9	9	6	7,92
2+3	Roboter von ABB	3	10	10	7,59
2+3	Abfüllanlage	3	10	10	7,59
2	Vollautomatischer Umreifer	5	6	3	4,62
2	Etikettierdruckspender	5	5	3	4,29
2+3	Förderband	7	9	10	8,58

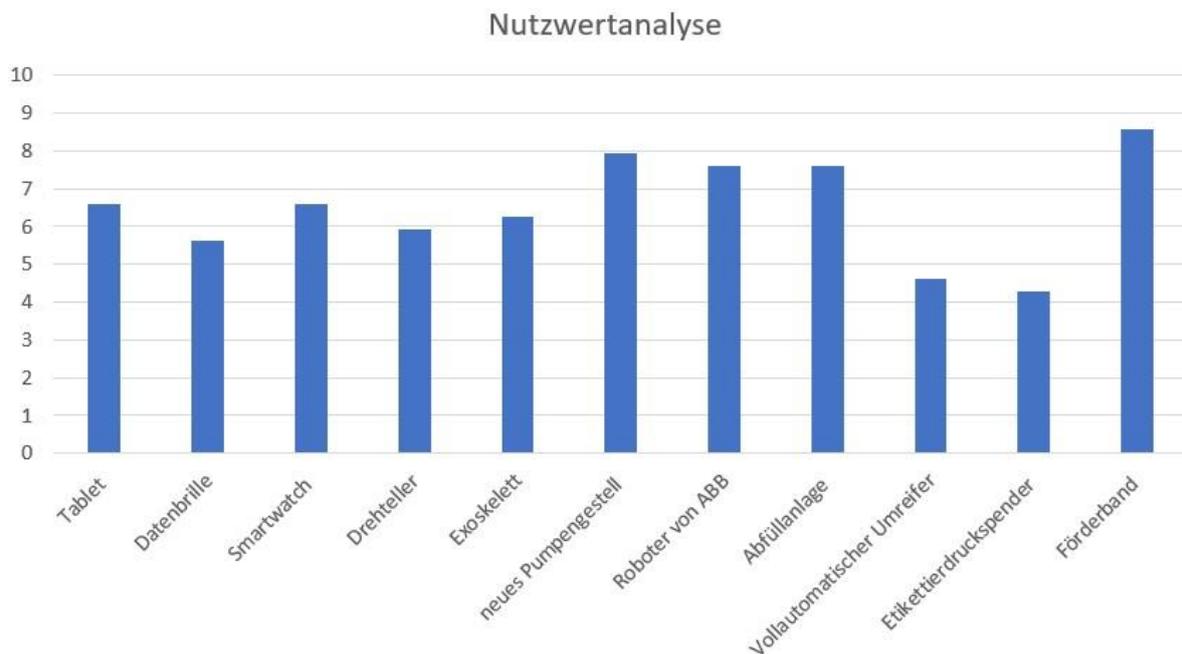


Abbildung 3-53 | Nutzwertanalyse der Assistenzsysteme (Eigendarstellung)

### Erläuterung der Nutzwertanalyse

Die Zahlenwerte dieser Nutzwertanalyse gehen auf die Einschätzungen der technischen Leitung, der Produktionsleitung, der Projektleitung und der Instandhaltungsleitung der Firma DIC zurück. Basierend auf der Analyse dieser Arbeit wurden Punkte vergeben. Die Argumente der Punktevergabe sind im folgenden Absatz erläutert.

### Kosten

Wenn es um das Thema Kosten geht, sind vor allem das Tablet, die Smartwatch und das neue Pumpengestell positiv zu erwähnen. Hervorzuheben ist deren Preis-Leistungs-Verhältnis, daher bekommen sie eine hohe Punktzahl. Die Gerätschaften der vollautomatischen Abfüllanlage wie der Roboter oder die Abfüllanlage sind mit hohen Kosten verbunden, daher erhalten sie eine schlechtere Bewertung. Erwähnenswert ist noch der Drehteller, die hohen Anschaffungskosten verursacht, und das Förderband, dessen Anschaffungskosten geringer ausfallen.

### Prozesszeit

Hinsichtlich der Prozesszeit sind vor allem der Roboter, die Abfüllanlage und das Förderband zu nennen. Durch den Wegfall des Faktors Mensch kann effektiver gearbeitet werden. Bei der Abfüllanlage kommt es zur Minderung der Abfüllzeit um 60-80 % und die Zeit für das Bestücken der Palette wird um 67 % gesenkt. Der Drehteller und das Pumpengestell verhelfen zu einer Senkung der Prozesszeit, da es zu Einsparungen von Wegen für die MitarbeiterInnen kommt. Das Pumpengestell verhilft vor allem beim Aufbau des Arbeitsplatzes zu einer Reduktion der Arbeitszeit von 48 %. Das Bestücken der Palette wird durch den Drehteller um 36 % optimiert. All diese Systeme führen zu einer Reduktion der Prozesszeit, daher erhalten sie hohe Bewertungen. Das Exoskelett verhilft zu keiner Prozesszeitsenkung, ebenso wie das Tablet, die Datenbrille und die Smartwatch. Diese Assistenzsysteme sind vor allem für die physische und kognitive Entlastung hilfreich. Der Umreifer und der Etikettendruckspender verbessern die Prozesszeit. Da diese Zeiten aber bereits im Ist-Zustand gering sind, erhalten sie eine mittelmäßige Bewertung.

### Ergonomie

Beim Thema Ergonomie muss zwischen kognitiver und physischer Entlastung unterschieden werden. Vor allem die Datenbrille und das Tablet führen zu einer hohen kognitiven Entlastung, da der Informationstransport und die Kommunikation vereinfacht stattfinden. Die Entlastung kann anhand der getätigten Simulation und Analyse nicht beziffert werden. Körperliche Entlastung bieten vor allem das Exoskelett (Reduktion der Körperpunkte um 36 %), der Roboter (Reduktion der Körperpunkte um 100 %), und die Abfüllanlage (Reduktion der Körperpunkte um 100 %). Es wird jeweils die Höchstpunktzahl vergeben. Das Förderband wirkt sich positiv auf die Ergonomie der MitarbeiterInnen aus. (Reduktion der Körperpunkte um 100 %). Der Umreifer und der Etikettendruckspender entlasten die MitarbeiterInnen vollständig. Die ergonomische Belastung im Ist-Zustand ist bereits gering, daher erhalten sie eine niedrige Bewertung.

Die Auswertung mithilfe der Nutzwertanalyse ergibt, dass vor allem der vollautomatische Umreifer und der Etikettierer aufgrund der höheren

Anschaffungskosten und der geringen zeitlichen und ergonomischen Einsparungen nicht geeignet sind. Insbesondere der Roboter, die Abfüllanlage und das Förderband erzielen einen hohen Zeitgewinn und eine ergonomische Verbesserung. Durch die Zeitersparnis können kürzere Taktzeiten erzielt und demnach mehr produziert werden. Das neue Pumpengestell punktet vor allem durch seine niedrigen Kosten und die hohe Zeitersparnis.

### **Kernergebnis der Nutzwertanalyse**

Es ist zu erkennen, dass vor allem folgende Assistenzsysteme für den Anwendungsfall bei der Firma DIC geeignet sind:

- Der Roboter
- Die Abfüllanlage
- Das Förderband
- Das neue Pumpengestell

Nachdem der Einsatz der Assistenzsysteme in den unterschiedlichen Varianten analysiert worden ist, werden die Konzepte nun bewertet.

## **3.3 Evaluierung der Konzepte aus Ergonomie, Investment und Assistenzsystem Sicht**

In diesem Kapitel steht der Vergleich der Konzepte im Vordergrund. Hierbei wird auf die Ergonomie, das Investment und die Prozesszeit eingegangen.

### **3.3.1 Bewertung der Konzepte**

Ziel dieser Arbeit war es, Konzepte für die Verbesserung des Abfüllprozesses der Firma DIC auszuarbeiten. Es standen die Prozesseffizienz, die Ergonomie und die anfallenden Kosten im Vordergrund. Bei dieser Bewertung sind die Parameter mit derselben Gewichtung versehen. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf der Abfüllung in Fässer. In allen Varianten können auch IBC mit Material befüllt werden. Der Plan der Firma DIC war es, die Abfüllung durch eine Abfüllanlage zu verbessern. Es stand der Automatisierungsgrad dieser Anlage zur Diskussion. Neben dieser Anlage wurde eine kostengünstigere Variante erstellt und simuliert. In den vorherigen Kapiteln wurden die Werte der Abfüllung einer Palette ausgewertet bei einer Abfüllgeschwindigkeit von 60 Sekunden pro Fass. Tatsächlich werden in der Produktion 13 dieser Paletten pro Charge abgefüllt und die Abfüllzeiten variieren. Bei der Bewertung der Konzepte wird die Zeit einer vollen Chargenabfüllung herangezogen. Des Weiteren werden zwei Abfüllzeiten definiert: jene Abfüllung mit dem Produkt der höchsten Viskosität, d. h. ein zähes Produkt, und jenes mit der niedrigsten Viskosität.

Betriebswirtschaftlich liegen von der Firma DIC Vorgaben vor. Ein Budget gibt es noch nicht, die Ergebnisse dieser Arbeit sind hierfür entscheidend. Projekte dieser Größenordnung müssen sich in drei Jahren rechnen. Eine diesbezügliche Analyse folgt in der Kostenplanung.

**3.3.1.1 Auflistung der anfallenden Kosten**

Nach der Ausarbeitung der jeweiligen Varianten ist eine Auflistung der anfallenden Kosten notwendig. In Tabelle 22 sind die jeweiligen Kosten der Varianten angeführt.

**Tabelle 22 | Auflistung der Gesamtkosten (Eigendarstellung)**

<b>Konzept 1: Verbesserung durch Assistenzsysteme</b>		
#	Assistenzsystem	Kosten
1	3 Stk. Datenbrille	€ 16 437,00
2	3 Stk. Smartwatch	€ 2 085,00
3	Drehteller	€ 7 120,00
4	3 Stk. mobiler Wagen mit Pumpe	€ 4 035,00
5	3 Stk. Paexo Back Test	€ 4 900,00
		<b>€ 34 577,00</b>
<b>Konzept 2: Vollautomatische Anlage</b>		
#	Assistenzsystem	Kosten
1	Roboter inkl. Sicherheitseinrichtung	€ 125 800,00
2	Abfüllanlage	€ 475 476,00
3	Tablet	€ 500,00
		<b>€ 601 776,00</b>
<b>Konzept 3: Halbautomatische Anlage</b>		
#	Assistenzsystem	Kosten
1	Roboter inkl. Sicherheitseinrichtung	€ 125 800,00
2	Abfüllanlage	€ 365 476,00
3	Tablet	€ 500,00
		<b>€ 491 776,00</b>

Es ist zu erkennen, dass die Anschaffungskosten mit anwachsendem Automatisierungsgrad steigen.

### 3.3.1.2 Gegenüberstellung der Prozesszeiten, der Kosten und der Ergonomie

In Tabelle 23 sind die Gesamtzeiten der jeweiligen Konzepte erfasst.

**Tabelle 23 | Gegenüberstellung der Zeiten (Eigendarstellung)**

Konzept	Prozesszeit hohe Viskosität [s]	Prozesszeit hohe Viskosität [h]	Prozesszeit niedrige Viskosität [s]	Prozesszeit niedrige Viskosität [h]
Ist-Zustand	41 332,00	11,48	14 900,40	4,14
1: Verbesserung der Ist-Situation durch Einsatz von Assistenzsystemen	40 438,00	11,23	14 024,40	3,90
2: Vollautomatische Abfüllanlage	7 467,00	2,07	5 350,60	1,49
3: Teilautomatische Abfüllanlage und Einsatz von Assistenzsystemen	7 527,00	2,09	5 410,60	1,50
<b>Konzept 1: Verbesserung der Ist-Situation durch Einsatz von Assistenzsystemen</b>				
	Relativ [%]	Absolut [s]	Absolut [h]	
Verbesserung bei hohen Viskositäten pro Charge	2,16%	894,00	0,25	
Verbesserung bei niedrigen Viskositäten pro Charge	5,88%	876,00	0,24	
<b>Konzept 2: Vollautomatische Abfüllanlage</b>				
	Relativ [%]	Absolut [s]	Absolut [h]	
Verbesserung bei hohen Viskositäten pro Charge	81,93%	33 865,00	9,41	
Verbesserung bei niedrigen Viskositäten pro Charge	64,09%	9 549,80	2,65	
<b>Konzept 3: Teilautomatische Abfüllanlage und Einsatz von Assistenzsystemen</b>				
	Relativ [%]	Absolut [s]	Absolut [h]	
Verbesserung bei hohen Viskositäten pro Charge	81,79%	33 805,00	9,39	
Verbesserung bei niedrigen Viskositäten pro Charge	63,69%	9 489,80	2,64	

Es ist zu erkennen, dass bei den Abfüllanlagen die Prozesszeit bei hochviskosen Produkten um 80 % schneller ist als die Abfüllung durch den Menschen. Der Grund ist die Möglichkeit des genaueren Arbeitens der Maschine. Die Einstellung der Durchflussmenge und des Drucks ist exakter. Durch Konzept 1 ist eine Reduktion der Prozesszeit einer Chargenabfüllung von 5 % möglich. Neben der Prozesszeit wird die Ergonomie der einzelnen Konzepte verglichen. Die Gesamtkörperpunkte einer kompletten Charge sind in Tabelle 24 angeführt.

**Tabelle 24 | Gegenüberstellung der Gesamtkörperpunkte und der Gesamtprozesszeit (Eigendarstellung)**

	Ist-Zustand	Konzept 1- Assistenzsysteme	Konzept 3- Halbautomatische Abfüllstation	Konzept 2- Vollautomatische Abfüllstation
Prozesszeit pro Charge[s]	41 332	40 438	7 527	7 467
Gesamtkörper Punkte Pro Charge	1 184	565	273	2

Es ist zu erkennen, dass die Ergonomie und die Prozesszeit mit steigendem Automatisierungsgrad sinken. Mithilfe von Assistenzsystemen kann die ergonomische Belastung um 47 % verringert werden. Durch die Errichtung der Abfüllanlage ist eine Senkung der Gesamtkörperpunkte pro Charge um 99 % möglich.

Um auf die Faktoren Zeit und Ergonomie einzugehen, wird der Prozess in fünf Punkte unterteilt:

- Palette bestücken
- Befüllen, Öffnen und Schließen des Fasses
- Etikettieren
- Umreifen
- Transport

In Tabelle 25 werden diese Zeiten gegenübergestellt. Des Weiteren kommen die Faktoren Ergonomie und Kosten hinzu.

**Tabelle 25 | Gegenüberstellung der Teilergonomiepunkte und Teilprozesszeiten und der Kosten (Eigendarstellung)**

	<b>Patette bestücken</b>			
	Ist	Assistenzsystem	Abfüllstation	Abfüllstation ohne Etikettieren und Umreifen
Körperhaltungspunkte	41,5	38	0	0
Prozesszeit [s]	100	64	33	33
Kosten	€ 0,00	€ 12 020,00	€ 125 800,00	€ 125 800,00
	<b>Aufbau des Arbeitsplatzes</b>			
	Ist	Assistenzsystem	Abfüllstation	Abfüllstation ohne Etikettieren und Umreifen
Körperhaltungspunkte	20,5	12,5	2	2
Prozesszeit [s]	109	52	4	4
Kosten	€ 0,00	€ 8 935,00	€ 500,00	€ 500,00
	<b>Befüllung</b>			
	Ist	Assistenzsystem	Abfüllstation	Abfüllstation ohne Etikettieren und Umreifen
Körperhaltungspunkte	45	3,5	0	0
Prozesszeit hohe Viskosität [s]	3012	2976	568	568
Prozesszeit niedrige Viskosität [s]	978,8	942,8	405,2	405,2
Kosten	€ 0,00	€ 23 422,00	€ 365 476,00	€ 365 476,00
	<b>Etikettieren</b>			
	Ist	Assistenzsystem	Abfüllstation	Abfüllstation ohne Etikettieren und Umreifen
Körperhaltungspunkte	0	0	0	0
Prozesszeit [s]	24	28	8	20
Kosten	€ 0,00	€ 0,00	€ 40 000,00	€ 0,00
	<b>Umreifen</b>			
	Ist	Assistenzsystem	Abfüllstation	Abfüllstation ohne Etikettieren und Umreifen
Körperhaltungspunkte	3	1	0	19
Prozesszeit [s]	35	40	15	33
Kosten	€ 0,00	€ 7 120,00	€ 70 000,00	€ 0,00

Es ist zu erkennen, dass bei der Erhöhung des Automatisierungsgrades die Prozesszeit der einzelnen Schritte sinkt. Vor allem beim Befüllen der Fässer ist durch die Abfüllanlage eine hohe Zeitersparnis möglich.

Im nächsten Kapitel wird nun das geeignetste Konzept für die Firma DIC ausgewählt.

### 3.3.2 Auswahl der geeignetsten Variante

Nach der Analyse der drei Konzepte wird die geeignetste Variante abermals mithilfe einer Nutzwertanalyse ausgewählt.

#### Ergebnis der Nutzwertanalyse

Anfangs wurden den internen ExpertInnen der Firma DIC die Varianten und deren Analysen präsentiert und erläutert. Anschließend wurden in einem Interview die Punkte für die jeweiligen Konzepte vergeben. Die Bewertung erfolgt mit den Punkten 1 bis 10, wobei 10 die beste Bewertung ist. Am Schluss ist jenes System mit der höchsten Punkteanzahl am geeignetsten. Diese Punkte wurden in Tabelle 26 gesammelt und es wurde deren Mittelwerte gebildet.

Tabelle 26 | Ergebnis der Befragung (Eigendarstellung)

Variante	Kosten				
	Technische Leitung	Projekt Leitung	Produktions Leitung	Instandhaltungs Leitung	Mittelwert
1: Verbesserung der Ist-Situation durch Einsatz von Assistenzsystemen	8	9	7	9	8,25
2: Vollautomatische Abfüllstation	3	2	3	2	2,5
3: Teilautomatische Abfüllstation und Einsatz von Assistenzsystemen	5	4	5	5	4,75

Variante	Prozesszeit				
	Technische Leitung	Projekt Leitung	Produktions Leitung	Instandhaltungs Leitung	Mittelwert
1: Verbesserung der Ist-Situation durch Einsatz von Assistenzsystemen	3	4	5	5	4,25
2: Vollautomatische Abfüllstation	8	9	10	10	9,25
3: Teilautomatische Abfüllstation und Einsatz von Assistenzsystemen	8	9	9	10	9

Variante	Ergonomie				
	Technische Leitung	Projekt Leitung	Produktions Leitung	Instandhaltungs Leitung	Mittelwert
1: Verbesserung der Ist-Situation durch Einsatz von Assistenzsystemen	5	5	3	4	4,25
2: Vollautomatische Abfüllstation	10	10	10	10	10
3: Teilautomatische Abfüllstation und Einsatz von Assistenzsystemen	9	9	9	9	9

Anschließend werden die errechneten Mittelwerte mit den Gewichtungsfaktoren Prozesszeit (33 %), Ergonomie (33 %) und Kosten (33 %) versehen. Aufgrund der Relevanz all dieser Faktoren kommt es zu einer ausgeglichenen Gewichtung. Das Ergebnis dieser Analyse ist in Tabelle 27 und Abbildung 3-54 zu sehen.

Tabelle 27 | Nutzwertanalyse der Konzepte (Eigendarstellung)

Variante	Kosten (33 %)	Prozesszeit (33 %)	Ergonomie (33 %)	Ergebnis
1: Verbesserung der Ist-Situation durch Einsatz von Assistenzsystemen	8,25	4,25	4,25	5,58
2: Vollautomatische Abfüllstation	2,5	9,25	10	7,24
3: Teilautomatische Abfüllstation und Einsatz von Assistenzsystemen	4,75	9	9	7,58

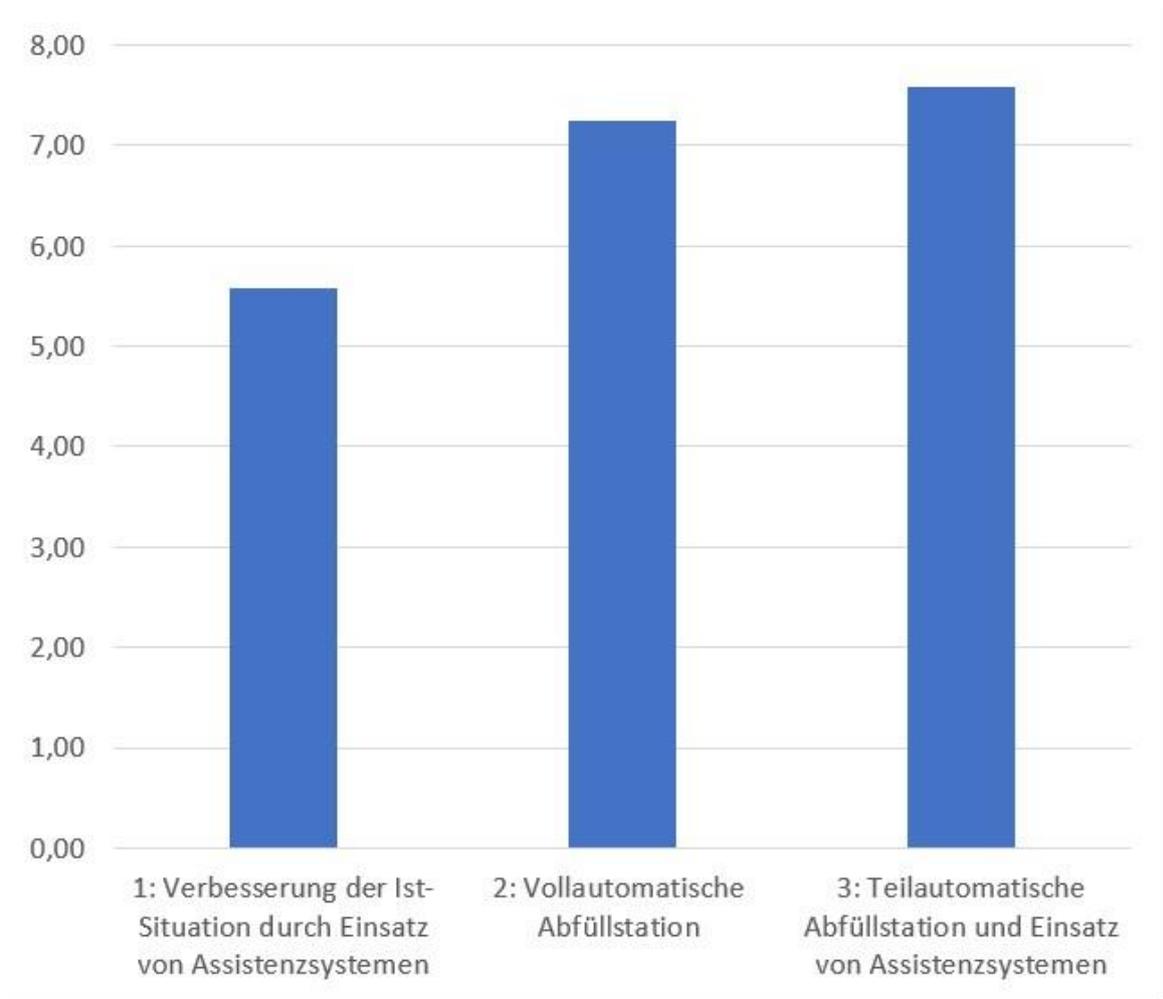


Abbildung 3-54 | Grafik zur Nutzwertanalyse der Konzepte (Eigendarstellung)

### Erläuterung der Nutzwertanalyse

Die Zahlenwerte dieser Nutzwertanalyse stammen aus den Einschätzungen der technischen Leitung, der Produktionsleitung, der Projektleitung und der Instandhaltungsleitung der Firma DIC. Basierend auf der Analyse dieser wurden Punkte vergeben. Die Argumente der Punktevergabe sind im folgenden Absatz erläutert.

### Kosten

Die Kosten der Variante 1 liegen bei 6–7 % gegenüber den anderen Konzepten, daher ist ein hoher Wert eingetragen. Die Varianten 2 und 3 unterscheiden sich durch den Wegfall des Umreifers und des Etikettendruckspenders, womit eine Kostenreduktion von 19 % einhergeht. Aus diesem Umstand wird das Konzept 3 besser bewertet.

### Prozesszeit

Die Prozesszeiten wurden in Tabelle 24 miteinander verglichen. Variante 1 führt im Verhältnis zum Ist-Zustand zu einer Verkürzung der Prozesszeit bis zu 5 % pro Charge. In absoluten Zahlen können 15 Minuten eingespart werden. Es wird eine mittelmäßige bis schlechte Bewertung vergeben. Die Varianten 2 und 3 sind um 60–80 % schneller als der Ist-Zustand. Dies kann bei einer Charge zu einer Zeitreduktion von zwei bis neun Stunden führen. Da diese Varianten ähnliche Gesamtprozesszeiten haben, erhalten sie dieselbe Punkteanzahl.

### Ergonomie

Vor allem durch den Einsatz des Exoskeletts kann bei der Variante 1 die Ergonomie um 52 % gegenüber dem Ist-Zustand pro Charge gesenkt werden. Trotzdem sind die Gesamtkörperpunkte noch im roten Bereich, woraus sich eine mittelmäßige Bewertung ergibt. Da in der Variante 2 die körperliche Arbeit komplett substituiert wird, fällt keine ergonomische Belastung an. Daraus ergibt sich in der Nutzwertanalyse die Höchstpunktezahl. Im Konzept 3 liegen die ergonomischen Belastungen bei 273 Gesamtkörperpunkten. Dies entspricht einer Reduktion gegenüber dem Ist-Zustand von 77 %, daraus folgt eine hohe Bewertung. Es ist zu beachten, dass die Ergonomiepunkte beim Umreifen um 85 % höher sind als beim Ist-Zustand. Dieser Wert ist nach Sichtung der Simulation nicht plausibel, da gegenüber der Ist-Situation keine signifikante ergonomische Verschlechterung zu konstatieren ist.

### **Kernergebnis der Nutzwertanalyse**

Das Ergebnis der Nutzwertanalyse lautet, dass die Variante 3 die geeignetste ist. Die vollautomatische Variante erhöht die Prozesseffizienz um 60–80 %, es fallen bei dieser Variante aber 20 % Mehrkosten an. Da das Umreifen und Bekleben der Fässer ergonomisch nicht anspruchsvoll sind können diese Tätigkeiten durch ArbeiterInnen durchgeführt werden. Aufgrund der manuellen Beklebung und Umreifung ist eine schnellere und kostengünstigere Reaktion auf Anforderungsänderungen möglich.

Im nächsten Kapitel wird die Variante 3 im Detail geplant.

### 3.4 Detaillierte Umsetzungsplanung des Konzeptes 3

Nachdem das Konzept 3 gewählt worden ist, folgt eine Umsetzungsplanung. Ein Projekt- und Meilensteinplan wird mit der Software Microsoft (MS) Project<sup>4</sup> erstellt. Anhand von Angeboten und Schätzungen ausgewählter Firmen wird ein Kostenplan entworfen. Somit wäre die Errichtung der Abfüllanlage nach diesem Kapitel möglich.

#### 3.4.1 Projektplan

In diesem Kapitel steht die Planung der bevorstehenden Arbeiten im Vordergrund. Um die Abfüllanlage am gewünschten Ort zu platzieren, ist die Vorbereitung der Infrastruktur notwendig. Ein Plan des vorgesehenen Aufstellungsortes ist in Abbildung 3-55 zu sehen.

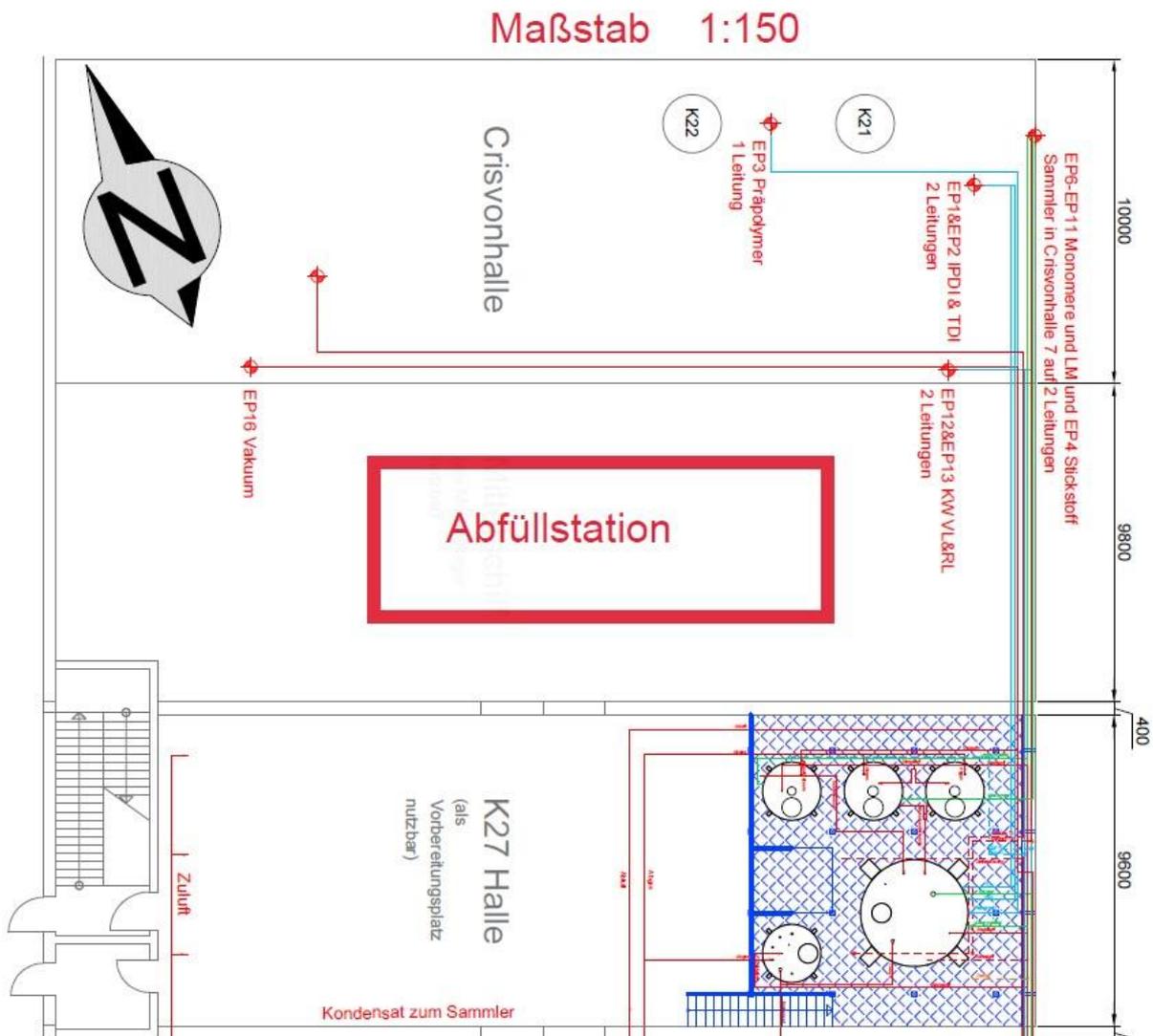


Abbildung 3-55 | Grundriss des Aufstellungsortes der Abfüllanlage (Eigendarstellung Firma DIC)

<sup>4</sup> <https://www.microsoft.com/de-at/microsoft-365/project/project-management-software>

Es ist zu erwähnen, dass eine Abfüllung der Reaktoren K21-K27 mit der neuen Anlage geplant ist. Am Aufstellungsort ist derzeit noch ein ungenutzter Sanitärraum situiert, der vom Baumeister entfernt werden muss. Anschließend ist eine Aufbereitung des Untergrundes notwendig. Des Weiteren sind eine Montage der Beleuchtung und eine Verlegung der elektrischen Leitungen vorgesehen. Neben den elektrischen Leitungen ist die Einbindung in die bestehende Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) vonnöten. Damit das abzufüllende Produkt vom Kessel zur Abfüllanlage gelangt, sind Pumpen, Armaturen und Rohrleitungen nötig. Das Thema Brandschutz muss beachtet werden, daher ist eine Sprinklerung über der Anlage eingeplant. Nach der Platzierung und Montage aller Gewerke folgt die Beschichtung des Bodens. Nach diesen Arbeiten startet die Inbetriebnahme der Anlage. Bevor die Anlage final in Betrieb geht, gibt es eine mehrtägige Einschulung aller MitarbeiterInnen.

Mithilfe von MS Project wurde ein Projektplan erstellt, der die anfallenden Arbeiten und die geschätzte Projektlaufzeit enthält. Dieser Plan ist in vier Projektabschnitte unterteilt:

- Projektvorbereitung
- Aufbau der Infrastruktur
- Montage der Abfüllanlage und des Roboters
- Inbetriebnahme

In den folgenden Unterpunkten sind die Projektpläne der einzelnen Abschnitte näher beschrieben und dargestellt.

### **Projektvorbereitung**

Für die Projektvorbereitung ist eine detaillierte Planung essenziell. Um das Projekt erfolgreich vorzubereiten, wird eine Planungsphase von 30 Tagen für die Abfüllanlage vorgeschlagen. Alle folgenden Arbeiten hängen von der Dauer dieser Konzeption ab. Nach Abschluss der Planung werden die Abfüllanlage und ihre Komponenten bei der Firma Greif Velox bestellt. Es wurde die Lieferzeit mit einem Jahr geschätzt. Nach dieser Bestellung erfolgt die Detailplanung der Infrastruktur. Um Lagerkosten zu sparen, wird versucht, die Lieferungen der einzelnen Komponenten an die Lieferzeit der Abfüllanlage anzupassen. Aus diesem Grund soll im Projektplan auf die Bestelltermine und Lieferzeiten eingegangen werden. Diese Lieferzeiten ergeben sich aus vorhandenen Angeboten oder Erfahrungen vorhergehender Projekte. All diese Zeiträume haben einen Zeitpuffer inkludiert. Diese Planung ist in den Abbildungen 3-56 und 3-57 zu sehen.

Vorgangsname	Dauer	Anfang	Ende
<b>Projektvorbereitung</b>	<b>317 Tage</b>	<b>Mon 02.01.23</b>	<b>Die 19.03.24</b>
Kick off	0 Tage	Mon 02.01.23	Mon 02.01.23
Detail Engineering Abfüllanlage	30 Tage	Mon 02.01.23	Fre 10.02.23
Bestellung der Abfüllanlage	0 Tage	Fre 10.02.23	Fre 10.02.23
Lieferzeit Abfüllanlage	262 Tage	Mon 13.02.23	Die 13.02.24
Detail Engineering Infrastruktur	80 Tage	Mon 13.02.23	Fre 02.06.23
Bestellung Roboter	0 Tage	Fre 24.11.23	Fre 24.11.23
Lieferzeit Roboter	80 Tage	Fre 24.11.23	Don 14.03.24
Bestellung Verrohrung	0 Tage	Mon 25.12.23	Mon 25.12.23
Lieferzeit Verrohrung	40 Tage	Mon 25.12.23	Fre 16.02.24
Bestellung Sprinkleranlage	0 Tage	Mit 07.02.24	Mit 07.02.24
Lieferzeit Sprinkleranlage	10 Tage	Mit 07.02.24	Die 20.02.24
Bestellung Bodenbeschichtung	0 Tage	Die 02.01.24	Die 02.01.24
Lieferzeit Bodenbeschichtung	20 Tage	Die 02.01.24	Mon 29.01.24
Bestellung Elektroarbeiten	0 Tage	Die 23.01.24	Die 23.01.24
Lieferzeit Elektroarbeiten	20 Tage	Die 23.01.24	Mon 19.02.24
Bestellung SPS- Programmierung	0 Tage	Die 02.01.24	Die 02.01.24
Lieferzeit SPS Komponenten	50 Tage	Die 02.01.24	Mon 11.03.24
Bestellung der Pumpen	0 Tage	Mit 29.11.23	Mit 29.11.23
Lieferzeit Pumpen	80 Tage	Mit 29.11.23	Die 19.03.24
Bestellung der Beleuchtung	0 Tage	Die 06.02.24	Die 06.02.24
Lieferzeit der Beleuchtung	5 Tage	Die 06.02.24	Mon 12.02.24
Bestellung Bauarbeiten	0 Tage	Die 23.01.24	Die 23.01.24
Lieferzeit Bauarbeiten	5 Tage	Die 23.01.24	Mon 29.01.24

Abbildung 3-56 | Projektplan Projektvorbereitung (Eigendarstellung)



Abbildung 3-57 | Gantt-Diagramm Projektvorbereitung (Eigendarstellung)

### Aufbau der Infrastruktur

Nach der Planung und der Bestellung aller Komponenten kommt es zum Aufbau der notwendigen Infrastruktur für die Abfüllanlage. Am Anfang stehen vor allem die Arbeiten des Baumeisters an. Parallel zu diesen können die elektrischen Komponenten und die notwendige Sprinklerleitung montiert werden. Die Einbindung der SPS in die vorhandene Steuerung kann erst nach Errichtung der Abfüllanlage und des Roboters stattfinden. Ebenso kann die Verrohrung von dem Kessel weg erfolgen. Nachdem die Abfüllanlage aufgebaut worden ist, können diese Arbeiten abgeschlossen werden. Die Bodenbeschichtung stellt die letzte Arbeit für den Punkt der Infrastruktur dar. Diese Arbeiten erfolgen erst nach der Inbetriebnahme der Abfüllanlage. Dies hat den Hintergrund, dass ab diesem Zeitpunkt keine Arbeiten durchgeführt werden, die den Boden beschädigen könnten. Die Aufgaben und deren Beziehungen sind in den Abbildungen 3-58 und 3-59 zusammengestellt.

Vorgangsname	Dauer	Anfang	Ende
<b>Infrastruktur</b>	<b>64 Tage</b>	<b>Die 30.01.24</b>	<b>Fre 26.04.24</b>
Entfernen der Sanitärgruppe	10 Tage	Die 30.01.24	Mon 12.02.24
Wanddurchbrüche für Rohre	3 Tage	Die 30.01.24	Don 01.02.24
Bodenausbesserungen	5 Tage	Die 13.02.24	Mon 19.02.24
Aufbau der Sprinkleranlage	3 Tage	Mit 21.02.24	Fre 23.02.24
<b>Aufbau der Elektrischen Infrastruktur</b>	<b>10 Tage</b>	<b>Die 20.02.24</b>	<b>Mon 04.03.24</b>
Verkabelungen im Schaltschrank vorbereiten	10 Tage	Die 20.02.24	Mon 04.03.24
Erdung	4 Tage	Die 20.02.24	Fre 23.02.24
Montage der Beleuchtung	3 Tage	Die 20.02.24	Don 22.02.24
Verrohrung	50 Tage	Mon 19.02.24	Fre 26.04.24
Implementierung der neuen SPS in den Bestand	10 Tage	Die 02.04.24	Mon 15.04.24
Bodenbeschichtung	10 Tage	Don 04.04.24	Mit 17.04.24

Abbildung 3-58 | Projektplan Aufbau der Infrastruktur (Eigendarstellung)

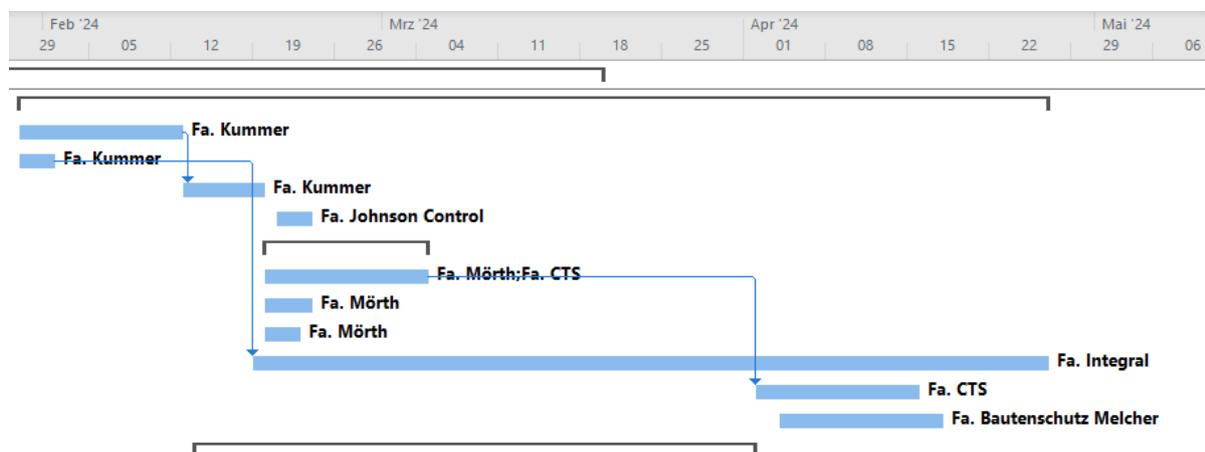


Abbildung 3-59 | Gantt-Diagramm Aufbau der Infrastruktur (Eigendarstellung)

### Montage der Abfüllanlage und des Roboters

Nachdem die Infrastruktur aufgebaut ist, können die Abfüllanlage und der Roboter montiert werden. Neben der Montage der Anlagen ist die Programmierung dieser Komponenten notwendig. In den Abbildungen 3-60 und 3-61 ist zu erkennen, dass vor allem die Montage und Programmierung zeitlich anspruchsvoll sind.

Vorgangname	Dauer	Anfang	Ende
<b>Abfüllanlage und Roboter</b>	<b>34 Tage</b>	<b>Die 13.02.24</b>	<b>Mon 01.04.24</b>
Lieferung Roboter mit Schutzeinrichtung	0 Tage	Don 14.03.24	Don 14.03.24
Montage Roboter	5 Tage	Fre 15.03.24	Don 21.03.24
Verkabelung vom Roboter in Bestand	3 Tage	Fre 22.03.24	Die 26.03.24
Programmierung Roboter	5 Tage	Fre 22.03.24	Don 28.03.24
Lieferung der Abfüllanlage	0 Tage	Die 13.02.24	Die 13.02.24
Montage der Abfüllanlage mit allen Komponenten	20 Tage	Die 20.02.24	Mon 18.03.24
Verkabelung der Abfüllanlage in Bestand	3 Tage	Die 19.03.24	Don 21.03.24
Programmierung der Abfüllanlage	10 Tage	Die 19.03.24	Mon 01.04.24

Abbildung 3-60 | Projektplan Montage der Abfüllanlage und des Roboters (Eigendarstellung)



Abbildung 3-61 | Gantt-Diagramm Montage der Abfüllanlage und des Roboters (Eigendarstellung)

### Inbetriebnahme

Sind alle Gerätschaften aufgebaut, verkabelt und programmiert, kommt es zur Inbetriebnahme. Am Anfang steht die separate Testung aller Gerätschaften im Vordergrund. Anschließend folgt eine Probe der montierten automatischen Absperrarmaturen und Pumpen. Hier wird geprüft, ob alle Komponenten richtig schalten (Loop-Test). Sollten all diese Prüfungen erfolgreich sein, wird die Gesamtanlage in Betrieb genommen. Es werden die Kommunikation zwischen den einzelnen Anlagen und die Abstimmung der Sicherheitseinrichtungen geprüft. Sollte die Kontrolle positiv ausfallen, erfolgt die Conformité Européenne (CE)-Abnahme der gesamten Anlage.

CE-Kennzeichnung (WKO, 2021)

Die CE-Kennzeichnung ist eine Vereinheitlichung von Standards und ist mithilfe von Harmonisierungsvorschriften der EU reguliert. Die Erteilung wird durch ein Konformitätsbewertungsverfahren geprüft.

Diese Kennzeichnung wurde für die einzelnen Gewerke der HerstellerInnen vergeben. Für die Gesamtanlage muss aber auch eine Kennzeichnung erteilt werden. Diese erfolgt durch ein dafür geschultes Personal der Firma DIC. Anschließend wird die erste Charge abgefüllt und die MitarbeiterInnen werden eingeschult. Nach dem Abschluss der Einschulungen gilt die Anlage als abgenommen und das Projekt als abgeschlossen. Der Projektplan der Inbetriebnahme ist in den Abbildungen 3-62 und 3-63 zu sehen.

Vorgangsname	Dauer	Anfang	Ende
<b>Inbetriebnahme</b>	<b>33 Tage</b>	<b>Fre 29.03.24</b>	<b>Die 14.05.24</b>
Inbetriebnahme Roboter	2 Tage	Fre 29.03.24	Mon 01.04.24
Inbetriebnahme der Abfüllanlage	2 Tage	Die 02.04.24	Mit 03.04.24
Loop- Test	5 Tage	Mon 29.04.24	Fre 03.05.24
Inbetriebnahme der Gesamtanlage	0 Tage	Fre 03.05.24	Fre 03.05.24
CE- Abnahme der Gesamtanlage	2 Tage	Mon 06.05.24	Die 07.05.24
Erste Chargen	2 Tage	Mit 08.05.24	Don 09.05.24
Schulung der Mitarbeiter	5 Tage	Mit 08.05.24	Die 14.05.24
Finale Inbetriebnahme	0 Tage	Die 14.05.24	Die 14.05.24

Abbildung 3-62 | Projektplan Inbetriebnahme (Eigendarstellung)

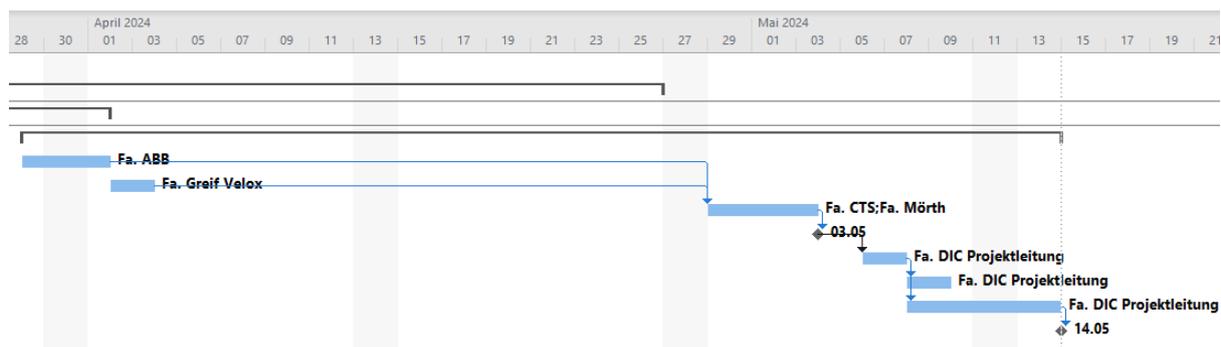


Abbildung 3-63 | Gantt-Diagramm Inbetriebnahme (Eigendarstellung)

Nach der Erstellung des Projektplans werden hervorzuhobende Ereignisse in einem Meilensteinplan dargestellt.

### 3.4.2 Meilensteinplan

Ein Projekt hat markante Ereignisse, die Meilensteine genannt werden. Für diese wurde mithilfe von MS Project ein Plan erstellt, der in Abbildung 3-64 dargestellt ist.

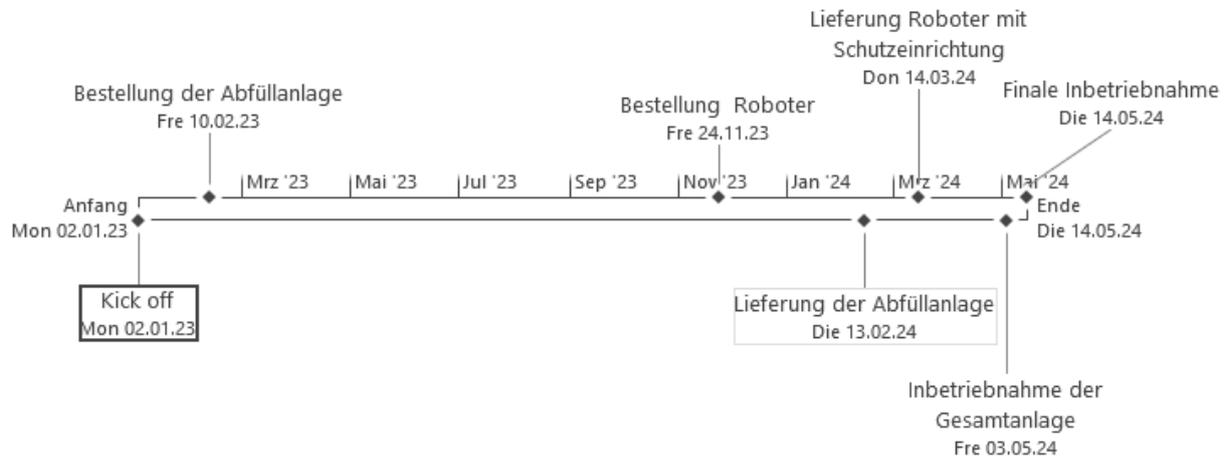


Abbildung 3-64 | Meilensteinplan (Eigendarstellung)

Neben dem Projektstart sind vor allem die Lieferung der Abfüllanlage und die finale Inbetriebnahme als Meilenstein zu definieren. Nach der Planung der Termine und Arbeiten folgt die Übersicht der Kosten.

### 3.4.3 Kostenplan

Im Zuge der Kostenplanung wurden Angebote und Richtpreise eingeholt, größtenteils gab es eine Kostenschätzung. Diese Unterscheidung ist in Spalte drei der Tabelle 28 zu sehen. Die Preise verstehen sich als Nettopreise.

Tabelle 28 | Kostenplan (Eigendarstellung)

Firma	Beschreibung	A/S	Einzelpreis	Stk.	Pos.-Preis	Summe
<b>Infrastruktur</b>						<b>€ 394 235</b>
Bautenschutz Melcher	Beschichtung des Bodens	S	€ 18 235	1	€ 18 235	
Johnson Control	Sprinklerung	S	€ 7 000	1	€ 7 000	
Integral	Rohrleitungen zur Abfüllstation inklusive Armaturen	S	€ 50 000	1	€ 50 000	
Stahl	Beleuchtung	S	€ 30 000	1	€ 30 000	
Mörth	Elektro Arbeiten	S	€ 60 000	1	€ 60 000	
Kummer	Baumeisterarbeiten (Entfernung der Sanitäranlage, Bodenausbesserungen, Wanddurchbrüche für die Leitungen)	S	€ 25 000	1	€ 25 000	
Aro	Membranpumpen zum Fördern des Mediums vom Kessel zu Abfüllanlage	S	€ 9 000	6	€ 54 000	
CTS	Einbindung in die SPS- Steuerung	S	€ 150 000	1	€ 150 000	
<b>Abfüllanlage inkl. Schutzeinrichtung</b>						<b>€ 491 776</b>
ABB	Roboter inkl. Sicherheitseinrichtung	S	€ 125 800	1	€ 125 800	
Greif- Velox	Abfülleinheit A-DOS-P1 mit 3 Arbeitsstationen					
	Absaughaube mit Balgabsenkung für Spundlochgebinde					
	Erdungsvorrichtung					
	Schraub- und Clinchstation für Fässer und IBC, in ATEX-Ausführung					
	Schutzgitter					
	Leergebinde – Rollenbahnen,					
	Drehtisch für Etikettierer	A	€ 318 540,00	1	€ 318 540	
	Montage	A	€ 46 936	1	€ 46 936	
Ecom	Tablet	S	€ 500	1	€ 500	
<b>Zwischensumme1</b>						<b>€ 886 011</b>
	Unvorhergesehenes	7%				€ 62 021
<b>Zwischensumme2</b>						<b>€ 948 032</b>
<b>Endsumme</b>						<b>€ 948 032</b>

Der Kostenplan ist in zwei Positionen geteilt einerseits die bekannten Kosten der Abfüllanlage mit der Schutzeinrichtung und dem Roboter, andererseits die Kosten für die Infrastruktur rund um die Anlage. Diese Kosten beruhen größtenteils auf Schätzungen und wurden für den derzeit vorgesehenen Aufstellungsort ermittelt. Die Kosten stammen aus dem Angebot (Anhang A1) vom August 2021 und verstehen sich als Nettopreise. Bei den anderen Kosten handelt es sich um Preisschätzungen von Firmen oder Referenzprojekten. Das Projekt befindet sich derzeit in einer ersten Planungsphase, in der eine grobe Kostenschätzung erstellt werden soll. In einer Detailplanung stehen vor allem die Kosten der Infrastruktur im Fokus. Des Weiteren gibt es einen Unsicherheitsfaktor von 7 %, der bei der Firma DIC üblicherweise in Verwendung ist.

Für die Entscheidung, ob diese Anlage errichtet wird, muss neben der ergonomischen Entlastung eine Reduktion der Kosten oder eine Erhöhung des Produktionsvolumens möglich sein. Nach Einschätzungen der technischen Leitung und der Produktionsleitung können folgende Einsparungen erzielt werden:

### Einsparung an Personalkosten

Die Firma DIC produziert in drei Schichten. Mithilfe der Errichtung der Abfüllanlage werden neben der Abfüllung auch die Abfüllvorbereitung und Nacharbeit erleichtert. Durch diese Verbesserungen kann davon ausgegangen werden, dass eine Einsparung von einer Person pro Schicht möglich ist. Somit sind pro Schicht nur noch

zwei statt drei MitarbeiterInnen in dieser Abteilung notwendig. Dies hat eine Kosteneinsparung zur Folge, die in Tabelle 29 errechnet wurde. In dieser Tabelle werden die Kosten einer MitarbeiterIn pro Jahr erfasst.

**Tabelle 29 | Berechnung der Kosten pro MitarbeiterIn pro Jahr (Eigendarstellung)<sup>5</sup>**

<b>Personalkosteneinsparung pro MitarbeiterIn pro Jahr</b>	
Durchschnittsbruttostundenlohn inkl. Nebenkosten	€ 37,40
Arbeitsstunden pro Woche	38
Arbeitswochen pro Monat	4,3
Anzahl an Monatsgehälter	14
<b>Kosten pro MitarbeiterIn/Jahr</b>	<b>€ 85 556,24</b>

### Erhöhung des Produktionsvolumens

Wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, werden im Jahr bis zu 22.000 Fässer abgefüllt. In Tabelle 30 ist eine Analyse der Produktion vom letzten Jahr zu sehen.

<sup>5</sup> Der Durchschnittsbruttolohn inkl. Nebenkosten geht aus den Personalabrechnungsdaten der Firma DIC hervor, Stand Februar 2022

Tabelle 30 | Berechnung der zusätzlich möglichen Chargen (Eigendarstellung)

Produkt	Anzahl Fässer	Anzahl Kochungen	Einsparung [s]	Einsparung gesamt [s]	Einsparung gesamt [h]
Produkt 1	20	0,4	33 805,00	13 001,92	3,61
Produkt 2	76	1,5	33 805,00	49 407,31	13,72
Produkt 3	135	2,6	33 805,00	87 762,98	24,38
Produkt 4	35	0,7	33 805,00	22 753,37	6,32
Produkt 5	68	1,3	33 805,00	44 206,54	12,28
Produkt 6	189	3,6	33 805,00	122 868,17	34,13
Produkt 7	255	4,9	33 805,00	165 774,52	46,05
Produkt 8	612	11,8	9 489,80	111 687,65	31,02
Produkt 9	64	1,2	9 489,80	11 679,75	3,24
Produkt 10	39	0,8	33 805,00	25 353,75	7,04
Produkt 11	12 247	235,5	9 489,80	2 235 030,40	620,84
Produkt 12	482	9,3	33 805,00	313 346,35	87,04
Produkt 13	535	10,3	33 805,00	347 801,44	96,61
Produkt 14	1 033	19,9	33 805,00	671 549,33	186,54
Produkt 15	1 624	31,2	33 805,00	1 055 756,15	293,27
Produkt 16	565	10,9	9 489,80	103 110,33	28,64
Produkt 17	761	14,6	9 489,80	138 879,57	38,58
Produkt 18	4	0,1	33 805,00	2 600,38	0,72
Produkt 19	33	0,6	33 805,00	21 453,17	5,96
Produkt 20	39	0,8	33 805,00	25 353,75	7,04
Produkt 21	47	0,9	33 805,00	30 554,52	8,49
Produkt 22	2 423	46,6	9 489,80	442 188,18	122,83
Produkt 23	425	8,2	33 805,00	276 290,87	76,75
Produkt 24	8	0,2	33 805,00	5 200,77	1,44
Produkt 25	41	0,8	9 489,80	7 482,34	2,08
Produkt 26	90	1,7	33 805,00	58 508,65	16,25
Produkt 27	25	0,5	33 805,00	16 252,40	4,51
Produkt 28	4	0,1	33 805,00	2 600,38	0,72
Produkt 29	61	1,2	33 805,00	39 655,87	11,02
Produkt 30	311	6,0	9 489,80	56 756,30	15,77
Produkt 31	8	0,2	33 805,00	5 200,77	1,44
Produkt 32	40	0,8	33 805,00	26 003,85	7,22
Produkt 33	74	1,4	33 805,00	48 107,12	13,36
Produkt 34	4	0,1	33 805,00	2 600,38	0,72
Produkt 35	311	6,0	33 805,00	202 179,90	56,16
Produkt 36	6	0,1	33 805,00	3 900,58	1,08
Produkt 37	12	0,2	9 489,80	2 189,95	0,61
Produkt 38	8	0,2	33 805,00	5 200,77	1,44
Produkt 39	89	1,7	9 489,80	16 242,16	4,51
<b>Summe an Zeitersparnis [h]</b>					<b>1 893,47</b>
<b>durchschnittliche Produktionszeit für eine Charge [h]</b>					<b>24</b>
<b>Zusätzlich mögliche Charge</b>					<b>78,89</b>

In der Tabelle 30 sind alle Produkte, die in Fässer abgefüllt werden, und die produzierten Fässer aller Produkte im Jahr 2021 aufgelistet. Es ist zu erkennen, dass manche Produkte in keiner vollen Charge produziert wurden. Daher wurde eine Hochrechnung aller Produkte zu einer Charge je 52 Fässer erstellt, damit eine Vergleichbarkeit gegeben ist. Durch die in Tabelle 30 berechneten zeitlichen Einsparung je Charge ist eine Errechnung der Einsparung an Abfüllzeit pro Jahr möglich. Alle hochviskosen Produkte wurden rot und alle niedrig viskosen grün markiert. Die errechnete Gesamteinsparung beträgt 1893 Stunden. Da die Produktion einer Charge durchschnittlich 24 Stunden dauert, können die zusätzlich möglichen

Chargen errechnet werden. Diese Kalkulation ergibt eine Produktionssteigerung von 78 Chargen. Eine Befüllung von IBC ist mit dieser Anlage möglich. Diese Daten und Einsparungen sind aus dieser Arbeit ausgegliedert.

In Tabelle 31 ist die Berechnung des ROI zu sehen. Es werden die anfallenden Kosten den Einsparungen durch Personalkosten und der Steigerung des Produktionsvolumens gegenübergestellt.

**Tabelle 31 | Berechnung des Returns on Investment für das Konzept 3 (Eigendarstellung)**

<b>Personaleinsparung pro Jahr</b>	
Anzahl	3
Kosten pro MitarbeiterIn/Jahr	€ 85 556,24
<b>Einsparung</b>	<b>€ 256 668,72</b>
<b>Zusätzliche Produktion im Jahr</b>	
Umsatz pro Charge	€ 29 000,00
Gewinn pro Charge	€ 1 450,00
Mehr Chargen	78
<b>Mehr Gewinn pro Jahr</b>	<b>€ 113 100,00</b>
<b>Investitionskosten</b>	<b>€ 950 000,00</b>
Einsparungen Personal pro Jahr	€ 256 668,72
Jährliche Gewinnerhöhung durch zusätzliche Produktion	€ 113 100,00
<b>Return on Investment [Jahre]</b>	<b>2,57</b>

Das Ergebnis der Berechnung des ROI zeigt, dass sich die Investition in eine halbautomatische Anlage in 2,57 Jahren rechnet. Durch die Einsparung der MitarbeiterInnen und die Erhöhung der Produktion ist diese Anlage binnen 2,57 Jahren bezahlt. Die Abfüllung in IBC-Behälter ist in dieser Berechnung noch nicht eingeflossen. Es kann hier von einer Erhöhung des Produktionsvolumens

ausgegangen werden. Im anschließenden Kapitel werden die Forschungsfragen anhand der Resultate dieser Arbeit beantwortet.

### 3.5 Resultate in Bezug auf die Forschungsfragen

Einleitend wurden in dieser Diplomarbeit Forschungsfragen gestellt, die hier beantwortet werden:

#### **Wie können menschliche Arbeit, Ergonomie sowie Prozesse eines Arbeitsplatzes in der chemischen Produktion softwarebasiert simuliert und analysiert werden?**

Die Erkenntnis dieser Arbeit ist, dass die Simulation dieses Arbeitsplatzes möglich ist. Es wurden Hindernisse in der Modellierung, Simulation und Bewertung erkannt:

- Die Simulation von biegeschlaffen Erzeugnissen ist derzeit noch nicht möglich.
- Die Modellierung, Simulation und Bewertung von Exoskeletten sind noch nicht umsetzbar
- Die digitale Bewertung der kognitiven Belastung ist derzeit nicht realisierbar.

Es musste auf Alternativen zurückgegriffen werden wie die Reduktion der Gewichte zur Simulation des Exoskeletts. Des Weiteren ist aufgefallen, dass die Objekt-Bibliothek der Software für diesen Anwendungsfall nicht ausreichend ist und somit externe Objekte genutzt werden mussten. Die Schläuche, Blätter und Bänder mussten als starr angenommen werden. Eine Zuordnung von Massen an die jeweiligen Objekte ist ebenfalls erforderlich. Nach der Modellierung wurde die zu tätigende Arbeit simuliert. Eine Realisierung erfolgte durch die Aneinanderreihung von fertigen Arbeitsschritten. Dies stellte eine zeitintensive und komplexe Tätigkeit dar. Unter anderem mussten bei Hebetätigkeiten die genauen Handpositionen und Griffarten angegeben werden. Die Analyse erfolgte durch die bereits vorhandenen Analysetools. Hier sind vor allem die Prozesszeiten und Gesamtkörperpunkte zu nennen.

#### **Welche Herausforderungen herrschen in Bezug auf Ergonomie und Prozesseffizienz beim aktuellen Arbeitsplatz vor?**

Auf dem Arbeitsplatz herrschen derzeit ergonomisch ungünstige Verhältnisse. Eine weitere Herausforderung ist die explosionsfähige Atmosphäre durch die lösungsmittelhaltigen Dämpfe. Des Weiteren gibt es derzeit keine Hilfsmittel bei der Kommunikation. Die Arbeit ist langwierig, da der Arbeitsplatz immer wieder neu aufgebaut werden muss. In Tabelle 32 sind die Herausforderungen des Arbeitsplatzes aufgelistet.

**Tabelle 32 | Herausforderungen der Ist Situation (Eigendarstellung)**

Herausforderung	Beschreibung
Positionieren der Fässer	Körperliche Belastung ist hoch und auch die zeitliche Komponente sollte verbessert werden.
Arbeitsplatzvorbereitung	Das Schieben der Wägen ist körperlich fordernd und auch das Anschließen der Schläuche belastet den Körper. Zeitlich kann der Prozess optimiert werden.
Abfüllen	Das Tragen des Schlauches ist ergonomisch bedenklich und die Nähe zur Abfüllung ist aufgrund der lösungsmittelhaltigen Dämpfe zu überdenken. Zeitlich kann hier auch noch optimiert werden.
Fässer bekleben	Hier ist die Herausforderung eine schnellere Arbeitsweise.
Spannband auf Fässer	Ergonomisch nicht bedenklich, zeitlich kann hier optimiert werden.
Kommunikation und Informationsaustausch	Findet derzeit nur in verbaler Form statt.
Einschulung der MitarbeiterInnen	Findet derzeit nur in verbaler Form statt, daher kommt es zu Bedienfehlern.

**Wie kann der Arbeitsplatz in Bezug auf Ergonomie und Prozesseffizienz verbessert werden?**

Bei der Recherche der vorhandenen Assistenzsysteme konnten Lösungen gefunden werden. Folgende Systeme sind zu nennen:

- Exoskelett: Physische Entlastung vor allem beim Tragen
- Drehteller: Physische Entlastung durch die Reduktion von Wegen
- Datenbrille und Smartwatch: Kognitive Entlastung der MitarbeiterInnen
- Robotik: Physische Entlastung durch Substitution der Arbeit der MitarbeiterInnen

Nicht all diese Systeme sind für den praktischen Anwendungsfall nutzbar. Es ist vor allem die Hürde der explosionsfähigen Atmosphäre anzuführen. Des Weiteren konnten Varianten erstellt werden, die nachhaltig die ergonomische Belastung senken und die Prozesszeit verkürzen können. Folgende Varianten sind zu nennen:

- Erstellung eines neuen mobilen Wagens, der die Pumpe, den Filter und einen Kanister beinhaltet. Somit können Wege beim Aufbau des Arbeitsplatzes eingespart werden.
- Die Erstellung einer Kombination aus Roboter, Förderband und Drehteller. Hier ersparen sich die MitarbeiterInnen Wege und ergonomisch belastende Tätigkeiten. Die Prozesszeit kann gesenkt werden.

**Welche Assistenzsysteme können eingesetzt werden, um die MitarbeiterInnen am Arbeitsplatz zu unterstützen?**

Für den im Praxisteil angeführten Arbeitsplatz konnten hilfreiche Assistenzsysteme bestimmt werden. In Tabelle 33 sind alle Systeme aufgelistet.

**Tabelle 33 | Auflistung der Assistenzsysteme (Eigendarstellung)**

Variante	Assistenzsystem	Vorteil	Nachteil
1	Tablet	Eine gute Darstellung der Informationen ist möglich. Hohe Akzeptanz bei den MitarbeiterInnen, da sich das Tablet im Alltag schon bewährt hat.	Mindestens eine Hand ist bei der Handhabung immer belegt.
1	Datenbrille	Schneller Informationsaustausch möglich, ergonomisch wirkt sich dieses System nur kognitiv aus	Aufgrund des notwendigen Ex-Schutzes sehr hohe Investitionskosten
1	Smartwatch	Schneller Informationsaustausch möglich. Das Schalten von Ventilen kann außerhalb des Gefahrenbereichs durchgeführt werden	Zum Aufbau vieler Funktionen ist die Errichtung eines WLAN-Netzes und ein hohes Maß an Programmierung notwendig
1+3	Drehteller	Trägt zu einer Erleichterung der Vorbereitungsarbeiten und der Umreifung bei. Ist sowohl ergonomisch als auch zeitlich eine Verbesserung	Hohe Investitionskosten
1	Exoskelett	Erhebliche Erleichterung der Arbeiten möglich, vor allem bei den Hebearbeiten	Hohe Investitionskosten, möglicherweise fehlende Akzeptanz der MitarbeiterInnen
1	Neues Pumpengestell	Zusammenfassung einiger Arbeitsschritte möglich	Keine Nachteile
2+ 3	Roboter von ABB	Hebearbeiten werden komplett vom Roboter übernommen, schnelleres und genaueres Arbeiten ist möglich	Hohe Investitionskosten
2+ 3	Abfüllanlage	Abfüllung erfolgt komplett ohne ArbeiterInnen. Keine Belastung von Dämpfen, Die Befüllung erfolgt sehr exakt	Hohe Investitionskosten und keine gleichzeitige Abfüllung von mehreren Fässern möglich
2	Vollautomatischer Umreifer	Sehr genaue Umreifung möglich, ohne körperliche Belastung der AnwenderInnen	Hohe Investitionskosten
2	Etikettierdruckspender	Schnelles und genaues Etikettieren möglich	Drehteller ist notwendig, damit das System funktioniert.
2+ 3	Förderband	Transport der Palette ohne Körpereinsatz möglich	Keine Nachteile

Neben jenen Systemen der Assistenz für die physische Entlastung sind vor allem jene der kognitiven Entlastung von hoher Bedeutung.

**Welche besonderen Anforderungen sind für die Produktion in der Chemieindustrie notwendig?**

Unter den besonderen Anforderungen wurde vor allem die Problematik der explosionsfähigen Atmosphäre erkannt. Es kann vorkommen, dass Bauteile in Ex-Ausführung nicht zur Verfügung stehen. Des Öfteren sind Bauteile in Ex-Ausführung teurer als jene in normalem Aufbau. Ein weiteres Problem ist die teilweise fehlende digitale Infrastruktur. Durch einen hohen Kostenaufwand ist eine Einführung von digital vernetzten Systemen möglich. Beide Hindernisse sind im praktischen Beispiel der Firma DIC nachvollziehbar.

### **Wie können moderne Konzepte des Arbeitsplatzes in der Chemieindustrie bewertet und umgesetzt werden?**

Die Software ema hat ein Analysetool, das bei der Bewertung und beim Vergleich der Konzepte essenziell ist. Hier sind unter anderem die ergonomischen Belastungen und die Prozesszeiten der einzelnen Prozessschritte zu nennen. Für die Ergonomie ist der Wert der Gesamtkörperpunkte ein Vergleichswert. Dieser setzt sich aus der Summe der Haltungspunkte, Kräftepunkte und Lastenpunkte zusammen. Anhand einer Farbskala ist die ergonomische Belastung zu erkennen, wobei Rot eine kritische Belastung und Grün eine geringe Last darstellt. Wenn es um die Prozesszeit geht, kann jeder einzelne Arbeitsschritt zeitlich bemessen werden. Ein Vergleich der Konzepte ist somit so genau wie nötig möglich. Sind alle Daten der jeweiligen Variante gesammelt, folgt deren Gegenüberstellung. Für einen Vergleich werden die Prozesszeiten und Ergonomiepunkte von einer kompletten Charge verglichen. Eine Charge entspricht der Abfüllung von 52 Fässern. Für eine noch genauere Betrachtung der Prozesse werden diese Parameter noch in fünf Unterprozesse aufgeteilt. Zwischen folgenden Prozessen wird hier unterschieden:

- Palette bestücken
- Aufbau des Arbeitsplatzes
- Befüllung
- Etikettieren
- Umreifen

Neben der Zeit und der Ergonomie sind die Investitionskosten relevant. Auch hier wurde eine genaue Auflistung der anfallenden Kosten der jeweiligen Konzepte erstellt. Nach der Aufbereitung aller relevanten Daten kam es anhand einer Nutzwertanalyse zu einer Bewertung. Hierbei wurden die Experten der Firma DIC herangezogen, denen die Simulationen und die Bewertungen präsentiert wurden. Diese gaben eine Bewertung der Varianten von 1 bis 10 ab, wobei 10 die beste Bewertung darstellt. Diese Wertung fand unter den Gesichtspunkten Kosten, Prozess und Ergonomie statt. Da all diese Parameter gleich bedeutsam sind, bekamen sie jeweils eine Gewichtung von 33 %. Nachdem alle Experten die Bewertung abgeschlossen hatten, wurden die Ergebnisse zusammengefasst und eine Endbewertung erstellt. Diese ergab, dass die Kombination der Abfüllanlage mit Assistenzsystemen am geeignetsten ist.

Nach der Bewertung folgt die Umsetzung des Konzeptes 3. Hierfür ist die Erstellung eines Projekt-, Meilenstein- und Kostenplans vorgesehen. Darüber hinaus wird mit MS Project ein Projektplan angefertigt, der die Dauer und die notwendigen Arbeiten und Firmen erfasst. Es folgt die Unterteilung des Projektes in vier Abschnitte:

- Projektvorbereitung
- Aufbau der Infrastruktur
- Montage der Abfüllanlage und des Roboters
- Inbetriebnahme

Durch diesen Plan können Bestellungen und Arbeiten vorab koordiniert werden. Ein Meilensteinplan soll die markantesten Ereignisse des Projektes noch einmal hervorheben. Der Kostenplan beinhaltet alle anfallenden Kosten des Projektes. Neben der Errichtung der Abfüllanlage fallen auch einige Ausgaben für den Aufbau der Infrastruktur an. Für die Umsetzung eines solchen Projektes ist der ROI essenziell, der abschließend errechnet wurde. Es kommt zu einer Gegenüberstellung der anfallenden Investitionskosten und der Einsparungen. Durch die Errichtung der Abfüllanlage ist eine Einsparung der Kosten im Bereich Personal möglich und auch das Produktionsvolumen wird dadurch erhöht. Konkret können drei MitarbeiterInnen eingespart und 78 Chargen mehr im Jahr produziert werden. Somit ergibt sich nach der Gegenüberstellung der Kosten ein ROI von 2,57 Jahre. Dies stellt für die Größe des Projektes, einen üblichen Wert bei der Firma DIC dar. Im anschließenden Kapitel wird ein Resümee gezogen und ein Ausblick gegeben.

## 4 Resümee und Ausblick

### 4.1 Resümee

Das Hauptziel dieser Arbeit war die Erforschung der Modellierung, Simulation und Bewertung menschlicher Arbeit eines Arbeitsplatzes in der Chemieindustrie. Des Weiteren wurde durch Assistenzsystemen und Robotik am Arbeitsplatz eine Verbesserung der Ergonomie und Prozesseffizienz erreicht. Am Anfang der Arbeit wurde ein Überblick über die Situation erstellt. Anschließend wurden die theoretischen Grundlagen geklärt und der Stand der Technik bestimmt. Es ging vor allem um die Erforschung der derzeit vorhandenen Assistenzsysteme und Robotikanwendungen. Im nächsten Schritt folgte die Klärung des Technikstandes in der chemischen Industrie. Es ist zu erkennen, dass dieser Zweig beim Thema Digitalisierung fortschrittlich ist, jedoch eine Hürde bei der Implementierung von digitalen und elektrischen Gerätschaften herrscht. Dieses Hindernis ist die explosionsgefährdete Atmosphäre in der Produktion. Hierdurch gibt es Einschränkungen bei der Einführung von neuen Apparaten.

Nach der Klärung der theoretischen Grundlage und des Technikstandes kam es zur Anwendung anhand eines praktischen Beispiels. Es wurde durch die Software ema die Ist-Situation modelliert, simuliert und bewertet. Hier konnten Herausforderungen erkannt werden. Diese traten in erster Hinsicht aufgrund von ergonomischen Belastungen auf, aber auch die Arbeitszeit stellte ein zu lösendes Problem dar. Aufbauend auf dem Ist-Zustand, wurden Lösungsvorschläge erarbeitet, die durch ema erstellt wurden. Diese Varianten beinhalteten vor allem Assistenzsysteme und Robotikanwendungen, deren Erforschung im theoretischen Teil erfolgte.

#### Variante 1

Variante 1 ist geprägt durch den Einsatz von Assistenzsystemen. Das Exoskelett ist hier hervorzuheben. Es führt zu einer ergonomischen Verbesserung von 52 %, da sich die zu tragenden Lasten verringern. Die Prozesszeit konnte um 5 % gesenkt werden.

#### Variante 2

Diese Variante kommt ohne menschliche Arbeit aus. Die Hauptkomponenten bestehen aus Robotern, Rollbahnen und anderen Gerätschaften. Es konnte die Prozesszeit um 60–80 % gesenkt werden. Nachteil sind vor allem die hohen Anschaffungskosten und eine fehlende Flexibilität bei veränderten Anforderungen.

#### Variante 3

Dieses Konzept verbindet das Beste aus den vorher genannten Varianten. Es werden so ergonomisch unbedenkliche Arbeiten der MitarbeiterInnen erzielt. Somit können

nicht nur Anschaffungskosten von 20 % gegenüber der Variante 2 eingespart werden, es steigt auch die Flexibilität der Anlage bei Anforderungsänderungen.

Die Auswahl der geeignetsten Variante erfolgte systematisch durch eine Nutzwertanalyse. Hierfür wurden die technischen Entscheidungsträger der Firma DIC nach deren Meinungen gefragt. Diese Analyse ergab, dass die Variante 3 die geeignetste Lösung darstellt. Somit ist zu erkennen, dass nicht die Variante mit dem höchsten Automatisierungsgrad am besten ist. Abschließend wurde Variante 3 ausgearbeitet. Es wurde neben einem Projektplan ein Kostenplan erstellt. Durch diese Planung kann dieses Projekt jederzeit in eine Detailplanungsphase gelangen. Vor einer Umsetzung solcher Projekte muss errechnet werden, ob sich dieses Vorhaben für die Firma finanziell auszahlt. Hierfür wurde ein ROI errechnet, bei dem die erwarteten Einsparungen den Kosten gegenübergestellt werden. Nachdem es durch diesen Umbau Einsparungen im Bereich des Personals gibt und das Produktionsvolumen erhöht wird, kann mit einem ROI von 2,57 Jahren kalkuliert werden. Im abschließenden Kapitel folgt ein Ausblick.

## 4.2 Ausblick

In diesem Kapitel soll ein Ausblick zu den Themen digitale Simulation, Assistenzsysteme und zum Projekt der Firma DIC gegeben werden.

### Weiterentwicklung in Bezug auf digitale Simulation

Bei der Ausarbeitung des praktischen Beispiels konnten die Vor- und die Nachteile der Software ema Work Designer ermittelt werden. Vor allem die Flexibilität beim Modellieren ist hervorzuheben. Obwohl die ema Objekt-Bibliothek nicht für diesen Anwendungsfall geeignet ist, konnten Importe diese Schwächen kompensieren. Als Schwächen wurden die Modellierung, Simulierung und Bewertung von biegeschlaffen Objekten und Exoskeletten erkannt. Diesbezüglich gibt es bei der Firma imk automotive GmbH bereits laufende Forschungsprojekte. Eine weitere Schwäche ist die Analyse der kognitiven Belastungen zum Beispiel durch Lärm oder Dämpfe. Die fehlende Analyse von Problemen aufgrund von Kommunikation oder fehlendem Informationsaustausch ist zudem zu erwähnen. Auch hier sollten Forschungsprojekte folgen.

### Weiterentwicklung in Bezug auf Assistenzsysteme

Vor allem für die chemische Industrie und im Speziellen bei der Firma DIC ist das Thema der explosionsgefährdeten Atmosphäre von hoher Relevanz. Daher muss bei der Wahl der Assistenzsysteme darauf geachtet werden. Bei der Suche nach Lösungen fiel auf, dass noch Aufholbedarf besteht. Vor allem wenn es um das Thema der digitalen Assistenzsysteme geht, ist der Markt an Geräten, die für den Ex-Bereich

nutzbar sind, gering. Der Fokus der Industrie sollte daraufgelegt werden, um die Auswahl zu vergrößern und damit die Preise zu senken.

### **Umsetzung des Projektes der halbautomatischen Abfüllanlage**

Aufbauend auf dieser Arbeit muss die Detailplanung der Anlage gestartet werden. In dem Zuge liegt der Fokus auf den technischen Details der Anlage und auf der notwendigen Infrastruktur. Aus finanzieller Sicht sollten Einsparungen für das Abfüllen in IBC eruiert werden, um einen aussagekräftigen ROI für die gesamte Produktion zu errechnen.

## 5 Literaturverzeichnis

- Akademie der Ruhr-Universität gGmbH. (2020). *Vom Show-Case zum Use-Case: Augmented Reality verstehen und selbst anwenden: Sie lernen Papieranleitungen leicht in Augmented Reality Anleitungen umzusetzen*. <https://www.akademie.rub.de/zertifikatskurse/augmented-reality/>
- Apt, W., Bovenschulte, M., Priesack, K., Weiß, C. & Hartmann, E. A. (2018). *Einsatz von digitalen Assistenzsystemen im Betrieb*.
- Apt, W., Schubert, M. & Wischmann, S. (2018). *Digitale Assistenzsysteme: Perspektiven und Herausforderungen für den Einsatz in Industrie und Dienstleistungen*.
- Arbeitsinspektion. (2021). *Lärm am Arbeitsplatz*. [https://www.arbeitsinspektion.gv.at/Arbeitsstaetten-\\_Arbeitsplaetze/Arbeitsstaetten-\\_Arbeitsplaetze/Laerm\\_am\\_Arbeitsplatz.html](https://www.arbeitsinspektion.gv.at/Arbeitsstaetten-_Arbeitsplaetze/Arbeitsstaetten-_Arbeitsplaetze/Laerm_am_Arbeitsplatz.html)
- Azuma, R. T. (1997). *A Survey of Augmented Reality*.
- Backhaus, N. (2020). *Kontextintensive Assistenzsysteme und Überwachung am Arbeitsplatz: Ein met- analytisches Review zur Auswirkung elektronischer Überwachung auf Beschäftigte*. Springer.
- Baumhauer, M., Beutnagel, B., Meyer, R. & Rempel, K. (2019). *Produktionsfacharbeit in der chemischen Industrie: Auswirkungen der Digitalisierung aus Expertensicht*.
- Bittner, E. A., Oeste- Reiß, S., Ebel, P. A. & Söllner, M. (16.01). *Mensch Maschine Kollaboration: Grundlagen, Gestaltungsanforderungen und Potenziale für verschiedene Anwendungsdomänen*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- bluhmsysteme. [//www.bluhmsysteme.at/etikettierung/etiketten-drucken-spenden/legi-air-4050-e.html](https://www.bluhmsysteme.at/etikettierung/etiketten-drucken-spenden/legi-air-4050-e.html)
- Botthof, A. & Hartmann, E. A. (2015). *Zukunft der Arbeit in Industrie 4.0*. Springer Vieweg.
- Bullinger- Hoffmann, A. C. & Mühlstedt, J. (2016). *Homo Sapiens Digitalis: Virtuelle Ergonomie und digitale Menschmodelle*. Springer Vieweg.
- Buxbaum, H.-J [Hans- Jürgen]. (2020). *Mensch- Roboter- Kollaboration*. Springer Gabler.
- Buxbaum, H.-J [Hans-Jörg] & Bendel, O. (2020). *Technische und philosophische Aspekte der Mensch- Roboter- Kollaboration*.
- DIC Performance Resins GmbH. (2022). <https://www.dic.co.at/>
- Dombrowski, U. & Mielke, T. (2015). *Ganzheitliche Produktionssysteme: Aktueller Stand und zukünftige Entwicklungen*. Springer-Verlag.
- Firma Stahl. *Grundlagen Explosionsschutz*.
- Förster, A., Mathes, B., Rübberdt, K., Track, T., Wagemann, K., Westhaus, U. & Bazzanella, A. (2016). *White paper: Digitalisierung in der Chemieindustrie*.
- germanbionic. (2022). <https://www.germanbionic.com/en/>
- Greif Velox. <https://www.greif-velox.com/produkte/palettierung-ladungssicherung/umreifer>
- Hold, P., Ranz, F. & Holly, F. (2020). *EXOSKELETTE IN PRODUKTION UND LOGISTIK: Grundlagen, Morphologie und Vorgehensweise zur Implementierung*. <https://www.dic.co.at/>. <https://www.dic.co.at/>
- Human Lambdas Ltd. (2020). *an-introduction-to-human-in-the-loop*. Human Lambdas Ltd. <https://www.humanlambdas.com/post/an-introduction-to-human-in-the-loop>

- Illmann, B., Fritzsche, L., Ullmann, S. & Leidholdt, W. *Ganzheitliche Gefährdungsbeurteilung mit digitalen Menschmodellen: Die Integration von Umgebungsbedingungen in die Digitale Fabrik.*  
*imk-ema.* (2022). <https://imk-ema.com/software-suite.html>
- isafe-mobile. *Tablet Zone 1/21 HMT-1Z1.* <https://www.isafe-mobile.com/de/produkte/produkte-zone-1/21/hmt-1z1>
- item Redaktion. (2017). *Grundwissen: Ergonomie in der Industrie.*  
<https://www.produktion.de/technik/grundwissen-ergonomie-in-der-industrie-247.html>
- jh-profishop. *Drehteller Ministretch.* <https://www.jh-profishop.de/Drehteller-Ministretch-4425-148602/>
- Kassermann, S. & Willeke, S. *4.0 Ready: Interaktive Assistenzsysteme.*
- Lemm, J., Loehrer, M., Kerpen, D. & Gloy, Y.-S. *Interlligente Assistenzsysteme für die Arbeitswelt der Industrie 4.0: Zusammenspiel technischer und sozialer Innovationen.*
- Lessel, P. & Kerber, F [Frederic]. (2015). *Adaptive und gamifizierte Werkerassistenz in der (semi-) manuellen Industrie 4.0- Montage.*
- Markis, A. & Ranz, F. (10.10). *Sicherheit in der Mensch- Roboter- Kollaboaration: Grundlage, Herausforderungen, Ausblick.*
- Niehaus, J. (2017). *Mobile Assistenzsysteme für die Industrie 4.0: Gestaltungsoptionen zwischen Autonomie und Kontrolle.*
- Ottobock SE & Co. KGaA. (2022). <https://paexo.com/paexo-back/>  
*Paexo. Paexo Back: Das Exoskelett für die Entlastung des Rückens.*  
<https://paexo.com/paexo-back/>
- pepperl- fuchs. *Die neue Smart-Ex® Watch 01 Smartwatch für Zone 2/22.*  
<https://www.ecom-ex.com/de/produkte/kommunikation/smartwatches/smart-ex-watch-01/>
- Rusch, T., Edner, H. & Kerber, F [Florian]. (30.10). *Kollaborative Robotikanwendungen an Montagearbeitsplätze.* Springer.
- Schenk, M. (2016). *Anlagenbau 4.0: Stand und Perspektiven für Betreiber, Planer und Kontraktion,* S. 33-35.
- Schmalz, T., Bornmann, J., Schirrmeister, B., Schändlinger, J. & Schuler, M. (2019). *Prinzipstudie zur Wirkung eines industriellen Exoskeletts bei Überkopfarbeit.* Verlag Orthopädie-Technik.
- Spanner- Ulmer, B. & Mühlstedt, J. (2010). *Digitale Menschmodelle als Werkzeuge virtueller Ergonomie: Ergebnisse einer empirischen Studie.*
- Ullmann, S. (2019a). *Virtuelle Arbeitsgestaltung: Vorstellung der digitalen Planungssystem "ema Work Designer". ASU Zeitschrift für medizinische Prävention*(Ausgabe 10).
- Ullmann, S. (2019b). *Vorstellung des digitalen Planungssystems ema work designer virtuelle Arbeitsgestaltung.* <https://www.asu-arbeitsmedizin.com/praxis/vorstellung-des-digitalen-planungssystems-ema-work-designer-virtuelle-arbeitsgestaltung>
- Handbuch Industrie 4.0 Bd.4: Allgemeine Grundlagen* (2. Auflage). (2017). Springer Vieweg.
- Voges, J. *Paletten.* <https://www.transportbranche.de/wissen/paletten/>
- Weber, M.-A. & Stowasser, S. (8.10). *Ergonomische Arbeitsgestaltung unter Einsatz kollaborierender Robotersysteme: Eine praxisorientierte Einführung.* Springer-Verlag GmbH Deutschland.

- Wischiowski, S. (2016). *Ergonomie durch digitale Menschmodelle*.  
<https://www.esv.info/aktuell/ergonomie-durch-digitale-menschmodelle/id/81690/meldung.html>
- WKO (Hrsg.). (2021). *CE-Kennzeichnung-Normen*.  
<https://www.wko.at/service/innovation-technologie-digitalisierung/ce-kennzeichnung-normen.html>

## 6 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1   Ist-Situation Abfüllung Bild 1 .....	2
Abbildung 1-2   Schema des Abfüllprozesses .....	3
Abbildung 1-3   Flow-Chart Ist-Situation .....	4
Abbildung 1-4   Vorgehensweise der Arbeit.....	7
Abbildung 1-5   Aufbau und Struktur der Diplomarbeit .....	9
Abbildung 2-1   Investitionsstrategie in Abhängigkeit von Volumen und Produktlebenszyklus.....	10
Abbildung 2-2   Anthropometrische Variablen des menschlichen Körpers .....	12
Abbildung 2-3   Funktionsschema digitaler Menschmodelle .....	13
Abbildung 2-4   Vergleich einer Tätigkeit hinsichtlich Ergonomie und Auslastung in ema .....	17
Abbildung 2-5   Anforderungen Assistenzsysteme .....	18
Abbildung 2-6   Einteilung der Assistenzsysteme .....	20
Abbildung 2-7   Morphologischer Kasten von Assistenzsysteme.....	21
Abbildung 2-8   Beispiel für AR in der Produktion .....	22
Abbildung 2-9   Einordnung der interaktiven Assistenzsysteme (graue Ellipsen) .....	22
Abbildung 2-10   Auswertung zum Nutzen interaktiver Assistenzsysteme im jeweiligen Einsatzgebiet.....	23
Abbildung 2-11   Beispiel eines gamifizierten Assistenzsystems.....	24
Abbildung 2-12   Dimensionen der Pervasivität elektronischer Überwachung.....	25
Abbildung 2-13   Sensorarmband .....	25
Abbildung 2-14   Morphologischer Kasten der Exoskelette .....	27
Abbildung 2-15   Oberkörper-Exoskelett.....	28
Abbildung 2-16   Beispielbild Bionic Cray X Exoskelett .....	28
Abbildung 2-17   Beispielbild Paexo Back .....	29
Abbildung 2-18   Klassifizierung von Arbeitsplätzen mit Robotern.....	31
Abbildung 2-19   Kollaborationsformen und Aufgabenklassen .....	31
Abbildung 2-20   Kollaborationsformen zwischen Mensch und Roboter .....	33
Abbildung 2-21   Faktoren für eine erfolgreiche MRK-Applikation .....	34
Abbildung 2-22   Darstellung der Konfidenz- und Wahrscheinlichkeitsindikatoren ....	35
Abbildung 2-23   Beispielbild für die Anwendung von Industrierobotern .....	37
Abbildung 2-24   Übersicht von MRK-Robotern.....	37
Abbildung 2-25   Beispielbild für das automatisierte Be- und Entladen von Routinezügen .....	38
Abbildung 2-26   Der Wandel der Mensch-Maschine-Interaktion.....	39
Abbildung 2-27   Faktoren für eine Explosion .....	40
Abbildung 2-28   Einteilung von Ex-Bereichen.....	41
Abbildung 3-1   Vorgehensweise im Praxisteil.....	47
Abbildung 3-2   Modellierung des Ist-Zustandes.....	48

Abbildung 3-3   Beispiel für einen IBC .....	49
Abbildung 3-4   Flow-Chart Ist-Situation .....	50
Abbildung 3-5   Lieferung der Fässer .....	51
Abbildung 3-6   Arbeitsfolge Fasspositionierung.....	51
Abbildung 3-7   Mobile Waage.....	52
Abbildung 3-8   Arbeitsabfolge Arbeitsplatzaufbau .....	53
Abbildung 3-9   Fertige Abfüllarbeitsplatz .....	53
Abbildung 3-10   Arbeitsabfolge Fassbefüllung .....	54
Abbildung 3-11   Fertige Palette mit befüllten Fässern und Spannband .....	55
Abbildung 3-12   Gesamtkörperpunkte .....	56
Abbildung 3-13   Lastfälle .....	57
Abbildung 3-14   Analyse Körperhaltung und Wertschöpfung .....	58
Abbildung 3-15   Zeitanalyse Ist-Zustand .....	58
Abbildung 3-16   Reihenfolge der Abfüllung im Ist-Zustand.....	60
Abbildung 3-17   links: Messung am Abfüllpunkt, rechts: Messung neben der Pumpe .....	61
Abbildung 3-18   3-D-Modell des neuen Wagens zur Abfüllung der Produkte .....	64
Abbildung 3-19   Smartwatch für den Ex-Bereich .....	65
Abbildung 3-20   Datenbrille für den Ex-Bereich.....	66
Abbildung 3-21   Drehteller zum Umreifen.....	66
Abbildung 3-22   Einsatz von Assistenzsystemen in Ist-Situation.....	67
Abbildung 3-23   Modellierung des Arbeitsplatzes mithilfe von Assistenzsystemen ..	69
Abbildung 3-24   Arbeitsfolge Fasspositionierung mit Drehteller .....	70
Abbildung 3-25   Arbeitsabfolge Umreifung mit Drehteller.....	70
Abbildung 3-26   Fassbefüllung mit der Smartwatch .....	70
Abbildung 3-27   Gesamtkörperpunkte beim Einsatz von Assistenzsystemen .....	71
Abbildung 3-28   Lastfälle beim Einsatz von Assistenzsystemen .....	73
Abbildung 3-29   Analyse Körperhaltung und Wertschöpfung mit Assistenzsystemen .....	73
Abbildung 3-30   Arbeitszeit beim Einsatz von Assistenzsystemen .....	74
Abbildung 3-31   Reihenfolge der Abfüllung des ersten Konzepts.....	76
Abbildung 3-32   Schema des Abfüllprozesses mithilfe eines Roboters und anderer technischer Hilfsmittel.....	78
Abbildung 3-33   Flow-Chart vollautomatische Abfüllung.....	79
Abbildung 3-34   Aufstellung des Roboters der Firma ABB .....	80
Abbildung 3-35   Automatische Abfüllanlage der Firma Greif Velox .....	81
Abbildung 3-36   Etikettendruckspender Legi-Air 4050 E der Firma Bluhmsysteme..	82
Abbildung 3-37   Vollautomatischer Umreifer der Firma Greif Velox .....	82
Abbildung 3-38   Modellierung des Arbeitsplatzes mithilfe der Abfüllanlage .....	84
Abbildung 3-39   Arbeitsfolge Fasspositionierung mit dem Roboter .....	84
Abbildung 3-40   Arbeitsreihenfolge Fassbefüllung .....	85

Abbildung 3-41   Arbeitsreihenfolge Fassbeklebung .....	85
Abbildung 3-42   Arbeitsreihenfolge Umreifen .....	85
Abbildung 3-43   Gesamtkörperpunkte mit der Abfüllanlage.....	86
Abbildung 3-44   Arbeitszeit mit der Abfüllanlage .....	87
Abbildung 3-45   Arbeitsreihenfolge der Variante 2 .....	89
Abbildung 3-46   Flow-Chart teilautomatische Abfüllung .....	91
Abbildung 3-47   Modellierung des Arbeitsplatzes mithilfe einer Abfüllanlage und Assistenzsystemen .....	92
Abbildung 3-48   Arbeitsreihenfolge manuelle Fassbeklebung .....	92
Abbildung 3-49   Gesamtkörperpunkte mit der halbautomatischen Anlage .....	93
Abbildung 3-50   Arbeitszeit mit der halbautomatischen Anlage .....	94
Abbildung 3-51   Arbeitsreihenfolge der Variante 3 .....	96
Abbildung 3-52   Alternative Arbeitsreihenfolge der Variante 3 .....	97
Abbildung 3-53   Nutzwertanalyse der Assistenzsysteme .....	101
Abbildung 3-54   Grafik zur Nutzwertanalyse der Konzepte .....	108
Abbildung 3-55   Grundriss des Aufstellungsortes der Abfüllanlage .....	110
Abbildung 3-56   Projektplan Projektvorbereitung.....	112
Abbildung 3-57   Gantt-Diagramm Projektvorbereitung .....	112
Abbildung 3-58   Projektplan Aufbau der Infrastruktur .....	113
Abbildung 3-59   Gantt-Diagramm Aufbau der Infrastruktur.....	113
Abbildung 3-60   Projektplan Montage der Abfüllanlage und des Roboters.....	114
Abbildung 3-61   Gantt-Diagramm Montage der Abfüllanlage und des Roboters ....	114
Abbildung 3-62   Projektplan Inbetriebnahme.....	115
Abbildung 3-63   Gantt-Diagramm Inbetriebnahme .....	115
Abbildung 3-64   Meilensteinplan.....	116

## 7 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1   Vorgehensweise bei der Integration von Umgebungsbedingungen in der Menschsimulation .....	14
Tabelle 2   Vor- und Nachteile der digitalen Simulation .....	15
Tabelle 3   Zusammenfassung der Assistenzsysteme .....	43
Tabelle 4   Auflistung Körperpunkte vom Ist-Zustand .....	57
Tabelle 5   Abfüllzeit einer gesamten Charge im Ist-Zustand .....	59
Tabelle 6   Herausforderungen der Ist Situation .....	62
Tabelle 7   Kostenplan erste Ausbaustufe .....	68
Tabelle 8   Kostenaufstellung für die Errichtung des neuen mobilen Wagens .....	68
Tabelle 9   Auflistung Körperpunkte durch den Einsatz von Assistenzsystemen .....	72
Tabelle 10   Abfüllzeit einer gesamten Charge mithilfe von Assistenzsystemen .....	75
Tabelle 11   Zwischenfazit Variante 1 .....	77
Tabelle 12   Kostenplan Abfüllanlage .....	83
Tabelle 13   Auflistung Körperpunkte mit der halbautomatischen Anlage .....	87
Tabelle 14   Prozesszeit einer kompletten Charge der Variante 2 .....	88
Tabelle 15   Zwischenfazit Variante 2 .....	90
Tabelle 16   Auflistung Körperpunkte mit der halbautomatischen Anlage .....	93
Tabelle 17   Prozesszeit einer kompletten Charge der Variante 3 .....	95
Tabelle 18   Kostenplan der Variante 3 .....	98
Tabelle 19   Zwischenfazit Variante 3 .....	99
Tabelle 20   Vor- und Nachteile der Assistenzsysteme .....	100
Tabelle 21   Nutzwertanalyse der Assistenzsysteme .....	101
Tabelle 22   Auflistung der Gesamtkosten .....	104
Tabelle 23   Gegenüberstellung der Zeiten .....	105
Tabelle 24   Gegenüberstellung der Gesamtkörperpunkte und der Gesamtprozesszeit .....	105
Tabelle 25   Gegenüberstellung der Teilergonomiepunkte und Teilprozesszeiten und der Kosten .....	106
Tabelle 26   Ergebnis der Befragung .....	107
Tabelle 27   Nutzwertanalyse der Konzepte .....	108
Tabelle 28   Kostenplan .....	117
Tabelle 29   Berechnung der Kosten pro MitarbeiterIn pro Jahr .....	118
Tabelle 30   Berechnung der zusätzlich möglichen Chargen .....	119
Tabelle 31   Berechnung des Returns on Investment für das Konzept 3 .....	120
Tabelle 32   Herausforderungen der Ist Situation .....	122
Tabelle 33   Auflistung der Assistenzsysteme .....	123

## 8 Abkürzungsverzeichnis

z. B.	zum Beispiel
IBC	Intermediate Bulk Container
DMM	Digitale Menschmodell
MTM	Methods-Time Measurement
UAS	Universelles Analysier-System
EAWS	Ergonomic Assessment Worksheet
MS	Microsoft
MRK	Mensch-Roboter-Kollaboration
ISO	Internationale Organisation für Normung
Cobots	Kollaborativer Roboter
EMA	Editor Menschlicher Arbeit
AR	Augmented Reality
WLAN	Wireless Local Area Network
DIN	Deutsche Industrienorm
S.	Seite
et al	und andere
Ex-Bereich	Bereiche mit einer explosionsfähigen Atmosphäre
db	Dezibel
kg	Kilogramm
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
CE	Conformité Européenne
mPas	Millipascal
ROI	Return on Investment
HITL	Human In The Loop
bzw.	beziehungsweise
d. h.	das heißt

## 9 Anhang

### A1 Angebot der Firma Greif Velox

## A1 Angebot der Firma Greif Velox:



**GREIF  
VELOX**

SMARTER PACKAGING. SMARTER BUSINESS.

GREIF-VELOX MASCHINENFABRIK GMBH • POSTTACH 12 3151 • 23532 LÖBECK • GERMANY

DIC Performance Resins GmbH  
Breitenleer Straße 97 – 99  
1220 Wien  
ÖSTERREICH

E-Mail an: Philip.Redl@sunchemical.com

**Freibleibendes  
Budgetpreisangebot:  
20 – 214145 Rev. 0**

<small>Ihr Schreiben vom:</small>	<small>Ihr Zeichen:</small>	<small>Unsere Zeichen:</small>	<small>Durchwahl:</small>	<small>Tag:</small>
		LHA	+49 (0)451 5303-266	23.08.2021

**Projekt:** automatische Fass- und IBC-Befüllung (A-Dos-P1)

**1 automatische Abfüllanlage A-DOS-P1/BL/1200/800/Ex ,  
mit Förderstrecke, Umreifer, Etikettierer**

Ansprechpartner:

Lukas Hausladen  
Telefon: +49 (0) 451 / 5303-266  
E-Mail: [l.hausladen@greif-velox.com](mailto:l.hausladen@greif-velox.com)

---



GREIF-VELOX MASCHINENFABRIK GMBH  
KRONSFÖRDER LANDSTRASSE 177  
23580 LÖBECK , GERMANY  
UST-ID: DE 812139805

PHONE +49 (0) 451 5303-0  
FAX +49 (0) 451 5303-233  
INFO@GREIF-VELOX.COM  
WWW.GREIF-VELOX.COM

GESCHÄFTSFÜHRUNG:  
RALF DREWS (VORSITZENDER), THORSTEN KÖLL  
REGISTERGERICHT: AMTSGERICHT LÖBECK  
REGISTERNUMMER: HRB 4103

VOLKSBANK LÖBECK (G. . BIC: GENODEF33MLU  
IBAN: DES8 2309 0142 0030 0007 00  
SPARKASSE ZU LÖBECK , BIC: NOLADE215PL  
IBAN: DE94 2305 0101 0001 0395 38



## Inhalt

1.0	So profitieren Sie von einer Zusammenarbeit mit Greif-Velox.....	3
2.0	Technischer Teil.....	4
2.1	Anlagenbeschreibung.....	4
2.2	Auslegungsdaten.....	6
3.0	Kommerzieller Teil.....	10
3.1	Sondervereinbarung zu Folgen der COVID-19 – Pandemie.....	10
3.2	Liefer- und Leistungsausschlüsse.....	10
3.3	Lieferzeit.....	11
3.4	Versandkosten.....	12
3.5	Preisstellung.....	12
3.6	Mängelansprüche und Mängelhaftung.....	12
3.7	Zahlungsbedingungen für Anlagen- und Maschinenlieferung.....	12
3.8	Zahlungsbedingungen für Montage, Inbetriebnahme und sonstige Serviceleistungen.....	13
3.9	Zahlungsverzug.....	13
3.10	Rücktritt.....	13
3.11	Hinweis zum Außenwirtschaftsgesetz.....	13
3.12	Preise der Anlagenkomponenten.....	13
3.13	Preise für Montage und Inbetriebnahme.....	16
4.0	Projektabschluss.....	17





- **Produktionskosten sparen**  
 Durch eine vollständig automatisierte Abfüllanlage welche sowohl Fässer als auch IBCs automatisiert öffnet, befüllt und verschließt. Ein Operator wird lediglich zum Aufsetzen und Entnehmen der Paletten benötigt. Während der Produktion ist kein Bediener permanent an der Anlage erforderlich.
- **Höhere Prozesssicherheit**  
 durch automatische Spundlocherkennung und Positionierung der Fülllanze bei stehender Palette. Keine Repositionierung geöffneter Gebinde in der Abfüllanlage.
- **Maximale Flexibilität**  
 Sortenreine Abfüllung durch mehrere separate Zuleitungen mit kompletten Abfüll-Garnituren (Abfüllventil + Produktschlauch mit Drehgelenk + Vorsteuerarmatur) möglich.
- **Vollbildkamera**  
 Bis zu 5 Sekunden schnellere Positionierung der Fülllanze je Gebinde. Daraus ergibt sich eine Zeitersparnis von 97 Stunden pro Jahr oder 3400 Fässer pro Jahr.

Der Angebotspreis der Anlage beträgt 428.540 €.





## 2.0 Technischer Teil

### 2.1 Anlagenbeschreibung

Der Bediener richtet die Abfüllanlage entsprechend dem abzufüllenden Gebindetyp ein.

Über das Operatorpanel werden der Abfülldatensatz (Produkt-Gebinde-Kombination) angewählt und damit die entsprechenden Waagendaten aktiviert. Die Anlage wird durch die automatische Basishöhenverstellung an die Gebindehöhe angepasst.

Fässer auf Palette stehend werden per Gabelstapler auf der Rollenbahn vor der Abfüllanlage platziert und automatisch in die Abfüllposition gefördert. Durch ein Kamerasystem werden danach die Spundlochpositionen automatisch erfasst.

#### Aufschraub-, Füll- und Verschließvorgang:

Nach Erfassung und Verarbeitung der Spundpositionen läuft der Gesamtvorgang vollautomatisch wie folgt ab:

Der Schrauber fährt in Arbeitsposition und anschließend nach unten, öffnet das Gebinde und fährt im Anschluss (mit aufgenommenem Verschlussstopfen) wieder nach oben.

Anschließend wird die Fülleinheit automatisch über der Öffnung positioniert. Nach Trieren und Freigabe durch die Wägeelektronik verlässt der pneumatische Tropfenfänger seine Position unter dem Füllventil. Das Füllventil senkt sich ab bis in die unterste Stellung, öffnet in Stellung Grobstrom und befüllt das Gebinde bis zum eingestellten Umschaltwert. Das Abfüllventil fährt dabei in Abhängigkeit vom steigenden Füllgewicht, stets in der Flüssigkeit eingetaucht bleibend, in die Feinfüllstellung nach oben. Im Anschluss an die Grobdosierung erfolgt automatisch die Feinstromdosierung bis zum eingestellten Sollwert. Parallel zum Abfüllventil erfolgt die analoge Ansteuerung des zugehörigen Vorsteuer-Kugelhahnes.

Während des Füllvorganges austretende Produktdämpfe werden über die Absaughaube mit Balgabsenkung der bauseitigen Abluftanlage zugeführt.

Nach beendetem Füllvorgang fährt das Abfüllventil zurück in die oberste Endstellung und der Tropfenfänger fährt wieder unter die Ventilspitze, um gegebenenfalls noch abtropfendes Produkt aufzufangen. Anschließend erfolgt die automatische Sollwertkontrolle durch das Wägesystem.

Danach wird der Schrauber (mit festgehaltenem Stopfen) wieder über der Füllöffnung positioniert. Er fährt nach unten, verschließt das Gebinde vollautomatisch und fährt dann in die Grundstellung zurück.

#### Clinchen:

Jetzt fährt der Clincher (für Stahlfässer) über die Füllöffnung (die Clinchkappe wird während des Füllvorganges vom mitfahrenden Clinchkappenmagazin bereitgestellt und durch den Clincher aufgenommen). Danach senkt sich der Clincher ab, stellt den Originalitätsverschluss her und fährt wieder in die Grundstellung nach oben.

Bei Fassbefüllung wiederholt sich der Abfüllvorgang für die weiteren Gebinde auf der Palette analog. Am Ende werden die Erdungseinrichtungen von den Fässern automatisch weggeschwenkt.





Der gesamte Ablauf wird durch eine Siemens-Zentralbaugruppe, das Dosierwägesystem und die Pneumatiksteuerung gesteuert.

Ausfördern der Gebinde:

Nachdem alle Fässer einer Palette befüllt und verschlossen sind, fährt die Palette automatisch aus der Abfüllstation auf eine Staustrecke.

Hier werden die Fässer mit einem Sicherungsband umreift.

Zudem ist eine Etikettierung der Vollgebände vorgesehen, wobei die Palette auf einem Drehtisch vor einem Etikettiergerät gedreht und somit jedes Fass etikettiert wird.

Abschließend kann das fertige Produkt am Abnahmeplatz vom Gabelstapler abgeholt werden.





## 2.2 Auslegungsdaten

### Produktdaten:

Produkt	A	B
Viskosität (mPas):	3000	200
spezifisches Gewicht (kg/dm <sup>3</sup> ):	ca. 0,9	ca. 0,9
Produkttemperatur (°C):	40	40

schäumend	ätzend	brennbar	gasend	klebrig
ja	ja	ja	nein	ja

### Wägedaten:

Wägebereich:	25 – 1.500 kg
Füllgewicht:	60 – 220 kg
Genauigkeit:	Gemäß OIML Eichvorschriften (X1)

### Anlagenleistung:

	60l-Fass	220l-Fass
Produkt „A“	43 F/h	27 F/h
Produkt „B“	54 F/h	39 F/h

Leistungsangaben sind abhängig von einer Pumpenleistung von 12 m<sup>3</sup>/h (Produkt „A“) sowie 24 m<sup>3</sup>/h (Produkt „B“).

Feststoffanteile können ggf. nicht verarbeitet werden. Bei einer detaillierteren Betrachtung werden Produktmuster benötigt.

Palettenleistung abhängig von Einfahrgeschwindigkeit der Paletten sowie Bereitstellung durch den Bediener.

Zum Erreichen der angegebenen Genauigkeits- und Leistungsangaben sind von DIC Performance Resins GmbH folgende Voraussetzungen zu erfüllen:

- Die Füllgüter müssen in ihren wäge- und abfülltechnischen Eigenschaften denjenigen entsprechen, die vor der Auftragserteilung angegeben bzw. bemustert worden sind.
- konstantes spezifisches Gewicht, gleichbleibende Struktur und Fließeigenschaften innerhalb einer Produktsorte
- Produktzufuhr in ausreichender Menge, sodass ein gleichmäßiger Vorrat über der Füllmaschine/Waage gewährleistet ist





- geeignetes Verpackungsmaterial
- schwingungsfreie Umgebungsbedingungen
- ordnungsgemäße Bedienung und Wartung der Anlage gemäß der Greif-Velox – Wartungsvorschriften

#### Gebindedaten:

Typ:	Fass
Material:	Stahl
Abmessungen (mm):	592 x 384
Füllvolumen (L):	60
Öffnung (mm):	50,8
Verschluss:	Tri-Sure Metall Schraubstopfen

Typ:	Fass
Material:	Stahl
Abmessungen (mm):	882 x 585
Füllvolumen (L):	220
Öffnung (mm):	50,8
Verschluss:	Tri-Sure Metall Schraubstopfen

Typ:	Fass
Material:	Kunststoff
Abmessungen (mm):	935 x 581
Füllvolumen (L):	220
Öffnung (mm):	50,8
Verschluss:	Tri-Sure Metall Schraubstopfen

#### Palettenspezifikation:

Typ:	CP9
Palettenabmessungen (mm):	1.140 x 1.140
Palettenausführung:	Holzpaletten mit 3 Laufkufen in Längsrichtung (rollenbahnfähige Ausführung)
Packmuster:	tbd
Anzahl der Lagen / Palette:	1
Stapelhöhe inkl. Palette:	1.200mm
Stapelgewicht inkl. Palette:	max. 1.500 kg (Auslegung Transportbahnen)





#### Spannungsversorgung:

Betriebsspannung:	3 Ph / N / PE 400 V AC
max. Spannungsschwankung:	-10 % / + 6 %
Hilfsspannung:	230V
Frequenz:	50Hz
max. Frequenzschwankung:	± 2%
Schutzart:	min. IP 54
Steuerspannung:	24 V DC (wird im Steuerschrank erzeugt)

#### Druckluftversorgung (Druckluftqualität gemäß ISO 8573-1 Klasse 1.2.1):

Druck:	min. 6 bar am Verbraucher
Druckluftverbrauch:	tbd Nm <sup>3</sup> / Stunde

#### Aspiration:

Volumenstrom:	ca. tbd	Nm <sup>3</sup> /h	von DIC Performance Resins GmbH beizustellen
Strömungsgeschwindigkeit	ca. 18	m/s	

#### Werkstoffe:

Alle direkt produktberührten Teile hergestellt aus Edelstahl 1.4301 (SS304).  
 Alle Hauptkomponenten hergestellt aus lackiertem Normalstahl.  
 Anbauteile hergestellt aus lackiertem Normalstahl.

#### Farbaufbau:

Oberflächenbehandlung:	Stahlentrostung
Grundierung:	2-Komponenten Epoxidharz
Deckanstrich:	2-Komponenten PUR Glattlack
Gesamtschichtstärke:	80 µm nach DIN EN ISO 12944-5 Korrosionsschutzklasse C2

Silikonfrei. Erfüllt die Anforderung der Lebensmittelbeständigkeit nach ANSI / NSF 51-2009e (6.2.2. Splash Zonen). Erfüllt Schwerentflammbarkeit nach IMO FTP Code Teil 5.

#### Farbauswahl:

Grundfarbe Maschinenelemente:	RAL 9006 Weißaluminium
-------------------------------	------------------------





Bewegte Anlagenkomponenten:	Pantone 382C Lime Green
Zulieferkomponenten gemäß Herstellerstandard	
Schutzgitter:	RAL 7037 staubgrau (Herstellerstandard)
Antriebe:	RAL 7031 blaugrau (SEW-Standard)
Schaltschränke:	RAL 7035 lichtgrau (Rittal-Standard)

#### Dokumentation:

Ausführung:	1x auf Papier 1x auf Datenträger	Sprache:
Bestehend aus:	Aufstellungsplan	deutsch
	Elektrodokumentation	deutsch
	Betriebsanleitung	deutsch
	Wartungsvorschriften	deutsch
	Ersatzteillisten	deutsch

#### Ausführungsrichtlinien und Standards:

CE, EG, EN, DIN und VDE

Die Sicherheitstechnik entspricht den aktuell gültigen Vorschriften der Europäischen Union (u.a. 2006/42/EU; DIN EN ISO 12100:2011-03) und deren Umsetzung in nationales im Land des Herstellers (z.B. 9. ProdSV; DIN EN ISO 13857:2020-04; ...).

Die elektrische Ausrüstung der Maschinen entspricht den aktuell gültigen Vorschriften der Europäischen Union (u.a. 2014/35/EU (Niederspannungsrichtlinie); 2014/30/EU (Elektromagnetische Verträglichkeit); ...) und deren Umsetzung in nationales Recht im Land des Herstellers (z.B. EN 60204-1:2019-06 (Elektrische Ausrüstung von Maschinen) sowie allen Anforderungen an die elektrische Ausrüstung von Maschinen und Anlagen nach 2006/42/EU (Maschinenrichtlinie).

Max. Schalldruckpegel  $\leq 80$  dB(A) unter Freifeldbedingungen am Bedienbereich der Anlage.  
(Normalzustand vorausgesetzt, min. 1 m Abstand zu Bauteilen und außerhalb des Schutzzauns)

#### Umgebungsbedingungen:

Umgebungsbedingungen: trockener Innenraum, frei von Schwingungen oder Stößen

ATEX Zonen: produktführende Bereiche Zone 0



GREIF – VELOX  
Maschinenfabrik GmbH

Angebot Nr. 20-214145 Rev. 0  
Projekt: automatische Fass- und IBC-Befüllung

Seite 9 von 17  
23.08.2021



	500 mm Kugeldurchmesser um die Abfüllstelle	Zone 1
	3.000 mm Kugeldurchmesser um die Abfüllstelle	Zone 2
	weitere Bereiche	zonenfrei
Gas:	Explosionsgruppe	Wählen Sie ein Element aus.
ATEX-Ausführung:	gemäß Richtlinie 2014/34/EU	
Umgebungstemperatur:	+ 5°C bis + 35°C	
Betriebsdauer:	kontinuierlich 16 Stunden pro Tag, 250 Tage pro Jahr	
<b>Aufstellungsort:</b>		
DIC Performance Resins GmbH Breitenleer Str. 97 – 99 1220 Wien  Österreich		

### 3.0 Kommerzieller Teil

#### 3.1 Sondervereinbarung zu Folgen der COVID-19 – Pandemie

Die vereinbarten Liefertermine und Anlagenpreise gelten als verbindlich. Sollte es im Rahmen der aktuellen wirtschaftlichen Lage (z.B. im Bereich Halbleiter) zu gravierenden Lieferengpässen oder Preissteigerungen für Rohstoffe, Halbzeuge oder Einkaufsteile kommen, ist eine nachträgliche Korrektur des Liefertermins und des vereinbarten Vertragspreises möglich. Die Pönalregelung ist unmittelbar und für die entsprechende Dauer ausgesetzt, soweit ein Lieferverzug in Zusammenhang mit kurzfristig angekündigten Verknappungen von Lieferkapazitäten gebracht werden kann. Greif-Velox wird eine solches Ereignis unmittelbar gegenüber dem Kunden anzeigen. Hinsichtlich angezeigter und nachweislich eingetretener Preissteigerungen verpflichten sich die Vertragspartner, eine beidseitig tragbare Lösung zu finden.

#### 3.2 Liefer- und Leistungsausschlüsse

	enthalten	nicht enthalten
Verpackung, Transport und Transportversicherung		x
Entladung und Zwischenlagerung am Bestimmungsort		x





	enthalten	nicht enthalten
Flurförder- und Hebezeuge für den Transport und die Montage von Maschinen oder Maschinenelementen, inklusive notwendigem Personal		x
Bau-, Beton-, und Fundamentarbeiten		x
Stahlbau, Bühnen und Abhängungen		x
Produktzuleitung und deren Installation		x
Aspirations-Rohrleitungssysteme und deren Installation		x
Druckluftleitungssysteme und deren Installation		x
Kabelmaterialien, Kabelkanäle und deren Installation		x
Sicherheitseinrichtungen und Schutzzäune über unseren Angebotsumfang hinaus		x
Sonderlackierung		x
Sonderdokumentation		x
Montage (gem. Servicekonditionen bzw. beiliegender Montageplanung)		x
Inbetriebnahme (gem. Servicekonditionen bzw. beiliegender Montageplanung)		x
Bedienerschulung (gem. Servicekonditionen bzw. beiliegender Montageplanung)		x
Steuern, Gebühren und sonstige Abgaben		x
Beantragung des Konformitätsbewertungsverfahrens für die Eichung	x	
Gebühren der Konformitätsbewertung für die Eichung sowie Begleitung der Prüfung durch unser Personal		x
Kick-off – Meeting vor Ort	x	
Kunden-FAT in Lübeck	x	
CE-Kennzeichnung	x	
ATEX-Zertifizierung		x

#### Inbetriebnahme

Sofern nicht abweichend angeboten, erfolgt die Inbetriebnahme der angebotenen Anlage auf Nachweis. Alle Leistungsangaben gelten immer nur für von Greif-Velox in Betrieb genommene Gebinde-/Produkt-/Anlagenkombinationen unter Einhaltung der im Angebot spezifizierten Schnittstellenanforderungen am Übergabepunkt.

#### 3.3 Lieferzeit

Ca. 12 - 14 Monate oder nach Vereinbarung

(gültig nach Klärung aller technischen und kaufmännischen Details)





### 3.4 Versandkosten

Im Allgemeinen entsprechen die Versandkosten, wenn angeboten, den derzeit aktuellen Werten. Da jedoch Fracht- und Verpackungskosten stark variieren können (insbesondere bei Seefracht), behalten wir uns etwaige Anpassungen vor.

### 3.5 Preisstellung

Alle Preisangaben sind Netto, Preisbasis ist Ex-Works, unverpackt.

### 3.6 Mängelansprüche und Mängelhaftung

Die gesetzlichen Ansprüche für Mängelhaftung gemäß deutschem Recht stehen DIC Performance Resins GmbH uneingeschränkt zu.

Die Gewährleistungsfrist beträgt 12 Monate ab Lieferung der Anlage.

Dies gilt auch für Schadenersatzansprüche, sofern Greif-Velox kein vorsätzliches, grob fahrlässiges Verhalten vorwerfbar ist oder Ansprüche aus der Verletzung von Leib, Leben oder Gesundheit betroffen sind oder eine Garantiezusage betroffen ist und/oder Ansprüche nach dem Produkthaftungsgesetz berührt sind.

Ferner erlischt die Gewährleistung bei ungeeigneter oder unsachgemäßer Verwendung, fehlerhafter Montage bzw. Inbetriebsetzung durch den Besteller oder Dritte, fehlerhafte oder unsachgemäße Behandlung oder nicht ordnungsgemäße Wartung. Des Weiteren behalten wir uns generell das Recht der Prüfung auf falsche Handhabung vor.

Weitere Voraussetzungen für Mängelansprüche:

- Die Anlage ist von Greif-Velox vor der Inbetriebnahme hinsichtlich etwaiger visueller Schäden überprüft worden.
- Die Anlage wird gemäß den entsprechenden Wartungs- und Betriebsanleitungen sachgemäß betrieben.

Verschleißteile sind von jeglichem Mangelanspruch ausgeschlossen.

### 3.7 Zahlungsbedingungen für Anlagen- und Maschinenlieferung

Angebotsfrist	90 Tage
Zahlung:	50 % bei Bestellung, zzgl. anteiliger MwSt.
	40 % bei Lieferung, spätestens jedoch 4 Wochen nach Meldung der Versandbereitschaft, wenn eine Lieferverzögerung nicht durch Greif-Velox zu vertreten ist, zzgl. anteiliger MwSt.
	10 % nach Montageende, spätestens jedoch 4 Wochen nach vereinbartem Montageendtermin bzw. 8 Wochen nach Meldung der Versandbereitschaft, wenn eine Montageverzögerung nicht durch Greif-Velox zu vertreten ist, zzgl. anteiliger MwSt.





Zahlungsziel: 14 Tage netto ohne Abzüge

### 3.8 Zahlungsbedingungen für Montage, Inbetriebnahme und sonstige Serviceleistungen

Angebotsfrist: 90 Tage  
 Zahlung: 100 % nach Rechnungslegung auf Nachweis für die erbrachten Dienstleistungen (monatliche Abrechnung oder zum Ende der Arbeiten)  
 Zahlungsziel: 14 Tage netto ohne Abzüge

### 3.9 Zahlungsverzug

Gerät DIC Performance Resins GmbH mit einer vereinbarten Zahlung in Verzug, so ist Greif-Velox dazu berechtigt, weiterfolgende Termine vom Tage des Verzuges an entsprechend der Zeitdauer des Verzuges zu verschieben.

### 3.10 Rücktritt

Für Fälle des Rücktritts und der Kündigung gelten die gesetzlichen Regelungen.

### 3.11 Hinweis zum Außenwirtschaftsgesetz

Die Einhaltung von gesetzlichen oder behördlichen Anordnungen, Regeln, Vorschriften oder Anweisungen, Embargos und Handelsbeschränkungen kann eine Genehmigungspflicht aufgrund des Verwendungszwecks oder des Endverbleibs erfordern.

### 3.12 Preise der Anlagenkomponenten

Pos.	Beschreibung	Anzahl	Preis in EURO
4.12.1	Abfülleinheit A-DOS-P1 mit 3 Arbeitsstationen <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Maschinengestell inklusive Antriebe der Achsen (1 Waage) mit Halterungen für Kamerasystem und Beleuchtung, Normalstahl, lackiert</li> <li>■ Ventilhubeinheit 1200/800 inklusive 3 Initiatoren</li> <li>■ Laserpointer</li> <li>■ Auffangwanne (200 l) mit Liquifant</li> <li>■ ATEX-Ausführung</li> </ul>	1	Inkl.
4.12.2	Produktzuführung bestehend aus:	1	Inkl.



GREIF – VELOX  
 Maschinenfabrik GmbH

Angebot Nr. 20-214145 Rev. 0  
 Projekt: automatische Fass- und IBC-Befüllung

Seite 13 von 17  
 23.08.2021



Pos.	Beschreibung	Anzahl	Preis in EURO
	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Halter für Kugelhahn an der Standsäule</li> <li>■ Vorsteuerkugelhahn aus Edelstahl</li> <li>■ Drehgelenk aus Edelstahl</li> <li>■ Produktschlauch Fluorflex aus PTFE, L=3500</li> <li>■ Produktschlauchabhangung mit Federzug</li> </ul>		
4.12.3	Basishohenverstellung (BHV) <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Basishohenverstellung motorisch mit Wegmesssystem (automatisch) Ex</li> <li>■ Pneumatischer Tropfenfänger mit 200 großer Einwegschaalen</li> <li>■ ATEX-Ausfuhung</li> </ul>	1	Inkl.
4.12.4	Absaughaube mit Balgabsenkung für Spundlochgebinde	1	Inkl.
4.12.5	Ventilaufnahme aus Aluminium für 32er, 25er Ventile	1	Inkl.
4.12.6	Unterspiegelventil BLV 32 mit Flanschanschlu	1	Inkl.
4.12.7	Erdungsvorrichtung <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Erdungszange mit Verriegelung</li> <li>■ Multipond Erdung mit 4 Pneumatik-Hämmern</li> </ul>	1	Inkl.
4.12.8	Schraub- und Clinchstation für Fässer und IBC, in ATEX-Ausfuhung <ul style="list-style-type: none"> <li>■ stufenlose Schrauberansteuerung</li> <li>■ Vakuumeinheit und 4h SW (für Kunststoff-Stopfen)</li> <li>■ Wechselwerkzeug für Fass- und IBC-Verschlüsse inklusive Software-Erweiterung</li> <li>■ komplette Clincheinheit mit Kappenmagazin und 2 Einsätzen</li> </ul>	1	Inkl.
4.12.9	Waage LA 4000 VE; 1.500 x 1.250; lack./lack.; WB 600/1500/3000 kg mit Wageelektronik SIWAREX <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Siwarex FTA Modul inkl. Dosiermodul, Software und Kompatibilitätsprüfung</li> <li>■ ATEX-Ausfuhung (Wägezellen in Zone 1, Trennbarriere im Schaltschrank)</li> </ul>	1	Inkl.
4.12.10	Elektrische Steuerung in ATEX-Ausfuhung <ul style="list-style-type: none"> <li>■ mit Teach-In-Funktion, Schraubfunktion und Clinchfunktion sowie</li> <li>■ Analoge Ansteuerung Vorsteuerarmatur</li> <li>■ Fernwartung mittels industriellen VPN-Router eWON Cosy 131 GSM/GPRS//Drahtlos (kann "Drahtgebunden oder Drahtlos" konfiguriert werden) (ohne SIM-Karte, Kundenbeistellung)</li> </ul>		Inkl.
4.12.11	Schutzgitter <ul style="list-style-type: none"> <li>■ 10 lfd Meter Schutzzaunemente</li> </ul>	1	Inkl.





Pos.	Beschreibung	Anzahl	Preis in EURO
	<ul style="list-style-type: none"> <li>SPG Sicherheitslichtschranke mit Sender und Empfänger, Si-Schaltgerät, Gerätesäule und Kabel"</li> </ul>		
4.12.12	Leergebinde – Rollenbahnen, L=2000, Stahl lackiert <ul style="list-style-type: none"> <li>3x Bremsmotor</li> <li>1x Anfahrerschutz, höhenverstellbar</li> <li>1x SPG Sicherheitslichtschranke mit Sender und Empfänger, Si-Schaltgerät, Gerätesäule und Kabel</li> <li>1x Palettentzentrung für Leerpaletten auf Rollenbahn mittels Pneumatikzylinder</li> </ul>	3	Inkl.
4.12.13	Abfüll – Rollenbahn L=1500, Stahl lackiert <ul style="list-style-type: none"> <li>inkl. Lichtschranke 1x</li> <li>FU-Betrieb</li> </ul>	1	Inkl.
4.12.14	Vollgebinde – Rollenbahnen, L=2000, Stahl lackiert <ul style="list-style-type: none"> <li>Inkl. Lichtschranke 1x</li> <li>2x Bremsmotor</li> </ul>	2	Inkl.
4.12.15	Etikettierer für Leerfässer und IBC, Fabrikat Bluhm, LA4050E-WX, <ul style="list-style-type: none"> <li>Signalaustausch zwischen Maschine und Etikettierer</li> <li><u>keine ATEX-Ausführung möglich – Etikettierer muss im EX-freien Bereich stehen</u></li> </ul>	1	Inkl.
4.12.16	Drehtisch für Etikettierer <ul style="list-style-type: none"> <li>mit Schleifring ohne Winkelbegrenzung für eine Drehrichtung, 4 Stoppositionen, 2 Lichtschranken, Frequenzumrichter</li> <li><u>keine ATEX -Ausführung möglich</u></li> </ul>		Inkl.
4.12.17	Umreifer inkl. Rollenbahn <ul style="list-style-type: none"> <li>Umreifer für Vollgebinde auf Palette</li> <li>Rollenbahn, L=1500, Stahl lackiert inkl. Lichtschranke 1x, und wenn notwendig Palettentführung</li> <li>FU-Betrieb</li> </ul>		Inkl.
4.12.18	Vollgebinde – Rollenbahn, L=2000, Stahl lackiert <ul style="list-style-type: none"> <li>inkl. Lichtschranke 1x</li> <li>2x Bremsmotor</li> <li>1x Anfahrerschutz höhenverstellbar</li> <li>SPG Sicherheitslichtschranke mit Sender und Empfänger, Si-Schaltgerät, Gerätesäule und Kabel</li> </ul>	2	Inkl.
<b>Gesamtsumme</b>			<b>428.540,00</b>





### 3.13 Preise für Montage und Inbetriebnahme

Pos.	Beschreibung	Anzahl	Preis in EURO
3.13.1	Budgetpreis für Supervisor Montage	1	46.936,00

Unser Business Paket umfasst die Supervisor-Montage und Inbetriebnahme mit einem Produkt und einem Gebinde, Einweisung des Bedien- und Wartungspersonals und Abnahme der Anlage. Etwaige Kabelverlegung und Kabeltrassen zwischen der Anlagentechnik und dem Schaltschrank (bei Aufstellung in einem Schaltraum) sind exklusive.

Die Serviceleistungen werden nach Aufwand und zu einem Tagessatz von EUR 1.250 € (Hotel, Spesen incl.) gültig von Montag inkl. Samstag bei einer täglichen Arbeitszeit von maximal 10 Stunden/Tag abgerechnet.

Die Reisezeit wird anteilig zum genannten Tagessatz nach tatsächlich benötigter Zeit berechnet.

Die Reisenebenkosten werden mit 0,90 EUR/km berechnet. Andere Verkehrsmittel ( Flug, Bahn, Schiff) nach Aufwand plus 10% Handlingszuschlag

Die Abrechnung der tatsächlichen Leistung erfolgt nach Aufwand gemäß unserer Service-Konditionen. Für eine verbindliche Planung erstellen wir Ihnen gern einen separaten Montageplan und ein individuelles Angebot.

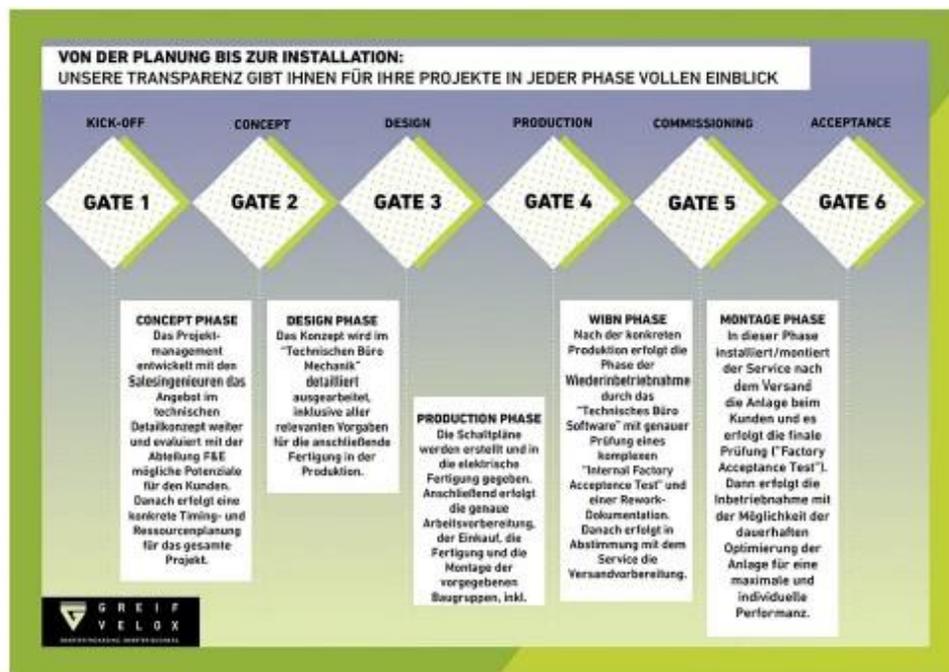




#### 4.0 Projektentwicklung

Standardisierter Stage-Gate Prozess, der individuell auf das Projekt zugeschnitten wird.

Alle besonders relevanten Meilensteine und deren Inhalte werden transparent kommuniziert. Die Entstehung der Anlage kann vom Kunden im Detail nachvollzogen werden. Weniger innovative und ineffiziente Prozesse zur Fortschrittskontrolle (z.B. ITPs), können damit ersetzt werden.



Diesem Angebot liegen unsere Allgemeinen Geschäftsbedingungen zugrunde, die unter <https://www.greif-velox.com/agb/> eingesehen werden können.

Außerdem gelten die Greif-Velox-Servicebedingungen, Greif-Velox-Sackspezifikationen (bei Ventilsackanlagen), Greif-Velox-Elektrodatenblätter und unser Standarddokumentationsumfang. Diese Unterlagen stellen wir Ihnen auf Nachfrage gerne zur Verfügung.

